

**ANAEROBİK EŞİK ALTI VE ÜSTÜ
BİSİKLET EGZERSİZİNDE
OKSİJEN ALIM KİNETİĞİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Elvin Onarıcı GÜngör

Doktora Tezi

**ANAEROBİK EŞİK ALTI VE ÜSTÜ
BİSİKLET EGZERSİZİNDE OKSİJEN ALIM
KİNETİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Elvin Onarıcı Güngör

Doktora Tezi

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Sağlık Bilimleri Enstitüsü

Beden Eğitimi ve Spor Anabilim Dalı

Eskişehir, Aralık, 2014

Tez Danışmanı : Prof. Dr. İlker Yılmaz

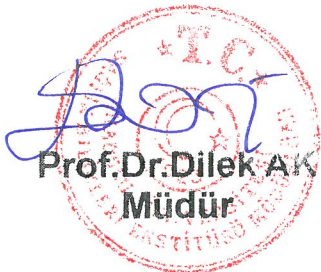
Bu tez çalışması, Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından desteklenmiştir (Proje No. 1201S006).

Jüri ve Enstitü Onayı

Elvin Onarıcı Güngör 'ün "Anaerobik Eşik Altı ve Üstü Bisiklet Egzersizinde Oksijen Alım Kinetiğinin Değerlendirilmesi" başlıklı, Beden Eğitimi ve Spor Anabilim Dalı'ndaki Doktora tezi, 24/12/2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	Adı-Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı)	Prof. Dr. İlker-Yılmaz Anadolu Üniversitesi	
Üye	Prof. Dr. Güven Sevil Anadolu Üniversitesi	
Üye	Prof. Dr. Sanli Sadi Kurdak Çukurova Üniversitesi	
Üye	Doç Dr. Bekir Yüктаşır Abant İzzet Baysal Üniversitesi	
Üye	Yard. Doç. Dr. Gülsün Aydın Anadolu Üniversitesi	

Anadolu Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 01.12.2014 tarih ve 31 sayılı kararıyla onaylanmıştır.



ÖZGEÇMİŞ

Bireysel Bilgiler

Adı ve soyadı : Elvin Onarıcı Güngör
Doğum tarihi ve yeri : 08.01.1983 Eskişehir
Uyruğu : TC
Medeni durumu : Evli
İletişim adresleri
Adres : Anadolu Üniversitesi, İki Eylül Kampüsü,
Spor Bilimleri Fakültesi, Eskişehir
Tel : +90 222 3213550/6718
Tel (cep) : +90 5334694805
e-mail : eonarici@anadolu.edu.tr

Eğitim Durumu

İlkokul : Dumlupınar İlkokulu, Eskişehir, 1993
Ortaokul : İki Eylül İlköğretim Okulu, Eskişehir, 1997
Lise : Cumhuriyet Lisesi, Eskişehir, 2001
Lisans : Anadolu Üniversitesi, Beden Eğitimi ve
Spor Öğretmenliği Bölümü, 17/06/2005
Yüksek Lisans : Anadolu Üniversitesi, Sağlık Bilimleri
Enstitüsü, 29/01/2009
Yabancı dil : İngilizce

Mesleki Deneyim

Araştırma Görevlisi : 2005-devam etmekte

Üye Olunan Bilimsel Kuruluşlar

Uluslararası Sporda Bilgisayar Kullanımı Derneği (IACSS), 24/09/2009
Avrupa Spor Bilimleri Derneği ECSS, 09/07/2008

Uluslararası Hakemli Dergilerde Yayımlanan Makaleler

Onarıcı Güngör E., Cerrah A.O., Soylu A.R., Ertan H., Sevil G., Muscular Activation Strategies during Countermovement Jump in Female Volleyball, International Association of Computer Science in Sport, Proceedings of the Seventh International Symposium, 136-146, 2009 ISBN:978-0-9807160-0-9

Onarıcı Güngör, E., Cerrah, A.O., Çobanoğlu, H.O., Kaçoğlu, C., Yılmaz, İ. "Comparison of Development of Physical Fitness Parameters in different Summer School Programs" Journal of Human Kinetics (SCI) volume 25, 117-123, 2010.

Cerrah, A. O., Onarici Gungor, E., Soylu, A. R., Ertan, H., Lees, A., Bayrak, C. "Muscular Activation patterns during the Soccer In-Step Kick", *Isokinetics and Exercise Science*, 19(3), 181-190 (2011) (SCI).

Cerrah, A. O., Onarici Gungor, E., Yılmaz İ. (2011), Relationship between isokinetic strength parameters and soccer throw-in performance. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 82(1), A10-A10 (2011). (Supplement)

Cerrah, A. O., Onarici Gungor, E., Yılmaz İ. Evaluation of the relationship between isokinetic strength and two different soccer throw-in performances, *Isokinetics and Exercise Science* 20(3),181-187,2012 (SCI).

Uluslararası Bilimsel Toplantılarda Sunulan ve Bildiri Kitaplarında Basılan Bildiriler

Yılmaz İ., Kale M., Akın E., Onarici E. "Karadeniz Halk Danslarında Meydana Gelen Yaralanmaların İncelenmesi (Samsun İl Örneği)" Muğla 9. Uluslararası Spor Bilimleri Kongresi, Muğla, 3-5 Kasım 2006, 04/11/2006.

Bayrak C., Sevil G., Yılmaz İ., Kale M., Onarici E., Arıcan E., "Bayan Hentbolcülerde Sezon Öncesi Performans Kriterlerinin İncelenmesi", Muğla 9. Uluslararası Spor Bilimleri Kongresi, Muğla, 3-5 Kasım 2006, 03/11/2006.

Kurt A.A., Aydın Sönmez G., Yılmaz İ., Onarici E., "Sınıf Öğretmenlerinin Sokak Oyunlarının Oynanmasına İlişkin Görüşleri", VI. Ulusal Sınıf Öğretmenliği Eğitimi Sempozyumu, 294-297, Eskişehir, 27-29 Nisan 2007, 29/04/2007.

Yılmaz İ., Sevil G., Yanardağ M., Kale M., Onarici E., "Comparison of Physical and Anthropometric Characteristic of Deaf and Non-Deaf Basketbol Players" 2007 Northwest District/Southwest District Combined Convention "Together: Everything Is Possible" Convention Program. AAHPERD, Reno, Nevada, 25/01/2007.

Köse S., Onarici Güngör E., "The Effects of Plyometric Training on Jumping Strength and some Anthropometric Features in Volleyball Players Aged Between 14-16",13th Annual Congress of the ECSS - Estoril, Portugal, 11/07/2008.

Cerrah A.O., Onarici Güngör E., Ertan H., "Muscular Activity of Kicking Limb During Different Kicking Techniques in Soccer", 13th annual Congress of the ECSS - Estoril, Portugal, 10/07/2008.

Güngör Onarici E., Cerrah A.O., Ertan H., "Comparison of Landing Maneuvers Between Female Volleyball Players and Sedentary Group", 13th Annual Congress of the ECSS - Estoril, Portugal, 10/07/2008.

Cerrah A.O., Onarici Güngör E., Soylu A.R., Ertan H., Bayrak C., Muscular Activation Patterns among Soccer Players during in-Step Kick, 7th International Symposium of International Association of Computer Science in Sport, Canberra, Australia, 24/09/2009.

Cerrah A.O., Onarici Güngör E., Ertan H., Bayrak C, "Futbolda İzokinetik Kas Kuvveti ve Top Hızı Arasındaki İlişkinin Değerlendirilmesi", III. Ulusal Futbol ve Bilim Kongresi, Sözel Bildiri 53, Antalya, 09/01/2009.

Yenigelen, D., Onarıcı Gungor, E., Cerrah A.O., Ertan, H., Comparision of Electromiyografic Activities of Muscles During Different Abdominal Crunch Tecniques, European College of Sports Sciences Congress, Antalya, 2010

Onarıcı Gungör, E., Yılmaz, İ., Kurdak, Sanli Sadi, Soylu, A.R., Ertan, H., The Effects of Sub Threshold and Supra Threshold Exercise on Cardiovascular and Metabolic Parameters, Fifth International Conference on Sport and Society, Rio De Janerio, Brezilya, 16-17/07/2014

Onarıcı Gungör, E., Yılmaz, İ., Kurdak, Sanli Sadi, Ertan, H., Soylu, A.R., Farklı Egzersiz Programlarının Laktat Yanıtları Üzerine Etkisi, 13. Uluslararası Spor Bilimleri Kongresi, Konya 7-9 Kasım 2014

Ulusal Bilimsel Toplantılarda Sunulan ve Bildiri Kitaplarında Basılan Bildiriler

Cerrah A.O., Onarıcı Gungör E., Ertan H., Bayrak C, "Futbolda İzokinetik Kas Kuvveti ve Top Hızı Arasındaki İlişkinin Değerlendirilmesi", III. Ulusal Futbol ve Bilim Kongresi, Sözel Bildiri 53, Antalya, 09/01/2009

Kurt A.A., Aydın Sönmez G., Yılmaz İ., Onarıcı E., "Sınıf Öğretmenlerinin Sokak Oyunlarının Oynanmasına İlişkin Görüşleri", VI. Ulusal Sınıf Öğretmenliği Eğitimi Sempozyumu, 294-297, Eskişehir, 27-29 Nisan 2007

Bilimsel Etkinlikler

Projeler :

BAP 081314 - Motor Becerilerin Sergilenişi Sırasında Beyin ve Kas Elektriksel Aktivesinin İncelenmesi, 01/07/2007

BAP 1201S006 – Anaerobik Eşik Altı ve Üstü Bisiklet Egzersizinde Oksijen Alım Kinetiğinin Değerlendirilmesi, 13/12/2011 devam etmekte

TEŞEKKÜR

Tez süresince bana her konuda destek veren danışmanım Prof. Dr. İlker Yılmaz'a teşekkür ederim.

Tez konumun belirlenmesinde, yapılacak ölçümlerin analizlerinin belirlenmesinde ve tezin her aşamasında destek veren Prof. Dr. Sanlı Sadi Kurdak'a (Çukurova Üniversitesi, Tıp Fakültesi Fizyoloji Anabilim Dalı) teşekkür ederim.

Tüm tez çalışma sürecimde özellikle bürokratik anlamdaki noktalarda tecrübelerinden istifade ettiğim Prof. Dr. Güven Sevil'e teşekkür ederim.

Tezimin ön testlerinin uygulamasında iki hafta boyunca bütün vakitlerini ayıran, benimle bilgilerini ve tecrübelerini paylaşan Yard. Doç. Dr. Çiğdem Özdemir'e (Çukurova Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Temel Tıp Bilimleri, Fizyoloji Anabilim Dalı), Arş Gör. Dr. Funda Coşkun'a (Çukurova Üniversitesi, Beden Eğitimi ve Spor Anabilim Dalı), teşekkür ederim.

Tezimin testlerinin uygulaması aşamasında EMG ölçümlerinin yapılmasında yardımcı olan ve tecrübelerini paylaşan Prof. Dr. Hayri Ertan ve Dr. İlbilge Özsü'ya (Anadolu Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi Proje Asistanı) teşekkür ederim.

Tezimin EMG verilerinin analizinde ve istatistiklerinde bana destek veren Doç. Dr. Ruhi Soylu'ya (Hacettepe Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Biyofizik Anabilim Dalı) teşekkür ederim.

Tezimin matematiksel analizlerinde bana destek olan Prof. Dr. Vagif Cafer'e (Fen Fakültesi, Matematik Ana Bilim Dalı) teşekkür ederim.

Yaptığım oksijen alım kinetiği analizlerini kontrol edip onaylayan ve tecrübeleriyle destek olan Prof. Dr. Fadıl Özyener'e (Uludağ Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Fizyoloji A.B.D) teşekkür ederim.

Tezimde kullandığım oksijen analizörü ve laktat analizörleriyle ilgili karşılaştığım sorunlarda bana yardımcı olan Yard. Doç. Dr. Hayriye Çakır Atabek'e teşekkür ederim.

Tezime katkı sağlayan denekleri toplama sürecinde bana destek olan Yard. Doç. Dr. Gülsün Aydın, Öğr. Gör. Mehmet Aşıcıoğlu, Öğr. Gör. Ahmet Uslu, Öğr. Gör. Tuba Sevil, Öğr. Gör. Evrensel Heper, Arş. Gör. Dr. Hüseyin Köse, Yard. Doç. Dr. Müge Akyıldız, Öğr. Gör. Mehmet Ali Çeliksoy ve Öğr. Gör. Sabri Köse'ye teşekkür ederim.

Tezimin veri toplama aşamasında araştırmaya gönüllü olarak ölçümlere ve 6 haftalık egzersiz sürecine katılan Spor Bilimleri Fakültesi öğrencilerine teşekkür ederim.

Laboratuarda bilgisayarlarda ve diğer cihazlarda yaşadığım teknik sorunlarda destek veren Ansay Hızal'a (Anadolu Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi Sadyum müdürü), Yard. Doç. Dr. Barış Gürol'a ve Arş. Gör. Dr. Hüseyin Köse'ye teşekkür ederim.

Arş. Gör. Başak Barak'a (Eğitim Fakültesi, Matematik bölümü) tezimin matematiksel ifadelerini okuyup gerekli düzeltmeler konusunda bana yardımcı olduğu için teşekkür ederim.

Bana her zaman destek olan eşim Bilge Güngör'e, oğlum Berk Güngör'e ve aileme teşekkür ederim.

ANAEROBİK EŞİK ALTI ve ÜSTÜ BİSİKLET EGZERSİZİNDE OKSİJEN ALIM KİNETİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Tez çalışmasının amacı anaerobik eşik altı ve üstü egzersizlerin metabolik ve kardiyovasküler, oksijen alım kinetiği ve kas aktivitesi üzerindeki fizyolojik yanıtların değerlendirilmesidir.

Bu amaçla çalışmaya katılan denekler iki gruba (anaerobik eşik altı egzersiz n=12, anaerobik eşik üstü egzersiz n=12) ayrılmıştır. Altı haftalık bisiklet egzersizi öncesi ve sonrasında iki gruba da aynı testler uygulanmıştır. Bisiklet ergometresi ile 4 gün.hafta⁻¹ yapılan anaerobik eşik altı egzersiz yoğunluğu %90 AE ve anaerobik eşik üstü egzersiz yoğunluğu Δ %80 olmak üzere belirlenmiştir. Anaerobik eşik ve maksimal oksijen tüketimini belirlemek için artırmalı bisiklet egzersizi testi uygulanmıştır. Artırmalı testten sonraki gün anaerobik eşik altı (%90 anaerobik eşik) sabit yüklü altı dakikalık test ve anaerobik eşik üstü (Δ %80) sekiz dakikalık test uygulanmıştır. Testler sırasında oksijen tüketimi, laktat ve *tibialis anterior*, *gastrocnemius medialis*, *biceps femoris*, *vastus lateralis*, *vastus medialis* ve *rektus femoris* kaslarından EMG kayıtları alınmıştır.

İki egzersiz süresinin öncesinde parametreler arasında anlamlı fark yoktur. Hem 6 haftalık anaerobik eşik altı bisiklet egzersizi hem de 6 haftalık anaerobik eşik üstü bisiklet egzersizi sonrasında VO_{2maks} , kalp atım hızı $_{maks}$, anaerobik eşikteki VO_{2maks} yüzdesi ve laktat $_{maks}$ parametrelerinden oluşan kardiyovasküler ve metabolik parametreler istatistiksel olarak anlamlı derecede artış göstermiştir ($p<0.05$). Sabit yüklü egzersiz sonuçlarına göre oksijen alım kinetiklerinden O_2 ederi ($ml.dk^{-1}.W^{-1}$) her iki egzersiz sonrasında anlamlı derecede azalmıştır ($p<0.05$). Ancak O_2 ederi anaerobik eşik altı egzersiz sonrasında anaerobik eşik üstü egzersiz sonrasına göre yüzdesel olarak daha fazla azalmıştır (%7-%4). Altı haftalık anaerobik eşik altı ve eşik üstü egzersiz süreçlerinden sonra zaman sabiti τ_1 (sn) (%16-%20) ve τ_2 (sn) (%23-%33) anlamlı derecede azalmıştır. Altı haftalık iki egzersiz sonrasında da EMG yanıtlarında bir fark olmamıştır.

Sonuç olarak, iki egzersiz sonrasında da kardiyovasküler ve metabolik adaptasyon artmış ve oksijen alım kinetiği hızlanmıştır. Ancak bu hızlanma nöromusküler adaptasyon ile açıklanamamıştır.

Anahtar Kelimeler: Anaerobik eşik, oksijen alım kinetiği, EMG

EVALUATION of OXYGEN UPTAKE KINETICS on SUBTHRESHOLD and SUPRA THRESHOLD CYCLE EXERCISE

ABSTRACT

The aim of this study is to determine the physiological responses of sub-threshold and supra-threshold exercise on cardiovascular and metabolic parameters, oxygen uptake kinetics and muscle activity.

Subjects were divided to groups as a sub-threshold (n=12) and supra-threshold (n=12). Exercise test protocols were applied to two groups before and after the six-weeks exercise period. Maximal cycle ergometer ramp test was applied for to determine anaerobic threshold and maximal oxygen uptake. After this test, subjects return to the laboratory on a different day to perform 6 min constant load moderate intensity that elicited a $\dot{V}O_2$ corresponding to a 90% anaerobic threshold and 8 min constant load 8 min heavy intensity that elicited $\Delta\%80$. Oxygen uptake, lactate and electromyography (EMG) of *tibialis anterior*, *gastrocnemius medialis*, *biceps femoris*, *vastus lateralis*, *vastus medialis* and *rectus femoris* muscles were measured in the test periods.

Physiological parameters were not statistically different between two groups before the exercise periods. Cardiovascular and metabolic parameters ($\dot{V}O_{2\max}$, heart rate_{max}, $\dot{V}O_2$ at anaerobic threshold (% $\dot{V}O_{2\max}$), lactate_{max}) were increased after two-exercise periods ($p<0.05$). Oxygen uptake kinetics were changed after the two-exercise protocols. O_2 gain ($\text{ml}\cdot\text{dk}^{-1}\cdot\text{W}^{-1}$) was decreased after two exercise protocol similarly ($p<0.05$). Although the ratio was not statistically different after supra-threshold exercise O_2 gain ($\text{ml}\cdot\text{dk}^{-1}\cdot\text{W}^{-1}$) was more decreased than after sub-threshold exercise (%7-%4) ($p<0.05$). Time constant τ_1 (s) was also decreased statistically significant after sub-threshold and supra-threshold exercises in similarly ratios (%16-%20) ($p<0.05$). Second time constant τ_2 (s) as slow component kinetics was also decreased after two exercise protocols ($p<0.05$). But supra-threshold exercise was more effect on τ_2 (s) than sub-threshold exercise (%23-%33) ($p<0.05$). Before and after the six week exercise period there is no statistically significant differences in EMG activity.

In conclusion, this study demonstrates that 6-weeks of subthreshold and supra-threshold exercise resulted cardiovascular and metabolic adaptation and faster $\dot{V}O_2$ kinetics. But this acceleration was not explained with the neuromuscular adaptation.

Key Words: Anaerobic threshold, oxygen uptake kinetics, EMG

İÇİNDEKİLER

	SAYFA
ÖZGEÇMİŞ	i
TEŞEKKÜR	iv
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGE ve KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
GİRİŞ ve AMAÇ	1
Problem	1
Alt Problemler	1
Hipotez	1
Araştırmanın Önemi	2
Sınırlılıklar	2
KAYNAK BİLGİSİ	3
Enerji Sistemleri ve Egzersiz	3
Alaktik Anaerobik (Fosfojen Sistemi-ATP-CP Sistemi) Sistem	3
Laktik Anaerobik Enerji Sistemi (Anaerobik Glikolizis-Laktik Asit Sistemi)	4
Aerobik Enerji Sistemi	5
Aerobik Eşik	6
Anaerobik Eşik	7
Farklı Yoğunluklardaki Egzersizlerde Substrat Kullanımı ve RER	10
Aerobik Enerji Metabolizması Parametreleri	10
Maksimal Oksijen Tüketimi	10
Egzersiz Ekonomisi	13
Oksijen Açığı	13
Oksijen Alım Kinetikleri	15
VO₂ Nedir ve VO₂ Kinetikleri Nelerdir?	15
Sabit İş Yükü Egzersizleri	17
Anaerobik Eşik Altı Egzersizler	17

Birinci Faz (Kardiyodinamik Faz)	18
İkinci Faz (Hızlı Faz-Birinci faz-Temel Faz)	19
Üçüncü Faz	19
Anaerobik Eşik Üstü Egzersizler	20
Oksijen Alımının Yavaş Fazı	20
O₂ Taşıma ve Kullanımının Fizyolojik Temelleri	23
VO₂ Kinetiklerinin Model Karakterizasyonu	23
Ortalama Yanıt Süresi	23
Dinlenimde Oksijen Tüketimi	24
Oksijen Alımının Zaman Sabiti	24
Oksijen Alımının Yavaş Fazının Ekspansiyel Denklem ile Açıklanması	26
Veri Modellemesi	28
Sabit Yüklü Test Protokolleri	28
Egzersiz VO₂ Kinetiklerine Etkisi	30
Nöromüsküler Aktivasyon ve Oksijen Alımının Yavaş Fazı	31
GEREÇLER	35
Kullanılan Cihazlar	35
Kompüterize Aerobik Ergometre Sistemi	35
Oksijen Analizörü	36
Laktat Analizörü	37
EMG Cihazı	38
YÖNTEM	40
Etik	40
Denekler	40
Ölçüm Tasarımı	40
Ön Testler	41
Test Öncesi Hazırlıklar	41
Artırmalı Maksimal Egzersiz Testi	42
Artırmalı Egzersiz Test Sonuçlarının Analizi	42
Anaerobik Eşik Analizi	42
VO_{2maks} Değerini Belirlenmesi	46
Anaerobik Eşik Altı ve Eşik Üstü İş Yüklerinin Belirlenmesi	48
Sabit Yüklü AEAE ve AEÜE Testleri ve Modellemeleri	48

Dört Parametrelili Çift Eksponensiyel Denklem ile VO₂ Kinetiği	
Parametrelerinin Analizi	58
Elektromiyografi Ölçümleri	60
Egzersiz Protokolü	62
İstatistikler	63
BULGULAR ve TARTIŞMA	64
Bulgular	64
Metabolik ve Kardiyovasküler Yanıtlar	64
Oksijen Alım Kinetiği Yanıtları	66
Elektromiyografi Bulguları	70
Tartışma	79
SONUÇ ve ÖNERİLER	91
KAYNAKLAR	92
EKLER	99
EK 1. Etik Kurul Onayı	99
EK 2. Doktora Tezi Ölçüm Formu	101

ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL NO ve ADI	SAYFA
Şekil 1 Egzersiz Sırasında Kasta Kullanılan <i>ATP</i> ve Enerji Şeması	3
Şekil 2 Laktik Anaerobik Enerji Sistemi	5
Şekil 3 Aerobik Enerji Sistemi	6
Şekil 4 Laktat Eşiği, Laktat Birikiminin Başladığı Nokta, Solunum Eşiği	9
Şekil 5 Egzersiz Sırasında Maksimal Oksijen Alımını Sınırlandıran Fizyolojik Faktörler	12
Şekil 6 Oksijen Açığının Hesaplandığı Toplam Alanın Hacmi	14
Şekil 7 Oksijen Alım Kinetiğinin Hızlanmasının O_2 Açığı Üzerine Etkisinin Grafiği	14
Şekil 8 Akciğerlerden İskelet Kası Mitokondrisine Oksijenin Geçişi	15
Şekil 9 Atmosferden Egzersiz Yapan Kasların Mitokondrisine Oksijenin Taşınmasını Sağlayan Pulmoner-Kardiyovasküler ve Kas Yanıtlarının Koordinasyonu	16
Şekil 10 Anaerobik Eşik Altı Egzersizde Oksijen Tüketiminin Fazları	18
Şekil 11 Ağır Yüklü Bisiklet Egzersizinin Başında Qadriiceps Kaslarının Tip I ve Tip II Liflerinin Katılım Oranı ile Oksijen Kinetikleri	21
Şekil 12 Anaerobik Eşik Altı Bisiklet Ergometresi Testinde VO_2 Yanıtı	26
Şekil 13 Farklı Sabit Yüklü Egzersizlere VO_2 Yanıtlarının Grafikleri	29
Şekil 14 Kompüterize Aerobik Ergometre Sistemi	35
Şekil 15 Oksijen Analizörü	36
Şekil 16 Oksijen Tüketimi Ölçümü Sırasında Alınan Bir Görüntü	37
Şekil 17 EKF Biosen Marka Laktat Analizörü	37
Şekil 18 Delsys Marka EMG Ölçüm Cihazı	38
Şekil 19 Ölçüm Tasarımı	41
Şekil 20 Artırmalı Maksimal Bisiklet Testinin Protokolü	42
Şekil 21 Artırmalı Maksimal Bisiklet Egzersizi Sonucu Bir Kişiyeye Ait VO_2 ve VCO_2 Serpme Diyagramı	43
Şekil 22 Artırmalı Maksimal Bisiklet Egzersizi Sonucu Bir Kişiyeye Ait VO_2 ve VCO_2 Verilerinin Lineer Regresyon Sonucu	43

Şekil 23	Bir Kişiyeye Ait VO_2 ve VCO_2 Verilerinin Lineer Regresyon Sonucu Belirlenen Anaerobik Eşik Noktası	44
Şekil 24	Excel Programında Lineer Regresyon Sonucu Belirlenen Anaerobik Eşik Noktasına Karşılık Gelen Egzersiz Yoğunluğunu Belirlenmesi	45
Şekil 25	Artırmalı Maksimal Bisiklet Testi Sonucu Excel Dosyasında VO_{2maks} Değerini Belirlenmesi	46
Şekil 26	Artırmalı Maksimal Bisiklet Testi Sonucu VO_{2maks} Grafiği	47
Şekil 27	Sabit Yüklü AEÜE Testinin İş Yükünün Belirlenmesinde Kullanılan Δ Değerinin %80'inin Belirlenmesi	48
Şekil 28	Sabit Yüklü AEAE Kare Dalga Artışı Protokolü (01 numaralı denek örneği)	51
Şekil 29	Sabit Yüklü AEAE Testi Sonucu Bir Kişiyeye Ait VO_2 Grafiği	54
Şekil 30	İki Parametrelilik Tek Eksponensiyel Fonksiyonla Modellenen VO_2 Verisi	54
Şekil 31	Sabit Yüklü AEÜE Test Sonucu VO_2 Kinetiğinin Dört Parametrelilik Eksponensiyel Denklemi	59
Şekil 32	EMG Ölçümü Yapılan Tibialis Anterior, Vastus Medialis, Vastus Lateralis, Rektus Femoris, Gastrocnemius Medialis ve Biceps Femoris Kaslarına Yerleştirilen Delsys Sensörleri	60
Şekil 33	Bisiklete Biniş Sırasında İnsan Bacağının Modeli (sol) Başlangıç Fazı ve (sağ) İtiş Fazının Ortası	61
Şekil 34	Rektus Femoris, Vastus Lateralis ve Vastus Medialis Kaslarının en az Gürültü Aldığı Noktalar	61
Şekil 35	İki Egzersiz Programı Sonrası Sabit Yüklü AE Altı Test ile Belirlenmiş Zaman Sabitindeki Değişimin Bar Grafiği	67
Şekil 36	İki Egzersiz Programı Sonrası Sabit Yüklü AE Altı Test ile Belirlenmiş O_2 Ederindeki Değişimin Bar Grafiği	68
Şekil 37	İki Egzersiz Programı Sonrası Sabit Yüklü AE Altı Test ile Belirlenmiş O_2 Ederindeki Değişimin Bar Grafiği	68
Şekil 38	İki Egzersiz Programı Sonrasında Sabit Yüklü AEAE Testi Sonucu Ulaşılan Maksimal Laktat Değerlerinin Bar Grafiği	69
Şekil 39	İki Egzersiz Programı Sonrasında Sabit Yüklü AEÜE Testi Sonucu Ulaşılan Maksimal Laktat Değerlerinin Bar Grafiği	69

Şekil 40	AEAE Yapan Grupta 6 Haftalık Egzersiz Öncesi ve Sonrası <i>Tibialis Anterior</i> Kas Aktivitesi	71
Şekil 41	AEÜE Yapan Grupta 6 Haftalık Egzersiz Öncesi ve Sonrası <i>Tibialis Anterior</i> Kas Aktivitesi	71
Şekil 42	AEAE Yapan Grupta 6 Haftalık Egzersiz Öncesi ve Sonrası <i>Gastrocnemius Medialis</i> Kas Aktivitesi	72
Şekil 43	AEÜE Yapan Grupta 6 Haftalık Egzersiz Öncesi ve Sonrası <i>Gastrocnemius Medialis</i> Kas Aktivitesi	72
Şekil 44	AEAE Yapan Grupta 6 Haftalık Egzersiz Öncesi ve Sonrası <i>Vastus Medialis</i> Kas Aktivitesi	73
Şekil 45	AEÜE Yapan Grupta 6 Haftalık Egzersiz Öncesi ve Sonrası <i>Vastus Medialis</i> Kas Aktivitesi	73
Şekil 46	AEAE Yapan Grupta 6 Haftalık Egzersiz Öncesi ve Sonrası <i>Vastus Lateralis</i> Kas Aktivitesi	74
Şekil 47	AEÜE Yapan Grupta 6 Haftalık Egzersiz Öncesi ve Sonrası <i>Vastus Lateralis</i> Kas Aktivitesi	74
Şekil 48	AEAE Yapan Grupta 6 Haftalık Egzersiz Öncesi ve Sonrası <i>Rektus Femoris</i> Kas Aktivitesi	75
Şekil 49	AEÜE Yapan Grupta 6 Haftalık Egzersiz Öncesi ve Sonrası <i>Rektus Femoris</i> Kas Aktivitesi	75
Şekil 50	AEAE Yapan Grupta 6 Haftalık Egzersiz Öncesi ve Sonrası <i>Biceps Femoris</i> Kas Aktivitesi	76
Şekil 51	AEÜE Yapan Grupta 6 Haftalık Egzersiz Öncesi ve Sonrası <i>Biceps Femoris</i> Kas Aktivitesi	76
Şekil 52	AEAE Yapan Grupta 6 Haftalık Egzersiz Öncesi ve Sonrası <i>Tibialis Anterior, Gastrocnemius Medialis, Vastus Medialis,</i> <i>Vastus Lateralis, Rektus Femoris ve Biceps Femoris</i> Kas Aktivitelerinin iEMG Grafikleri (AEAE Grubu)	77
Şekil 53	AEÜE Yapan Grupta 6 Haftalık Egzersiz Öncesi ve Sonrası <i>Tibialis Anterior, Gastrocnemius Medialis, Vastus Medialis,</i> <i>Vastus Lateralis, Rektus Femoris ve Biceps Femoris</i> Kas Aktivitelerinin iEMG Grafikleri (AEÜE Grubu)	78

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE NO ve ADI	SAYFA
Çizelge 1 Anaerobik Eşik Belirleme Protokolleri	8
Çizelge 2 Zaman Sabitlerinin ΔVO_2 'ye Ulaşma Yüzdesi Açısından Değişimi	13
Çizelge 3 Sabit Yüklü Anaerobik Eşik Altı ve Üstü Egzersiz Protokolleri	20
Çizelge 4 $VO_2(b)$ Parametresini Değerlendirmek için Kullanılan Protokoller	24
Çizelge 5 Çift Eksponensiyel Fonksiyonda VO_2 Genliklerinin Açıklamaları	28
Çizelge 6 Veri Modellemesinde Kullanılan Başlama ve Bitiş Noktaları	28
Çizelge 7 Sabit Yüklü Egzersizlerde Kullanılan Test Protokolleri	30
Çizelge 8 Antrenmanın Zaman Sabiti Değerlerine Etkisi	30
Çizelge 9 Dayanıklılık Antrenmanının Öğeleri	31
Çizelge 10 Farklı Yaşlarda Dayanıklılık Antrenmanının Zaman Sabitine Etkisi	31
Çizelge 11 Literatürde Oksijen Alımının Yavaş Fazında Yapılan EMG Ölçümlerinde İncelenen Parametreler ve Kaslar	32
Çizelge 12 Deneklerin Tanımlayıcı Değişkenleri	40
Çizelge 13 Bir Kişinin Verilerine Göre Anaerobik Eşik ve VO_{2maks} Parametrelerinden AEAE ve AEÜE İş Yüklerinin Belirlenmesi	49
Çizelge 14 Bireysel Sabit Yüklü AEAE ve AEÜE İş Yükleri ve Kalp Atım Hızları Listesi	50
Çizelge 15 Sabit Yüklü AEAE Testi Sonucu Elde Edilen Bir Kişiye Ait VO_2 Verisi	51
Çizelge 16 En İyi Eğri Uydurma İşleminin Sonuçları	55
Çizelge 17 Sabit Yüklü AEAE Testi Sonucunda Elde Edilen VO_2 Kinetik Parametreleri	57
Çizelge 18 Altı Haftalık Anaerobik Eşik Altı ve Üstü Egzersiz Programlarının Süresi ve Sıklığı	62

Çizelge 19	Artırmalı İş Yükünde Uygulanan Testte AE Altı Egzersiz Öncesi ve Sonrasında Metabolik ve Kardiyorespiratuar Parametrelerin Değerleri	64
Çizelge 20	Artırmalı İş Yükünde Uygulanan Testte AE Üstü Egzersiz Öncesi ve Sonrasında Metabolik ve Kardiyorespiratuar Parametrelerin Değerleri	65
Çizelge 21	Anaerobik Eşik Altı Egzersiz Öncesi ve Sonrasında Anaerobik Eşik Altı ve Eşik Üstü Egzersizde VO ₂ Modelinin Parametreleri	66
Çizelge 22	Anaerobik Eşik Üstü Egzersiz Öncesi ve Sonrasında Anaerobik Eşik Altı ve Eşik Üstü Egzersizde VO ₂ Modelinin Parametreleri	67

SİMGE ve KISALTMALAR DİZİNİ

AE	:Anaerobik eşik/laktat eşığı/gaz değişim eşığı
ADP	:Adenozin difosfat
ATP	:Adenozin trifosfat
AEAE	:Anaerobik eşik altı egzersiz
AEÜE	:Anaerobik eşik üstü egzersiz
a-v(O ₂ maks)	:Arterio-venöz oksijen farkı
C	:Kreatin
CaO ₂	:Arteriyel oksijen konsantrasyonu
CHO	:Karbonhidrat
CvO ₂	:Venöz oksijen konsantrasyonu
CP	:Kreatin fosfat
EMG	:Elektromiyografi
End-tidal CO ₂	:Karbondioksitin parsiyel basıncı
End-tidal O ₂	:Oksijenin parsiyel basıncı
Tip IIa	:Hızlı kasılan kas lifleri
VE	:Dakika ventilasyon
VCO ₂	:Pulmoner karbondioksit atılımı
VE	:Ventilasyon eşığı
VO ₂	:Pulmoner oksijen alımı
VO ₂ maks	:Maksimal oksijen tüketimi
MF	:Medyan frekansı
MUAP	:Motor ünite aksiyon potansiyeli
M dalgası	:Direk motor yanıt
P	:Fosfat
PaCO ₂	:Karbondioksit kısmi basıncı
RER	:Solunum değişim oranı
RMS	:Kare kök ortalaması
sEMG	:Yüzeyel EMG
SYA	:Serbest yağ asitleri
Δ	:‘delta’ ; VO ₂ maks ve anaerobik eşik arasındaki yüzde oranı

GİRİŞ ve AMAC

Sporada aerobik performansı değerlendirmede maksimal oksijen tüketimi, egzersiz ekonomisi ve laktat eşiği olmak üzere geleneksel parametreler kullanılmaktadır. Dinamik oksijen tüketimi (VO_2) yanıtlarının hızlı ve yavaş fazlarının fizyolojik öneminin anlaşılması ile dayanıklılık ve performanstaki sınırlarının daha iyi belirlenebileceği belirtilmektedir (Burnley ve Jones., 2007). Oksijen alım kinetiğine egzersizin etkisini belirlemeye yönelik olarak literatürde kesitsel ve boylamsal araştırmalar bulunmaktadır (Caputo ve Denadai, 2004; Saunders ve ark., 2000). Kesitsel çalışmalara bakıldığında sporcuların sedanter bireylere göre oksijen alım kinetiğinin hızlı olduğu belirtilmiştir. Egzersizin τVO_2 süresini kısalttığı literatürdeki çalışmalarda belirtilmiştir (Caputo ve Denadai, 2004; Cooper ve Storer, 2001). Dayanıklılık egzersizi (%70 VO_{2maks}) sonrası oksijen alımı kinetiği hızlandığını (Murias ve ark., 2010; Murias ve ark., 2011) oksijen alımının yavaş fazının ise egzersiz sonrası değişmediğini (Demarle ve ark., 2001) ve azaldığını (Bailey ve ark., 2009) belirten araştırmalar bulunmaktadır.

Oksijen alım kinetiği ve kassal aktivite ilişkisini belirlemek amaçlı kesitsel araştırmalar da literatürde yer almaktadır (Saunders ve ark., 2000; Borrani ve ark., 2001; Tordi ve ark., 2003; Scheurmann ve ark., 2001).

Ancak farklı yoğunluklardaki egzersizler sonrası oksijen alım kinetiğindeki değişim ile kas aktivitedeki değişimi belirleyen araştırmaya rastlanmamıştır.

Bu araştırmanın amacı anaerobik eşik altı ve üstü egzersizlerin metabolik ve kardiyovasküler, oksijen alım kinetiği ve kas aktivitesi fizyolojik yanıtları üzerine etkisini değerlendirmektir.

Problem

Altı haftalık anaerobik eşik altı ve eşik üstü egzersiz sonucu metabolik ve kardiyovasküler, oksijen alım kinetiği ve kas aktivitesi fizyolojik yanıtlarında fark var mıdır?

Alt Problemler

Altı haftalık anaerobik eşik altı ve eşik üstü egzersiz sonucu metabolik yanıtlarda fark var mıdır?

Altı haftalık anaerobik eşik altı ve eşik üstü egzersiz sonucu kardiyovasküler yanıtlarda fark var mıdır?

Altı haftalık anaerobik eşik altı ve eşik üstü egzersiz sonucu kas aktivitesinde fark var mıdır?

Hipotez

H1: Altı haftalık anaerobik eşik altı ve eşik üstü egzersiz sonucu metabolik ve kardiyovasküler, oksijen alım kinetiği ve kas aktivitesi fizyolojik yanıtlarında fark vardır.

H0: Altı haftalık anaerobik eşik altı ve eşik üstü egzersiz sonucu metabolik ve kardiyovasküler, oksijen alım kinetiği ve kas aktivitesi fizyolojik yanıtlarında fark yoktur.

Araştırmanın Önemi

AEAE ve AEÜE'lerin kardiyovasküler, metabolik, oksijen alım kinetiği ve kas aktivitesine etkilerinin belirlenmesine yönelik olan bu çalışma; antrenörler, sporcular ve yaşam kalitesini artırmaya yönelik spor yapan kişilere yol göstermesi açısından önemli olacaktır.

Sınırlılıklar

Bu araştırma;

- Alt ekstremitte sakatlığı olmayan, spor yapmayan, 20-24 yaş grubu içerisindeki Anadolu Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesinde okuyan erkek öğrencilerle sınırlandırılmıştır.
- Uygulanan egzersiz programları AEAE olarak %90 anaerobik eşik ve AEÜE olarak Δ %80 iş yükü ile sınırlıdır.
- Alt ekstremitedeki sadece altı kas grubunun elektromiyografik aktivitesinin değerlendirilmesi ile sınırlandırılmıştır.
- Toplam 6 hafta olmak üzere, haftada 4 gün, 30 dakikalık bisiklet egzersizi ile sınırlandırılmıştır.
- Performans değerlendirmeleri; kardiyovasküler, metabolik, oksijen alım kinetiği ve kas aktivitesi fizyolojik yanıtları ile sınırlandırılmıştır.

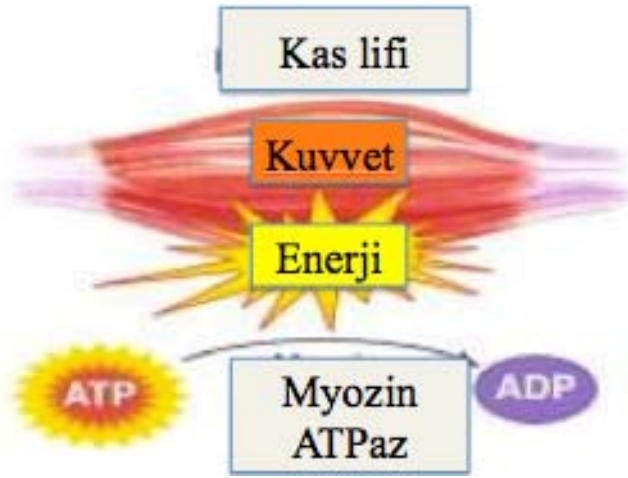
KAYNAK BİLGİSİ

Enerji Sistemleri ve Egzersiz

İnsan vücudu gerekli enerjiyi aerobik ve anaerobik enerji metabolik yollarından sağlamaktadır. Çalışan kasların enerjiye ihtiyacı vardır. Herhangi bir egzersiz yapılırken gerekli enerji kaynağı farklı sistemlerle sağlanmaktadır. Farklı enerji sağlama sistemlerinin kendine has özellikleri olduğu belirtilmektedir. Enerji üç sistem ile sağlanmaktadır. Üç enerji sistemi de ATP tükenmesini engellemek için kas hücresinin metabolik fabrikası gibi çalışmaktadırlar. Enerji kaynağı olarak ATP metabolik yollarla üretilmektedir. Fosfojen sistem, anaerobik sistem ve aerobik sistemin kullanımı egzersizin yoğunluğuna göre değişebilmektedir (Plowman ve Smith, 2013; Janssen, 2001; McArdle ve ark., 2010).

Alaktik Anaerobik Sistem (Fosfojen Sistem- ATP-CP Sistemi)

Fosfojen sistemi enerjiyi, oksijene veya laktik asit üretmeye gerek duymadan direkt olarak sağlamaktadır. *Adenozin trifosfat* (ATP) kas kasılmasını sağlayan hücre içindeki nükleotittir. Kas aktivitesi sırasında **Şekil 1**'de görüldüğü gibi ATP adenozin difosfata (ADP) parçalanmakta ve enerji açığa çıkmaktadır (Plowman ve Smith., 2013).



Şekil 1. Egzersiz Sırasında Kasta Kullanılan ATP ve Ortaya Çıkan Enerji Şeması (Dunford ve Doyle, 2011)

Alaktik anaerobik enerji sisteminde *Kreatin* (C) ve *fosfatın* (P) birleşmesi ile **Eşitlik 1**'de görüldüğü gibi *kreatin fosfat* (CP) oluşur. CP'tan bir fosfat kopmakta ve bu fosfat ADP'ye bağlanmaktadır. Bu durumda ATP oluşmakta ve C açığa çıkmaktadır (**Eşitlik 2**). Kas kasılması için ATP'nin parçalanması ile ADP, P ve enerji açığa çıkar (**Eşitlik 3**) (Plowman ve Smith, 2013).



(Plowman ve Smith., 2013)

Enerji sağlamak için ATP parçalandığında tekrar kullanılmak üzere resentezinin olması gerekir. Refosforilizasyon olarak isimlendirilen bu süreçte ADP'den ATP resentezi ile depolar yenilenir (Eşitlik 2). Bu resentez sürecinde çalışan kaslar için gerekli olan ATP miktarı sağlanmaktadır. Alaktik anaerobik sistem de CP önemli bir yardımcı sistemdir. Kreatin fosfat, kasta depo halde bulunan yüksek enerji fosfatıdır. Eşitlik 2'de görüldüğü gibi ADP'den ATP'nin resentezi hızlı bir şekilde sağlanmaktadır (McArdle ve ark., 2010; Dunford ve Doyle, 2011; Fink ve Mikesky, 2013).

ATP depoları 2-3 saniyelik maksimal eforlar için yeterli iken CP depolarının da 6-8-9 saniye yeterli olduğu belirtilmektedir. Kasta bulunan ATP ve CP parçalanması ile elde edilen enerji aktivitenin başında kullanılmaktadır. Bu sistemin, sprinterlerin çıkışlarında, futbolcularda, atlayıcılarda, boksörlerde ve tenis oyuncularında yani patlayıcı, kısa süreli, hızlı, güce dayalı aktivitelerde önemli olduğu belirtilmektedir. Hareketsiz konumdan 1 sn içerisinde maksimum hıza geçme sırasında fosfojen sistem devreye girmektedir (Bonci, 2009; McArdle ve ark., 2010; Dunford ve Doyle, 2011; Fink ve Mikesky, 2013).

Laktik Anaerobik Enerji Sistemi (Anaerobik Glikolizis-Laktik Asit Sistemi)

Egzersizin seviyesi arttıkça vücutta oksijen sisteminin daha fazla devam edemeyecek bir noktaya geldiği belirtilmektedir. Bu noktanın anaerobik veya laktat sistemin laktik asit üretmeye başladığı yer anlamına geldiği belirtilmektedir. Egzersizin bu safhasında enerji gereksinimi oksijen sisteminin ikinci fazındadır. Oksijen sisteminin ikinci fazında asidoz olarak bilinen çalışan kaslarda laktik asit birikimi artmaktadır. Laktat, anaerobik glikolizisin son ürünü olarak belirtilmektedir (**Şekil 2**) (Janseen, 2001; Dunford ve Doyle, 2011).

Anaerobik glikoliz enerji sistem olarak kullanıldığında, glukoz veya glikojen konsantrasyonu azalmakta ve hücredeki laktat konsantrasyonu artmaktadır. Eskiden laktat metabolik olarak “atık ürün” bazen de “kasın zehri” gibi düşünülmekteydi. Ancak laktat molekülü ve öncelikle enerji sistemi olarak glikolizin kullanıldığı yüksek yoğunluktaki egzersizle ilişkili asidite arasında ayırım vardır. Bu asidite hücresel süreçte bozulma ile sonuçlanmaktadır. Fakat laktat molekülünün atık ürün olmaktan öte vücuttaki hücreler tarafından kullanılan önemli bir yakıt kaynağı olduğu söylenmektedir (Janseen, 2001; Dunford ve Doyle, 2011).

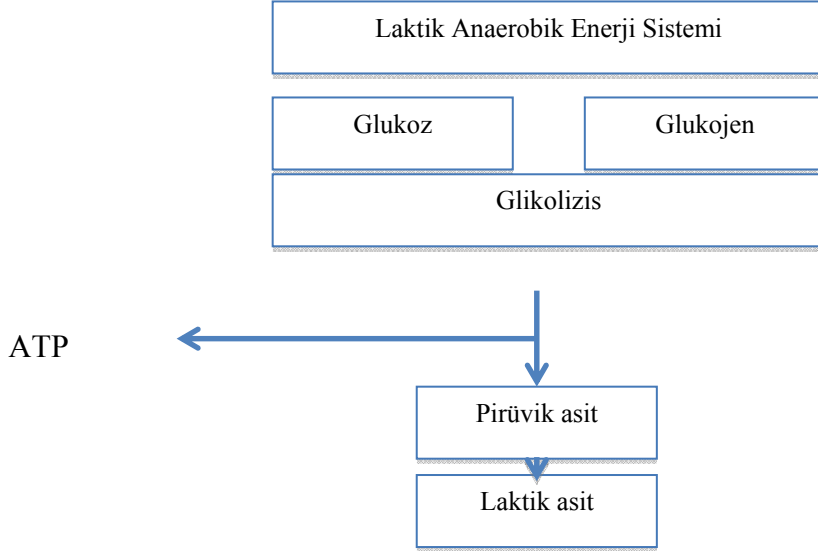
Glukoz+ADP → laktik asit +ATP

(Eşitlik 4)

Asidozun artması ile sporcuların egzersizi aynı seviyede yapamamaya başladığı belirtilmektedir. Bu nedenle sporcuda asidoza ulaşma süresinin uzatılması önemlidir. Egzersizin şiddeti arttırıldığında yakıt olarak sadece karbonhidratların kullanıldığı bir çeşit acil durum enerji kaynağı yani anaerobik sistem devreye girer. Sporcunun performans düzeyine göre saniyeler ya da dakikalar sonra kişinin performansında azalma olur ve hatta aktivite kas yorgunluğunun artması ile laktat birikiminden dolayı sonlandırılır. Maksimum laktat oranı kişinin dinlenme değerinin 20 katı olabilmektedir (Janseen, 2001; Dunford ve Doyle, 2011).

Bazı sporcular çok yoğun bir antrenman programı ile çalışırlar ama değişiklik yapmayabilirler (Janseen, 2001; Dunford ve Doyle, 2011).

Bazı sporcular da yoğunluğu çok düşük tuttuğunda antrenmanın istenilen etkiye ulaşmadığı belirtilmektedir. Uygun antrenman yoğunluğu laktat ve kalp atım hızı kayıtları ile belirlenmelidir. Böylece daha az antrenmanla bile daha çok gelişim sağlanmış olabilecektir (Janseen, 2001; Dunford ve Doyle, 2011).



Şekil 2. Laktik Anaerobik Enerji Sistemi (Plowman ve Smith., 2013)

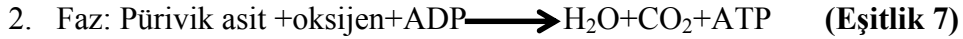
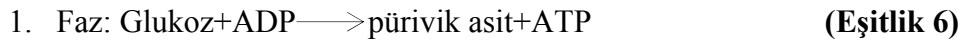
Aerobik Enerji Sistemi (Oksijen Sistemi-Aerobik Oksidasyon)

Aerobik egzersiz sırasında bireysel farklılıkların, solunum, dolaşım, kas ve endokrin sistemlerin kombine bir şekilde etkisine bağlı olduğu belirtilmektedir (Bonci, 2009; McArdle ve ark., 2010; Dunford ve Doyle, 2011).

Aerobik sistem olarak da isimlendirilen oksijen sistemi besinlerin yakılmasına yardımcı bir sistemdir. Karbonhidratlar, glikojen formunda kasta ve karaciğerde depo halde bulunmaktadır. Genelde bu glikojen deposunun 60-90 dk arasındaki sub-maksimal egzersizde kullanılacak kadar olduğu belirtilmektedir. Yağların parçalanması ise Eşitlik 5’de görüldüğü gibidir.



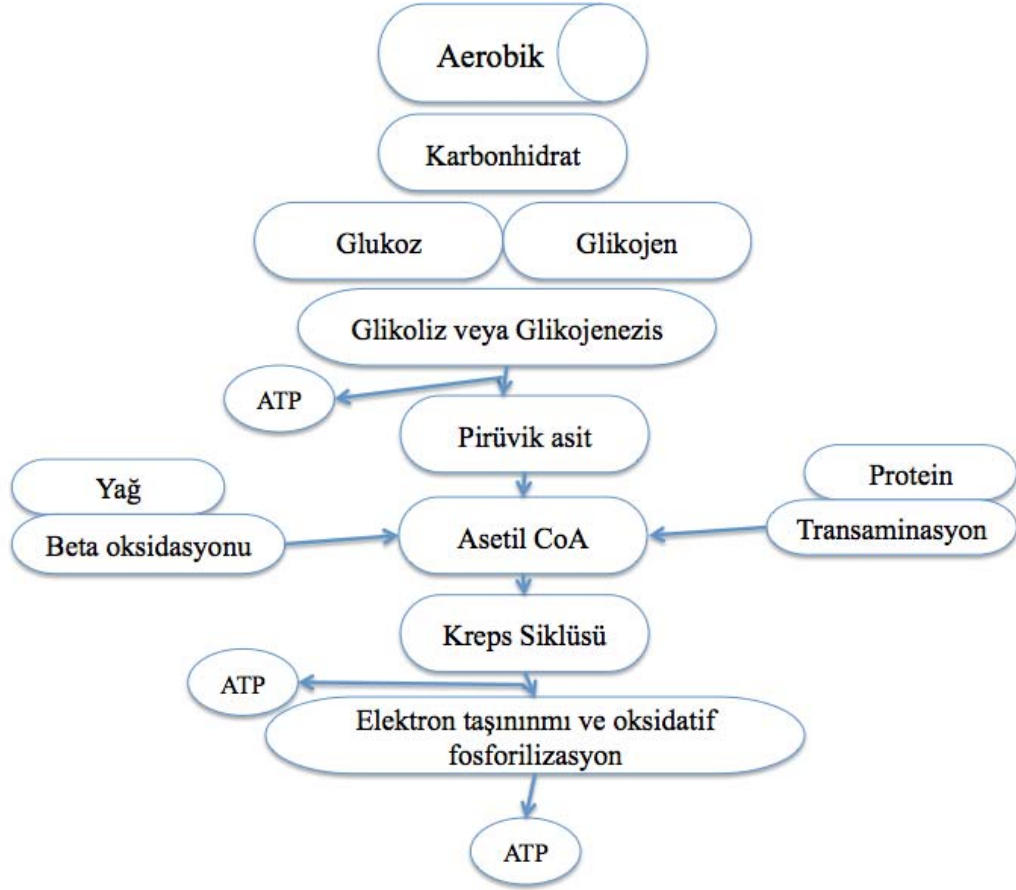
Elde edilen CO_2 akciğerlerden atılmaktadır. Glikolizis olarak isimlendirilen karbonhidratların parçalanması daha komplekstir ve iki fazda incelenmiştir (Eşitlik 6 ve Eşitlik 7).



Şekil 3’de aerobik glikolizis ile ATP üretme süreci açıklanmaktadır. Egzersizde ATP ihtiyacı laktik anaerobik sistemin karşılayamacağı düzeyde ise aerobik sistem devreye girmektedir (Janseen, 2001; Dunford ve Doyle, 2011).

İkinci faz oksijeni kullanırken ilk faz oksijeni kullanmamaktadır. Eğer egzersiz hafif düzeyde ise laktik asit üretimi ikinci fazda pürüvik aside geri dönüşüp aerobik sistemde kullanılmak üzere mitokondriye taşınmakta ve aerobik enerji elde edilmektedir (Janseen, 2001; Dunford ve Doyle, 2011).





Şekil 3. Aerobik Enerji Sistemi (Plowman ve Smith., 2013)

Dinlenme koşullarında temelde aerobik enerji sistemi vücudun ihtiyacı olan tüm enerjii sağlamaktadır. Aktivite orta düzeyde bir yoğunlukta olduğunda oksidasyon hızlı bir şekilde artmakta ve gerekli olan ATP sağlanmaktadır. Eğer iş yükü devamlı bir şekilde artıyorsa aerobik oksidasyon maksimal düzeye ulaşmaya kadar artmaktadır. Sonuç olarak alaktik anaerobik, laktik anaerobik ve aerobik enerji sistemleri yapılan egzersizin yoğunluğuna, süresine bağlı olarak farklı düzeylerde katkı sağlamaktadır (Plowman ve Smith, 2013).

Aerobik Eşik

Aerobik eşik, kan laktat konsantrasyonunun dinlenme değerinin üzerine çıktığı nokta olarak belirtilmektedir. Aerobik eşik, laktatın 2 mmol civarında olduğu nokta olarak gösterilmektedir (Nolte, 2011). Literatürde aerobik eşik, laktat-hız eğrisinde ilk kırılmanın olduğu yer olarak da tanımlanmaktadır. Sabit bir değer ya da sabit bir artış oranı belirlemek yerine dinlenme değerlerinin üzerindeki ilk değer aerobik eşik olarak belirlenebilmektedir (Maglischo, 2003).

Bu egzersiz seviyesinde kas liflerinin çoğunluğunun aerobik olarak çalıştığı belirtilmiştir. Aerobik eşik, aktivite süresince harekete katılan kas lifi tiplerinin değişmesi nedeni ile oluşmaktadır (Nolte, 2011).

Düşük seviyedeki egzersizde yavaş kasılan kas lifleri aktifken egzersizin yoğunluğu arttıkça daha fazla kas lifinin aktif olduğu ve yorgunlukla beraber hızlı kasılan kas lifleri de aktif olmaya başladığı belirtilmiştir (Nolte, 2011).

Hızlı kasılan kas liflerinin (Tip IIa) işe katıldığı ilk an kan laktatında artışla sonuçlanır ve aerobik eşik olarak tanımlanmaktadır (Nolte, 2011).

Anaerobik Eşik

Anaerobik eşik artırmalı bir egzersizde hem kan laktat değerlerinden hem de oksijen tüketimi değerlerinden belirlenebilmektedir (Nolte, 2011; McArdle ve ark., 2010; Endo ve ark., 2007). Anaerobik eşik kan laktat konsantrasyonunun 4 mmol değerine ulaştığı egzersiz yoğunluğu olarak tanımlanmaktadır (Nolte, 2011).

Artırmalı bir iş yükünde uygulanan egzersiz testinde oksijen tüketiminin ölçülmesi ile bir V slope (V eğrisi) elde edilmektedir. Pulmoner oksijen alımı (VO_2) ve pulmoner karbondioksit atılımı (VCO_2) grafiği incelendiğinde egzersizin başlarında paralel giden artışın bir noktada glikolizin artması ile toplanmaya başlayan laktik asidin tamponlanması sonucu VCO_2 eğrisinin fazladan yükselmesi ile bozulduğu görülmektedir. Aerobik metabolizmanın aktif olduğu süreçte VCO_2 eğrisi VO_2 eğrisi ile doğrusal (lineer) bir şekilde artış göstermektedir ve $VCO_2 \cdot VO_2^{-1}$ oranı 1'in altında olmaktadır. Aerobik metabolizmadan anaerobik metabolizmaya geçiş sırasında ise VCO_2 eğrisi VO_2 eğrisine göre daha fazla artış göstermektedir. Bunun sonucu olarak solunum değişim oranı (RER) 1'in üzerine çıkmakta ve bu nokta laktat asidoz eşiği veya anaerobik eşik olarak tanımlanmaktadır. Anaerobik eşik noktası karbondioksitin fazla tüketildiği an olarak belirlenmektedir. Artırmalı egzersiz testinde anaerobik eşik sırasında hiperventilasyon oluşmadığı belirtilmektedir (Wasserman ve ark., 2005; McArdle ve ark., 2010). Anaerobik eşik belirlemek için bisiklet ergometresinde uygulanan protokoller **Çizelge 1**'de verilmiştir (Wasserman ve ark., 2005; McArdle ve ark., 2010). Yöntem bölümünde **Şekil 23**'de V slope eğrisi ile VCO_2 'nin VO_2 'ye göre daha fazla artış gösterdiği nokta (anaerobik eşik) bir kişi örneği üzerinden gösterilmiştir (McArdle ve ark., 2010; Endo ve ark., 2007).

Anaerobik eşik, aerobik metabolizmanın enerji gereksinimini sağlamada yetersiz kaldığı ve anaerobik metabolizmadan destek aldığı noktadaki VO_2 ($ml \cdot kg^{-1} \cdot dk^{-1}$) değer olarak belirlenmektedir. Egzersizin bu safhasında pulmoner ventilasyonun hücresel düzeydeki oksijen ihtiyacını daha fazla karşılayamaz hale geldiği belirtilmiştir (McArdle ve ark., 2010; Endo ve ark., 2007).

Ventilasyon eşiği olarak da tanımlanan anaerobik eşik genelde maksimal oksijen tüketiminin (VO_{2maks}) %45-60'ı arasında görülmektedir. Ancak hastalarda bu oran %35 VO_{2maks} oranları kadar düşük olabilirken sporcularda %80 VO_{2maks} kadar yüksek olabilmektedir. Dolayısıyla bu oran egzersiz yoğunluğunu belirlemede önemlidir. Örneğin bir kişi için %60 VO_{2maks} yoğunluğunda egzersiz yapmak anaerobik eşik üstü iken bir başkası için eşik altı olabilmektedir. Bu nedenle sabit yüklü egzersizlerde yapılan VO_2 kinetiği araştırmalarında **Eşitlik 9**'da belirtilen yüzde delta ($\% \Delta$) kavramı egzersiz yoğunluğunu normalize etmede kullanılmaktadır (McArdle ve ark., 2010; Endo ve ark., 2007; Jones ve Poole, 2005).

$$VO_{2maks} - VO_2 (AE) = \Delta$$

(Eşitlik 9)

Kişinin VO_{2maks} değeri ile anaerobik eşikteki VO_2 değeri arasındaki farkın belli yüzdelerinin alınması ile iş yükü belirlenmektedir (McArdle ve ark., 2010; Endo ve ark., 2007; Jones ve Poole, 2005).

Tez araştırmasındaki veriler üzerinden çizilen grafikte Δ kavramı yöntem bölümünde **Şekil 27**'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Anaerobik Eşik Belirleme Protokolleri

Referans	İş yükü artırma oranı (W.dk ⁻¹)	Devir (devir.dk ⁻¹)	Testi Sonlandırma kriteri
Tordi ve ark., (2003)	30	80	75 devir.dk ⁻¹ pedal frekansının altına düşme
Koga ve ark., (2001)	25	60	yorgunluk
Palmer ve ark., (1999)	20		VO_{2maks}
Hug ve ark., (2004)	20		VO_{2maks}
Gravelle ve ark., (2012)	20	70-80	50 devir.dk ⁻¹ pedal frekansının altına düşme
Endo ve ark., (2007)	20	60	50 devir.dk ⁻¹ pedal frekansının altına düşme

Artırmalı maksimal testte asit tamponlanması ile açığa çıkan karbondioksit solunum değişim oranının (RER) 1'in üzerine çıkmasına neden olmaktadır (McArdle ve ark., 2010).

$$RER = VCO_2 \cdot VO_2^{-1}$$

(Eşitlik 10)

Eşitlik 10'da görüldüğü gibi RER değeri tüketilen VCO_2 'nin VO_2 'ye oranını göstermektedir (Bronas., 2007). RER değeri, kişinin kardiyovasküler dinamikler oksijen gereksinimlerini karşılayamama noktasına gelmeden ne kadar egzersiz yapabileceğini gösteren bir ölçü olarak tanımlanmıştır (Pyke, 2012).

Metabolik asidoz olarak da isimlendirilen anaerobik metabolizmanın başlama noktasını noninvaziv olarak belirlemek için insanlarda **Çizelge 1**'de gösterilmiş araştırmalarda kullanılan protokollerle artırmalı egzersiz testi ile gaz değişimi değerlendirilmektedir. Gaz analizörü ile ekspire edilen hava, O_2 ve CO_2 oranları devamlı gözlenip dakika ventilasyon (VE), VCO_2 , VO_2 ve RER oranı kaydedilmektedir (Pyke, 2012; McArdle ve ark., 2010).

Artırmalı bir iş yükünde uygulanan egzersiz testinde oksijen ve karbondioksit tüketimi egzersizin başlarında paralel giderken bir noktada karbondioksit tüketimi oksijene göre daha fazla artış göstermektedir (Pyke, 2012; McArdle ve ark., 2010).

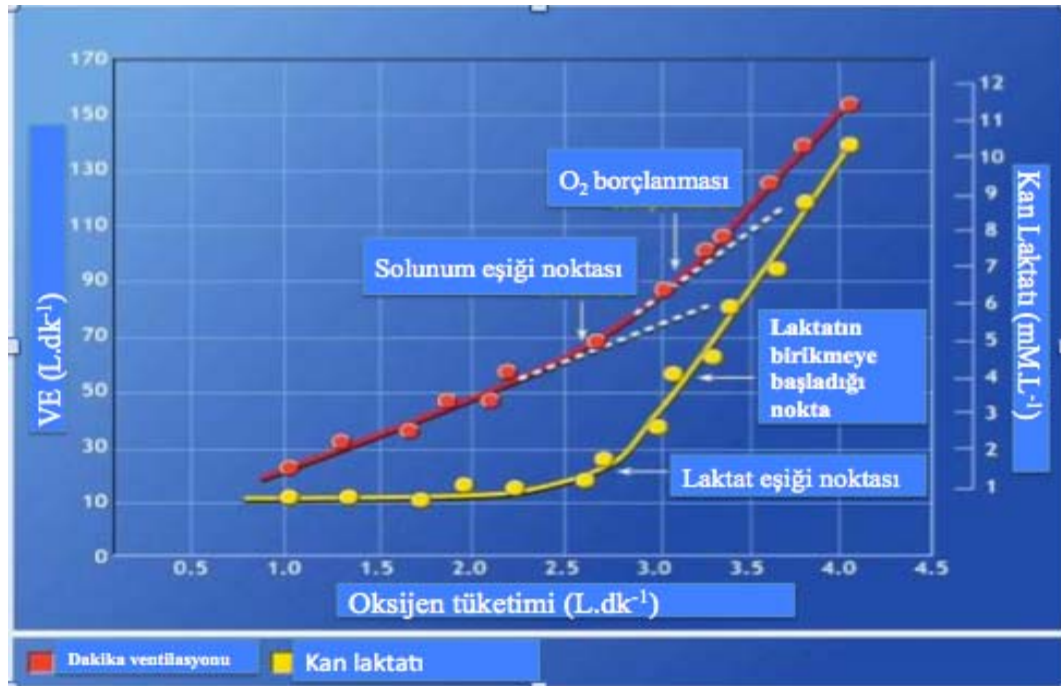
Bu nokta aerobik metabolizmanın anaerobik metabolizmadan destek aldığı noktadaki oksijen tüketimi olarak belirtilmekte ve anaerobik eşik noktasını göstermektedir (Pyke, 2012; McArdle ve ark., 2010).

Anaerobik eşik (AE); artırmalı iş yükünün olduğu bir protokolda (Çizelge 1) yapılan değerlendirmede aşağıdaki parametrelerin gerçekleşme durumu olarak tanımlanmıştır:

- VE' nin doğrusal olmayan artışı,
- VCO₂' nin doğrusal olmayan artışı,
- End-tidal O₂ artarken, end tidal CO₂'nin azalması,
- RER değerinin yükselmesi (Wasserman ve ark., 2005; McArdle ve ark., 2010).

Şekil 4'de artırmalı bir egzersiz sonucu VO₂, VE ve kan laktatındaki değişim grafikte gösterilmiştir. VE'nin doğrusal artışının bozulduğu nokta solunum eşik noktası olarak kırmızı grafikte okla gösterilmiştir. Anaerobik eşik noktası antrenmen yoğunluğunu belirlemek ve anaerobik eşik gelişirebilmek açısından önem taşımaktadır (Pyke, 2012; McArdle ve ark., 2010).

Üst düzey sporcular %80-85 VO_{2maks} düzeyinde antrenman yapabilirlerken daha alt düzey sporcular aynı mesafede %70-75 VO_{2maks} seviyesinde performans gösterebilmektedirler. Anaerobik eşik düzeyinde antrenman yapmanın VO_{2maks} ve anaerobik eşik geliştirdiği belirtilmektedir (Pyke, 2012; McArdle ve ark., 2010).



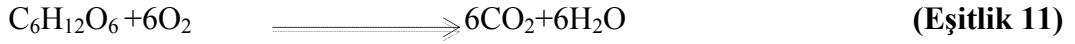
Şekil 4. Laktat eşik, laktat birikiminin başladığı nokta, solunum eşik (McArdle ve ark., 2010)

Farklı Yoğunluklardaki Egzersizlerde Substrat Kullanımı ve RER

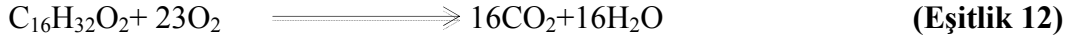
AEAE'lerde substrat kullanımının egzersiz süresi, beslenme, egzersizin relatif yoğunluğu gibi faktörlere bağlı olduğu belirtilmektedir. Kas glikojeni AEÜE'lerde temel yakıttır. Fakat ilerleyen zamanlarda serbest yağ asitleri (SYA) temel enerji kaynağı haline gelmektedir. AEÜE'lerde SYA katkısı azalırken karbonhidratlar (CHO) dominant enerji kaynağı haline gelmektedir. AEAE'de CHO ve SYA'lerinin toplam enerjiye katkı oranları ise RER değeri ile belirlenmektedir. (Armstrong ve McManus, 2011).

Solunum değişim oranı dinlenim sırasında vücut metabolizmasının CHO ve yağları beraber kullandığı 0.7-0.95 arası olarak belirtilmiştir. Dinlenim RER oranı kişilerin beslenme durumlarına göre değişiklik gösterebilmektedir. Testten 4 saat öncesine kadar beslenmemiş olan normal deneklerin dinlenim RER oranının 0.85 olduğu belirtilmiştir. Uzun süreli açlık RER oranının azalmasına neden olurken karbonhidratla beslenme 1.0 değerinin üzerine çıkmasına neden olabilmektedir. Eğer metabolik yakıt karbonhidrat ise RER oranı 1.0, yağlar ise RER oranı 0.7 olarak belirtilmektedir (Bronas., 2007). **Eşitlik 11**'de belirtildiği gibi egzersizde ya da dinlenim durumunda karbonhidratlar kullanıldığında CO₂ ve O₂ oranı 6-6 olduğundan RER 1 olmaktadır. Yağ metabolizması kullanıldığında ise CO₂ ve O₂ oranı 16-23 olduğundan RER 0.70 olmaktadır (Carey, 2009).

Karbonhidrat



Yağ



Anaerobik eşikte veya altında yapılan egzersizlerde VO₂ ve VE kararlı duruma ulaşır. Ancak anaerobik eşğin üzerindeki egzersizlerde VO₂ ve VE kararlı duruma ulaşma süresi uzar ya da ulaşmaz. Çünkü laktik asidozun gelişmesinden birkaç dakika sonra karbondioksitin kısmi basıncı (PaCO₂) artmaktadır (Wasserman ve ark., 2005).

Aerobik Enerji Metabolizmasının Parametreleri

Maksimal Oksijen Tüketimi (VO_{2maks})

VO_{2maks} çalışan kaslara oksijenlenmiş kanın iletilmesi, doku seviyesinde oksijenin kullanımı ve sistemden karbondioksitin atılması süreçlerini içeren kardiyopulmoner ve nöromusküler fonksiyonların üst limitini tanımlamakta ve aerobik yolla ATP'nin sentez edilebildiği en yüksek oranı göstermektedir. Bir başka tanımla VO_{2maks} egzersizde iş yükü artmasına rağmen oksijen alımının artmadığı nokta olarak belirtilmektedir. Anaerobik enerji sistemleri çok sınırlı olduğu için maksimal oksijen alımının direk olarak maksimal iş kapasitesi ile orantılı olduğu belirtilmiştir. Biyolojik dokudaki oksijen tüketimi kardiyak debi ve arteriyel oksijen ve venöz oksijenin farkının çarpımını ifade eden Fick formülü ile tanımlanmaktadır (Connes ve ark., 2010; Jenkins, 2005; Hoffman, 2014).

Dinlenim durumundayken normal hemoglobin konsantrasyonu yaklaşık olarak her 1 L kan için 200 ml oksijen olarak belirtilmektedir (Connes ve ark., 2010; Jenkins, 2005).

Dinlenimde normal kardiyak debi 5 L.dk^{-1} olduğu için vücutta 1 L oksijenin bulunmaktadır. Ancak bu oksijenin sadece %25'i (250 ml) dinlenim sırasında arteriyel kandan çıkmakta iken kalan 750 ml yedek olarak kalmaktadır. Bu durum arteriyo-venöz oksijen farkı olarak belirtilmektedir. Egzersizde ise arteriyel kandan çıkan oksijen miktarı (%75 O_2) artar. $\text{VO}_{2\text{maks}}$, maksimal kardiyak debi ve maksimal arterio-venöz oksijen farkı ile ilişkilidir ve bu ilişki aşağıdaki formülle belirtilmiştir (Connes ve ark., 2010; Jenkins, 2005).

$$\text{VO}_{2\text{maks}} = \text{KD}_{\text{maks}} \times (\text{CaO}_2 - \text{CvO}_2) \quad (\text{Eşitlik 13})$$

Burada $\text{VO}_{2\text{maks}}$; maksimal oksijen tüketimi; KD_{maks} : maksimal kardiyak debi; $\text{a-v}(\text{O}_{2\text{maks}})$; CaO_2 : arteriyel oksijen konsantrasyonu; CvO_2 : venöz oksijen konsantrasyonu'dur.

Dayanıklılık antrenmanları ile $\text{VO}_{2\text{maks}}$ artışının % 5 ve % 50 arası değişmiş olduğu belirtilmektedir. Bu artış antrenmanın sıklığı, yoğunluğu ve süresi ile ilişkili bulunmuştur (Connes ve ark., 2010; Jenkins., 2005; Bronzino., 2000; Hoffman., 2014). Artırmalı iş yükü protokolünde hücre içi laktatın birikmesi ile tükenme düzeyine kadar gidilen testle $\text{VO}_{2\text{maks}}$ belirlenmektedir (Tomkinson ve Olds, 2007).

Literatürde $\text{VO}_{2\text{maks}}$ değerindeki artış, antrenman etkisini göstermek için kullanılan bir değer olarak belirtilmiştir. Aynı zamanda egzersiz reçetelendirilmesinde de kullanılmaktadır (Bassett ve Howley, 2000; Carter ve ark., 2000; Pyke, 2012). $\text{VO}_{2\text{maks}}$ değerinin limitleri ve önemi aşağıda belirtilmiştir:

1. Oksijen alımının üst limitleri vardır.
2. Maksimal oksijen tüketiminde kişiler arası farklılıklar vardır.
3. Orta ve uzun mesafe performansında başarı için yüksek bir $\text{VO}_{2\text{maks}}$ ön koşuldur.
4. $\text{VO}_{2\text{maks}}$ kardiyorespiratuar sistemin oksijeni kaslara taşıma yeterliliği ile sınırlıdır.

Yöntem bölümünde artırmalı bir egzersiz sonucu elde edilen bir kişiye ait VO_2 grafiği verilmiştir (**Şekil 25**). **Şekil 25**'deki veriler sonucunda VO_2 'nin bir platoya ulaşmış olduğu görülmektedir. Ancak artırmalı bir egzersiz protokolünde oksijen tüketimi ve iş yükü bir grafikte gösterilirse her denek **Şekil 25**'deki gibi bir platoya ulaşmayabilir. Grafiğin bir platoya ulaşmamış olması deneklerin gerçek $\text{VO}_{2\text{maks}}$ değerine ulaşmadığını göstermemektedir. İlk ihtimal, denek artırmalı egzersiz protokolünde $\text{VO}_{2\text{maks}}$ değerine ulaştığı an tükenmiş olabilir. İkinci ihtimal, aralıklı artırmalı egzersiz protokolünde denekler her iş yükünde 3-5 dk performans gösterirler. Böylece eğer denek supra-maksimal yoğunluktaki egzersizde $\text{VO}_{2\text{maks}}$ 'a 2 dakikada ulaşırsa ve devam edemeyecek kadar yorgun olursa bu veri noktası belirlenmemektedir. Böylece $\text{VO}_{2\text{maks}}$ değerine ulaşılsa bile oksijen alımına karşı yapılan işin gösterildiği grafikte VO_2 platosu görülmeyebilmektedir. Bu nedenle VO_2 platosu maksimal oksijen tüketiminin belirlenmesinde tek kriter olmamaktadır (Bassett ve Howley, 2000; Carter ve ark., 2000; Pyke, 2012).

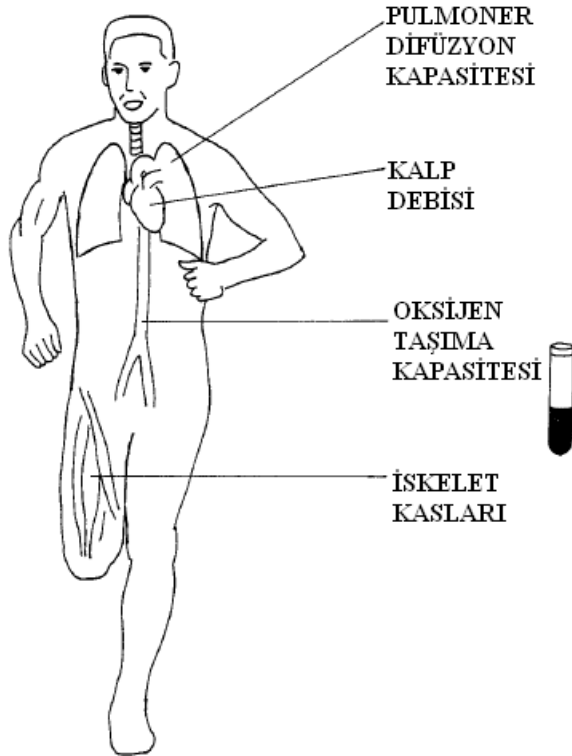
RER oranının 1.10 ve kan laktik asidi düzeyinin 8-9 mmol.L⁻¹ düzeyinde olması da VO_{2maks} değerine ulaşma kriterleri olarak belirtilmiştir (Bassett ve Howley, 2000; Carter ve ark., 2000; Pyke, 2012).

VO_{2maks} değerinin egzersiz sırasındaki aktif kaslara oksijen sağlayan kardiyorespiratuar sistemin kapasitesi ile sınırlı olduğu belirtilmiştir (Şekil 5). Oksijen dağılımı kan dopingi, hipoksi ve beta blokörler tarafından değiştiğinde maksimal kalp debisinin artması ile VO_{2maks}'da değişmektedir. Egzersiz sonrasında kas aşırı perfüze olursa oksijen tüketimi açısından yüksek bir kapasite gereksinimi olmaktadır. Sub-maksimal dayanıklılık performansını geliştirmek için iskelet kasındaki metabolik adaptasyonlar önem taşımaktadır. Dayanıklılık antrenmanı yağ oksidasyonunu artırarak ve laktik asit birikimini azaltarak mitokondrial enzim aktivitelerinde artış sağlanmaktadır. VO_{2maks} dayanıklılık antrenmanlarında önemli bir değişkendir (bir sporcu antrenman süresi uzasa da %100 VO_{2maks} üstünde performans göstermediği belirtilmektedir). Koşu ekonomisi ve VO_{2maks} kullanım yüzdesi dayanıklılık performansını etkilemektedir. Laktat eşliğindeki hız dayanıklılık performansının en iyi fizyolojik göstergesi olarak belirtilmiştir (Bassett ve Howley, 2000; Carter ve ark., 2000; Pyke, 2012).

VO₂ maksimale ulaşma kriterleri aşağıda belirtilmiştir:

- 1- VO₂ (%96) yüksek oranda bir platoya ulaşmış olmak,
- 2- Solunum değişim oranının 1.10 değerinin üzerinde (%78) olması,
- 3- Yaşa dayalı maksimum kalp atım hızının (%92) 5 atım.dk⁻¹ içinde olması,

Bu üç kriterden ikisini karşılama durumunda olmanın yeterli olduğu belirtilmiştir (Bassett ve Howley, 2000; Carter ve ark., 2000; Pyke, 2012).



Şekil 5. Egzersiz Sırasında Maksimal Oksijen Alımını Sınırlandıran Fizyolojik Faktörler (Bassett ve Howley, 2000)

Egzersiz Ekonomisi

Sub-maksimal egzersizde dinlenme oksijen tüketimi değerinin üzerinde ulaşılan kararlı durum artışı, egzersiz ekonomisini hesaplamak için kullanılmaktadır. İş yükünün birim olarak Watt değerinde dakikada tüketilen VO_2 , egzersiz ekonomisini göstermektedir ($10 \text{ ml} \cdot \text{dk}^{-1} \cdot \text{W}^{-1}$). Oksijen alımının yavaş fazının olmadığı laktat eşığının altındaki sabit yüklü egzersizlerde bu değer sabit olmaktadır (Jones ve Poole, 2005).

Oksijen Açığı

Dinlenme durumundan sabit yüklü egzersize geçiş sırasındaki enerji gereksinimi kasın enerji depolarından karşılanmaktadır. Kasın bu enerji depolarının CP hidrolizi ve anaerobik glikolizi ile açığa çıkan enerji olduğu belirtilmektedir. Bu süreçte O_2 kaynaklarının da düşük seviyede katkısı olmaktadır (Jones ve Poole, 2005).

Anaerobik eşik altı sabit yüklü egzersizde oksijen kinetiği testinde toplam oksijen alımı ve kararlı durum oksijen alımı arasında fark vardır. Toplam VO_2 ve kararlı durum VO_2 arasındaki fark ve egzersiz süresi oksijen açığı olarak değerlendirilmektedir. Oksijen açığı Eşitlik 13'deki görüldüğü gibi formüle edilmiştir (Jones ve Poole, 2005; Bronas, 2007).

$$O_2 \text{ açığı} = \Delta VO_2 \times \tau$$

(Eşitlik 14)

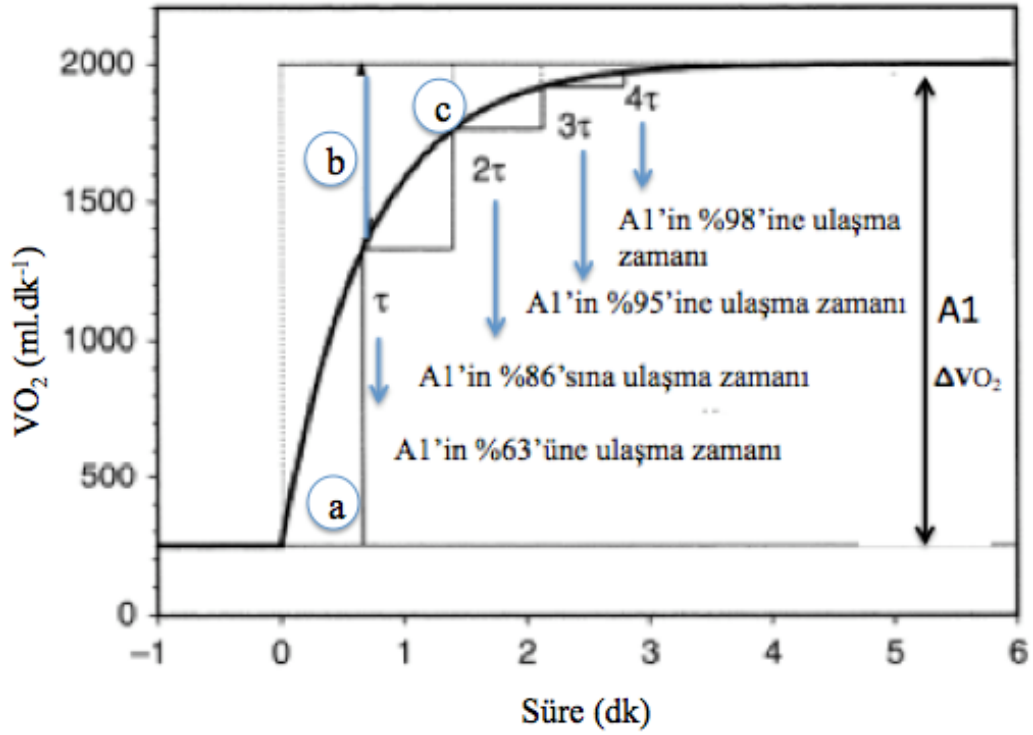
Burada, ΔVO_2 : sub-maksimal egzersizde dinlenme oksijen tüketimi değerinin üzerinde ulaşılan kararlı durum artışı $L \cdot \text{dk}^{-1}$; zaman sabiti (τ): ΔVO_2 'nin %63'üne ulaşma süresi'dir (s).

Formülde ΔVO_2 olarak verilen (A1) değer Şekil 6'da görüldüğü gibi VO_2 tüketiminin kararlı duruma ulaştığı genliktir.

ΔVO_2 'nin (A1) %63'üne ulaşma zamanı Eşitlik 13'de belirtilen ' τ ' değeridir. Çizelge 2'de örnek olarak τ_1 değeri 30 sn olarak alınmıştır. Bu durumda τ_2 60 sn, τ_3 90 sn ve τ_4 120 sn olmaktadır. VO_2 yanıtının genel anlamda dört zaman sabiti sonrasında kararlı duruma ulaştığı belirtilmektedir (Bronas, 2007; Jones ve Poole, 2005).

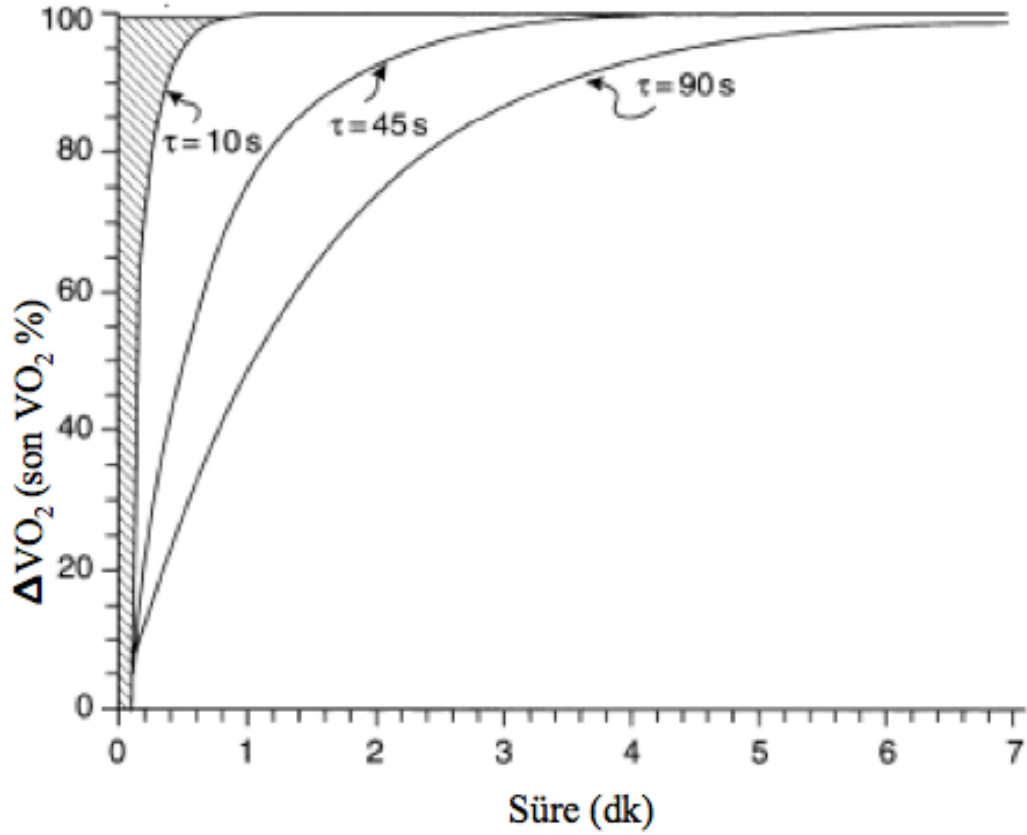
Çizelge 2. Zaman Sabitlerinin ΔVO_2 'ye Ulaşma Yüzdesi Açısından Değişimi (Jones ve Poole, 2005)

$\tau_1 = 30 \text{ sn}$ ise	ΔVO_2 'nin (A1) %63'üne ulaşma zamanı
$\tau_2 = 60 \text{ sn}$	ΔVO_2 'nin (A1) %86'sına ulaşma zamanı $2 \times \tau; 1.0 - 0.63 = 0.37; (0.37 \times 0.63) + 0.63 = 0.86$
$\tau_3 = 90 \text{ sn}$	ΔVO_2 'nin (A1) %95'ine ulaşma zamanı
$\tau_4 = 120 \text{ sn}$	ΔVO_2 'nin (A1) %98'ine ulaşma zamanı
$\tau_5 = 150 \text{ sn}$	ΔVO_2 'nin (A1) %99'una ulaşma zamanı



Şekil 6. Oksijen Açığı Hesaplandığı Toplam Alanın Hacmi ve Zaman Sabiti (Jones ve Poole, 2005)

O₂ açığı Şekil 6’da gösterilen ‘b’ ve ‘c’ alanlarının toplamıdır.



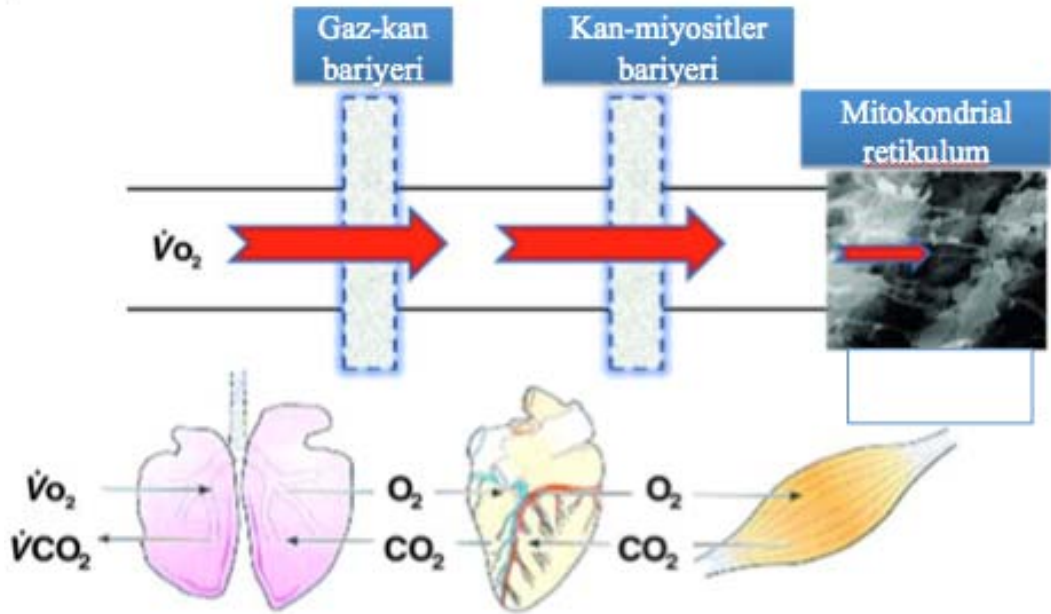
Şekil 7. Oksijen Alım Kinetiğinin (τ) Hızlanmasının O₂ Açığı Üzerine Etkisinin Grafiği (Jones ve Poole, 2005)

Oksijen alım kinetiğinin (τ) hızlanması sonucu **Şekil 7**'de görüldüğü gibi O_2 açığı azalmaktadır. VO_2 kinetiği yavaşladığında da (τ arttıkça) oksijen açığının hacmini gösteren bölgenin genişlediği görülmektedir. VO_2 yanıtı hızlı olursa zaman sabiti τ küçülmekte ve O_2 açığı azalmaktadır. Antrene olmayan kişilerde ya da sağlıklı kişilerde O_2 açığı fazla olmakta ve bu nedenle laktik asit artarken ve kreatin fosfat azalmaktadır (Bronas, 2007; Jones ve Poole, 2005).

Oksijen Alım Kinetikleri

VO_2 Nedir ve VO_2 Kinetikleri Nelerdir?

Kinetik, harekete neden olan ve o hareketi değiştiren kuvvetlerin incelendiği bilim olarak tanımlanmaktadır. VO_2 kinetiği çalışmaları egzersizde dinamik VO_2 yanıtlarından sorumlu fizyolojik mekanizmaları içermektedir. Futbol, rugby ve tenis gibi ani adım değişimlerini içeren birçok spor branşı için VO_2 kinetikleri önemlidir. Oksidatif metabolizma insan organizmasında iş yapabilmek için gerekli enerjinin üretilmesinde temel oluşturduğu için VO_2 çalışmaları önemlidir. Ulaşılabilen en yüksek oksijen tüketimi olan VO_{2maks} , sub-maksimal egzersizi gerçekleştirebilmek için gerekli olan VO_2 (egzersiz ekonomisi-egzersiz etkinliği) veya kişinin yüksek düzeydeki egzersizi gerçekleştirebilmek için yüksek enerji gereksinimini karşılayabilecek düzeyde VO_2 artışı gibi faktörler kişilerin fiziksel aktiviteye dayanıklılığını etkilemektedir (Jones ve Poole, 2005; Connes ve ark., 2010; Armstrong ve McManus, 2011).



Şekil 8. Akciğerlerden İskelet Kası Mitokondrisine Oksijenin Geçişi (Poole ve Jones., 2005)

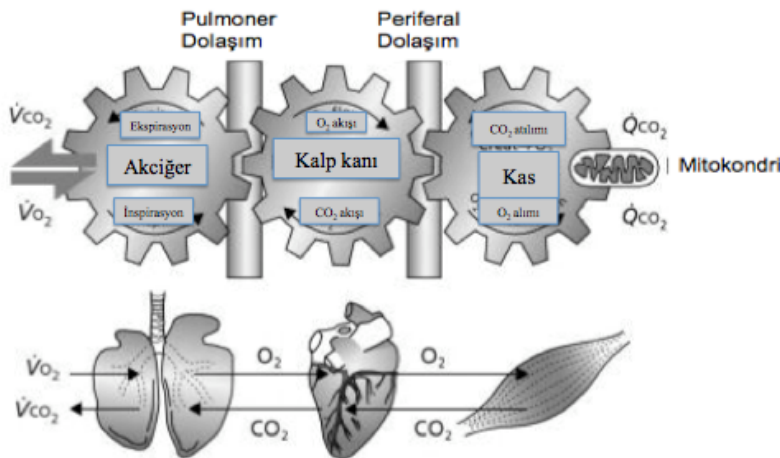
Bisiklete binme, koşma gibi büyük kas gruplarına yönelik egzersiz yapan sağlıklı insanlarda egzersizin başındaki oksijen kinetikleri **Şekil 8**'de görüldüğü gibi mitokondri oksijen kullanım kapasitesi ile (en sağdaki ok) kontrol edilmektedir. Biyolojik dokudaki oksijen tüketimi, yani tüm vücuttaki oksidatif fosforilasyon oranı Fick formülü ile hesaplanmaktadır (Jones ve Poole, 2005; Connes ve ark., 2010).

$$VO_2 = KD \times (CaO_2 - CvO_2)$$

(Eşitlik 15)

Burada, VO_2 : Oksijen tüketimi; kd: kardiyak debi; CaO_2 : arteriyel oksijen konsantrasyonu; CvO_2 : venöz oksijen konsantrasyonu'dur.

Kardiyak debi, sol ventrikülden aorta her dakika pompalanan kan miktarının litre olarak hacmini göstermektedir ve kalp atım hızı ve kalp atım hacminin ürünüdür. Kalp atım hacmi; her kalp atımında gönderilen kanın hacmidir (Jones ve Poole, 2005; Connes ve ark., 2010). Arteriyel oksijenin, hemoglobin konsantrasyonu ve hemoglobinin oksijenle saturasyon derecesi ile ilişkili olduğu belirtilmektedir. Arteriyovenöz oksijen farkı ise mitokondride hücredeki oksidatif fosforilizasyonu desteklemek için dokularla arteriyel kandan çıkan oksijenin miktarı ile venöz kanın farkını yansıtmaktadır. Oksidatif fosforilizasyon, ATP üretmek üzere besinlerin oksidasyonu süreci olarak tanımlanmaktadır. Oksijen tüketimi hem merkezi faktörlere (oksijenin dokulara taşınması) hem de çevresel faktörlere (dokularda oksijenin kullanılması) bağlıdır (Jones ve Poole, 2005; Connes ve ark., 2010). Dinlenimde tüketilen VO_2 genelde vücut büyüklüğüne bağlı olmaktadır ve genç yetişkinlerde yaklaşık $0,251 \text{ L.dk}^{-1}$ oranında olduğu belirtilmiştir. Maksimal testlerde ise dayanıklılık sporcularında $VO_{2\text{maks}}$ yaklaşık 61 L.dk^{-1} orana kadar yükselebilmektedir. Bu açıdan bakıldığında insan vücudu metabolik oranını yükseltme konusunda yüksek bir kapasiteye sahiptir. Ağızdan ölçülen VO_2 egzersize katılan kaslarda VO_2 artışını da yansıtır. Bu sırada kalp atım hızı, pulmoner ventilasyon ve laktat değerlerinde de artış olmaktadır. VO_2 kinetikleri merkezi (oksijenin iskelet kaslarına kardiyovasküler olarak iletilmesi) ve periferel (iskelet kaslarının oksijeni kullanabilme yeteneği) faktörlerle belirlenir. Daha bilinmeyen faktörlerde mevcuttur. VO_2 kinetikleri deneklerin sağlık durumuna, antrenman düzeylerine deneklere verilen egzersizin türüne, yoğunluğuna göre fark gösterebilmektedir. Egzersizin başlaması ile Şekil 9'da görüldüğü gibi atmosferden egzersiz yapan kas mitokondrisine oksijenin taşınmasını sağlayan pulmoner-kardiyovasküler ve kas yanıtlarının koordinasyonudur. Sabit yüklü egzersize VO_2 kinetik yanıtlarını karakterize eden parametreler egzersiz performansını destekleyen ve sınırlandıran biyoenerjetik süreç hakkında bilgi vermektedir (Jones ve Poole, 2005; Connes ve ark., 2010; Maughan, 2009; Tiidus ve ark., 2006).



Şekil 9. Atmosferden Egzersiz Yapan Kasların Mitokondrisine Oksijenin Taşınmasını Sağlayan Pulmoner-Kardiyovasküler ve Kas Yanıtlarının Koordinasyonu (Maughan, 2009)

Sabit İş Yüğü Egzersizleri

Uyuduğumuz ya da tamamen hareketsiz kaldığımız anlar dışında metabolik ihtiyaçlarımız devamlı dinamik bir değişim içerisinde. Sandalyeden kalktığımızda, bir topu ya da otobüsü yakalamak için koştuğumuzda kaslarımızın enerji ihtiyacı hızlı bir şekilde artmaktadır. Dinlenme durumundan harekete geçtiğimizde pulmoner, kardiyovasküler ve kas sistemi aerobik solunum ile kas mitokondrisine gerekli oksijenin sağlanması ile oksijen artırılmaktadır (Jones ve Poole, 2005).

Fiziksel aktivitenin iskelet kası ve kardiyovasküler sistemin aktivitesini artırmada etkili bir uyarıcı olduğu belirtilmektedir. Egzersizin başında atmosferden aktif kaslara oksijen dağılımı dokulardaki ATP üretimine yanıt olarak artmaktadır. Eğer oksijen yetersizse ATP üretimi laktik asit oluşumu ile sonuçlanan anaerobik glikoliz yoluyla elde edilmektedir. Kan laktat seviyesinin artması ile yorgunluk oluşmakta ve dayanıklılık azalmaktadır (Jones ve Poole, 2005; McArdle ve ark., 2010).

Bisiklete binme ya da koşma gibi dinamik bir egzersizin başında kasılan kasların enerji ihtiyacı hemen artmaktadır. Bu artış kare dalga yanıtı olarak tanımlanmıştır. Ancak ne pulmoner VO_2 ne de kas VO_2 'sinin yanıtı kare dalga şeklinde değildir. VO_2 yanıtının kararlı duruma ulaşması kişinin sağlık, fiziksel uygunluk durumuna ya da uygulanan egzersizin yoğunluğuna bağlı olarak 2- 15 dakika arası sürebilmektedir. Kare dalga iş yükündeki egzersiz testleri bisiklet ergometresinde ya da koşu bandında kişiye ani bir yük vererek uygulanmakta ve pulmoner gaz değişiminin dinamik yanıtları hakkında önemli veri sağlamaktadır. Oksijen alım kinetikleri kişilerin fizyolojik fonksiyonlarına mekanik bir bakış açısı getirmektedir. Egzersizin başındaki VO_2 yanıtlarının oranı sistematik oksijenin taşınması ve kas metabolizması hakkında bilgi vermektedir (Jones ve Poole, 2005; Tomkinson ve Olds, 2007).

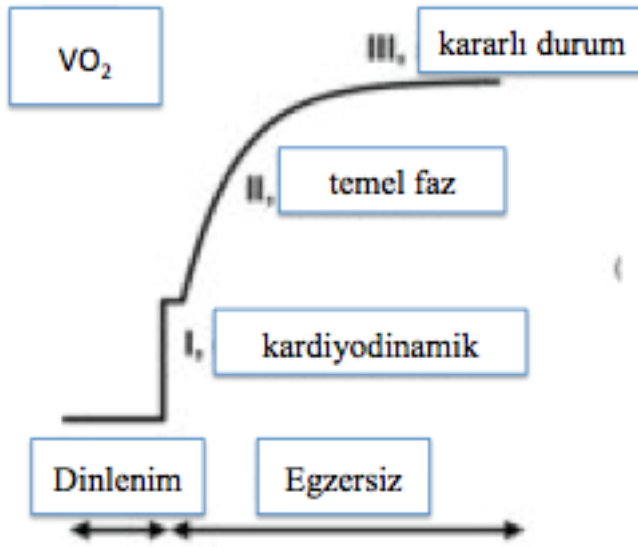
Egzersizin oksijen alım kinetiğine etkisini belirlemek amaçlı yapılan ilk araştırmalarda VO_{2maks} yüzdesine göre sabit egzersiz yükü (%40, %50, %60, %70, %75, %90) belirlenmiştir. Egzersiz öncesi ve sonrası ölçümlerde ise mutlak iş yüklerinde oksijen alım kinetiğini değerlendirmişlerdir (Hickson ve ark., 1978; Hagberg ve ark., 1980; Philips ve ark., 1995). Ancak daha önce belirtildiği gibi anaerobik eşiğe girme yüzdesi her bireyde farklılık gösterebileceği için %60 VO_{2maks} iş yükündeki bir değerlendirme bir kişi için anaerobik eşik altı iken diğer bir kişi için anaerobik eşik üstü olabilmektedir. Bu nedenle sonraki yıllarda sabit iş yükünde yapılan egzersizlerin ölçüm ve değerlendirmelerinde hafif, ağır, çok ağır ve yüksek şiddetli olmak üzere dört farklı seviye egzersiz kullanılmıştır. Bu egzersizler iki grupta değerlendirilebilmektedir:

1. Anaerobik eşik altı egzersizler,
2. Anaerobik eşik üstü egzersizler (Jones ve Poole, 2005; Tomkinson ve Olds, 2007).

Anaerobik Eşik Altı Egzersizler

Bu egzersizlerde sürat düşürülmüştür, düşük bir enerji tüketimi vardır ve O_2 gerektirimi sporunun aerobik gücünün altındadır. O_2 sağlanmasının bu biçimde fizyolojik gereksinimi karşılamasından dolayı, çalışma sürekli denge

(steady-state) koşullarında sağlanmaktadır. Bu egzersizlerde aşağıdaki fizyolojik olaylar gerçekleşir. Kan laktatı fazla yükselmekte ve bu iş yükünde yapılan egzersizlerde ulaşılacak üst limit bireysel laktat eşiği ya da anaerobik eşik olmaktadır. Kararlı durum VO_2 artışı (faz 3) $9-11 \text{ ml} \cdot \text{dk}^{-1} \cdot \text{W}^{-1}$ oranındadır. Faz II VO_2 kinetikleri iş yükü ile değişiklik göstermemektedir. Antrenman, yaşlanma, hareketsizlik ve kronik hastalıklar gibi nedenlerle değişiklik göstermektedir (Jones ve Poole, 2005; Bompa, 2007., Xu ve Rhodes, 1999). Anaerobik eşik altı (laktat eşiği altı, ventilasyon eşiği altı) egzersizlerde oksijen alım kinetiği Şekil 9'de görüldüğü gibi kardiyodinamik faz, Faz II (temel faz) ve III. faz (kararlı durum fazı) olmak üzere 3 fazdan oluşmaktadır (Jones ve Poole, 2005).



Şekil 10. Anaerobik Eşik Altı Egzersizde Oksijen Tüketiminin Fazları (Jones Poole, 2005)

Birinci Faz (Kardiyodinamik Faz)

Egzersizin ilk 15-20 saniyesi olarak belirtilmektedir.

Fizyolojik Olaylar:

1. Bu fazda kalp debisindeki artışa bağlı pulmoner kan akımındaki artış gerçekleşmektedir.
2. Venöz oksijen içeriği ve akciğerdeki gaz depoları bu artıştaki etkin faktörlerdir.
3. Bu evrede kan akımındaki artış ile VO_2 'deki artış birbirine paralellik göstermektedir.
4. Kaslardaki oksijen tüketiminden bağımsız bir faz olarak belirtilmektedir.

Egzersizde metabolizma hızının artması sonucu VO_2 ve VCO_2 artmaktadır. Bu durum aktif kaslarda görülen arteriovenöz genişleme sonucudur. Artmış venöz CO_2 basıncı ve azalmış venöz O_2 basıncı alveola-kapiller yataktan gaz değişimi basıncını artırmaktadır. Birinci evrede VCO_2 'deki artış VO_2 'deki artışa benzerlik göstermektedir. Bunun sonucu olarak RER dinlenme değerlerine yakın bir seviyede gözlenmektedir (Connes ve ark., 2010; Coşkun, 2012; Jenkins, 2005; Armstrong ve McManus, 2011).

İkinci Faz (Hızlı Faz –Birinci Faz - Temel Faz)

Bu evrede VO_2 eksponensiyel olarak artarak yaklaşık 20-45 sn arası (sağlıklı kişilerde) olan zaman sabiti ile yaklaşık 3 dakika içerisinde yeni bir kararlı duruma ulaşmaktadır. Bu fazda oksijen alımı ve iş yükü arasında dinamik lineer bir ilişki vardır. Faz II kinetikleri VO_2 'nin kararlı duruma ulaşması için gereken zamanının %63'üne ulaşılan süre ile tanımlanmaktadır (Connes ve ark., 2010).

Fizyolojik Olaylar:

Bu faz egzersiz yapan kaslardan gelen venöz kanın akciğerlere ulaşmasıyla başlamaktadır; yeni kararlı durum oluşana kadar sürmektedir. Bu fazdaki VO_2 kas oksijen tüketimini temsil etmektedir. Dolaşım dinamiği gereği kas oksijen tüketimi sonucunda venöz oksijen içeriğinde azalma gözlenmektedir. Bu durum akciğerlere iletilmekte ve pulmoner oksijen tüketimi artmaktadır. Bu evredeki VCO_2 artışı mono katalitik tarzda olmaktadır. Zaman sabiti O_2 'ye göre uzun olup bunun sonucu olarak solunum sabiti evre 2'ye geçerken azalmaktadır. Birinci ve II. fazda ATP sentezi tamamen oksidatif fosforilasyonla desteklenmemektedir. Fazlardan enerji gereksinimi ise oksijen depolarından, CP ve glikolizisten karşılanmaktadır. Bu enerji kaynaklarını sağlamak için gerekli oksijen miktarı ise oksijen açığı olarak bilinmektedir. Zaman sabiti ne kadar hızlı ise oksijen açığının da o kadar az olduğu belirtilmiştir (Connes ve ark., 2010; Coşkun, 2012; Jenkins, 2005; Armstrong ve McManus, 2011).

Üçüncü Faz (Kararlı Durum Fazı)

Bu evre yeni kararlı durum evresidir. Orta dereceli egzersizde genellikle 3. dakika sonrasında gözlenmekte ve VO_2 burada dengeli hale gelmektedir. Kardiyak debinin platoya ulaşması ile venöz oksijen içeriği azalmaktadır. Kişi yoruluncaya kadar bu seviye devam etmektedir (Coşkun., 2012; Jones ve Poole., 2005; Tomkinson ve Olds., 2007). Üçüncü fazda kararlı duruma ulaşan VO_2 ederi $9-11 \text{ ml} \cdot \text{dk}^{-1} \cdot \text{W}^{-1}$ oranında lineer bir artış göstermektedir (Jones ve Poole, 2005).

Kararlı durum fazındaki VO_2 ederi AEAE ve AEÜE'lerde yaklaşık değerlerde olmaktadır. Ancak egzersiz şiddeti arttıkça birinci fazın üzerine eklenen bir yavaş faz olduğu için oksijen alım kinetiği değişmektedir. Sabit yüklü anaerobik eşik üstü egzersizde VO_2 kinetikleri anaerobik eşik altı egzersize göre daha karmaşıktır. Anaerobik eşik üstü egzersizde aerobik ATP üretimi egzersizde ihtiyaç duyulanı karşılayamamaya başlar ve sonuç olarak iş yükü ile paralel olarak anaerobik ATP üretim oranı artmaktadır (Connes ve ark., 2010; Coşkun, 2012; Jenkins, 2005; Armstrong ve McManus, 2011).

Özellikle kan laktat seviyesi arttıkça VO_2 zaman sabiti uzamaktadır. Artmış kan laktat seviyesinin nedeni artmış anaerobik glikoliz olarak belirtilmektedir.

Şiddetli egzersizde VCO_2 yanıtı artmakta ve bunun sonucu metabolik asidoz oluşmakta ve kompensatuar hiperventilasyon gelişmektedir. Solunumun santral düzenlenmesinin yanı sıra periferik kemoreseptörler tarafından düzenlenmesi de söz konusudur. Bunlar aynı zamanda O_2 ve pH değişikliklerinde duyarlılık göstermektedir. Hiperventilasyon karotid cisim tarafından düzenlenmektedir. Orta dereceli egzersizde kararlı durumda VO_2 'deki artış kas oksijen tüketimindeki ortalama artışa eşit olmaktadır (Connes ve ark., 2010; Coşkun, 2012; Jenkins, 2005; Armstrong ve McManus, 2011).

Kararsız durumda VO_2 'yi kas oksijen tüketiminden ayrı düşünmek gerekmektedir. Kasılan kasta PO_2 azalmakta ve bunun sonucu kastaki venöz sistemde oksijen içeriği azalarak ve arteriyovenöz oksijen farkı artmaktadır. Akciğer kan akımı da artmaktadır (Connes ve ark., 2010; Coşkun, 2012; Jenkins, 2005; Armstrong ve McManus, 2011).

Anaerobik Eşik Üstü Egzersizler

Eşik üstü süratleri aşan etkinliklere verilen isimdir. Çalışma O_2 borçlanması koşulları altında yapılmaktadır (Bompa, 2007).

Enerji ağırlıklı olarak anaerobik yoldan yapılmaktadır. Oksijen gereksinimi genellikle sergilenen verim düzeyinin çok üzerinde olmaktadır. Egzersiz yoğunluğu laktat eşiğinin üzerinde ise laktat üretim oranı laktatın kandan uzaklaştırılma oranından yüksek olmaktadır. Laktatın yükselmesi ve kandan uzaklaştırılması arasında bir denge vardır. Kan laktat seviyesi devamlı bir artış gösterir, fakat eğer iş yükü maksimum laktat kararlı durumunun (MLSS) altında ise laktat seviyeleri yeni yüksek bir seviyede tekrar stabil duruma gelebilir. Maksimal laktat kararlı durumu (MLSS) kritik gücü gösterir ve genelde Δ %50'de oluşmaktadır. İş yükü maksimal laktat kararlı durumunun üzerinde ise egzersiz sırasında kan laktatında sistematik bir artış gözlenmektedir (Jones ve Poole, 2005; Bompa, 2007., Xu ve Rhodes, 1999).

Oksijen alım kinetiği yanıtları egzersizin şiddetine göre tanımlanmaktadır.

Sabit iş yükünde oksijen alım kinetiğini modellemede kullanılan protokoller anaerobik eşik altı ve anaerobik eşik üstü egzersiz yüklerini içerecek şekilde **Çizelge 3**'de gruplandırılmıştır (Özyener ve ark., 2001).

Çizelge 3. Sabit Yüklü Anaerobik Eşik Altı ve Üstü Egzersiz Protokolleri ($\Delta = (VO_{2maks} - VO_2$ (Anaerobik Eşik)) (Özyener ve ark., 2001)

Anaerobik eşik altı egzersiz Orta şiddetli egzersiz (moderate)	%90 Anaerobik Eşik (Murias ve ark., 2011, Özyener ve ark., 2001)		
Anaerobik eşik üstü egzersiz Yüksek şiddetli egzersizler	AE + % 40 Δ Yüksek şiddetli egzersiz (heavy)	AE + % 80 Δ Çok yüksek şiddetli egzersiz (very heavy)	% 110 VO_{2maks} Ağır Egzersiz (severe)

Egzersizin başındaki VO_2 yanıtları sistematik oksijen taşınımı ile kas metabolizması hakkında önemli bilgi sağlamaktadır (Xu ve Rhodes, 1999).

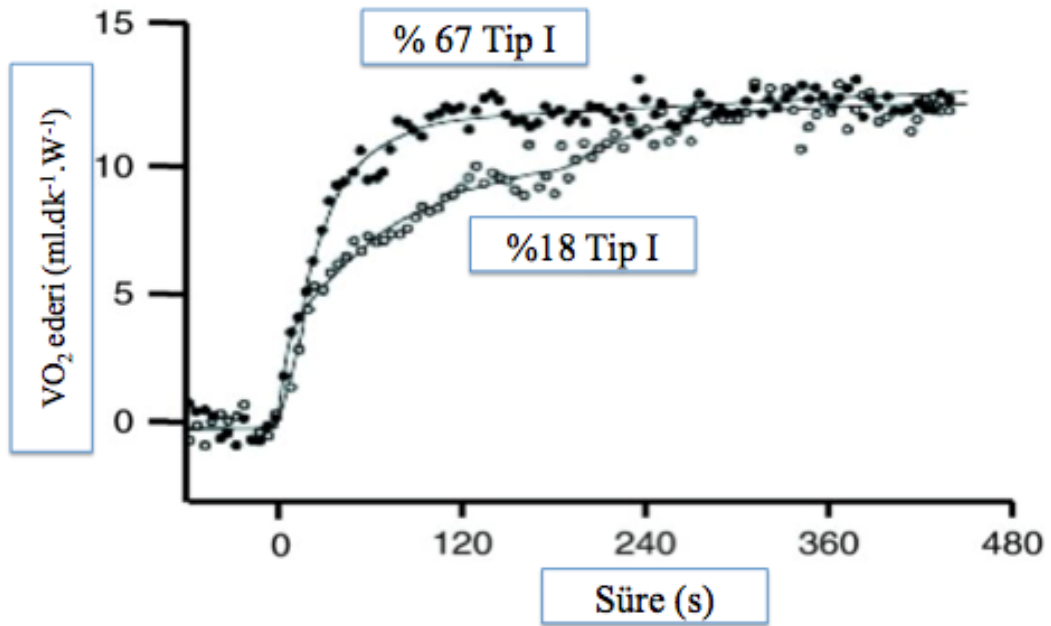
Oksijen Alımının Yavaş Fazı

Anaerobik eşik üzeri egzersizlerde aşağıdaki fizyolojik olaylar gerçekleşmektedir.

- Kan laktat seviyesi artmaktadır.

Bu yükselme başlangıçtan itibaren ya sürekli olur ya da yeni bir seviyede kararlı hale gelerek egzersiz sonuna kadar böyle devam etmektedir. Ancak bu eşik üzeri O_2 kinetikleri hakkında eşik altındakiler gibi bir genel fikir birliği bulunmamaktadır.

- Aktiviteye vücut postürünün stabilizasyonundan sorumlu kaslar, kol kasları ve solunum kasları gibi ilave kas grupları da katılmaktadır.
- Plazma epinefrin (adrenalin) seviyesi artmaktadır.
- Solunum kaslarının aktivitesi artmaktadır.
- Ventilasyon artmaktadır (Zoladz ve Korzeniewski, 2001; Xu ve Rhodes, 1999).
- Vücut ısısı artmaktadır.
- Ağır bir egzersizde birkaç dakika içerisinde kas ısısı 3-5⁰ C artmaktadır. Kas ısısındaki bu artış mitokondrinin fonksiyonunu etkilemeye yeterlidir ve bunun sonucu daha fazla oksijene ihtiyaç duyulmaktadır.
- Oksijen alımının yavaş fazı (ΔVO_2^{6-3dk}) dinlenimdeki oksijen tüketimi ile (VO_{2base}) pozitif ilişkilidir. Bunun sonucu olarak oksijen alımının yavaş fazında bazal metabolik hız artmaktadır.
- Hidrojen iyon birikimi olmaktadır.
- Daha az etkili olan motor ünitelerin (tip Iİb lifleri) devamlı bir şekilde işe katılımı artmaktadır. Şekil 11’de görüldüğü gibi oksijen alım kinetiğinin hızlı olduğu zaman işe katılan tip I liflerinin yüzdesi yüksektir. Eğer işe katılan tip I lifleri az ise oksijen alım kinetiği de yavaşlamaktadır (Connes ve ark., 2010; Tipton, 2006; Özyener, 2007; Zoladz ve Korzeniewski, 2001; Xu ve Rhodes, 1999).



Şekil 11. Ağır Yüklü Bisiklet Egzersizinin Başında Quadriceps Kaslarının Tip I Liflerinin Katılım oranları ile Oksijen Kinetikleri (Jones ve Poole, 2005)

Belirtilen fizyolojik olayların gerçekleşmesi sonucu yorgunluk oluşmakta ve VO_2 kinetiklerinden olan biri başlangıçta hızlı gelişen ve ikincisi yavaş ve gecikmeli (yavaş bileşen/“slow component”) oluşarak ilkinin üzerine ilave bir yavaş faz eklenmektedir. Oksijen alımının yavaş fazı VO_2 grafiğinde görülen ikinci artış, fazladan kullanılan oksijen olarak tanımlanmaktadır. Bu ikinci faza ait dinamiğin değişik egzersiz şiddeti bölgelerine göre seyri ve belirleyicileri tam olarak anlaşılmamıştır (Connes ve ark., 2010; Tipton, 2006; Özyener, 2007).

Bu dinamiğe yol açabilecek unsurlar aşağıda belirtilmiştir (Connes ve ark., 2010; Tipton, 2006; Özyener, 2007; Zoladz ve Korzeniewski, 2001).

- Laktik asidozun metabolik süreci değiştirmesi,
- Doğrudan etkin olmayan kas gruplarının etkileri,
- Düşük etkinlikteki yavaş sarsı liflerinin ön plana geçmesi,
- Solunum ve kardiyak iş yükünün artması,
- Katekolaminlerin etkileri ve vücut ısısındaki değişimler oksijen alımının yavaş fazına oluşmasına yol açabilecek unsurlar olarak belirtilmiştir.

Temel dinamiklerin üzerine eklenebilecek bu unsurların her biri veya herhangi biri kas gücü oluşması ile laktat eşiği üzerindeki şiddetlerde enerji oluşumunun mekanizmaları arasında bilinenden veya varsayılandan daha karmaşık bir ilişki olduğunu düşündürmektedir. Oksijen alımının yavaş fazı birinci faza göre daha az genliğe sahiptir. Bu durumun nedeninin vazodilatasyon artışı sonucu daha fazla oksijene ihtiyaç duyulması olarak belirtilmektedir. Bu oksijeni sağlamak için işe koşulan kas lifi tipi ise diğer kas lifi tiplerine göre az olan tip IIb lifleri olarak belirtilmektedir (Connes ve ark., 2010; Tipton, 2006; Özyener, 2007; Zoladz ve Korzeniewski, 2001; Xu ve Rhodes, 1999).

Sonuç olarak oksijen alımının yavaş fazının genliği işe koşulan tip II lifleri ile pozitif ilişkili olmakta ve Tip II kas liflerinin artan bir şekilde işe koşulması ile oksijen alımının yavaş fazı açıklanmaktadır (Jones ve Poole, 2005; Özyener ve ark., 2007; Zoladz ve Korzeniewski, 2001).

Kişinin VO_{2maks} ve/veya yorgunluğa ulaşma zamanına kadar olan sürede gecikmiş ve artmış bir kararlı durum (veya bazı durumlarda kararlı duruma ulaşılmaz) söz konusudur. Sabit yüklü eşik üstü egzersizde oksijen alımının yavaş fazı devamlı bir şekilde artar ve VO_{2maks} 'a ulaşabilmektedir. Eşik üstü egzersizde oksijen alımı kararlı duruma ulaşmamaktadır. VO_2 grafiğinde ilk olarak ani bir yükselme olmakta daha sonra bu ikinci yavaş faz birincinin üzerine eklenerek artış göstermektedir. Oksijen alımının yavaş fazı; egzersizin sonundaki VO_2 ve egzersizin ilk üçüncü dakikasındaki VO_2 arasındaki fark olarak belirlenmiştir (ΔVO_2). Oksijen alımının yavaş fazın büyüklüğü egzersizin süresine göre değişiklik gösterebilmektedir (Connes ve ark., 2010; Tipton, 2006; Özyener ve ark., 2007; Zoladz ve Korzeniewski, 2001; Xu ve Rhodes, 1999).

Oksijen alımının yavaş fazının nöromüsküler açıdan kas aktivitesi (EMG yanıtı) ile açıklamak amaçlı literatürde çalışmalar bulunmaktadır (Scheuermann ve ark., 2001; Vercruyssen ve ark., 2009; Perrey ve ark., 2001; Billat ve ark., 1998).

Scheuermann ve ark. (2001) oksijen alımının yavaş fazının *vastus lateralis* kasının (integrated EMG) iEMG ve (mean power frequency) MPF parametreleri ile ilişkili olmadığını EMG yanıtlarının sabit olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Bu çalışmaya paralel olarak Tordi ve ark. (2003) yüzeysel EMG ölçümlerinin VO_2 yavaş fazında işe katılan kas lifi tipinde belirleyici olmadığını sonucuna varmışlardır. Saunders ve ark. (2000) ve Sabapathy ve ark. (2004) *vastus lateralis* MPF 'ının oksijen alımının yavaş fazı ile arttığını bulmuşlardır.

Vercruyssen ve ark. (2009) oksijen alımının yavaş fazının 110 devir.dk⁻¹ pedal hızında *vastus lateralis* ve *vastus medialis* iEMG parametresi ilişkili bulmuşlardır. Oksijen alımının yavaş fazının genliği ile oksijen alımının yavaş fazının başladığı ikinci dakikadan sonra iEMG yanıtı 110 devir.dk⁻¹ pedal hızında ilişkili bulunmuştur. Literatürdeki çalışmalara bakıldığında oksijen alımının yavaş fazının EMG MPF'ı ile ilişkili olduğunu ve olmadığını gösteren araştırmalar vardır. Bu açıdan oksijen alımının yavaş fazının nöral faktörlerle ilişkisinin netlik kazanmadığı görülmektedir.

O₂ Taşıma ve Kullanımının Fizyolojik Temelleri

Kardiyorespiratuar sistem vücuda oksijeni getirmekte (solunum sistemi) ve hücrel solunumda oksijeni kullanmak üzere hücrelere taşımaktadır (kardiyovasküler sistem). Egzersizin türü, süresi, yoğunluğu, sıklığı ne olursa olsun insan hareketlerinin hepsi dinlenme değerlerinin üzerinde bir enerji harcanmasını gerektirmektedir. Egzersizin başında kas kasılması için gerekli enerji, ATP'nin parçalanması ile elde edilmektedir. İlk kasılmalarda ATP ve CP depoları gerekli enerjiyi sağlamak için yeterli olmaktadır. Ancak sonrasında yüksek enerji fosfatlarının parçalanması ile kalsiyum iyonları serbestlenmekte ve glikolizis ve oksidatif fosforilizasyon ile ATP yenilenmesini sağlamak için substratlar metabolik yolları uyarmaktadır (Plowman ve Smith, 2013; Jones ve Poole, 2005).

Metabolik substratlar birikirken oksidatif fosforilizasyon hemen kararlı durum gereksinimini sağlayamayabilmektedir. Kas içi substrat konsantrasyonu artırıldığında metabolik ihtiyacı sağlamak için gerekli olan O₂ 'in doku ve organlara gönderimini sağlamak üzere kardiyovasküler sistemin yanıtı hızlanmaktadır. Kardiyovasküler sistemin egzersize yanıtı ise egzersiz yoğunluğuna, süresine göre değişiklik gösterebilmektedir (Plowman ve Smith, 2013; Jones ve Poole, 2005).

VO₂ Kinetiklerinin Model Karakterizasyonu

Eksponensiyelin Temel Özellikleri

Bir eksponensiyel, başlangıç noktasından ne kadar uzaklaştığını gösteren ani bir değişimin oranı olarak düşünülebilmektedir (Jones ve Poole, 2005).

Ortalama Yanıt Süresi

Egzersizin başındaki kardiyodinamik faz ve egzersizin ikinci fazının kombinasyonunu karakterize etmekte ve egzersiz boyunca hücrel solunumun artışını yansıtmaktadır. VO₂ verisi tek eksponensiyel fonksiyonla açıklanmaktadır. Eksponensiyelin zaman sabiti ortalama yanıt süresi olarak düşünülmektedir.

Egzersizin başındaki oksijen alım kinetiğinin zaman sabitini belirlemek ve egzersiz sonrası oksijen tüketimindeki oksijen kinetiğinin zaman sabitini belirlemek için 'Eşitlik 14' kullanılmaktadır (Bronas, 2007; Williams ve Ratel, 2009; Murias ve ark., 2010). Belirtilen formülasyonla oksijen alımının zaman sabiti ve kararlı durum VO₂ değeri oksijen alım kinetiği araştırmalarında kullanılan parametreler olarak karşımıza çıkmaktadır (Murias ve ark., 2010).

Dinlenimde Oksijen Tüketimi

Literatürde dinlenim oksijen tüketimini belirlemek için **Çizelge 3**'de belirtildiği gibi çeşitli protokoller kullanılmaktadır. Belirtilen protokollerde 3 dk kayıt alındıktan sonra sabit yüklü egzersiz testi yapılmaktadır.

Çizelge 4. VO₂(b) Parametresini Değerlendirmek için Kullanılan Protokoller (Bronas, 2007; Cooper ve Storer, 2001; Murias ve ark., 2010)

VO ₂ Kinetiği Parametresi	Açıklama	Literatür
VO ₂ (b)	Bisiklette yüksüz oksijen tüketimi değeri	Carter ve ark., 2000 Carra ve ark., 2003 Cunningham ve ark., 2000 Sabapathy ve ark., 2004
	Bisiklette 20 W iş yükündeki oksijen tüketimi değeri	Murias ve ark., 2010; Murias ve ark., 2011
	Bisiklette 25 W iş yükündeki oksijen tüketimi değeri	Osborne ve Schneider, 2006

Oksijen Alımının Zaman Sabiti (τ VO₂)

Sabit yüklü egzersizde oksijen tüketimi tek (mono) eksponensiyel fonksiyonla açıklanmaktadır (Bronas, 2007; Cooper ve Storer, 2001; Murias ve ark., 2010).

$$VO_2(t) = VO_2(b) + A_1 * (1 - e^{-(kt)}) \quad (\text{Eşitlik 16})$$

Burada, VO₂(t): Dinlenim değerlerinin üzerindeki herhangi bir zamandaki VO₂ verisi; VO₂(b): Dinlenim oksijen tüketimi; A₁: Kararlı durum VO₂ verisi; e: natürel algoritmanın temeli; k: Zaman sabiti (τ^{-1}) A₁ değerinin %63'üne ulaşılan süre; t: Dinlenim değerlerinin üzerindeki herhangi bir VO₂ verisinin elde edildiği süre'dir (Bronas, 2007; Cooper ve Storer., 2001; Murias ve ark., 2010).

Eşitlik 16'da 'e^x' fonksiyonu kullanılmıştır. Fonksiyonun açıklaması; n doğal sayı olmak üzere (1+1xn⁻¹)ⁿ sayısını gittikçe büyüyen n ler için hesaplırsak bu değerlerin n arttıkça belli bir değere 'istenildiği kadar yakın olabildiği' görülmektedir (Caferov, 1999). Örneğin,

$$(1+1x2^{-1})^2=2.25$$

$$(1+1x3^{-1})^3=2.37$$

$$(1+1x5^{-1})^5=2.48$$

$$(1+1x10^{-1})^{10}=2.59$$

$$(1+1x12^{-1})^{12}=2.62$$

$$(1+1x20^{-1})^{20}=2.65$$

$$(1+1x100^{-1})^{100}=2.71$$

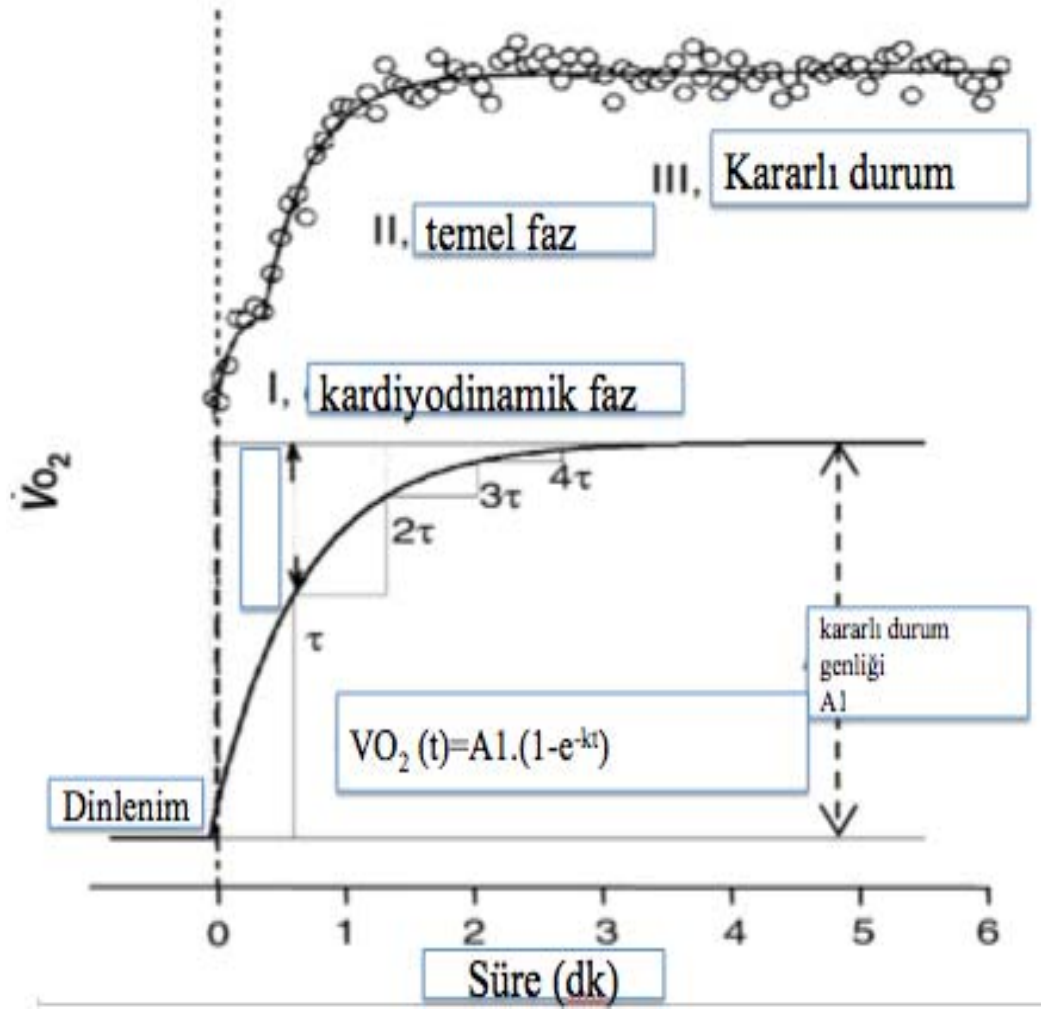
n'yi arttırdıkça bu değerlerin istenildiği kadar yakın olduğu sayı e sayısı olarak tanımlanmaktadır (Caferov, 1999).

'e' sayısı irrasyonel bir sayı olup, yaklaşık değeri $e=2.71828182$ olarak belirtilmiştir. Limit kavramı ile verilen e sayısı irrasyonel bir sayı olarak belirtilmektedir. Bir üstsel fonksiyonun tanımında $a=e$ alındığında $f(x)=e^x$ fonksiyonu elde edilmektedir. Bu fonksiyon eksponansiyel fonksiyon olarak tanımlanmıştır (Caferov, 1999).

Tek eksponansiyel modele göre:

Anaerobik eşik altı egzersizde oksijen tüketimi **Şekil 12**'de görüldüğü gibi üç fazda değerlendirilmekte ve eksponansiyel modelle eğri uydurma (curve fitting) işlemi yapılmaktadır. Kardiyodinamik faz, modellemeye dahile edilmemektedir. VO_2 artış oranı eksponansiyelin zaman sabiti ile hesaplanmaktadır. Oksijen alım kinetiklerinden ΔVO_2 genliğinin %63'üne ulaşma zamanı τVO_2 olarak belirlenmektedir. Kalan genliğin $(1-0.63=0.37)$ %63'ünü hesaplayıp $(0.37 \times 0.63=0.23)$ 1τ genliği ile toplanırsa $(0.23+0.63=0.86)$ 2τ %86 olarak hesaplanabilmektedir. Hesaplanan 2τ sonrasında kalan genliğin $(1-0.86=0.14)$ %63'ünü hesaplayıp $(0.14 \times 0.63=0.088)$ 2τ genliği ile toplanırsa $(0.088+0.86=0.948)$ 3τ %95 olarak hesaplanabilmektedir. Hesaplanan 3τ sonrasında kalan genliğin $(1-0.95=0.05)$ %63'ünü hesaplayıp $(0.05 \times 0.63=0.032)$ 3τ genliği ile toplanırsa $(0.032+0.95=0.982)$ 4τ %98 olarak hesaplanabilmektedir. **Şekil 12**'deki örnekte τVO_2 40 saniyedir.

Böylece VO_2 değeri 2τ (80 s) sonra %86 Δ , 3τ (120 s) sonra %95 Δ ve 4τ (160 s) sonra %98 Δ olmaktadır (Jones ve Poole, 2005).



Şekil 12. Anaerobik Eşik Altı Bisiklet Ergometresi Testinde VO_2 Yanıtı (Jones ve Poole., 2005)

$VO_{2açığı}$ egzersizin başından VO_2 asimptot değerine yaklaştığı yere kadar olan alan olarak belirtilmektedir.

Sabit yüklü altı dakikalık bir anaerobik eşik altı test sonuçları değerlendirirken τVO_2 değerini hesaplamak için **Eşitlik 15** kullanılmaktadır. Zaman sabitinin (τVO_2) birimi saniye olarak belirtilmektedir (Jones ve Poole, 2005; Plowman ve Smith, 2013).

$$\tau VO_2 = VO_{2açığı} \times A_1 \quad (\text{Eşitlik 17})$$

Oksijen Alımının Yavaş Fazının Ekspansiyel Denklem ile Açıklanması

Oksijen tüketiminin iki temel verisini (temel faz ve yavaş faz) tanımlamak için egzersiz başladıktan sonra lineer olmayan regresyon tekniği ile iki tek ekspansiyel fonksiyon kullanılmaktadır. Temel faz yavaş fazın başlaması ile sonlandırılmaktadır. Yavaş faz yani ikinci tek ekspansiyel denklem bir önceki fonksiyon kendi asimptotuna yaklaştığında başlamaktadır. Yavaş faz başlamadan önce temel fazın genliğinin en azından %98'ine ulaştığı kabul edilmektedir (Murias ve ark., 2010; Osborne ve Schneider, 2006).

Egzersizin ilk 3. ya da 4. dakikası ikinci faz (A1, kararlı durum VO₂ genliği) olarak kabul edilip sonrasında egzersizin sonlanmasına kadar olan süredeki oksijen tüketiminin genliği de oksijen alımının yavaş fazı olarak tanımlanmaktadır (Murias ve ark., 2010; Osborne ve Schneider, 2006)

VO₂ modeli ve gerçek VO₂ arasındaki farkın karesi alınmaktadır. Sonrasında hataların toplamını en aza indirerek iterasyon ile parametreler belirlenmektedir. Model parametrelerinin geçerliliğini değerlendirmek için varyansların katsayısı hesaplanmaktadır.

Oksijen alımının yavaş fazının modellenmesinde **Eşitlik 18** kullanılmaktadır.

$$VO_2(t)=VO_2(b)+A_1 \times (1-e^{-(kt)})+A_2 \times (1-e^{-(k_2t^2)}) \quad (\text{Eşitlik 18})$$

Burada, VO₂ (t): Dinlenme değerlerinin üzerindeki herhangi bir zamandaki VO₂ verisi; VO₂(b): Dinlenme oksijen tüketimi; A₁: Kararlı durum VO₂ verisi; e: natürel algoritmanın temeli; k: Zaman sabiti (τ⁻¹) A₁ değerinin %63'üne ulaşılan süre; t: Dinlenme değerlerinin üzerindeki herhangi bir VO₂ verisinin elde edildiği süre; A₂: O₂ alımının yavaş fazının genliği; k₂: Zaman sabiti (τ⁻¹)'dir (Carra ve ark., 2003).

Oksijen alımının yavaş fazının analizi ise aşağıdaki kriterlere göre yapılmaktadır.

Anaerobik eşik üstünde yapılan sabit yüklü egzersiz sonucu elde edilen VO₂ verisine lineer olmayan regresyon (nonlinear regresyon) ile eğri uydurma (curve fitting) işlemi yapılmaktadır (Carra ve ark., 2003; Sabapathy ve ark., 2004).

VO₂ yanıtının iki ana fazını tanımlamak için iki tek eksponensiyel fonksiyon kullanılabilir (Carra ve ark., 2003; Sabapathy ve ark., 2004).

Kardiyodinamik faz modellenmemektedir (Carra ve ark., 2003; Sabapathy ve ark., 2004).

Üçüncü fazın başlaması ile ikinci faz sonlandırılmaktadır. Eşitlik 16'da belirtilmiş olan 'A₁' ve 'A₂' parametrelerinin açıklamaları **Çizelge 5**'de verilmiştir (Carra ve ark., 2003; Sabapathy ve ark., 2004).

Çizelge 5. Çift Ekspansiyonel Fonksiyonda VO₂ Genliklerinin Açıklamaları (Carra ve ark., 2003; Sabapathy ve ark., 2004)

A1 Faz 2	Kararlı durum VO ₂ genliği	Egzersiz ilk 3 dakikasındaki VO ₂ genliği
A2 Faz 3	Yavaş fazda VO ₂ genliği	Egzersiz 3. dakikası ile 8. dakikası arasındaki VO ₂ genliği Egzersiz sonundaki değer ile ilk asimptot değeri arasındaki fark (egzersizin son 30 saniyesinin ortalaması)

Veri Modellemesi

Sabit yüklü anaerobik eşik üstü egzersiz testi sonucu elde edilen VO₂ verisi modellenirken öncelikle ilk 20 sn kardiyodinamik faz olduğu için analiz dışında bırakılarak modellenmemektedir. Veri modellemesine ikinci fazdan başlanmaktadır. Elde edilen VO₂ verisinin 20 sn ve egzersizin sonuna kadar olan bölümünün non-lineer regresyon ile modellenmesi literatürde kullanılan bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır (Murias ve ark., 2010; Carra ve ark., 2003; Sabapathy ve ark., 2004). Veri modellemesinde kullanılan başlama ve bitiş noktaları **Çizelge 6**'da verilmiştir.

Çizelge 6. Veri Modellemesinde Kullanılan Başlama ve Bitiş Noktaları

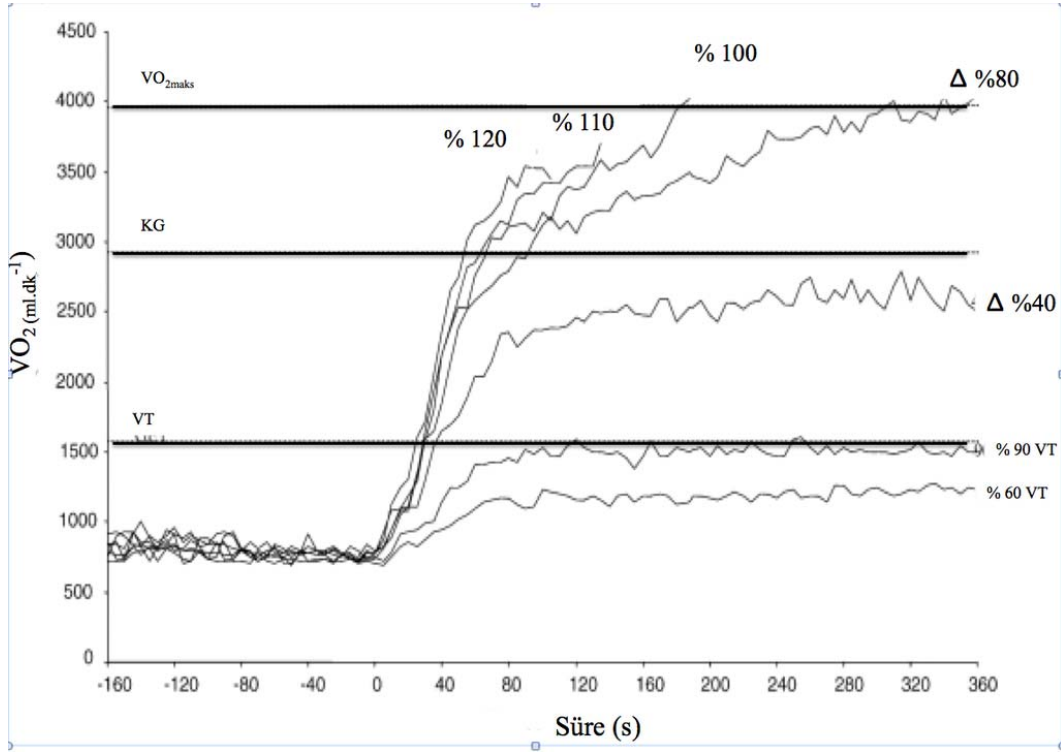
	Kardiyodinamik Faz	$A_1 \times (1 - e^{-(t-TD1)/\tau1})$	$A_2 \times (1 - e^{-(t-TD2)/\tau2})$
Başlangıç Noktası	Faz 1	Faz 2	4 dk (240 s) (Murias ve ark., 2010) 3 dk (180 sn) (Osborne ve Schneider, 2006)
Bitiş Noktası	20 sn (Coşkun., 2012; Cunningham ve ark., 2000; Sabapathy ve ark., 2004)	4 dk (240 sn) (Murias ve ark., 2010; Murias ve ark., 2011; Carra ve ark., 2003;)	8 dk (egzersizin sonu) (Osborne ve Schneider, 2006) 7 dk (egzersizin sonu) (Sabapathy ve ark., 2004) 6 dk (egzersizin sonu) (Carter ve ark., 2000)

Sabit Yüklü Test Protokolleri

Sabit yüklü test protokolleri artırmalı egzersiz testleri sonucunda elde edilen maksimal oksijen tüketimi ve ventilasyon eşiği noktalarına göre belirlenmektedir. Sabit yüklü egzersizler **Şekil 13**'de görüldüğü gibi ventilasyon eşiğinin (VT) altında (%60 VT ve %90 VT) ve ventilasyon eşiğinin üzerinde (Δ %40, Δ %80,

%100, %110, %120) olmak üzere farklı yoğunluklarda değerlendirilebilmektedir (Wilkerson ve ark., 2004; Jones ve Poole, 2005).

Egzersiz yoğunluğuna göre VO_2 yanıtlarının grafiklerinin kararlı duruma ulaşma ya da ulaşmama durumu, süresi farklılık göstermektedir (**Şekil 13**). Ventilasyon eşliğinin (VE) altında ve sabit yüklü egzersizlerde (%90 VT ve %60 VT) grafiklerde VO_2 tek eksponensiyel bir artış göstermektedir. Ventilasyon eşliğinin üzerindeki egzersizlerde ise çift eksponensiyel bir artış görülmektedir. Egzersiz yoğunluğunun %100 ve üzerinde olan sabit yüklü egzersizlerde ise toplam performans süresi kısalmaktadır (Wilkerson ve ark., 2004; Jones ve Poole, 2005).



Şekil 13. Farklı Sabit Yüklü Egzersizlere VO_2 Yanıtlarının Grafikleri (Wilkerson ve ark., 2004)

Sabit yüklü egzersizlerde VO_2 kinetiğini belirlemek amaçlı kullanılan test protokolü örnekleri **Çizelge 6**'da verilmiştir.

Çizelge 7. Sabit Yüklü Egzersizlerde Kullanılan Test Protokolleri

VO ₂ (b)	İş Yüğü
6 dk 20 W 8 dk 20 W	6 dk %90 VT 30 dk dinlenme 6 dk %90 VT Murias ve ark., 2011
3 dk 10 W 3 dk 10 W	6 dk %80 VT 1 sa dinlenme 6 dk %80 VT Marwood ve ark., 2010
3 dk 0 W	7 dk Δ %50

Egzersiz VO₂ Kinetiklerine Etkisi

Oksijen alım kinetiğine egzersizin etkisini belirlemek amaçlı kesitsel ve boylamsal çalışmalar bulunmaktadır. Kesitsel çalışmalara bakıldığında sporcuların sedanter bireylere göre oksijen alım kinetiğinin hızlı olduğu belirtilmiştir. **Çizelge 7**'de görüldüğü gibi zaman sabiti değerleri sporcularda ve sedanterlerde değişiklik göstermektedir. Egzersizin τ VO₂ süresini kısalttığı literatürdeki çalışmalarda belirtilmiştir (Caputo ve Denadai, 2004; Cooper ve Storer, 2001).

Boylamsal çalışmalara bakıldığında da dayanıklılık egzersizi (%70 VO_{2maks}) yapan yaşlılar ve gençlerde τ VO₂ azalmıştır (Murias ve ark., 2010). Antrenmanın üçüncü haftasında hem yaşlılarda hem de gençlerde bu azalma anlamlı derecede fazla iken sonrasındaki 9 haftada istatistiksel olarak anlamlı derecede bir azalma gözlenmemiştir. Oksijen alım kinetiğinin hızlanmasını sağlayan antrenman öğeleri de **Çizelge 8**'de verilmiştir.

Murias ve ark., (2011) başka bir çalışmasında **Çizelge 9**'da görüldüğü gibi dayanıklılık egzersizi (%70 VO_{2maks}) yapan yaşlı ve genç bayanlarda da üçüncü haftada τ VO₂ azalmıştır.

Çizelge 8. Antrenmanın Zaman Sabiti Değerlerine Etkisi

Literatür	τ VO ₂ (sn)	
	Sedanter	Dayanıklılık Antrenmanı Yapan Sporcular
Caputo ve Denadai., 2004	63	37
Cooper ve Storer., 2001	38 ± 5	20 ± 5

Çizelge 9. Dayanıklılık Antrenmanının (3-6-9-12 hafta) Öğeleri (Murias ve ark., 2010)

Sıklık (gün*hafta ⁻¹)	Süre (dk)	İş yükü
3	45	% 70 VO _{2maks}

Çizelge 10. Farklı Yaşlarda Dayanıklılık Antrenmanının Zaman Sabitine Etkisi (Murias ve ark., 2011)

	Ön test (τ VO ₂ (sn))	3 hafta sonra (τ VO ₂ (sn))	6 hafta sonra (τ VO ₂ (sn))	9 hafta sonra (τ VO ₂ (sn))	12 hafta sonra (τ VO ₂ (sn))
Yaşlılar (68 ± 7)	43 ± 11	35± 9	34±8	33±8	32±7
Gençler (23 ± 5)	35 ± 9	22 ± 8	19±6	20±7	19±7

Carter ve ark. (2000), koşu bandında yapılan laktat eşiği altı ve laktat eşiği üstünde oksijen alım kinetiklerine 6 haftalık dayanıklılık antrenmanının etkilerini incelemiştir. Dayanıklılık antrenmanının oksijen alımının yavaş fazına etkisini belirlemiştir:

- Oksijen tüketiminin yavaş fazının genliğinde anlamlı bir azalma olmuştur.
- Yavaş fazdaki azalma kan laktatındaki düşme ile ilişkili bulunmamıştır.
- Yavaş fazdaki azalma dakika ventilasyondaki azalma ile ilişkili bulunmuştur.

Sonuç olarak hem kesitsel hem de boylamsal araştırmalar, dayanıklılık egzersizlerinin oksijen alım kinetiğini hızlandırdığını göstermektedir (Caputo ve Denadai, 2004; Cooper ve Storer, 2001; Murias ve ark., 2010; Murias ve ark., 2011; Carter ve ark., 2000).

Nöromusküler Aktivasyon ve Oksijen Alımının Yavaş Fazı

Nöromusküler aktivasyonu belirlemek amaçlı kasın elektriksel aktivitesinin kaydı (elektromiyogram) alınmaktadır. Elektromiyografi (EMG) (elektroelektrik, miyokas, grafi-grafik), farklı kasların veya kasın bir bölümünün aktivasyon seviyesinin belirlenmesinde kullanılan bir teknik olarak tanımlanmaktadır. Kas kasılması sırasında EMG kaydında gözlenen potansiyellere motor ünite aksiyon potansiyeli (MUAP) adı verilmektedir. MUAP, motor sinir, sinir-kas kavşağı ve kastan oluşan motor birimin bütünü hakkında bilgi vermektedir (Eydox ve ark. 2000; Kreighbaum, 1990; Payton ve Bartlett, 2010).

Harekete katılan kas liflerinin uygulanan kuvvet arttıkça öncelikle küçük ve eşiği düşük lifler olmak ve sonrasında daha büyük ve eşiği yüksek lifler (tip IIa ve tip IIx) olmak üzere hiyerarşik bir sırası olduğu düşünülmektedir (Henneman ve ark., 1965; akt: Hickson ve ark., 1978). Sabit yüklü egzersizlerde işe katılan kas lifi tipleri değişmektedir. Yorgun kas liflerinin yerine yeni kas lifleri işe katılmaktadır (akt Vollestad ve ark., 1984; Jones ve Poole, 2005; akt Vollestad ve Blom, 1985; Jones ve Poole, 2005). Ancak insanlar üzerinde olmasa da VO₂ yavaş fazının kas liflerinin devamlı bir şekilde işe katılımına bağlı olmadığını gösteren araştırma da vardır (Zoladz ve ark., 2008).

Oksijen alımının yavaş fazında kastaki toplam nöral aktiviteyi belirlemek için iEMG (elektromiyografi) analizleri yapılmaktadır. Ancak oksijen alımının yavaş fazında tip II liflerinin işe katılımı daha fazla olmaktadır ve bunu belirlemek için **Çizelge 10**'da görüldüğü gibi MPF analizleri yapılmıştır (Vercruyssen ve ark., 2009; Sabapathy ve ark., 2004; Saunders ve ark., 2000; Borrani ve ark., 2001).

Çizelge 11. Literatürde Oksijen Alımının Yavaş Fazında Yapılan EMG Ölçümlerinde İncelenen Parametreler ve Kaslar (Vercruyssen ve ark., 2009; Sabapathy ve ark., 2004; Saunders ve ark., 2000; Borrani ve ark., 2001)

Kaslar	Analizler	Anlamı
Vastus Lateralis Vastus Medialis Rektus Femoris	Integrated EMG (iEMG)	Kastaki toplam nöral aktiviteyi göstermektedir. Tip I ve Tip II kas liflerinin beraber olarak işe katılma oranını göstermektedir.
	Mean Power Frequency (MPF)	Tip II kas liflerinin işe katılım oranını ifade etmektedir.

Gençlerde ve yaşlılarda EMG'nin MPF'ı sabit yüklü egzersizde VO₂ yavaş fazının artmasıyla anlamlı derecede azalma göstermiştir (Borrani ve ark., 2001; Sabapathy ve ark., 2004). VO₂ yavaş fazında EMG'nin MPF'ının artış nedeni tip II kas lifi tiplerinin işe katılımının artışı olarak belirtilmiştir (Borrani ve ark., 2001; Sabapathy ve ark., 2004).

Borrani ve ark. (2001), oksijen alımının yavaş fazının hızlı kasılan liflerin katılımına bağlı olup olmadığı araştırılmıştır. VO₂ yanıtı üç ekspanensiyel fonksiyonu içeren klasik modele uygun bulunmuştur. İki taraftan vastus lateralis, soleus ve gastrocnemius kaslarının elektriksel aktivitesi ölçülmüştür. VO₂ ve ekstensör kasların mean power frekansı VO₂ maksimalin %95'inde koşu yaparken tükenişin ikinci dakikasında artış bulunmuştur. Leepers ve ark. (2002), maksimal aerobik gücün % 55'inde uzun süreli bisiklet egzersizinde nöromusküler yorgunluğu değerlendirmişlerdir. Vastus lateralis ve vastus medialis kaslarının elektromiyografik aktivitesi belirlenmiştir. Kasılma özellikleri anlamlı derecede değişiklik göstermiştir.

Kas yorgunluğu egzersizle maksimal istemli kas kasılması gücündeki azalma olarak tanımlanmıştır. Yorgunluk sadece kas düzeyinde çevresel değişimlerle değil aynı zamanda merkezi sinir sisteminde motor nöronların yetersiz aktivasyonu ile oluşmaktadır. İnsan motor nöronlarının istemli aktivasyonu ve kas liflerinin optimum düzeyin altında olduğu ve böylece maksimum istemli gücün gerçek maksimal güçten daha düşük seviyede olduğu belirtilmiştir. İstemli aktivasyon genelde maksimal izometrik kasılma sırasında merkezi yorgunluğun ortaya çıkması ve motor ünite ateşleme oranının azalması ile azaldığı belirtilmiştir (Gandevia, 2001).

Hautier ve ark., (2000) yorgunluğu bisiklet ergometresinde tekrarlı sprint performansları sırasında EMG ve güç kaybı açısından değerlendirmişlerdir. On denek 15 maksimal 25 s dinlenme aralı 5 s sprint denemesi yapmıştır.

Kuvvet, hız ve tork 1 ve 13. sprintler arasında ve iki submaksimal (50 rpm) hızda sprintler öncesi ve sonrasında ölçülmüştür. Maksimal interval bisiklet egzersizi sonrasında oluşan yorgunluk sonucu EMG.Kuvvet⁻¹ belirlemek amaçlı kuvvet üreten kasların kasılma stratejilerini ve antagonist kasların ko-aktivasyonunu araştırmışlardır. Maksimal bisiklet performansı sonrasında kranktaki moment azalırken temel hareket kaslarının (GM ve VL) kasılma stratejilerinin değişmediğini bulmuşlardır.

Vastus lateralis kasının yorgunluk koşullarında submaksimal periyotta daha fazla aktive olduğu bulunmuştur. Sonuç olarak kasların periferal yorgunluk durumunu gösteren EMG.kuvvet⁻¹ oranı artmıştır. Antagonist kaslar yorgunluk sonrası sprintlerde daha az aktive olmuşlardır. Son submaksimal bisiklet performansında ise değişiklik göstermemişlerdir. Agonist kuvvetin azalması ile ko-aktivasyonda da azalma olduğu görülmüştür. Yorgunluk durumunda ko-aktivasyondaki bu azalmanın deneklerin antrenman durumları ile ilgili olabildiği düşünülmüştür (Hautier ve ark., 2000).

EMG.kuvvet⁻¹ oranındaki değişimin iki tür yorgunluğu gösterdiği belirtilmiştir.

1. Merkezi yorgunluk

Motor ünite öncesinde

2. Periferal yorgunluk

Motor ünite içerisinde

Kas yorgunluğu farklı nedenler ve mekanizmaları içermektedir. Yorgunluk sonucu, kan sirkülasyonunda oksijenin ve besleyici maddelerin yetersizliği sonucu kaslarda metabolik, yapısal ve enerjik değişimler ve sinir sisteminin etkinliğindeki değişimler sonucu oluşmaktadır. Kas metabolizmasının tahmini kalp atım hızı, laktat üretimi, oksijen tüketimi ve dakika ventilasyonda non-linear artışla karakterize olan solunum eşiğinin belirlenmesi ölçümlerine dayanmaktadır (Hug ve ark., 2004; Carter ve ark., 2000). Kas metabolizması anaerobik yola döndüğünde motor ünitelerin harekete katılımının azaldığı belirtilmiştir. Ancak bireysel yüzeysel EMG değişiklikleri farklı egzersiz süreleri ile sonuçlanabilmektedir (Arnaud ve ark. 1997). Hug ve ark., (2004) bisiklet antrenmanı sEMG enerjisi ile VO₂ arasındaki ilişkiyi geliştirebilir hipotezini test etmek amaçlı bir çalışma yapmışlardır. Her denek maksimal oksijen tüketimi ve solunum eşiğini belirlemek amaçlı artırmalı egzersiz protokolü uygulamışlardır. İkinci olarak denekler tükenene kadar sabit yük eşiğinde bisiklet egzersizi uygulamışlardır. İki vastus lateralis kaslarında sEMG ölçümü yapılmıştır. RMS ve M-Wave periyodik olarak kaydedilmiştir. Artırmalı egzersiz boyunca antrenmansız deneklerde RMS artışı ile VO₂ artışı arasında non-linear pozitif korelasyon antrenmanlı deneklerde ise ilişki bulunmuştur. Sabit yüklü egzersiz boyunca ilk egzersiz sonrasında RMS.VO₂⁻¹ oranı egzersizin 2. dakikasından sonra bir platoya ulaşınca kadar kademeli bir şekilde azalmıştır. Fakat grup içinde anlamlı bir fark bulunmamıştır. Sonuç olarak sadece iyi antrenmanlı bisikletçilerde artırmalı bisiklet egzersizi boyunca vastus lateralis kasından kaydedilen sEMG enerjisi metabolik enerji harcanmasının tahmin edilmesinde iyi bir yol olduğu belirtilmiştir.

Arnaud ve ark. (1997), antrenmansız deneklere eşik altı veya eşik üstü olarak tanımlanan sabit bir iş yükünde bisiklette egzersiz yaptırmışlardır. Eşik üstü egzersiz sırasında ve sonrasında vastus lateralis kasında sürenin uzaması ile M-wave genişliğinde azalma olmuştur. M-wave'deki değişiklikler kan laktat konsantrasyonunun artması ile ilişkili olduğu sonucunu bulmuşlardır. İki iş yükü düzeyinde EMG'nin RMS'inde artış oksijen tüketimi ile ilişkili bulunmuştur. Bu durum da bisiklet egzersizi sırasında bacak kaslarının refleks mekanizmalarını göstermiştir.

Sonuç olarak oksijen alımının yavaş fazında EMG yanıtlarında anlamlı fark olduğunu gösteren araştırmalarla beraber (Borrani ve ark., 2001; Sabapathy ve ark., 2004) oksijen alımının yavaş fazında EMG yanıtlarında bir değişim olmadığını gösteren araştırmalar da bulunmaktadır ve bu konu netlik kazanmamıştır (Scheurmann ve ark., 2001; Tordi ve ark., 2003).

GEREÇLER

Kullanılan Cihazlar

Kompüterize Aerobik Ergometre Sistemi

Oksijen tüketimi, laktat ve EMG ölçümleri **Şekil 14**'de görülen kompüterize aerobik ergometre sistemi (Monark, 839 E, Sweden) ile gerçekleştirilmiştir. Cihaz bilgisayar ile birlikte her açıldığında kalibrasyonu yapılmıştır. Ergometrenin programından kalibrasyon sekmesi açılmış ve aşağıdaki işlemler yapılmıştır:

- Sarkaç '0' pozisyonuna getirilmiştir ve beklenmiştir.
- Sarkacı 2 kp pozisyonuna getir uyarısı gelince sarkaç 2 kp pozisyonuna getirilmiştir.
- Sarkacı 4 kp pozisyonuna getir uyarısı gelince sarkaç 4 kp pozisyonuna getirilmiştir.
- Sarkacı 6 kp pozisyonuna getir uyarısı gelince sarkaç 6 kp pozisyonuna getirilmiştir.
- Sarkacı tekrar '0' pozisyonuna getir uyarısı gelince sarkaç '0' pozisyonuna getirilmiştir.
- Ekranda kalibrasyon tamamlanmıştır (calibration done) uyarısı görülünce işlem tamamlanmıştır.

Cihazın kalibrasyonu tamamlandıktan sonra ölçüm yapılacak kişi ile ilgili veriler programa girilmiş ve ardından da ölçüm yapılacak protokol seçilerek ölçüme başlanmıştır. VO_{2maks} ve anaerobik eşik belirleme amaçlı yapılan artırmalı protokol ve kişilere özel sabit yüklü protokoller ölçüm öncesinde programda protokol listesine yazılarak yeni protokoller hazırlanmıştır. Programın mevcut protokolleri kullanılmadığı için her bireye özel anaerobik eşik altı ve anaerobik eşik üstü sabit yüklü protokoller ölçüm öncesi denekler gelmeden programa kaydedilmiştir.



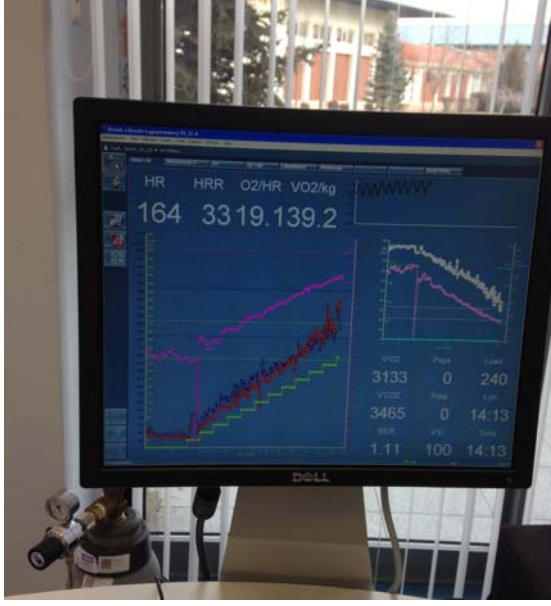
Şekil 14. Kompüterize Aerobik Ergometre Sistemi

Oksijen Analizörü

Oksijen tüketimini ölçmek için **Şekil 15**'de görülen Masterscreen Cardiopulmonary Exercise Testing marka (USA) oksijen analizörü kullanılmıştır. Her ölçüm öncesinde cihaz ve bilgisayarı açılmış ve programın ısınması için 15 dk beklenmiştir. Isınma süreci tamamlanınca cihaza bağlanan ve içerisinde % 16 O₂, % 4 CO₂ ve balans nitrojen gazları basılmış olan tüp açılmıştır ve cihazda kalibrasyonu yapılmıştır. Sonrasında dijital TripleV sensörü ve sample tube cihazdaki yerlerine takılarak gaz analiz kalibrasyonu da yapılmıştır. İki kalibrasyon da kalibrasyon yapılmıştır onayını (calibration ok) aldıktan sonra cihaz ölçüme hazır hale gelmiştir. Kalibrasyon tamamlandıktan sonra denekler gelmeden önce ölçüm yapılacak protokol cihazda protokoller listesine eklenmiştir. Protokollerle ilgili ayrıntılı bilgi yöntem bölümünde verilmiştir. Ölçüm için denek geldiğinde deneğin kişisel bilgileri (ad-soyad-yaş-boy-kilo-denek no) 'patient data' sekmesi seçilerek girilmiş ve ardından ölçüm yapılacak protokol seçilerek test başlatılmıştır. Maskenin yüze iyice oturup oturmadığı her ölçüm öncesinde kontrol edilmiş ve deneklerin yüzlerine uygun ölçüde maske seçilmiştir.



Şekil 15. Oksijen Analizörü



Şekil 16. Oksijen Tüketimi Ölçümü Sırasında Alınan Bir Görüntü

Oksijen analizörü ile yapılan maksimal oksijen tüketimi testi sırasında bilgisayar ekranında **Şekil 16**'da görüldüğü gibi kişinin kalp atım hızı, solunum değişim oranı, süre, iş yükü, VO_2 ve VCO_2 grafiği gibi solunum parametreleri ekrandan takip edilebilmiştir. Ölçüm sırasında terleme gibi nedenlerle maskelerde kayma olduğu zaman RER değerinde ya da grafikte anormal veriyle karşılaşıldığı için hemen maske düzeltilerek ölçüme devam edilmiş ve veriler doğru şekilde alınmıştır.

Bunun dışında denekler hasta (grip) olarak ölçüme katıldıklarında burun tıkanıklığından dolayı RER değeri ve VO_2 ve VCO_2 grafikleri bozulmaktadır ve bu durumda olan deneklerin testleri değerlendirilmemiştir. Ölçümü ekrandan takip etmek bu açıdan avantaj sağlamıştır.

Laktat Analizörü



Şekil 17. EKF Biosen Marka Laktat Analizörü

Laktat sonuçları **Şekil 17**'de görülen EKF Biosen C Line markalı laktat analizörü ile değerlendirilmiştir. Solda görülen tepsiye hemoliz tüplerin içerisinde kan örnekleri yerleştirilmiş ve cihazın kalibrasyonu onaylandıktan sonra sonuçlar okutulmuştur.

Cihazın ölçümleri doğru okuyabilmesi için eskimiş olan çip sensörler (chip sensor glukoz ve chip sensor lactate) değiştirilmiştir.

Kalibrasyonun onaylanmadığı durumlarda kalibrasyon için kullanılan kimyasallar (easycon norm, easycon pat, readycon norm) yenilenmiş ya da sensör-test solüsyonu yenilenecek tekrar kalibrasyon yapılmıştır.

Kalibrasyon onayı alındıktan sonra veriler tepsiye konularak analiz edilmiştir.

EMG Cihazı



Şekil 18. Delsys Marka EMG Ölçüm Cihazı

Kas aktivitesini ölçmek için de Delsys marka (USA) EMG ölçüm cihazı kullanılmıştır. Denekler gelmeden 2 saat önce kablosuz sensörlerin şarj olması için cihaz güç kaynağına bağlanmıştır. Kablosuz sensörlerin ışığı yeşil renkli olduğunda şarj olduğu anlaşılmıştır.

Cihazın verileri alabilmesi için anteni yukayı kaldırılmıştır. Cihazın baz istasyonu ile bilgisayar arasındaki veri akışını sağlayan kablo takılmıştır. Cihazın doğru ölçüm yapıp yapmadığını tespit etmek için her ölçüm öncesinde deneme verileri alınmıştır. Ölçüm sırasında kablosuz sinyal kaydı alındığı için cep telefonları ve elektronik cihazlar ortamdaki uzaklaştırılmıştır. Ortamdaki gürültünün EMG sinyalini etkileyip etkilemediği deneme verileri ile kontrol edildikten sonra ölçüme başlanmıştır.

YÖNTEM

Etik

Bu araştırma Osmangazi Etik Kurulunca onaylanmış ve uygulanmasında herhangi bir sakınca görülmemiştir. Çalışma prosedürü Helsinki deklarasyonuna uygun olarak yapılmıştır.

Denekler

Araştırmaya 24 gönüllü sağlıklı, aktif sporcu olmayan 20-30 yaş arası erkek üniversite öğrencisi dahil edilmiştir.

Deneklerin yaş, boy, vücut ağırlığı ve vücut yağ yüzdesi olmak üzere tanımlayıcı değişkenleri **Çizelge 12**'de verilmiştir. Bağımsız iki grup arası farkların testi (independent samples t test) ile iki gruptaki deneklerin ön testleri arasındaki fark olmadığı tespit edilmiştir.

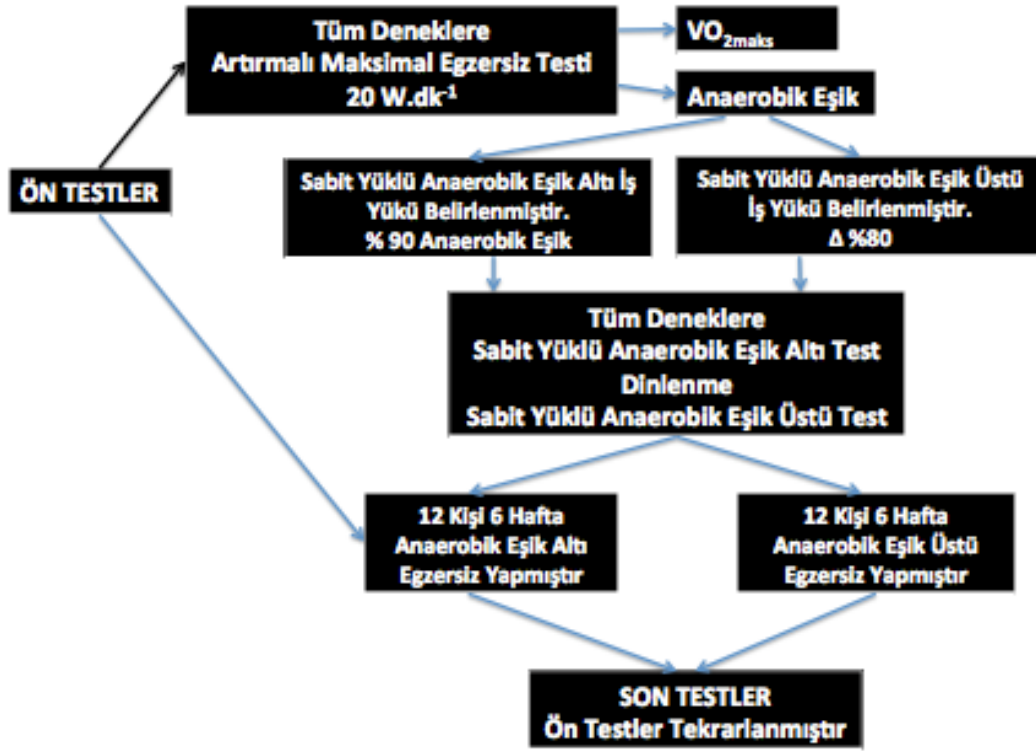
Çizelge 12. Deneklerin Tanımlayıcı Değişkenleri

Egzersiz Grupları	N	Yaş (yıl)	Boy (cm)	Vücut Ağırlığı (kg)	Vücut Yağ Yüzdesi (%)
AE Altı Egzersiz Yapan Grup	12	21.9±1.6	176.4±3.9	71.2±6.7	12.5±4.7
AE Üstü Egzersiz Yapan Grup	12	22.2±2	179.2±5.8	70.9±9.9	12.9±5.0
p<0.05		NS	NS	NS	NS
p<0.05, AE altı egzersiz yapan grup ile AE üstü egzersiz yapan grup arasındaki farkın anlamlılık düzeyi					

Deneklere testler öncesinde deneme ölçümleri yapılmıştır. Her denek ölçümden 24 saat önce fiziksel bir aktiviteye katılmaması, alkol, kafein almaması ve susuz kalmaması konusunda bilgilendirilmiştir.

Ölçüm Tasarımı

Tüm denekler iki ayrı gün ön test ölçümleri için iki ayrı gün de son test ölçümleri için laboratuvara gelmişlerdir. Ölçüm tasarımı **Şekil 19**'da gösterilmiştir.



Şekil 19. Ölçüm Tasarımı

Şekil 19’de görüldüğü gibi öncelikle tüm denekler artırmalı maksimal bisiklet egzersizi testine katılmışlardır. Maksimal bisiklet egzersizi testi sonucunda VO_{2maks} ve anaerobik eşik belirlenmiştir.

Sonraki ölçümde anaerobik eşik altı ve anaerobik eşik üstü sabit yüklü egzersizde oksijen alım kinetiği belirlenmiştir.

Ön Testler

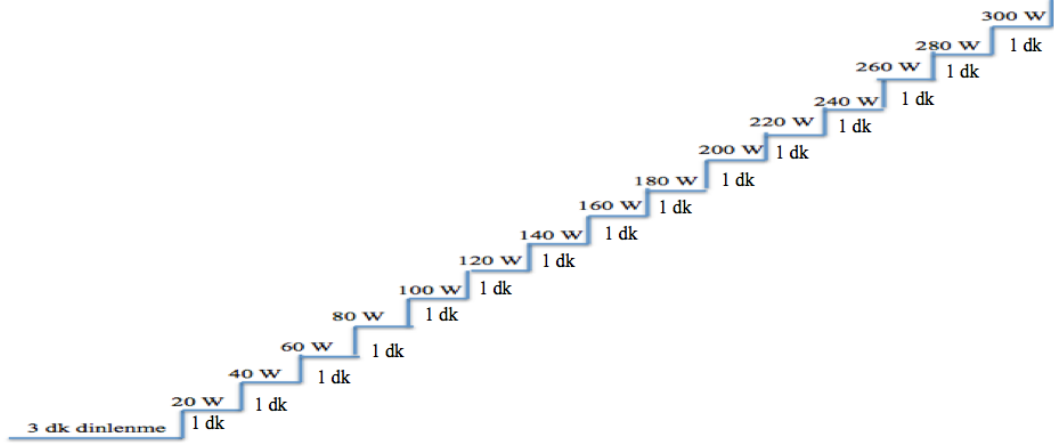
Test Öncesi Hazırlıklar

Hem artırmalı egzersiz testi hem de sabit yüklü egzersiz testleri öncesinde yapılan işlemler aşağıda belirtilmiştir:

- Ölçüm yapılacak kasların üzerine EMG sensörlerini yerleştirmek için kas lifi yönüne paralel olacak şekilde deneme ölçümleri yapılarak en çok aktivitenin alındığı bölge belirlenmiştir.
- EMG sensörlerinin yapıştırılacağı yerler alkolle temizlenmiş ve kurulanmıştır.
- EMG sensörlerinin arkasına ara yüzleri yapıştırılmış ve kaslar için ön denemeleri yapılarak belirlenmiş yerlere yapıştırılmıştır.
- EMG sensörlerinin ölçüm sırasında düşmesini veya kaymasını önlemek için flaster bantlarla sabitlenmiştir.
- EMG sensörleri yerleştirilip sabitlendikten sonra kişi bisiklet ergometresine alınmıştır ve elektrotlar denenmiştir.
- Kişilerin yüzlerine maske takılıp hava kaçağı olup olmadığı kontrol edilmiştir.

Artırmalı Maksimal Egzersiz Testi

Araştırmaya katılan tüm deneklere protokolü **Şekil 20**'de gösterilmiş olan artırmalı bisiklet ($20 \text{ W} \cdot \text{dk}^{-1}$) egzersiz testi uygulanmıştır (Hug ve ark., 2004).



Şekil 20. Artırmalı Maksimal Bisiklet Testinin Protokolü

Teste alınacak kişinin dinlenik olması doğru bir ölçüm yapmak için ön koşuldur. Kişinin dinlenik olduğunu gösteren aşağıdaki fizyolojik parametreler teste başlama kriterleri olarak belirlenmiştir.

1. Dinlenim RER oranı 0.7-0.85 aralığında olmalıdır.
2. Dinlenim laktat değeri $1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ değerinin altında olmalıdır.

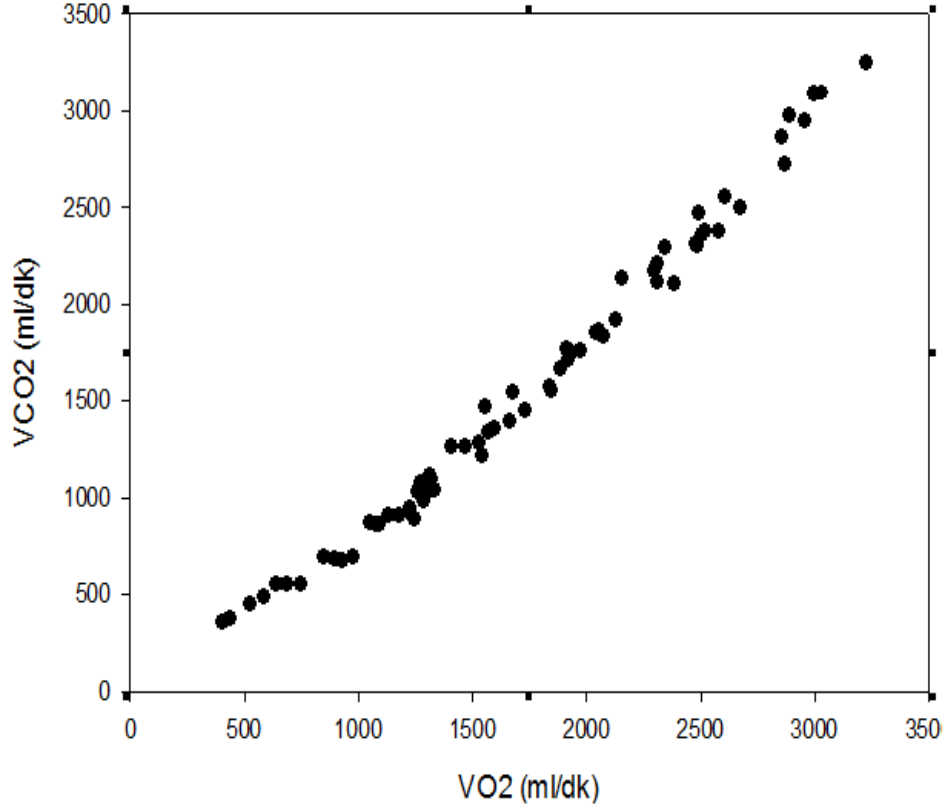
Test bireyler tükendiklerinde sonlanmıştır. Her bireyin tükenme zamanı farklı olduğu için testin tamamlanması süresi bireye özeldir. Testi sonlandırma kriteri olarak da kişilerin $50 \text{ devir} \cdot \text{dk}^{-1}$ pedal frekansının altına düşmesi ve yorgunluk sonucu pedal çevirememeye durumu belirlenmiştir.

Artırmalı Egzersiz Test Sonuçlarının Analizi

Anaerobik Eşik Analizi

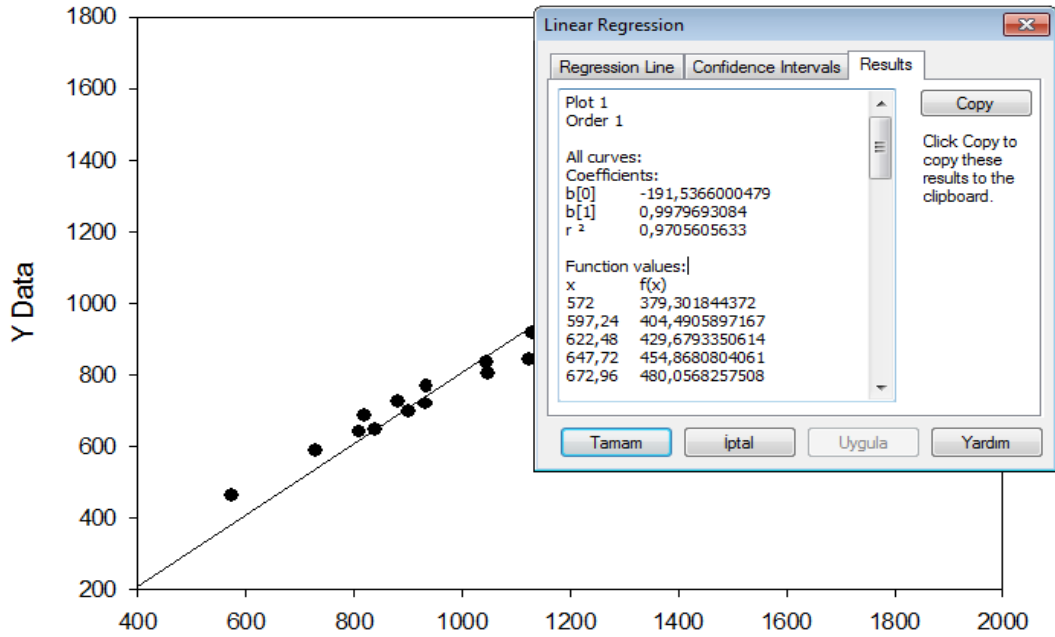
Murias ve ark. (2011) araştırmasındaki gibi CO_2 üretiminin O_2 tüketimine göre daha fazla artış gösterdiği anaerobik metabolizmaya geçiş noktası olarak belirlenmiştir. Anaerobik eşik noktasındaki iş yükü (W) ve kalp atım hızı ($\text{atım} \cdot \text{dk}^{-1}$) kaydedilmiştir. Maksimal oksijen tüketimi ($\text{VO}_{2\text{maks}}$) testin son 30 saniyesinde elde edilen ortalama oksijen tüketimi değeri olarak alınmıştır. Test sonlarında kişinin R değeri 1.10 ve üzerinde ve maksimum kalp atım hızının $\pm 5 \text{ atım} \cdot \text{dk}^{-1}$ kalp atım hızında ise $\text{VO}_{2\text{maks}}$ değerine ulaşmış kabul edilmiştir (Carter ve ark., 2000).

Anaerobik eşik noktası belirleme analizi **Şekil 21, 22, 23, 24** ile açıklanmıştır.



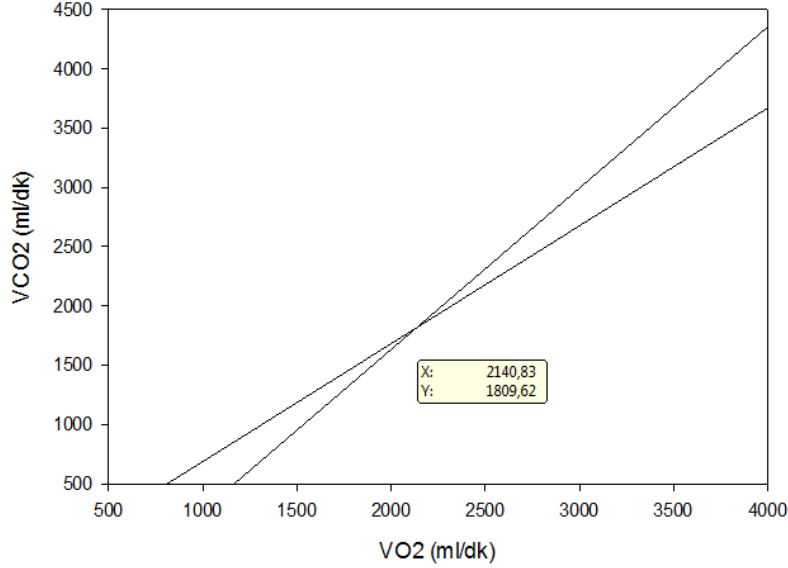
Şekil 21. Artırmalı Maksimal Bisiklet Egzersizi Testi Sonucu Bir Kişiyeye Ait VO_2 ve VCO_2 Serpme Diyagramı (Scatter Plot) Grafiği

Şekil 21’de görüldüğü gibi bir kişiyeye ait artırmalı egzersiz sonucu elde edilen VO_2 ve VCO_2 verilerinin serpme diyagramı (scatter plot) çizilmiştir.



Şekil 22. Artırmalı Maksimal Bisiklet Egzersizi Testi Sonucu Bir Kişiyeye Ait VO_2 ve VCO_2 Verilerinin Linear Regresyon Sonucu

Lineer regresyon analizi yapıp $b[1]$ değerine bakılmıştır (**Şekil 22**). Solunum değişim oranını yansıtan $b[1]$ değeri ile anaerobik metabolizmaya geçilen nokta belirlenmiştir. Lineer regresyon sonuçlarından $b[1] = 0,99$ sonucu bulununcaya kadar veriler alttan kesilip 3 ve 4. sütunlara yapıştırılmıştır ve kesişim noktasının grafiği çizdirilmiştir (**Şekil 23**).



Şekil 23. Bir Kişiyeye Ait VO₂ ve VCO₂ Verilerinin Lineer Regresyon Sonucu Belirlenen Anaerobik Eşik Noktası

Çoklu regresyon analizi ile VCO₂ verisinin artışının VO₂ verisinin artışına göre daha fazla olduğu nokta tespit edilmiştir.

Şekil 23'de görülen kesişim noktası anaerobik eşik noktasıdır ve 'x' ile gösterilen VO₂, 'y' ile gösterilen VCO₂ değerleridir. Anaerobik eşik girilen noktadaki VO₂ 2140 ml.dk⁻¹, VCO₂ 1809 ml.dk⁻¹ olarak kaydedilmiş ve artırmalı maksimal egzersiz testinin verilerini içeren Excel dosyası açılmıştır (**Şekil 24**).

Microsoft Excel - Ahmet_AE_01

Dosya Düzen Görünüm Ekle Biçim Araçlar Veri Pencere Yardım

L116 fx

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
73	09:50	140	157	51	24	29,4	2177	1832	0,84	
74	10:00	140	156	51	24	28,8	2129	1859	0,87	
75	10:10	160	159	53	22	29,3	2170	1958	0,9	
76	10:20	160	161	54	19	30	2222	2053	0,92	
77	10:30	160	163	50	23	29,4	2173	1879	0,86	
78	10:40	160	161	56	23	31,1	2303	2052	0,89	
79	10:50	160	163	53	23	30,6	2263	2049	0,91	
80	11:00	160	163	51	21	30,8	2278	2037	0,89	
81	11:10	180	161	50	20	31,7	2343	2077	0,89	
82	11:20	180	163	55	24	33,1	2449	2129	0,87	
83	11:30	180	165	54	22	32,6	2411	2135	0,89	
84	11:40	180	163	58	25	36,2	2682	2300	0,86	
85	11:50	180	166	73	32	36	2660	2465	0,93	
86	12:00	180	169	57	24	33,3	2461	2271	0,92	
87	12:10	200	170	66	25	38,2	2830	2558	0,9	
88	12:20	200	170	80	38	37	2736	2593	0,95	
89	12:30	200	173	76	32	36,9	2733	2683	0,98	
90	12:40	200	173	78	34	38,8	2868	2722	0,95	
91	12:50	200	175	90	38	39,3	2907	2907	1	
92	13:00	200	178	86	36	37,4	2770	2801	1,01	
93	13:10	220	179	64	26	32	2365	2325	0,98	
94	13:20	220	178	73	31	38,5	2847	2582	0,91	
95	13:30	220	179	93	36	44,8	3315	3260	0,98	
96	13:40	220	182	83	36	36,6	2707	2726	1,01	
97	13:50	220	182	84	36	41,4	3063	2992	0,98	
98	14:00	220	182	79	34	37,3	2759	2777	1,01	
99	14:10	240	183	88	32	43,9	3248	3147	0,97	
100	14:20	240	183	95	41	42,7	3157	3148	1	
101	14:30	240	187	99	32	43,2	3195	3329	1,04	

Ahmet_AE_01

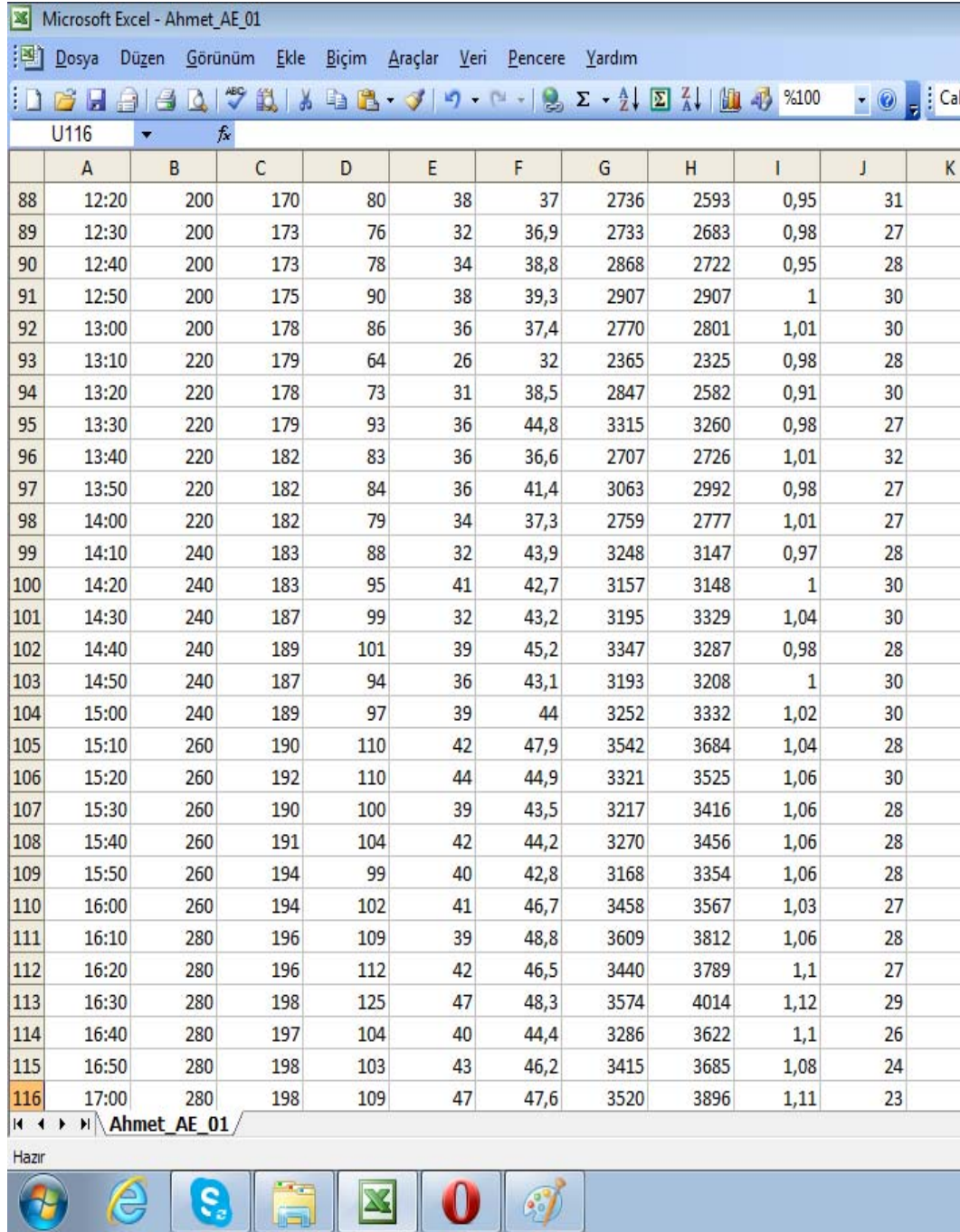
Hazır

Şekil 24. Excel Programında Lineer Regresyon Sonucu Belirlenen Anaerobik Eşik Noktasına Karşılık Gelen Egzersiz Yoğunluğunun Belirlenmesi

VO₂ ve VCO₂ verilerinin kesiştiği nokta excel dosyasında açılmıştır. Excel programında 'G75' ve 'H75' hücrelerinde bireyin yaklaşık VO₂ 2140 ml.dk⁻¹, VCO₂ 1809 ml.dk⁻¹ olduğu anaerobik eşik noktası bulunmuştur (Şekil 24). Analiz sonucu 'I75' hücresinde gösterilen R değeri (0.9) ile kontrol edilmiştir. Belirlenen noktadaki iş yükü; 'B75' hücresinde görüldüğü üzere 160 W, kalp atım hızı da 'C75' hücresinde 159 atım.dk⁻¹ olarak kaydedilmiştir.

VO_{2maks} Değerinin Belirlenmesi

Artırmalı test sonucu verilerinden anaerobik eşik noktasıyla beraber VO_{2maks} değeri de belirlenmiştir.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
88	12:20	200	170	80	38	37	2736	2593	0,95	31	
89	12:30	200	173	76	32	36,9	2733	2683	0,98	27	
90	12:40	200	173	78	34	38,8	2868	2722	0,95	28	
91	12:50	200	175	90	38	39,3	2907	2907	1	30	
92	13:00	200	178	86	36	37,4	2770	2801	1,01	30	
93	13:10	220	179	64	26	32	2365	2325	0,98	28	
94	13:20	220	178	73	31	38,5	2847	2582	0,91	30	
95	13:30	220	179	93	36	44,8	3315	3260	0,98	27	
96	13:40	220	182	83	36	36,6	2707	2726	1,01	32	
97	13:50	220	182	84	36	41,4	3063	2992	0,98	27	
98	14:00	220	182	79	34	37,3	2759	2777	1,01	27	
99	14:10	240	183	88	32	43,9	3248	3147	0,97	28	
100	14:20	240	183	95	41	42,7	3157	3148	1	30	
101	14:30	240	187	99	32	43,2	3195	3329	1,04	30	
102	14:40	240	189	101	39	45,2	3347	3287	0,98	28	
103	14:50	240	187	94	36	43,1	3193	3208	1	30	
104	15:00	240	189	97	39	44	3252	3332	1,02	30	
105	15:10	260	190	110	42	47,9	3542	3684	1,04	28	
106	15:20	260	192	110	44	44,9	3321	3525	1,06	30	
107	15:30	260	190	100	39	43,5	3217	3416	1,06	28	
108	15:40	260	191	104	42	44,2	3270	3456	1,06	28	
109	15:50	260	194	99	40	42,8	3168	3354	1,06	28	
110	16:00	260	194	102	41	46,7	3458	3567	1,03	27	
111	16:10	280	196	109	39	48,8	3609	3812	1,06	28	
112	16:20	280	196	112	42	46,5	3440	3789	1,1	27	
113	16:30	280	198	125	47	48,3	3574	4014	1,12	29	
114	16:40	280	197	104	40	44,4	3286	3622	1,1	26	
115	16:50	280	198	103	43	46,2	3415	3685	1,08	24	
116	17:00	280	198	109	47	47,6	3520	3896	1,11	23	

Şekil 25. Artırmalı Maksimal Bisiklet Testi Sonucu Excel Dosyasında VO_{2maks} Değerinin Belirlenmesi

Bir kişiye ait VO_{2maks} değeri belirlenirken Şekil 25’de görülen artırmalı maksimal bisiklet testi sonucundaki oksijen tüketimi değerlerini gösteren Excel dosyası açılmıştır. Excel dosyasında ‘A’ sütunu süreyi (dk), ‘B’ sütunu iş yükünü (W), ‘C’ sütunu kalp atım hızını (atım.dk⁻¹), ‘D’ sütunu VE değerini (L.dk⁻¹), ‘E’ sütunu dakikadaki solunum frekansını, ‘F’ sütunu VO₂ (ml.kg⁻¹.dk⁻¹) değerini, ‘G’ sütunu

VO₂ (ml.dk⁻¹) değerini, 'H' sütunu VCO₂ (ml.dk⁻¹) değerini, 'I' sütunu ise RER değerini vermektedir. Bu verilerden öncelikle 'y' ekseninde VO_{2maks} (ml.kg⁻¹.dk⁻¹) (F sütunu) ve 'x' ekseninde süre (sn) (A sütunu) verileri olacak şekilde VO₂ grafiği çizilmiştir (**Şekil 26**). Artırmalı maksimal bisiklet testi (20 W.dk⁻¹) sonucu **Şekil 26**'de görüldüğü gibi VO₂ değerleri devamlı bir artış gösterirken testin sonlarına doğru kısa bir plato göstermiştir.

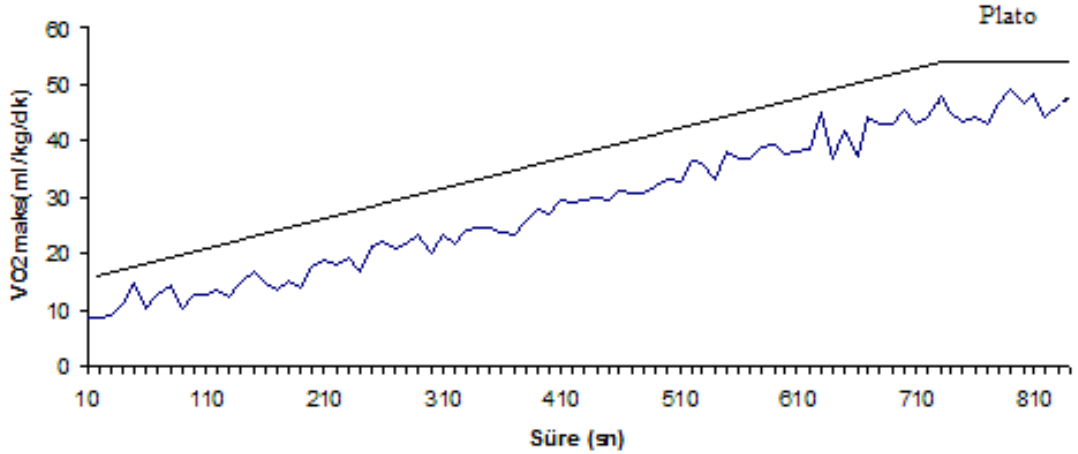
Aşağıda belirtilen VO_{2maks} değerine ulaşma kriterleri sağlandığı için kişinin verileri sonucundaki en yüksek VO₂ değerlerinin son 30 sn ortalaması alınarak hesaplanmış ve VO_{2maks} bulunmuştur (Bailey ve ark., 2009). **Şekil 25**'de 'F114', 'F115' ve 'F116' hücrelerindeki VO₂ verilerinin ortalaması alınarak VO_{2maks} değeri 46.1 ml.kg⁻¹.dk⁻¹ olarak belirlenmiştir.

1. **Şekil 26**'da görüldüğü gibi VO₂ grafiği platoya ulaşmıştır.
2. RER değerleri 1.10'un üzerindedir.

RER değeri **Şekil 25**'de 'I' sütununa bakarak değerlendirilmiştir. RER değerinin 1.10'un üzerinde olduğu aralığın 'I112' ve 'I116' hücreleri arasında olduğu görülmektedir.

3. Yaşa dayalı maksimal kalp atım hızının %92'sine ulaşmış olma koşuluna göre kişinin kalp atım hızının 184 atım.dk⁻¹ üzerinde olması ((C114-C115-C116 hücrelerinde (197-198 atım.dk⁻¹)) kriteri de sağlanmıştır (Bassett ve Howley, 2000; Carter ve ark., 2000; Pyke., 2012).

Bu kriteri de test etmek için öncelikle kişinin yaşına göre maksimal kalp atım hızı belirlenmiştir (220-yaş=220-20=200). Kişinin maksimum kalp atım hızı '200 atım.dk⁻¹' olarak hesaplandıktan sonra bu değer %92'si '184 atım.dk⁻¹' olarak hesaplanmıştır.



Şekil 26. Artırmalı Maksimal Bisiklet Testi Sonucu VO_{2maks} Grafiği

Anaerobik Eşik Altı ve Eşik Üstü İş Yüklerinin Belirlenmesi

Sabit yüklü egzersizde AEAE ve AEÜE iş yükleri **Eşitlik 19** ve **Eşitlik 20** kullanılarak bireysel olarak belirlenmiştir.

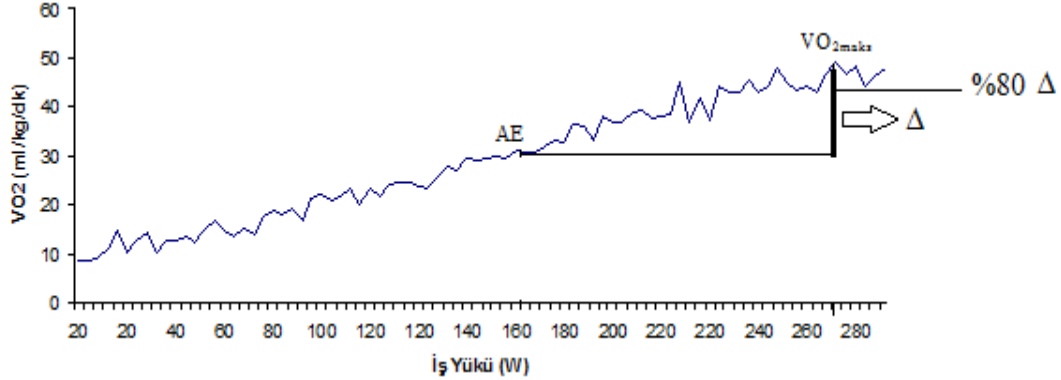
$$VO_2(\text{AE altı}) = VO_2(\text{AE}) \times 0.9 \quad (\text{Eşitlik 19})$$

$$VO_2(\text{AE üstü}) = VO_2(\text{AE}) + (VO_{2\text{maks}} - VO_2(\text{AE})) \times 0.8 \quad (\text{Eşitlik 20})$$

Sabit Yüklü AEAE ve AEÜE Testleri ve Modellemeleri

Tüm denekler sabit yüklü AEAE testine katılmıştır. Test sırasında 3 dk dinlenim ve sonrasında 6 dk pedal çevirme sırasında kayıt alınmıştır. Test sırasında iş yükünde kare dalga artışı yapılmıştır. Testteki kayıt süresi ve % 90 AE iş yükü Murias ve ark., (2010) çalışmasındaki protokole göre belirlenmiştir.

Sabit yüklü AE altı testi tamamladıktan sonra deneklere 40 dk dinlenme süresi verilmiş ve laktat değerleri 1'in altına düştüğünde AE üstü teste katılmışlardır. AE üstü test Scheuermann ve ark. (2001), çalışmasındaki gibi 8 dk pedal çevirme sırasında kayıt alınmıştır. Ancak testin tamamlanma süresi bireyseldir. Sekiz dakika tamamlayamayan bireyler tükendikleri noktada testi bırakmışlardır. Testteki iş yükü yukarıdaki formülde açıklandığı gibi $\Delta\%80$ olarak uygulanmıştır. **Şekil 26**'da artırmalı egzersiz testinde 'x' ekseninde iş yükü (W) ve 'y' ekseninde VO_2 ($\text{ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$) görülmektedir. Bu testte kişinin AE noktası ve $VO_{2\text{maks}}$ noktası da belirtilmiştir. Yukarıda ifade edilen Δ kavramı **Şekil 27**'de görüldüğü gibi $VO_{2\text{maks}}$ ve anaerobik eşikteki VO_2 arasındaki faktör. Belirtilen bu farkın %80'i de $\Delta\%80$ olarak ifade edilmektedir.



Şekil 27. Sabit Yüklü AEÜE Testinin İş Yükünün Belirlenmesinde Kullanılan Δ Değerinin %80'inin Belirlenmesi

Kişinin anaerobik eşik noktasındaki iş yükünü ve kalp atım hızını ve maksimal iş yükü ve kalp atım hızı kopyalanmıştır. Bir kişinin verileri örnek alındığında **Çizelge 12**'de görüldüğü gibi işlemler Excel çalışma sayfasına aktarılmıştır.

Çizelge 13. Bir Kişinin Verilerine Göre Anaerobik Eşik ve VO_{2maks} Verilerine Göre AEAE ve AEÜE İş Yüklerinin Belirlenmesi

	A	B	C	D	E	F	G
1		İY (W)	KAH (atım .dk ⁻¹)	AEAE		AEÜE	
2				İş Yükü (W)	KAH (atım.dk ⁻¹)	İş Yükü (W)	KAH (atım.dk ⁻¹)
3	AE	160	159	$=(B3 \times 90) / 100$	$=(C3 \times 90) / 100$	$=(B3 - B2) \times 0,8 + B2$	$=(C3 - C2) \times 0,8 + C2$
4	VO _{2maks}	280	198				

Kişinin AE noktasına denk gelen iş yükü (İY) ‘B3’ hücresine, kalp atım hızı (KAH) ‘C3’ hücresine VO_{2maks} noktasına denk gelen iş yükü ‘F3’ hücresine ve kalp atım hızı da ‘G3’ hücresine yapıştirilmiştir.

AEAE iş yükünü (%90 AE) belirlemek amaçlı ‘D3’ hücresine ‘ $=(B3 \times 90) / 100$ ’ formülü yazılmıştır.

AEAE kalp atım hızını belirlemek amaçlı ‘E3’ hücresine ‘ $=(C3 \times 90) / 100$ ’ formülü AEÜE iş yükünü (Δ %80) belirlemek amaçlı ‘F3’ hücresine ‘ $=(B3 - B2) \times 0,8 + B2$ ’ formülü yazılmıştır.

AEÜE kalp atım hızını belirlemek amaçlı ‘G3’ hücresine ‘ $=(C3 - C2) \times 0,8 + C2$ ’ formülü girilerek bireysel AEAE ve AEÜE iş yükleri ve kalp atım hızları belirlenmiştir. Özyener ve ark. (2001) araştırmasındaki sabit yüklü AEAE ve AEÜE iş yükleri referans alınmıştır.

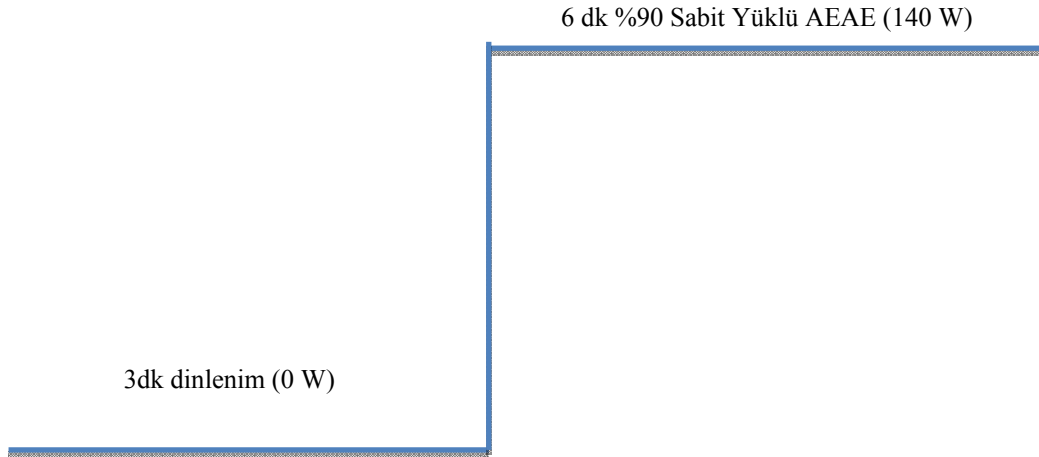
Her denek için hem ön testlerde hem de son testlerde belirtilen AE analizleri yapılmış ve AEAE ve AEÜE iş yükleri ve kalp atım hızları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda bireysel sabit yüklü AEAE ve AEÜE test protokoller oluşturulmuştur.

Oluşturulan protokoller **Çizelge 14**’de 6 kişi örneği üzerinden gösterilmiştir. Toplam 24 deneğin verileri **Çizelge 14**’deki gibi Excel dosyasında kaydedilmiştir. İlk sütunda denek numaraları (DN), ikinci sütunda test numaraları ön test (01), ara test (02) ve son test (03) sıralaması belirtilmiştir. Artırmalı maksimal test sonucu belirlenen AE ve VO_{2maks} değerlerine göre daha **Çizelge 13**’de gösterilmiş formüllerle yapılan hesaplamalar sonucu oluşturulan bireysel AEAE ve AEÜE iş yükleri W olarak 3 ve 5. sütunlarda, kalp atım hızları da 4. ve 6. sütunlarda atım.dk⁻¹ olarak **Çizelge 14**’de verilmiştir. Bireysel olarak AE noktasındaki iş yükü (W) 8. sütunda, KAH (atım.dk⁻¹) 9. sütunda, VO_{2maks}’daki iş yükü (W) 10. sütunda, kalp atım hızı da (atım.dk⁻¹) 11. sütunda verilmiştir.

Çizelge 14. Bireysel Sabit Yüklü AEAE ve AEÜE İş Yükleri ve Kalp Atım Hızları Listesi

D N	Test no	AEAE (W)	AEÜE (KAH)	AEAE (W)	AEÜE (KAH)	AE (W)	AE (KAH)	VO _{2maks} (W)	VO _{2maks} (KAH)
1	01	140	121	220	164	160	134	240	172
	02	180	139	280	178	200	154	300	184
	03	180	139	280	180	200	154	300	186
2	01	130	120	220	172	140	133	240	182
	02	140	125	260	174	160	139	280	183
	03	140	134	260	176	160	149	280	183
3	01	110	120	220	167	120	133	240	176
	02	130	140	240	188	140	156	260	196
	03	130	126	240	181	140	140	260	191
4	01	130	113	220	154	140	126	240	161
	02	140	120	240	158	160	133	260	164
	03	140	112	240	162	160	124	260	171
5	01	110	115	200	158	120	128	220	165
	02	130	134	240	169	140	149	260	174
	03	130	128	240	167	140	142	260	173
6	01	130	132	200	166	140	146	200	171
	02	140	138	240	181	160	153	260	188
	03	180	153	250	180	200	170	260	182

Çizelge 14'deki veriler doğrultusunda 01 numaralı denek için 140 W iş yükünde 6 dakika 70 devir.dk⁻¹ sabit yüklü AEAE test protokolü ergometreye kaydedilmiştir.



Şekil 28. Sabit Yüklü AEAE Kare Dalga Artışı Protokolü (01 numaralı denek örneği)

Toplam 9 dk (3 dk dinlenim ve 6 dk 140 W iş yükünde 70 devir.dk⁻¹ pedal çevirme) süren test boyunca VO₂ kaydı alınmıştır. Alınan kayıtlardan bir kişiye ait örnek **Çizelge 15**'de verilmiştir.

Çizelge 15. Sabit Yüklü AEAE Testi Sonucu Elde Edilen Bir Kişiye Ait VO₂ Verisi

Oxycon Protocol: CL140W			Ergometre: Bisiklet					
Time	Load	HR	V'E	BF	VO ₂	VO ₂	VCO ₂	RER
Min	W	atm.dk ⁻¹	L.dk ⁻¹	L.dk ⁻¹	kg.ml ⁻¹ .dk ⁻¹	ml.min ⁻¹	ml.min ⁻¹	
00:10	0	66	13	23	5,8	380	315	0,83
00:20	0	65	10	14	4,9	319	266	0,83
00:30	0	61	13	20	7	455	351	0,77
00:40	0	66	13	22	5,8	376	293	0,78
00:50	0	64	13	18	5,8	374	311	0,83
01:00	0	62	11	20	4,4	286	241	0,84
01:10	0	59	10	19	3,9	252	212	0,84
01:20	0	61	10	17	4,5	293	247	0,85
01:30	0	61	11	17	5,1	331	286	0,87
01:40	0	64	7	18	3,2	210	177	0,84
01:50	0	64	12	13	5,7	373	313	0,84

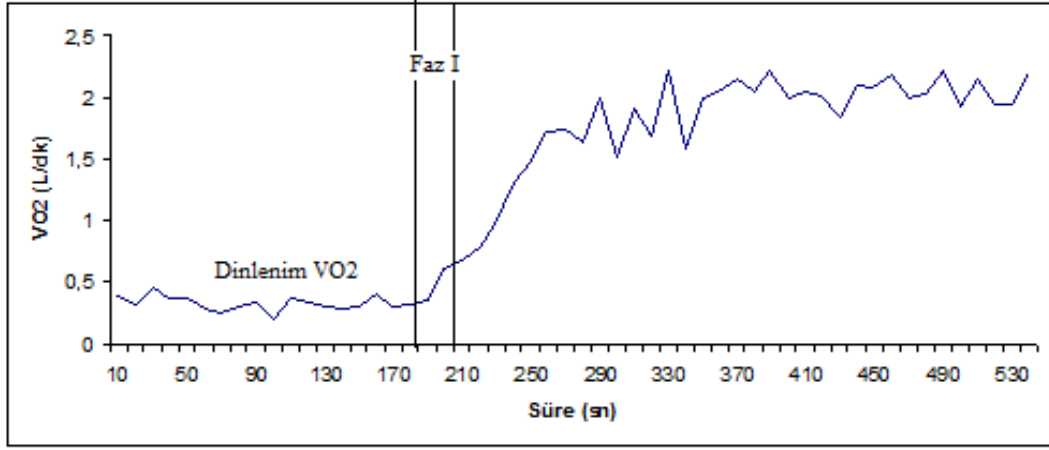
Çizelge 15. (Devam) Sabit Yüklü AEAE Testi Sonucu Elde Edilen Bir Kişiyeye Ait VO₂ Verisi

02:00	0	64	12	17	5,2	339	291	0,86
02:10	0	63	11	22	4,8	312	263	0,84
02:20	0	67	11	19	4,3	277	235	0,85
02:30	0	67	11	20	4,7	307	260	0,85
02:40	0	73	14	12	6,3	411	368	0,9
02:50	0	78	10	12	4,7	306	268	0,87
03:00	0	75	10	17	4,9	318	262	0,83
03:10	140	75	12	20	5,3	346	282	0,81
03:20	140	83	17	19	9,6	621	507	0,82
03:30	140	94	20	21	10,5	684	579	0,85
03:40	140	105	23	22	11,9	776	703	0,91
03:50	140	110	27	24	14,8	965	828	0,86
04:00	140	114	29	23	20,2	1314	1017	0,77
04:10	140	118	33	21	22,8	1482	1142	0,77
04:20	140	119	38	29	26,4	1719	1309	0,76
04:30	140	119	39	31	26,8	1744	1375	0,79
04:40	140	122	37	29	25	1626	1294	0,8
04:50	140	122	45	30	30,5	1981	1625	0,82
05:00	140	122	35	25	23,2	1509	1288	0,85
05:10	140	122	44	31	29,5	1915	1551	0,81
05:20	140	126	40	33	25,8	1674	1427	0,85
05:30	140	129	54	35	34,1	2215	1895	0,86
05:40	140	124	39	31	24,5	1594	1414	0,89
05:50	140	123	44	29	30,7	1999	1682	0,84
06:00	140	125	48	30	31,6	2055	1767	0,86
06:10	140	135	52	30	33,2	2157	1941	0,9
06:20	140	138	49	32	31,4	2040	1811	0,89

Çizelge 15. (Devam) Sabit Yüklü AEAE Testi Sonucu Elde Edilen Bir Kişiyeye Ait VO₂ Verisi

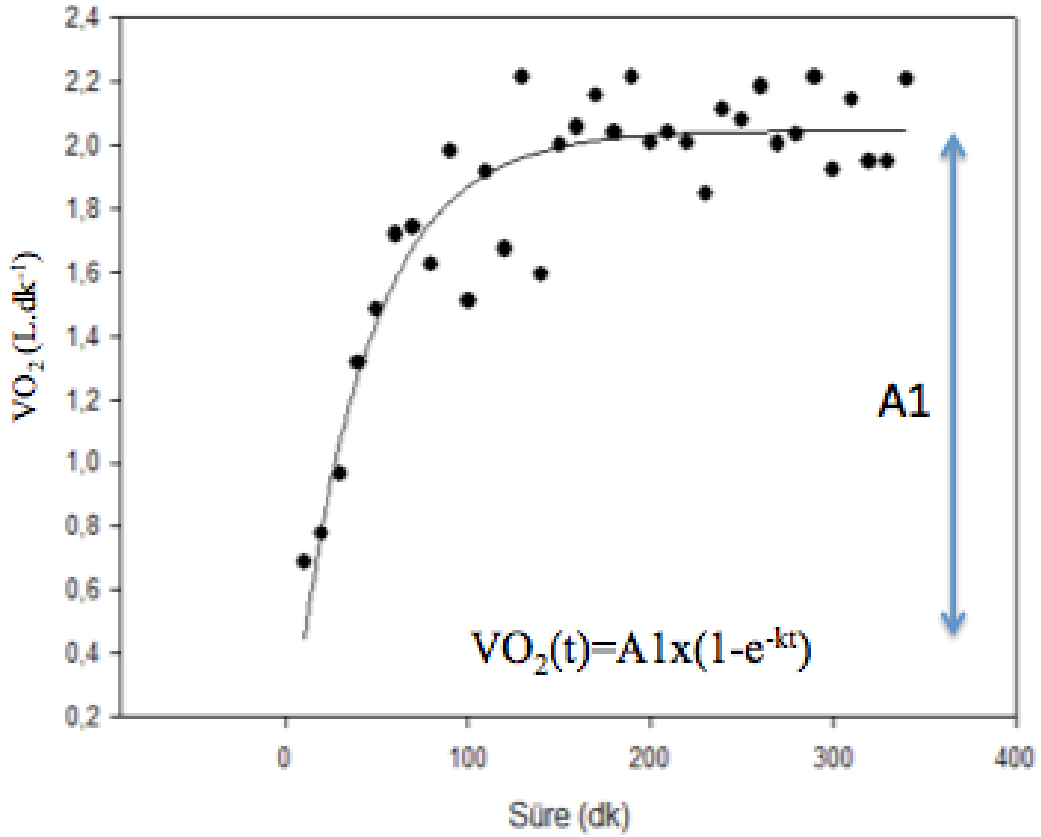
06:30	140	139	57	35	34,1	2215	2031	0,92
06:40	140	139	49	30	30,8	2005	1826	0,91
06:50	140	135	53	32	31,4	2038	1858	0,91
07:00	140	134	53	33	30,9	2009	1841	0,92
07:10	140	135	48	33	28,3	1843	1669	0,91
06:30	140	139	57	35	34,1	2215	2031	0,92
06:40	140	139	49	30	30,8	2005	1826	0,91
06:50	140	135	53	32	31,4	2038	1858	0,91
07:00	140	134	53	33	30,9	2009	1841	0,92
07:10	140	135	48	33	28,3	1843	1669	0,91
07:20	140	133	51	30	32,4	2107	1899	0,9
07:30	140	133	52	30	31,9	2075	1868	0,9
07:40	140	132	59	34	33,6	2184	2013	0,92
07:50	140	138	54	35	30,8	2003	1843	0,92
08:00	140	135	53	32	31,2	2031	1838	0,91
08:10	140	133	55	33	34,1	2215	1993	0,9
08:20	140	133	50	30	29,6	1922	1720	0,9
08:30	140	135	55	33	33	2143	1887	0,88
08:40	140	134	50	33	30	1948	1712	0,88
08:50	140	135	48	29	30	1948	1701	0,87
08:59	140	138	57	35	33,9	2205	1934	0,88

Sabit yüklü AEAE testinden sonra alınan veriler 3 dk dinlenim sırasında ve 6 dk egzersiz sırasında olmak üzere 10 sn aralıklarla **Çizelge 15**'de görüldüğü gibi süre (dk), iş yükü (W), kalp atım hızı (atım.dk⁻¹), VE (L.dk⁻¹), solunum frekansı (L.dk⁻¹), VO₂ (ml.kg⁻¹.dk⁻¹), VO₂ (ml.dk⁻¹), VCO₂ (ml.dk⁻¹) ve R oranıdır. İkinci sütunda görülen iş yükü verilerinde de görüldüğü gibi 3 dk sonrasında kişi sabit yüklü AEAE testine başlamıştır. Egzersize başladıktan sonraki ilk 20 sn (Faz I) Murias ve ark. (2011) araştırmasındaki gibi analize katılmamıştır. Modellenen veriler (koyu renkli) süre ve VO₂ değerleridir.



Şekil 29. Sabit Yüklü AEAE Testi Sonucu Bir Kişiye Ait VO₂ Grafiği

Kişinin egzersiz öncesi ve sırasındaki tüm VO₂ grafiği de Şekil 29'da verilmiştir. Faz I sonrası VO₂ değerlerine interpolasyon işlemi uygulanmıştır. Sabit yüklü AEAE (%90 AE) testinde ölçülen VO₂ grafikleri tüm deneklerde aynı özelliindedir. VO₂ egzersizin başlamasıyla artış göstermekte ve yaklaşık 3 dk içerisinde denge durumuna ulaşmaktadır. Herkeste farklı olan denge durumuna ulaşma hızı ve grafiğin genliği olmuştur.



Şekil 30. İki Parametrelili Tek Ekspansiyoneli Fonksiyonla Modellenen VO₂ Verisi

Kardiyodinamik faz (Faz I) yani ilk 20 sn analiz dışı bırakılacağı için Faz II ve test sonu arasındaki (03:30-08:59) veriler iki parametrelili tek eksponansiyel fonksiyonla **Şekil 30**'da görüldüğü gibi modellenmiştir.

Tek eksponansiyel fonksiyonla modellenen veriler için **Şekil 30**'da görüldüğü gibi 'e^x' fonksiyonu kullanılmıştır. Ölçüm sonucu alınan veriler 10 sn aralıktır. Eksponansiyel olarak artan verilere uygulanan işlem interpolasyondur. Yani 10 sn aralıklarla aldığımız veriler ara değerler eklenerek modellenmiştir. Sonuç olarak 1 kişiye ait elde ettiğimiz veriler ve istatistiksel sonuçları **Çizelge 16**'da verilmiştir.

Çizelge 16. En İyi Eğri Uydurma İşleminin Sonuçları (Results for the Overall Best-Fit Solution)

R	R ²	Düzeltilmiş R ²	Standart Hata	
0,9228	0,8516	0,8469	0,1556	
		SD	t	P
A1	2,0455	0,0355	57,6634	<0,0001
K	0,0245	0,0022	10,9306	<0,0001

Tek eksponansiyel fonksiyonla ($VO_2(t)=A1x(1-e^{-kt})$) modelleme yapılan bir kişinin sonuçları istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0.0001$). Her bireyde anlamlı sonuç çıkmıştır ve bu sonuçlar doğrultusunda ortalamalar hesaplanmıştır. Bunun dışında R değeri de interpolasyon işleminin gerçek grafiği %92 oranında yansıttığını göstermektedir.

İstatistiksel olarak anlamlılık ve R² sonuçlarını kontrol ettikten sonraki aşama A1 ve k parametrelerini değerlendirmektir. Sonuçlarda belirtilen parametrelerin açıklamaları aşağıda belirtilmiştir.

$$A1 = VO_2 \text{ kararlı durum (L.dk}^{-1}) \\ = 2.045 \text{ L.dk}^{-1}$$

k: Zaman sabitinin tersi $1.t^{-1}$ (Jones ve Poole., 2005)

$$t = 1/0.0245(k) \\ = 41 \text{ sn}$$

Bu analiz sonucu oksijen alım kinetiklerinden A1 ve t parametreleri bir kişinin ön test verileri olarak hesaplanmıştır. Ancak 6 haftalık egzersiz sonrasında kişilerin VO_{2maks} ve anaerobik eşik değerleri arttığı için uygulanan sabit yüklü egzersizin yoğunluğu da artmıştır. Örneğin bir deneğin ön testte AEAE yoğunluğu 140 W iken son testte 180 W olmuştur.

Buraya kadar sadece bir kişinin analizi açıklanmıştır. Belirtilen analizler her bir deneğin ön ve son testleri için uygulanarak **Çizelge 16**'da görüldüğü gibi listelenmiştir. İlk sütunda deneklerin uyguladıkları 6 haftalık egzersiz türü AEAE ve AEÜE olmak üzere, ikinci sütunda denek numaraları, üçüncü ve dördüncü sütunda ön ve son testte katıldıkları maksimal artırmalı test sonucu belirlenen anaerobik eşik ve VO_{2maks} değerlerine göre belirlenmiş %90 AE iş yükü W olarak verilmiştir.

Dinlenimde tüketilen VO_2 ; VO_{2b} ($L.dk^{-1}$) olarak, grafiğin kararlı durum genliği; $A1$ ($L.dk^{-1}$) olarak ve zaman sabiti de; τ 1 (sn) olarak ön ve son test değerleri gösterilmiştir. Son iki sütunda da ' $\Delta VO_2 * \Delta W^{-1}$ ($ml.dk^{-1}.W^{-1}$)' hesaplanarak VO_2 ederi hesaplanmıştır. Oksijen alım kinetiklerinden direkt olarak hesaplanan ' $A1$ ' parametresi yerine VO_2 ederinin hesaplanma nedeni deneklerin ön ve son testleri arasında karşılaştırma istatistiği yapılacak olmasıdır. Deneklerin ön ve son testleri arasında performansları arttığı için uygulanan sabit iş yükü de artmıştır. Dolayısıyla aradaki farkın mutlak ($A1$ ($L.dk^{-1}$)) değil relatif (VO_2 ederi ($ml.dk^{-1}.W^{-1}$)) olarak değerlendirilmesi önerilmektedir (Jones ve Poole., 2005).

Bireysel olarak hesaplanan VO_2 kinetik parametrelerinin AEAE yapan grup ve AEÜE yapan grup için hesaplanarak farkın istatistiği sonuç bölümünde verilmiştir.

Çizelge 17. Sabit Yüklü AEAE Testi Sonucunda Elde Edilen VO₂ Kinetik Parametreleri

EG	No	İş yükü (W)		VO2b (L/dk)		A1 (L/dk)		tau 1 (sn)		VO2 ederi (ml.dk ⁻¹ .W ⁻¹)	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
AEAE	2	130	140	0,56	0,62	2,26	2,31	36,0	35,0	13,0	12,0
	3	110	140	0,45	0,54	1,70	2,03	24,0	21,7	11,4	10,6
	4	130	140	0,37	0,35	2,09	2,13	30,4	22	13,2	12,7
	8	110	140	0,37	0,41	1,67	1,91	64,6	24,8	11,8	10,7
	9	90	140	0,41	0,51	1,51	2,13	29,2	27,9	12,2	11,6
	11	130	140	0,35	0,42	2	2,06	31,0	29	12,9	11,7
	12	130	140	0,40	0,42	2,07	2,02	31,9	27,3	12,9	11,5
	14	160	180	0,34	0,36	2,33	2,54	35,5	30,7	12,5	12,1
	18	160	180	0,43	0,37	2,3	2,32	28,3	27,4	11,8	10,8
	22	110	130	0,40	0,35	1,85	1,82	31,3	28,7	13,2	11,3
	27	140	160	0,48	0,52	2,14	2,36	26,8	23,4	11,9	11,5
28	100	130	0,35	0,5	1,58	2,06	38,6	36,0	12,3	12,0	
AEÜE	1	140	180	0,32	0,36	2,05	2,56	40,8	38,9	12,4	12,2
	5	110	140	0,31	0,43	1,6	2,03	26,9	22,1	11,7	11,4
	6	130	180	0,30	0,47	1,9	2,67	35,2	32,4	12,4	12,2
	10	140	160	0,39	0,3	2,13	2,19	23,3	20,4	12,4	11,6
	13	70	90	0,35	0,33	1,28	1,46	38,2	18,1	13,3	12,6
	15	110	130	0,35	0,47	1,7	1,88	22,0	19,3	12,5	10,8
	19	70	180	0,47	0,48	1,4	2,68	23,3	21,8	13,4	12,2
	20	140	140	0,44	0,49	2,2	2,01	31,5	21,4	12,4	10,9
	21	140	160	0,48	0,47	2,1	2,40	32,5	31,1	11,9	12,1
	23	130	140	0,40	0,44	2	2,16	34	32,9	12,2	12,3
	25	140	170	0,41	0,46	2	2,47	29	28,2	11,6	11,8
26	90	140	0,46	0,46	1,5	2,10	31	28,7	11,0	11,7	

Dört Parametrelili Çift Ekspansiyel Denklem ile VO₂ Kinetiği Parametrelerinin Analizi

Sabit yüklü AEÜE testi sonuçları da iki aşamada analiz edilmiştir. Sabit yüklü AEAE testinin analizinde yapıldığı gibi dinlenme ve kardiyodinamik faz (Faz I) analiz dışında bırakılmıştır. İlk aşamada faz II ve üçüncü dakikanın sonuna kadar olan VO₂ verisi tek ekspansiyel fonksiyonla eğri uydurma işleminin yapılması sonucu 'A1' ve 't1' parametreleri kaydedilmiştir. Kinetik parametreleri yapılan analizler sonucu istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (p<0.05). İnterpolasyonu yapılmış verinin gerçek veriyi yansıtırma oranını gösteren R² değerlerinin de %85 üzeri olması sonucu parametreler istatistik değerlendirmeye alınabilmiştir.

İkinci aşamada ise oksijen alımının yavaş fazı literatürde belirtildiği gibi egzersiz sonundaki VO₂ değerinden egzersizin üçüncü dakikasındaki VO₂ değerinin çıkarılması ile hesaplanmıştır. Kullanılan formül 'VO₂(yavaş faz)=VO₂(egzersiz sonu)-VO₂(egzersizin üçüncü dakikası)' (Jones ve Poole., 2005). Oksijen alımının yavaş fazının zaman sabiti ise çift ekspansiyel fonksiyon ile hesaplanmıştır. Bu hesaplama işlemi aşağıda açıklanmıştır.

1. İnterpolasyon işlemi yapılmış zaman verileri (A sütunu) ve VO₂ (L.dk⁻¹) **Şekil 24**'de görüldüğü gibi Excel programında iki sütuna yapıştırılmıştır. Uygulanan interpolasyon işlemi, 10 sn aralıklı yapılmış ölçümün ara verilerle modellenmesidir. **Şekil 24**'de A sütununa bakılacak olursa 10 ve 20 sn arasında 10.66, 11.33 sn gibi ara zaman verileri eklenerek modellendiği görülebilir.
2. Yapılan iki parametrelili tek ekspansiyel eğri uydurma işleminden sonra elde edilen 'A1' değeri 'E2' hücresine, 't1' parametresi de 'E3' hücresine girilmiştir. Oksijen alımının yavaş fazı ise yukarıda belirtilen şekilde hesaplanarak 'E4' hücresine girilmiştir.
3. Oksijen alım kinetiğini 4 parametrelili ekspansiyel fonksiyonla açıklanacağı için kullanılan '=E2x(1-ÜS(-E3xA1))+E4x(1-ÜS(-E5xA1))' formülü 'H3' hücresine girilerek formül aşağı çekilerek diğer verilere de bakılmıştır.
4. Sonuç olarak 'x=a1' hücresi için formül çalıştırıldığında 'b1' hücresindeki VO₂ verisini elde ederek formül doğrulanmıştır. Aynı şekilde 'x=a2' hücresi için 'b2' verisi, 'x=a3' hücresi için 'b3' verisi, 'x=a4' hücresi için 'b4' verisi de kontrol edilerek formül doğrulanmıştır.

Tüm VO₂ kinetik parametrelerinin hesaplanmasının ardından VO₂(yavaş faz) ön ve son testlerde mutlak değer olarak değerlendirmeye alınmamıştır. Deneklerin artırmalı maksimal test sonucu anaerobik eşik ve VO_{2maks} değerlerinin altı haftalık egzersiz sonrası artması sonucu deneklerin ön ve son testlerindeki sabit yüklü AEÜE yoğunluklarını (bir kişiye ait örnek: ön test iş yükü: 140 W; son test iş yükü 160 W) artmıştır. Dolayısıyla değerlendirme mutlak değer üzerinden yapıldığında doğru bir değerlendirme olmayacağından literatürde de ön ve son test değerlendirmelerinde önerilen relatif oran kullanılmıştır. Oksijen alımının yavaş fazının tüm oksijen tüketimine oranı '=100x(A2x(A1+A2)⁻¹)' formülü ile relatif oran belirlenmiştir (Jones ve Poole, 2005).

Bu hesaplamalar 24 denegin ön ve son testleri için bireysel olarak yapılmış ve sonrasında istatistik değeriendirilmeye hazır duruma gelmiştir.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1	10,00	0,82	Y0				Supramaksimal Bisiklet Testi Sonucu Oluşan O2 Kinetiğinin 4 Parametrelili Exponensiyel Denklemi													
2	10,66	0,87	A1		2,58		Formül													
3	11,33	0,91	b		0,0384		x=a1 için	0,83												
4	11,99	0,95	A2		0,79		x=a2 için	0,88												
5	12,66	0,99	d		0,0015		x=a3 için	0,92	Orijinal Formül											
6	13,32	1,03					x=a4 için	0,97	A1*(1-exp(-b*x))+A2*(1-exp(-d*x))											
7	13,98	1,07	Tau=1/b				x=a5 için	1,01												
8	14,65	1,11					x=a6 için	1,05												
9	15,31	1,15					x=a7 için	1,09												
10	15,98	1,18					x=a8 için	1,13												
11	16,64	1,22			0,7869															
12	17,30	1,25																		
13	17,97	1,29																		
14	18,63	1,32			658															
15	19,30	1,35																		
16	19,96	1,38																		
17	20,63	1,41																		
18	21,29	1,44																		
19	21,95	1,47																		
20	22,62	1,50																		
21	23,28	1,52																		
22	23,95	1,55																		
23	24,61	1,58																		
24	25,27	1,60																		
25	25,94	1,63																		
26	26,60	1,65																		
27	27,27	1,67																		
28	27,93	1,70																		
29	28,59	1,72																		

Şekil 31. Sabit Yüklü AEÜE Test Sonucu VO₂ Kinetiğinin Dört Parametrelili Exponensiyel Denklemi

Sabit yüklü egzersize başlamadan önce 3 dk dinlenim sırasında VO₂ verisi alınmıştır. Murias ve ark. (2011), çalışmasındaki gibi kardiyodinamik fazı analiz dışında bırakmak için egzersizin ilk 20 saniyesindeki VO₂ verisi modellenmemiştir. Faz II ve 6 dk (720 sn) arasındaki VO₂ verileri modellenmiştir.

AE altı egzersiz aşağıda belirtilmiş olan tek eksponensiyel denklem ile “curve fitting (eğri uydurma)” işlemi yapılarak analiz edilmiştir (Murias ve ark., 2010). Non-linear regresyonla model parametreleri tahmin edilmiştir.

$$VO_2(t) = A_1 (\text{kararlı durum } VO_2) \times (1 - e^{-(kt)})$$

Formülde VO₂ (t) herhangi bir zamandaki (t) VO₂ verisini yansıtmaktadır; A₁ dinlenim değerleri üzerinde VO₂ artışının kararlı duruma ulaştığı yerdir; k zaman sabitinin tersi olarak tanımlanmaktadır (1.τ⁻¹)

AE üstü egzersiz aşağıda belirtilmiş olan çift eksponensiyel denklem ile “curve fitting (eğri uydurma)” işlemi yapılarak analiz edilmiştir.

$$VO_2(t) = A_1 (\text{kararlı durum } VO_2) \times (1 - e^{-(kt)}) + A_2 \times (1 - e^{-(k_2t)})$$

Oksijen tüketimi ölçümleri ile senkronize olarak laktat ve EMG kayıtları da alınmıştır. Endo ve ark. (2007), çalışmasındaki gibi laktatı değerlendirmek için yük artırmalı protokolda 2 dakikada bir kan örneği alınmıştır.

Carter ve ark. (2000) araştırmalarındaki gibi her iş yükü artışında kan laktatı ve VO₂ değerleri iki gözlemci tarafından değerlendirilmiştir.

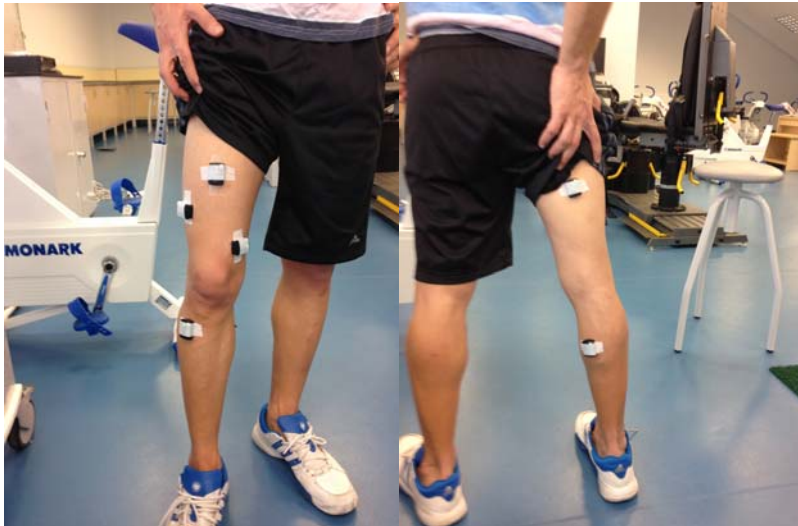
Testin başlangıcından itibaren önce dinlenimde olmak üzere her 2 dk'da kulaktan kan alınmıştır. Kulak memesi her kan alımı öncesi ve sonrası alkolle temizlenerek ve kurulanmıştır.

Elektromiyografi lmleri

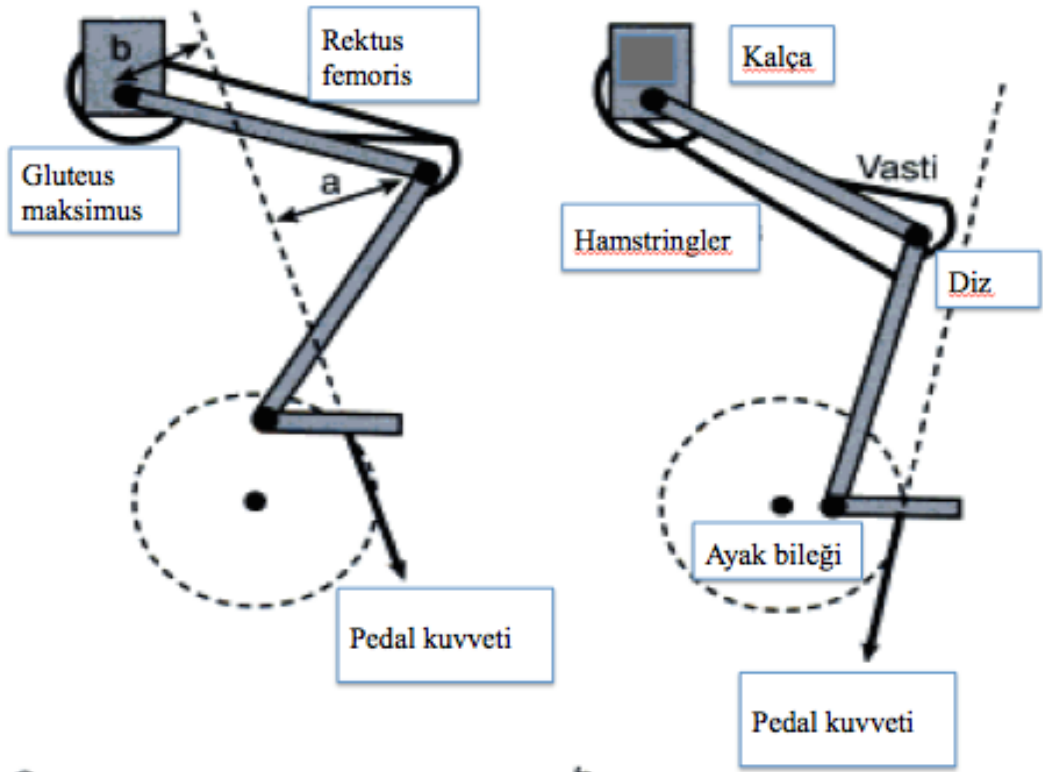
şekil 33'de görüldüğü gibi bisiklete binerken ayağın pedalı aşağı itişi sırasında kalça ve diz eklemine eş zamanlı bir ekstansiyon hareketi vardır. İtiş fazı tek eklemliler kalça ve diz ekstensör kaslarının (gluteus maximus ve vastus lateralis, vastus medialis kasları) aktivasyonu ile gerçekleşmektedir. EMG lmleri aynı zamanda çift eklemliler kasların bu işe katıldığını göstermiştir. Örneğin rektus femoris itiş fazının başında aktifken hamstringler daha sonra aktif olmaktadır (Enoka, 2008). Elektromiyografi lmleri için literatürde yapılan çalışmalar çerçevesinde sağ bacadan vastus lateralis, vastus medialis, rektus femoris, gastrocnemius ve biceps femoris kasları seçilmiştir (Borrani ve ark., 2001, Arnaud ve ark., 1997 ve Leepers ve ark., 2002).

EMG lmleri için yzeyssel elektrot olarak kullanılan Delsys sensörleri kullanılmıştır. Kasların yerlerini belirlemek için deneklere izometrik kasılma yaptırılmış ve kasın orta noktası belirlenmiştir. Sensörler yerleştirilmeden önce cildin yüzeyi alkolle temizlenmiş ve kas lifine paralel yönde yerleştirilmiştir.

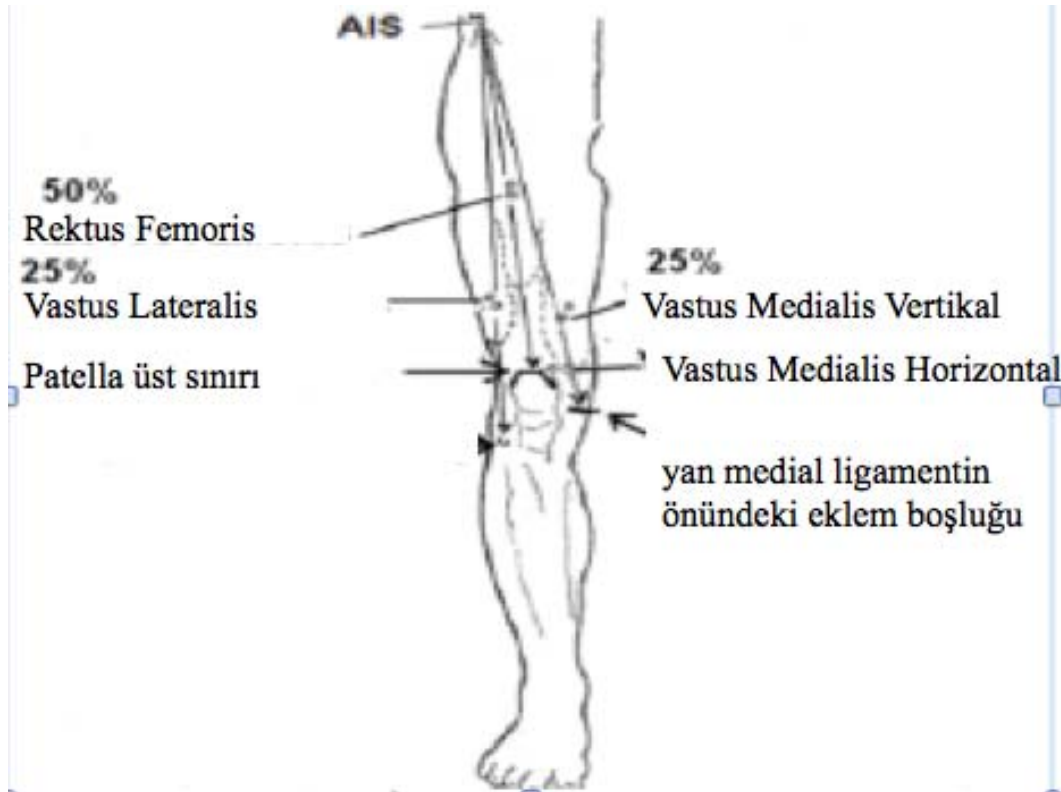
şekil 32' de görüldüğü gibi kalça 0⁰ ve diz 180⁰ iken EMG elektrodu rektus femoris kasına anterior iliac spine ile patellanın üst noktasının tam ortasına denk gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Vastus lateralis elektrodu ise anterior iliac spine ile patellanın altının arasına %25 alt bölgeye yerleştirilmiştir. Vastus medialis elektrodu anterior iliac spine ile medial collateral ligamentin n bölgesindeki diz eklemine arasına %25 alt bölgeye yerleştirilmiştir (Blanc ve Dimanico, 2010).



şekil 32. EMG lm Yapılan Tibialis Anterior, Vastus Medialis, Vastus Lateralis, Rektus Femoris, Gastrocnemius Medialis ve Biceps Femoris Kaslarına Yerleştirilen Delsys Sensörleri



Şekil 33. Bisiklete binış sırasında insan bacağınnn modeli (sol) başlangıç fazı, (sağ) itiş fazının ortası. (Enoka, 2008)



Şekil 34. Rektus Femoris, Vastus Lateralis ve Vastus Medialis Kaslarının en az Gürültü Aldığı Noktalar (Blanc ve Dimanico, 2010)

Egzersiz Protokolü

Tüm denekler 6 hafta egzersiz programına katılmışlardır. Her bireyin iş yükü bireysel olarak anaerobik eşik ve maksimal oksijen tüketimi hesaplamaları doğrultusunda belirlenmiştir.

Anaerobik eşik altı egzersiz programına katılan denekler (n=12) %90 anaerobik eşikte 70 devir.dk⁻¹ hızında pedal çevirmişlerdir (Murias ve ark., 2011; Özyener ve ark., 2001).

Anaerobik eşik üstü egzersiz programına katılan denekler (n=12) ise Δ %80 ve 70 devir.dk⁻¹ hızında pedal çevirmişlerdir (Özyener ve ark., 2001).

İki grubun uyguladığı egzersiz programının sıklık ve süresi **Çizelge 18**'de belirtilmiştir (Carter ve ark., 2000) .

Denekler 3 haftalık egzersiz periyodunu tamamlayınca tekrar artırmalı teste katılmışlardır. Bu test sonucu yeni anaerobik eşik ve VO_{2maks} değerlerine göre programları yenilenmiştir. Üç hafta egzersiz sonunda başlangıçta %90 anaerobik eşik yoğunluğuna ya da Δ %80 egzersiz yoğunluğuna denk gelen egzersiz yükleri hafif geldiği için ara test yapılmıştır.

Çizelge 18. Altı Haftalık Anaerobik Eşik Altı ve Üstü Egzersiz Programlarının Süresi ve Sıklığı

Hafta	Sıklık	Süre	Egzersiz Tipi
1. hafta	4 gün	20 dk	Bisiklet
2. hafta	4 gün	23 dk	Bisiklet
3. hafta	4 gün	26 dk	Bisiklet
4, 5 ve 6. haftalar	4 gün	30 dk	Bisiklet

İstatistikler

Grupların homojenliğini test etmek için:

Normal dağılım testi Shapiro Wilk

Bağımsız iki grup arası farkların testi (independent samples t testi) kullanılmıştır.

Ön ve son testlerin ortalamaları arasındaki farkı test etmek için:

Bağımlı örneklem t testi (dependent sample t testi) kullanılmıştır.

AEAE ve AEÜE son testler arasındaki farklarını test etmek için:

Bağımsız iki grup arası farkların testi (independent samples t testi) kullanılmıştır.

Anlamlılık değeri ise 'p' değeri ile belirtilmiştir.

BULGULAR ve TARTIŞMA

Bulgular

Bu tez araştırmasında tüm deneklere ön test olarak artırmalı maksimal bisiklet testi yapılmıştır. Deneklere ön test sonrası belirlenen AE ve VO_{2maks} verileri ışığında AEAE ve AEÜE'e karşılık gelen sabit iş yüklerinde 6 dakika süre ile oksijen alım kinetiğini değerlendirmek amacıyla 2. test protokolü uygulanmıştır. Çalışmanın başında yapılan tüm testler 6 haftalık egzersiz sürecinden sonra tekrarlanmıştır.

Metabolik ve Kardiyovasküler Yanıtlar

Altı haftalık AEAE ve AEÜE programı öncesi ve sonrasında artırmalı maksimal bisiklet testine ait metabolik ve kardiyovasküler yanıtlara ait veriler **Çizelge 19** ve **Çizelge 20**'de verilmiştir.

Çizelge 19. Artırmalı İş Yükünde Uygulanan Testte AEAE Öncesi ve Sonrasında Metabolik ve Kardiyorespiratuar Parametrelerin Değerleri

Parametreler	Ön Test M±SS	Son Test M±SS	% Değişim	P<0.05
VO_{2maks} (L. dk ⁻¹)	3.26±0.43	3.70 ±2.1	8.5	*
VO_{2maks} (ml.dk ⁻¹ .kg ⁻¹)	44.2±6.8	49.8±7.1	10.8	*
Maks KAH (atım.dk ⁻¹)	172.7±14.7	178.9±7.8	3.6	*
Anaerobik Eşik % VO_{2maks} (%)	57.3±3	60±12	7.8	*
Maks Laktat (mmol.L ⁻¹)	5.65±1.4	8.73±2.0	32	*

Yapılan değerlendirmede altı haftalık AEAE sonrasında VO_{2maks} 'ın (L. dk⁻¹) yaklaşık %8.5 oranında, oransal olarak da (ml.dk⁻¹.kg⁻¹) %10.8 arttığı (P<0.05) ve bu artışa maksimal dakika kalp atım sayısındaki %3.6 oranında yükselmenin de eşlik ettiği görülmüştür (P<0.05) (**Çizelge 19**). Ayrıca VO_{2maks} 'ın referans alınmasıyla hesaplanan AE noktasının da daha yüksek bir değere taşındığı ve bu artışın da istatistiksel olarak anlamlı olduğu hesaplanmıştır (P<0.05). Performans artışına ek olarak artırmalı maksimal bisiklet testi sonrasında kan laktat derişiminin ise egzersiz periyodu sonrası %32 oranında yükseldiği bulunmuştur (P<0.05).

Çizelge 20. Artırmalı İş Yükünde Uygulanan Testte AEÜE Öncesi ve Sonrasında Metabolik ve Kardiyorespiratuar Parametrelerin Değerleri

Parametreler	Ön Test M±SS	Son Test M±SS	% Değişim	p<0.05
VO _{2maks} (L. dk ⁻¹)	2.96±0.53	3.6±0.5	17	*
VO _{2maks} (ml.dk ⁻¹ .kg ⁻¹)	43,4±4,8	51.5±6.2	15.2	*
Maks KAH (atım.dk ⁻¹)	182.7±12.1	181.9±10.8	-0.5	
Anaerobik Eşik % VO _{2maks} (%)	59.5±5	66.2±7	13.6	*
Maks Laktat (mmol.L ⁻¹)	5.57±1.2	10.39 ±1.8	45	*

Benzer şekilde 6 haftalık AEÜE periyodu artırmalı maksimal bisiklet testinde elde edilen değişkenler üzerine etkisi irdelendiğinde VO_{2maks} (%17 L.dk⁻¹ ve 15.2 ml.dk⁻¹.kg⁻¹), test sonu kan laktat (%45) ve anaerobik eşik olarak hesaplanan O₂ alım yüzde değerinin (% 13.6) anlamlı olarak arttığı görülmüştür (P<0.05) (**Çizelge 20**). Buna karşın test sonu maksimal kalp atım sayısındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır (P>0.05).

Anaerobik eşik üstü egzersiz sonrasında AEAE sonrasına göre VO_{2maks} (L. dk⁻¹) yüzdesel olarak daha fazla artış gösterirken (% 17- %8.5) bu fark istatistiksel olarak anlamlı değildir.

Benzer şekilde AEÜE sonrasında AEAE sonrasına göre VO_{2maks} (ml.dk⁻¹.kg⁻¹) oransal olarak daha fazla artış gösterirken (% 10.8- %15.2) bu fark istatistiksel olarak anlamlı değildir.

Anaerobik eşik altı ve AEÜE sonrasında ulaşılan maksimal kalp atım hızı (atım.dk⁻¹) açısından istatistiksel fark yoktur.

Anaerobik eşik altı egzersiz yapan bireylerde maksimal oksijen tüketimini kullanma yüzdesi % 7.8 artarken AEÜE yapan bireylerde %13.6 artış olmuştur. Ancak fark istatistiksel olarak anlamlı değildir.

Anaerobik eşik üstü egzersiz sonrasında AEAE yapan gruba göre (%32-%45) maksimal laktat değerinde istatistiksel olarak daha fazla artış olmuştur (p<0.05).

Sabit yüklü AEAE testi sonunda elde edilen maksimal laktat değerlerinde ise AEAE sonrası (%28) AEAÜ sonrası (%36) istatistiksel olarak anlamlı bir artış olmuştur (p<0.05) (**Şekil 38**). Sabit yüklü AEAE testi sonunda elde edilen maksimal laktat değerlerinde ise AEAE ve AEAÜ sonrası istatistiksel olarak anlamlı bir değişim olmamıştır (**Şekil 39**).

Oksijen Alım Kinetiği Yanıtları

Altı haftalık egzersiz programı öncesi ve sonrasında sabit yüklü AE altı test sonucu elde edilen VO_2 yanıtlarındaki değişikliklerin matematiksel modellenmesinde tek eksponensiyel denklemlerle eğri uydurma (curve fitting) yöntemi kullanılmıştır. Bu modelleme sonucu elde edilen ve VO_2 kinetiğini yorumlamada kullanılan O_2 ederi ($ml \cdot dk^{-1} \cdot W^{-1}$) ve zaman sabiti (τ_1 (sn)) değerlerinin 6 haftalık AEAE sonrası değişimini gösteren veriler **Çizelge 20**'de gösterilmiştir. İstatistiksel olarak fark p değeri ile belirtilmiştir. AEAE grubunda yapılan eğri uydurma hesaplamasında tek eksponensiyel bir fonksiyonun anlamlı olarak değişiklikleri ifade ettiği bulunmuştur. Öte yandan AEÜE testinde çift eksponensiyel bir fonksiyon kullanılması sayesinde yavaş faz oksijen alımında denklige yerleşmesinin mümkün olduğu görülmüştür. Bu nedenle AEAE grubunda O_2 ederi tek bir zaman sabiti ile hesaplanırken AEÜE grubunda söz konusu değişkenlerin belirlenmesinde denklige ikinci bir zaman sabiti eklenmiştir. Nitekim AEÜE'lerde kullanılan matematiksel modellerde çözümler uygulanan eğri uydurma yöntemleri ile yapılmaktadır ve bulgularımız bu anlamda literatürle uyumludur (Özyener ve ark., 2001).

Bu modelleme sonucu elde edilen O_2 ederi ($ml \cdot dk^{-1} \cdot W^{-1}$), zaman sabiti (τ_1 (sn)), A_2/A_1+A_2 (%) formülü ile belirlenen oksijen alımının yavaş fazının toplam yanıt oranı (%) ve τ_2 (sn) olmak üzere bireysel VO_2 kinetiği parametrelerinin iki egzersiz grubu için ortalamaları ve standart sapmalarının ön test ve son test değerleri **Çizelge 21**'de ve **Çizelge 22**'de verilmiştir.

Çizelge 21. Anaerobik Eşik Altı Egzersiz Öncesi ve Sonrasında Anaerobik Eşik Altı ve Eşik Üstü Egzersizde VO_2 Modelinin Parametreleri

VO_2 Modelinin Parametreleri	Anaerobik Eşik Altı Egzersiz Testi %90 AE $VO_2(t)=A_1x(1-e^{-bx})$				Anaerobik Eşik Üstü Egzersiz Testi Δ %80 $VO_2(t)=A_1x(1-e^{-bx})+A_2x(1-e^{-cx})$			
	Ön Test M±SS	Son Test M±SS	P	%	Ön Test M±SS	Son Test M±SS	P	%
O_{2p} ederi ($ml \cdot dk^{-1} \cdot W^{-1}$) $\Delta VO_{2p} / \Delta W$	12.41±0.6	11.55±0.6	*	7	18.8±3	17.6±2	*	10
τ_1 (sn)	31±3	28±4	*	16	35±4	31±4	*	12
A_2/A_1+A_2 (%)	-	-	-		20±8	18±8		10
τ_2 (sn)	-	-	-		853±127	658±131	*	23

AEAE grubunda O_2 ederinin 12.41'den 11.55'e düştüğü, zaman sabitinin (τ_1) ise yaklaşık %16 oranında kısaldığı ve her iki değişikliğinde istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür ($P<0.05$). Bu grubun AEÜE testinde çift eksponensiyel eğrinin birinci terimine ait O_2 ederi ve zaman sabiti, AEAE testine

benzer değişiklikler göstermiş ve aralarındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0.05$).

Ek olarak fonksiyonun ikinci terimine ait O_2 ederi azalırken, zaman sabiti de kısalma eğilimi göstermiştir. Aynı birinci terimde olduğu gibi, ikinci terimde gözlenen değişkenlere ait fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0.05$).

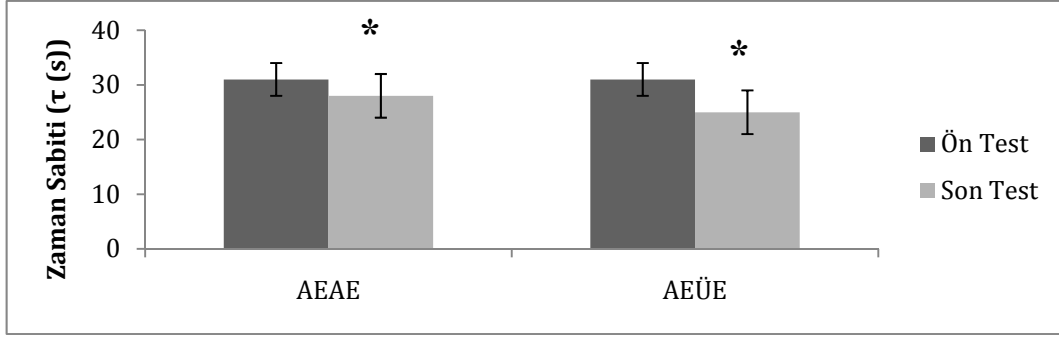
Oksijen alımının yavaş fazının toplam yanıt oranı ise (A_2/A_1+A_2) % 10 azalma göstermiştir. Ancak istatistiksel olarak anlamlı düzeyde değildir.

Çizelge 22. Anaerobik Eşik Üstü Egzersiz Öncesi ve Sonrasında Çift Ekspansiyonel VO_2 Modelinin Parametreleri

	Anaerobik Eşik Altı Egzersiz Testi %90 AE $VO_2(t)=A_1x(1-e^{-bx})$				Anaerobik Eşik Üstü Egzersiz Testi Δ %80 $VO_2(t)=A_1x(1-e^{-bx})+A_2x(1-e^{-cx})$			
VO_2 Modelinin Parametreleri	Ön Test	Son Test	P	%	Ön Test	Son Test	P	%
O_2 ederi ($ml.dk^{-1}.W^{-1}$) $\Delta VO_{2p}/\Delta W$	12.28±0.68	11.83±0.6	*	4	18.5±3	15.8±2	*	23
τ_1 (sn)	31±4	25±5	*	20	34±6	27±7	*	20
A_2/A_1+A_2 (%)	-	-	-		23±18	18±7		22
τ_2 (sn)	-	-	-		814±160	546±120	*	33

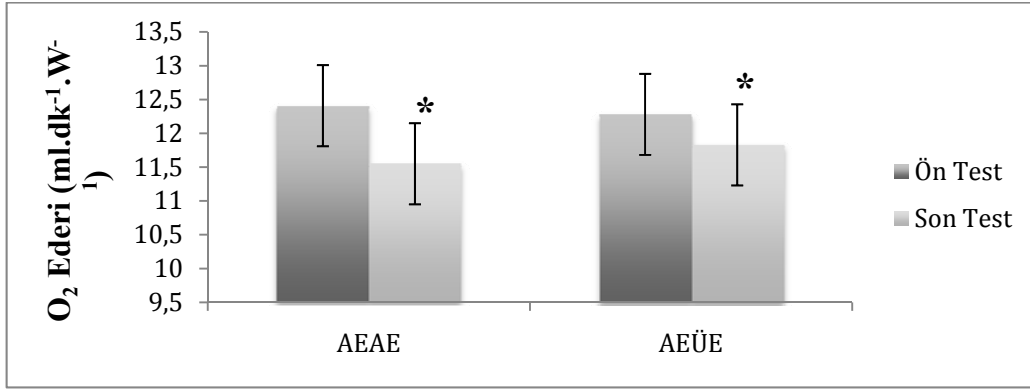
AEÜE grubunda da AEAE grubuna benzer değişiklikler tespit edilmiştir. Bu grupta da AEAE testinde O_2 ederi ($(ml.dk^{-1}.W^{-1})$ %4) ve zaman sabitindeki azalma (%16) istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($P<0.05$). Ek olarak AEÜE testi sonrasında birinci ve ikinci terimdeki O_2 ederi ve zaman sabiti değerlerindeki azalmanın istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür ($P<0.05$). Dikkati çeken önemli bir değerlendirmede AEÜE testinde gözlemlenen değişim oranının AEAE grubundan daha belirgin olduğudur, ancak iki grup arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görülmüştür.

Tek ekspansiyonel fonksiyonla değerlendirilen AEAE testi sonucu elde edilen oksijen alım kinetiği parametrelerindeki (O_2 ederi ($ml.dk^{-1}.W^{-1}$) ve τ_1 (sn)) değişimin iki egzersiz sonrasındaki karşılaştırılması sonuçları bar grafikte **Şekil 35 ve 36**'da verilmiştir.



Şekil 35. İki Egzersiz Programı Sonrası Sabit Yüklü AE Altı Test ile Belirlenmiş Zaman Sabitindeki (τ) Değişimin Bar Grafiği

Sabit yüklü AEAE testi ile değerlendirilen oksijen alım kinetiği parametrelerinden τ 1 (sn) **Şekil 35**'de görüldüğü gibi AEÜE sonrasında AEAE sonrasına göre yüzdesel olarak (%20-%16) daha fazla azalma göstermiştir. Ancak bu fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır.



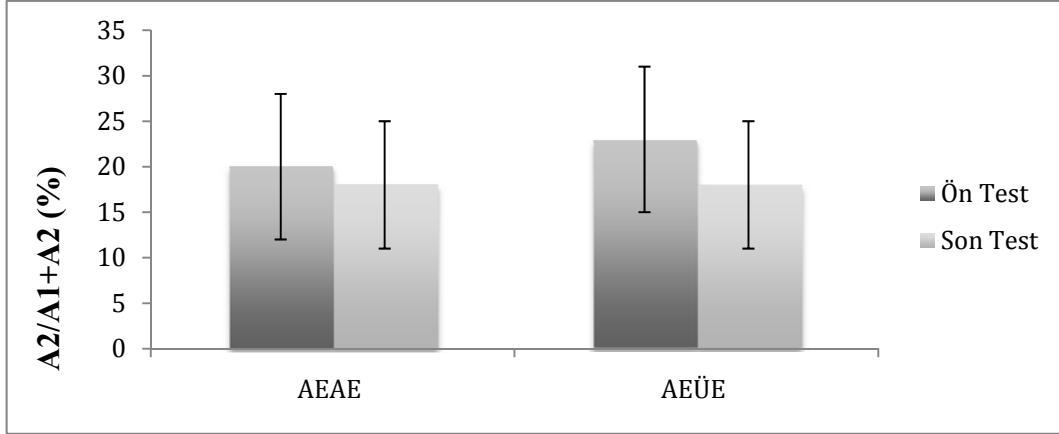
Şekil 36. İki Egzersiz Programı Sonrası Sabit Yüklü AEAE Testi ile Belirlenmiş O₂ Ederindeki Değişimin Bar Grafiği

AEAE sonrasında **Şekil 36**'da görüldüğü gibi O₂ ederi (ml.dk⁻¹.W⁻¹) %7 azalma gösterirken AEÜE sonrasında %4 azalmıştır. Yüzdesel olarak AEAE O₂ ederinin (ml.dk⁻¹.W⁻¹) daha fazla azalmasına neden olurken bu fark istatistiksel olarak anlamlı değildir.

Çift eksponensiyel fonksiyonla değerlendirilen anaerobik eşik üstü test sonucu elde edilen oksijen alım kinetiği parametrelerindeki (O₂ ederi (ml.dk⁻¹.W⁻¹), τ 1 (sn), τ 2 (sn)) değişimin iki egzersiz sonrasındaki karşılaştırılması sonuçları aşağıda verilmiştir.

İki egzersiz sonrasında O₂ ederindeki (ml.dk⁻¹.W⁻¹) azalma yüzdesel olarak (AEÜE yapan grupta %23, AEAE yapan grupta %10) farklılık gösterirken istatistiksel olarak anlamlı değildir.

Anaerobik eşik üstü egzersiz yapan grupta τ 1 (sn) AEAE yapan grup ortalamasına göre yüzdesel olarak (%20-%12) daha fazla hızlanmıştır. Ancak fark istatistiksel olarak anlamlı değildir.

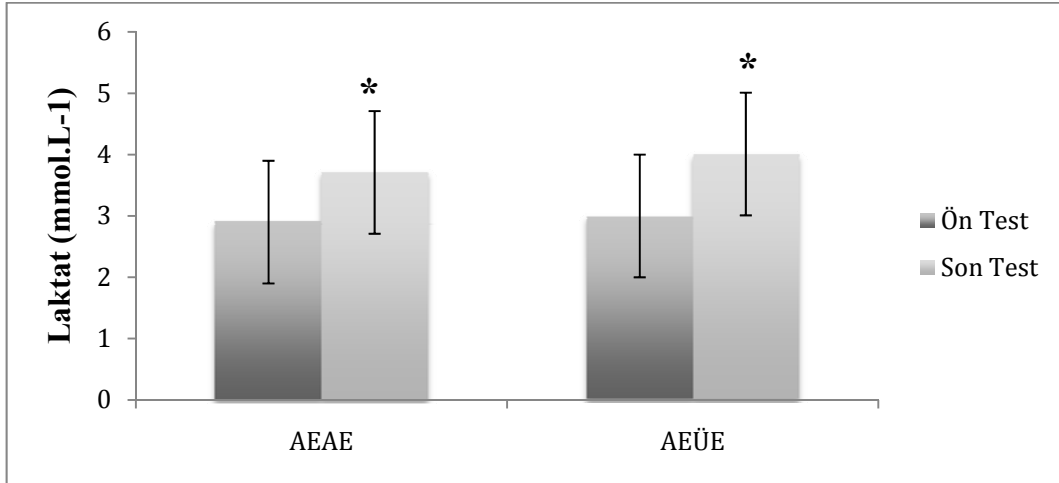


Şekil 37. İki Egzersiz Programı Sonrası Sabit Yüklü AEÜE Testi ile Belirlenmiş O₂ Alımının Yavaş Fazının Toplam Yanıtına Oranı

Oksijen alımının yavaş fazının toplam yanıt oranının iki egzersiz sonrasındaki değişimi bar grafikte **Şekil 37**'de verilmiştir. İki egzersiz sonrasında da yüzdesel bir azalma (AEAE sonrasında %8, AEÜE sonrasında %10) olsa da istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır.

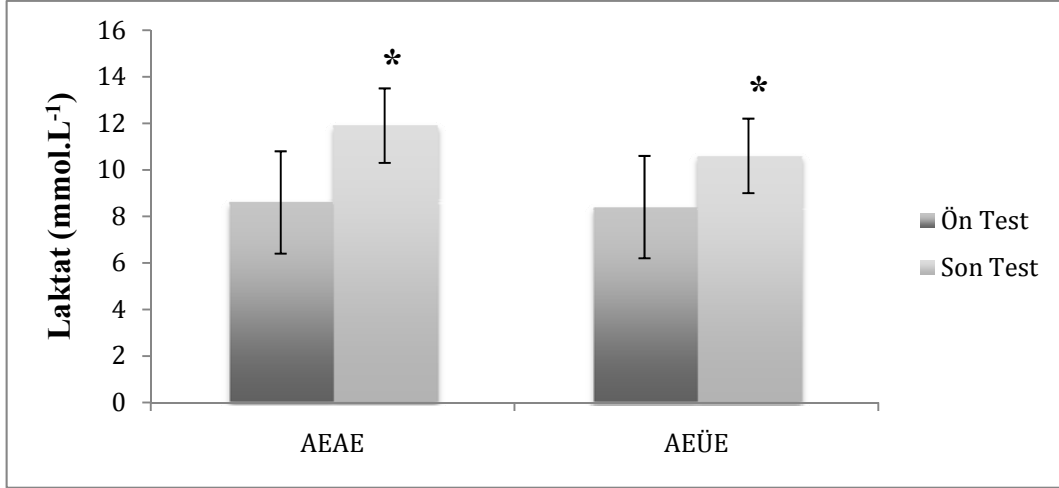
Oksijen alımının yavaş fazının hızını gösteren ikinci zaman sabiti (τ_2 (sn)) iki egzersiz sonrasında da hızlanmıştır ($p < 0.05$). AEÜE yapan grupta τ_2 (sn) AEAE yapan grup ortalamasına göre (AEÜE sonrası %33 azalma – AEAE sonrası %23 azalma) daha fazla hızlanmıştır ($p < 0.05$).

Sabit yüklü AEAE ve AEÜE testlerinin tamamlandığı anda ulaşılan laktat değerleri iki egzersiz programı öncesi ve sonrasındaki artışını gösteren bar grafikler **Şekil 38** ve **Şekil 39**'da verilmiştir.



Şekil 38. İki Egzersiz Programı Sonrasında Sabit Yüklü AEAE Testi Sonucu Ulaşılan Maksimal Laktat Değerlerinin Bar Grafiği

Hem AEAE hem de AEÜE sonrasında sabit yüklü AEAE testi sonucu ulaşılan maksimal laktat değerleri istatistiksel olarak anlamlı derecede artmıştır ($P < 0.05$).



Şekil 39. İki Egzersiz Programı Sonrasında Sabit Yüklü AEAÜ Testi Sonucu Ulaşılan Maksimal Laktat Değerlerinin Bar Grafiği

Hem AEAE hem de AEÜE sonrasında sabit yüklü AEÜE testi sonucu ulaşılan maksimal laktat değerleri istatistiksel olarak anlamlı derecede artmıştır (P<0.05).

Elektromiyografi Bulguları

Anaerobik eşik altı egzersiz yapan grupta 6 haftalık egzersiz öncesi ve sonrasında sabit yüklü AE üstü egzersiz testinde *tibialis anterior*, *gastrocnemius medialis*, *vastus medialis*, *vastus lateralis*, *rektus femoris* ve *biceps femoris* kas aktivitelerinin medyan frekanslarının grafikleri sırasıyla **Şekil 40**, **Şekil 42**, **Şekil 44**, **Şekil 46**, **Şekil 48** ve **Şekil 50**'de verilmiştir.

Anaerobik eşik üstü egzersiz yapan grupta 6 haftalık egzersiz öncesi ve sonrasında sabit yüklü AE üstü egzersiz testinde *tibialis anterior*, *gastrocnemius medialis*, *vastus medialis*, *vastus lateralis*, *rektus femoris* ve *biceps femoris* kas aktivitelerinin median frekanslarının grafikleri sırasıyla **Şekil 41**, **Şekil 43**, **Şekil 45**, **Şekil 47**, **Şekil 49** ve **Şekil 51**'de verilmiştir.

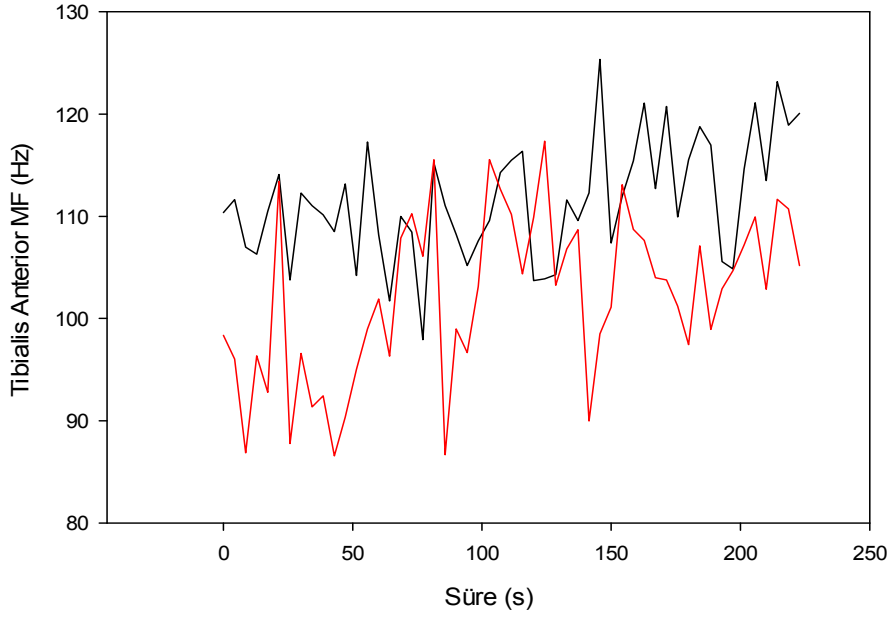
Anaerobik eşik altı egzersiz yapan grupta 6 haftalık egzersiz öncesi ve sonrasında sabit yüklü AE üstü egzersiz testinde *tibialis anterior*, *gastrocnemius medialis*, *vastus medialis*, *vastus lateralis*, *rektus femoris* ve *biceps femoris* kas aktivitelerinin integrated EMG grafikleri sırasıyla **Şekil 52**'de verilmiştir.

Anaerobik eşik üstü egzersiz yapan grupta 6 haftalık egzersiz öncesi ve sonrasında sabit yüklü AE üstü egzersiz testinde *tibialis anterior*, *gastrocnemius medialis*, *vastus medialis*, *vastus lateralis*, *rektus femoris* ve *biceps femoris* kas aktivitelerinin integrated EMG grafikleri sırasıyla **Şekil 53**'de verilmiştir.

Siyah renkli grafik ön testleri, kırmızı renkli grafik ise son testleri göstermektedir ve 'x' eksenini saniye olarak süreyi gösterirken 'y' eksenini Hz olarak medyan frekansını göstermektedir.

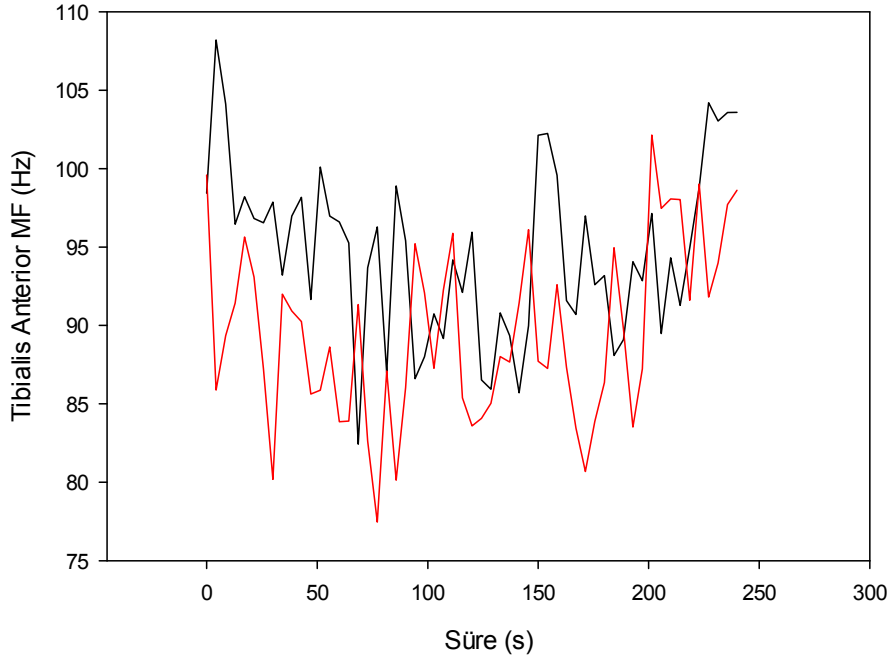
Yapılan değerlendirmede beş kasında 6 haftalık AEAE ve AEÜE sonrası medyan frekanslarında anlamlı bir değişim olmadığı görülmüştür. Aynı şekilde sırasıyla

İki egzersiz programı sonrasında da *tibialis anterior*, *gastrocnemius medialis*, *vastus medialis*, *vastus lateralis*, *rektus femoris* ve *biceps femoris* kas aktivitelerinin medyan frekanslarında istatistiksel olarak bir değişim olmamıştır.



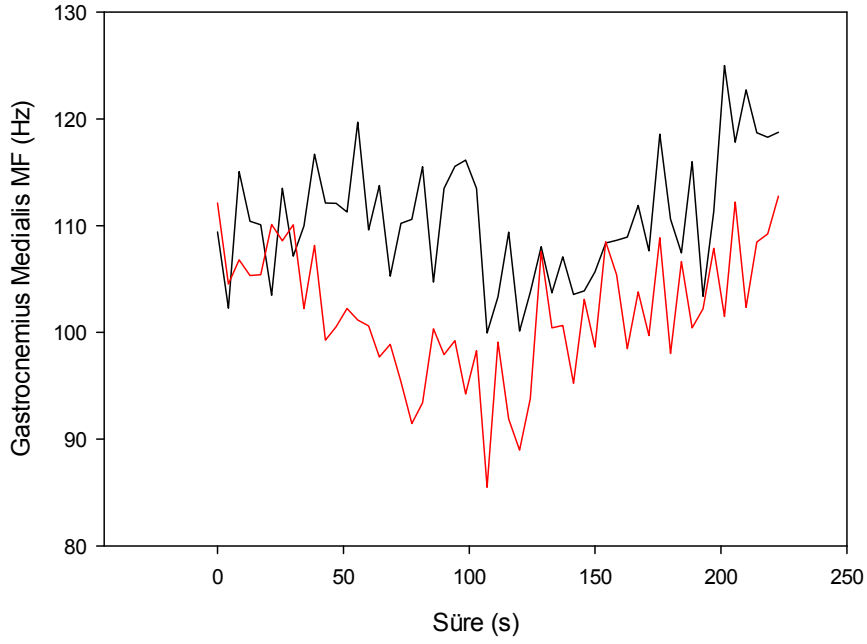
Şekil 40. AEAE Yapan Grupta 6 Haftalık Egzersiz Öncesi ve Sonrası *Tibialis Anterior* Kas Aktivitesi

Altı haftalık AEAE öncesi ve sonrasında *tibialis anterior* kas aktivitesinde anlamlı bir fark yoktur ($P>0.05$) (Şekil 40).



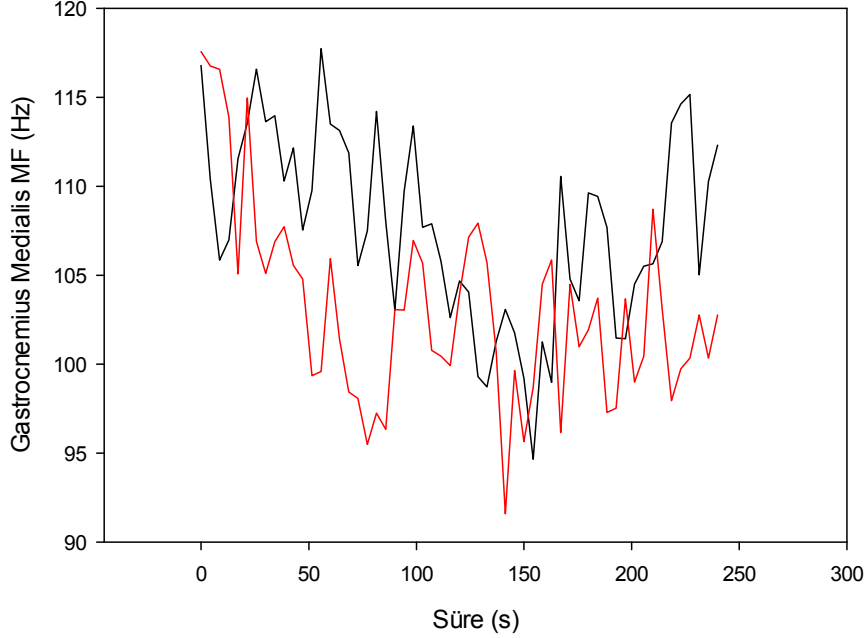
Şekil 41. AEÜE Yapan Grupta 6 Haftalık Egzersiz Öncesi ve Sonrası *Tibialis Anterior* Kas Aktivitesi

Altı haftalık AEÜE öncesi ve sonrasında *tibialis anterior* kas aktivitesinde anlamlı bir fark yoktur ($P>0.05$) (Şekil 41).



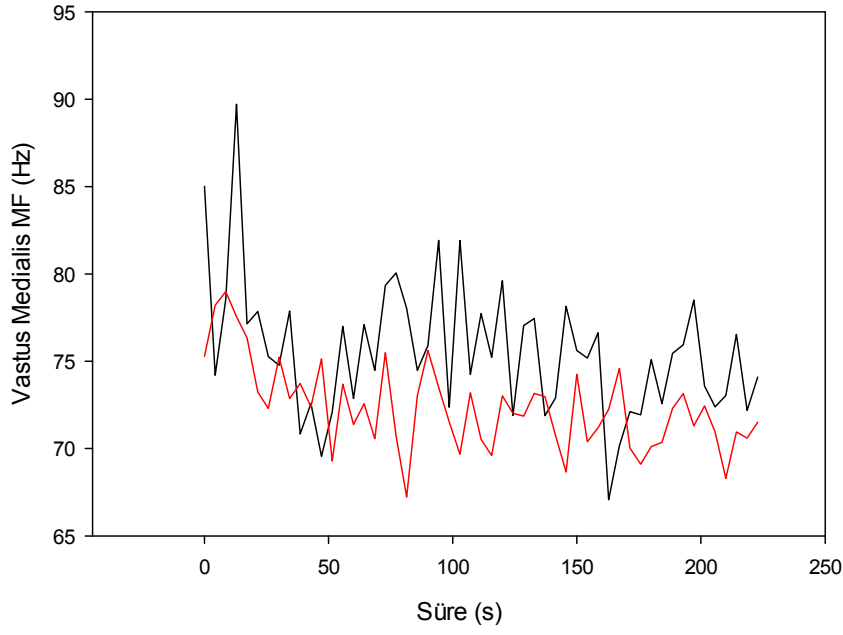
Şekil 42. AEAE Yapan Grupta 6 Haftalık Egzersiz Öncesi ve Sonrası *Gastrocnemius Medialis* Kas Aktivitesi

Altı haftalık AEAE öncesi ve sonrasında *gastrocnemius medialis* kas aktivitesinde anlamlı bir fark yoktur ($P>0.05$) (Şekil 42).



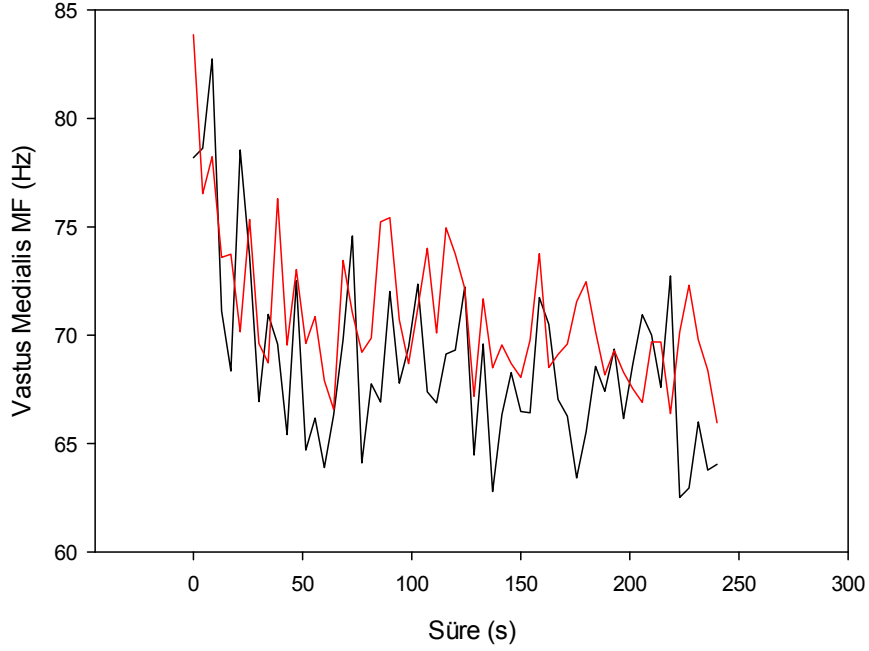
Şekil 43. AEÜE Yapan Grupta 6 Haftalık Egzersiz Öncesi ve Sonrası *Gastrocnemius Medialis* Kas Aktivitesi

Altı haftalık AEÜE öncesi ve sonrasında *gastrocnemius medialis* kas aktivitesinde anlamlı bir fark yoktur ($P>0.05$) (Şekil 43).



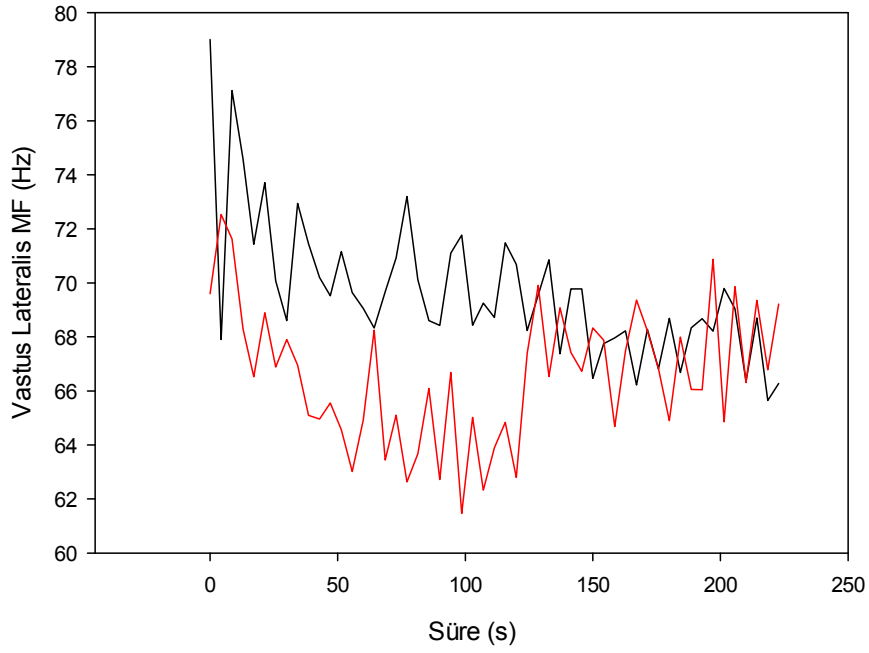
Şekil 44. AEAE Yapan Grupta 6 Haftalık Egzersiz Öncesi ve Sonrası *Vastus Medialis* Kas Aktivitesi

Altı haftalık AEAE öncesi ve sonrasında *vastus medialis* kas aktivitesinde anlamlı bir fark yoktur ($P>0.05$) (Şekil 44).



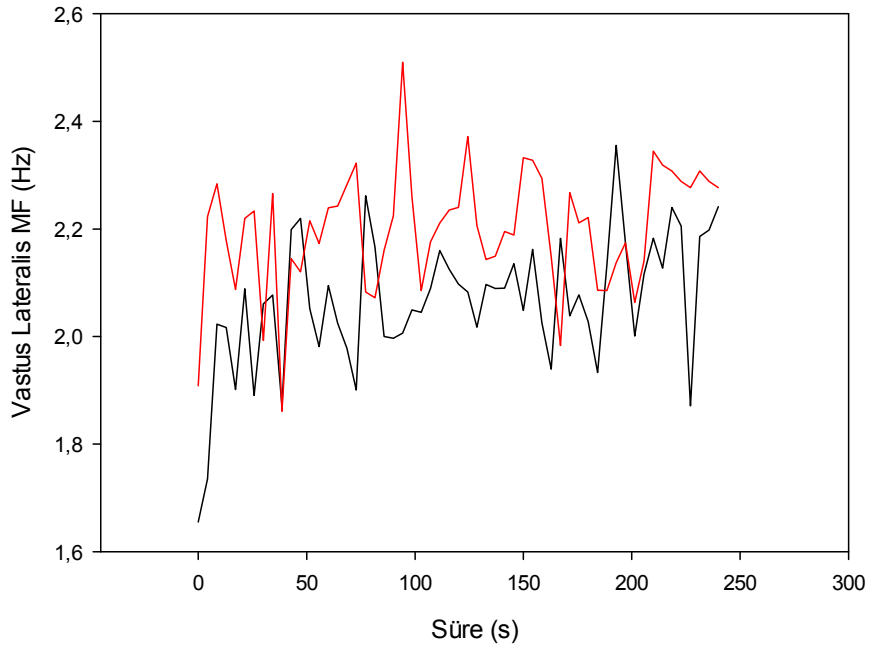
Şekil 45. AEÜE Yapan Grupta 6 Haftalık Egzersiz Öncesi ve Sonrası *Vastus Medialis* Kas Aktivitesi

Altı haftalık AEÜE öncesi ve sonrasında *vastus medialis* kas aktivitesinde anlamlı bir fark yoktur ($P>0.05$) (Şekil 45).



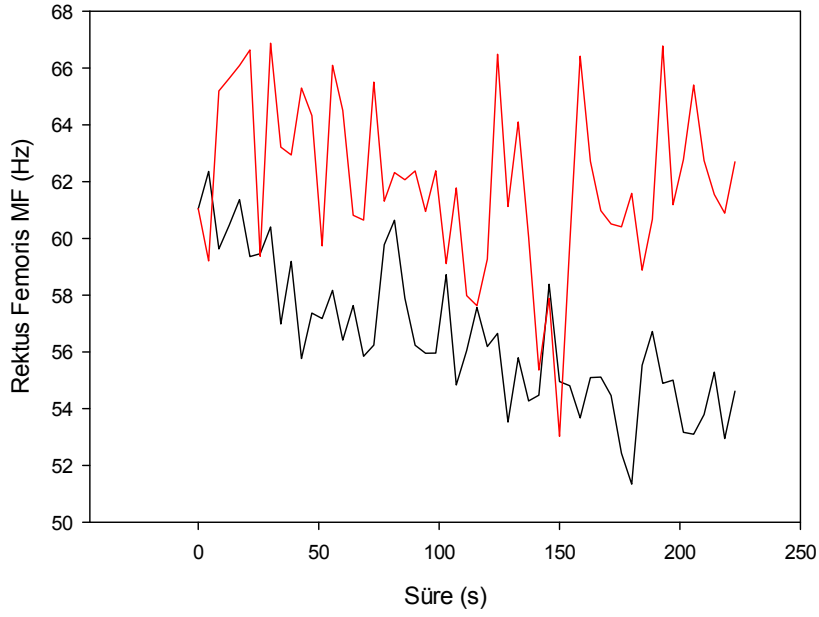
Şekil 46. AEAE Yapan Grupta 6 Haftalık Egzersiz Öncesi ve Sonrası *Vastus Lateralis* Kas Aktivitesi

Altı haftalık AEAE öncesi ve sonrasında *vastus lateralis* kas aktivitesinde anlamlı bir fark yoktur ($P>0.05$) (Şekil 46).



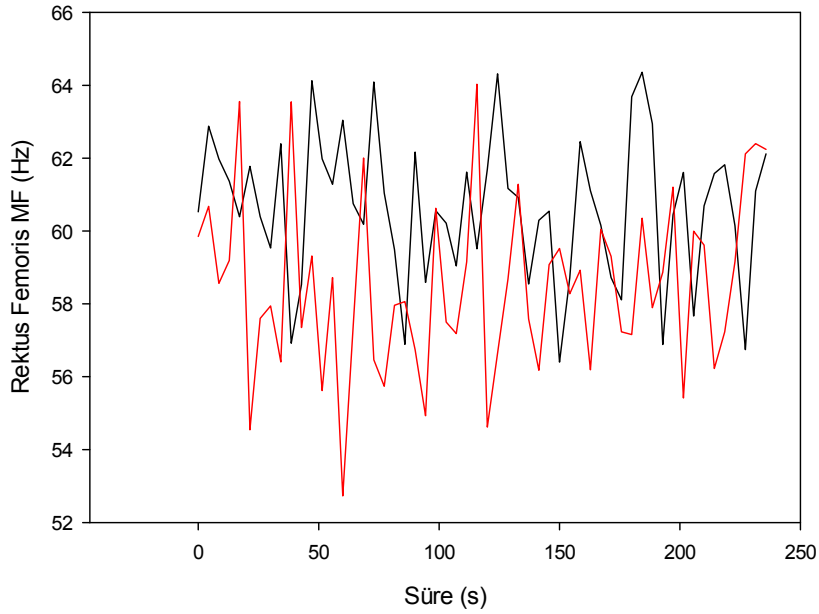
Şekil 47. AEÜE Yapan Grupta 6 Haftalık Egzersiz Öncesi ve Sonrası *Vastus Lateralis* Kas Aktivitesi

Altı haftalık AEÜE öncesi ve sonrasında *vastus lateralis* kas aktivitesinde anlamlı bir fark yoktur ($P>0.05$) (Şekil 47).



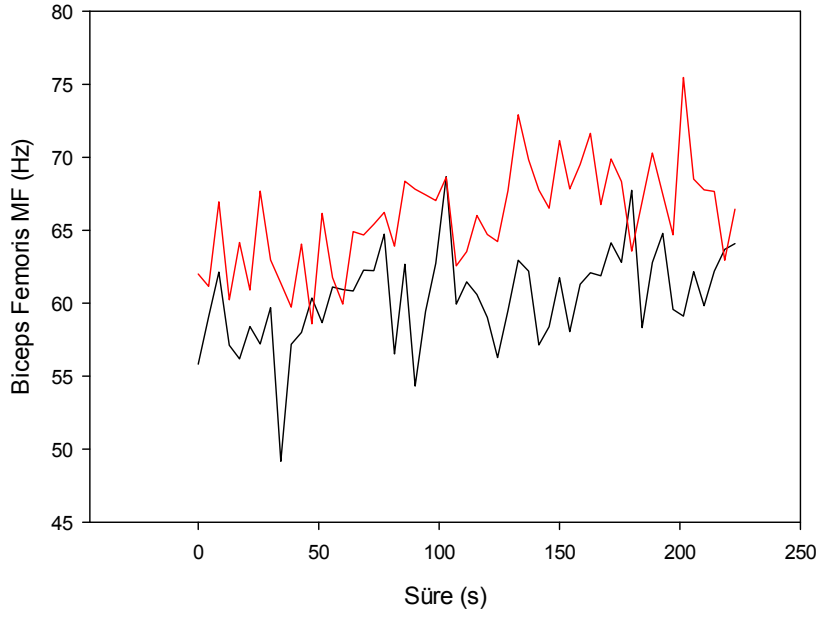
Şekil 48. Anaerobik Eşik Altı Egzersiz Yapan Grupta 6 Haftalık Egzersiz Öncesi ve Sonrası *Rectus Femoris* Kas Aktivitesi

Altı haftalık AEAE öncesi ve sonrasında *rectus femoris* kas aktivitesinde anlamlı bir fark yoktur ($P>0.05$) (Şekil 48).



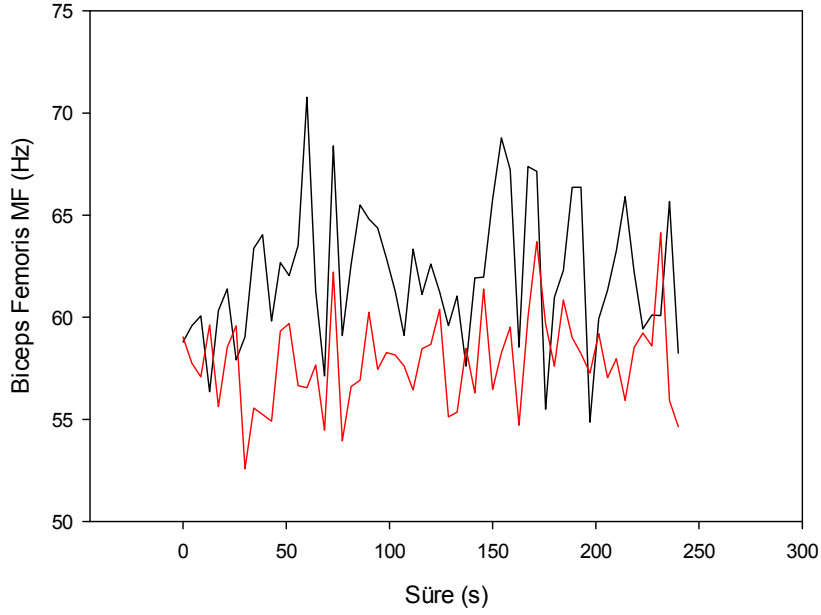
Şekil 49. Anaerobik Eşik Üstü Egzersiz Yapan Grupta 6 Haftalık Egzersiz Öncesi ve Sonrası *Rectus Femoris* Kas Aktivitesi

Altı haftalık AEAE öncesi ve sonrasında *rectus femoris* kas aktivitesinde anlamlı bir fark yoktur ($P>0.05$) (Şekil 49).



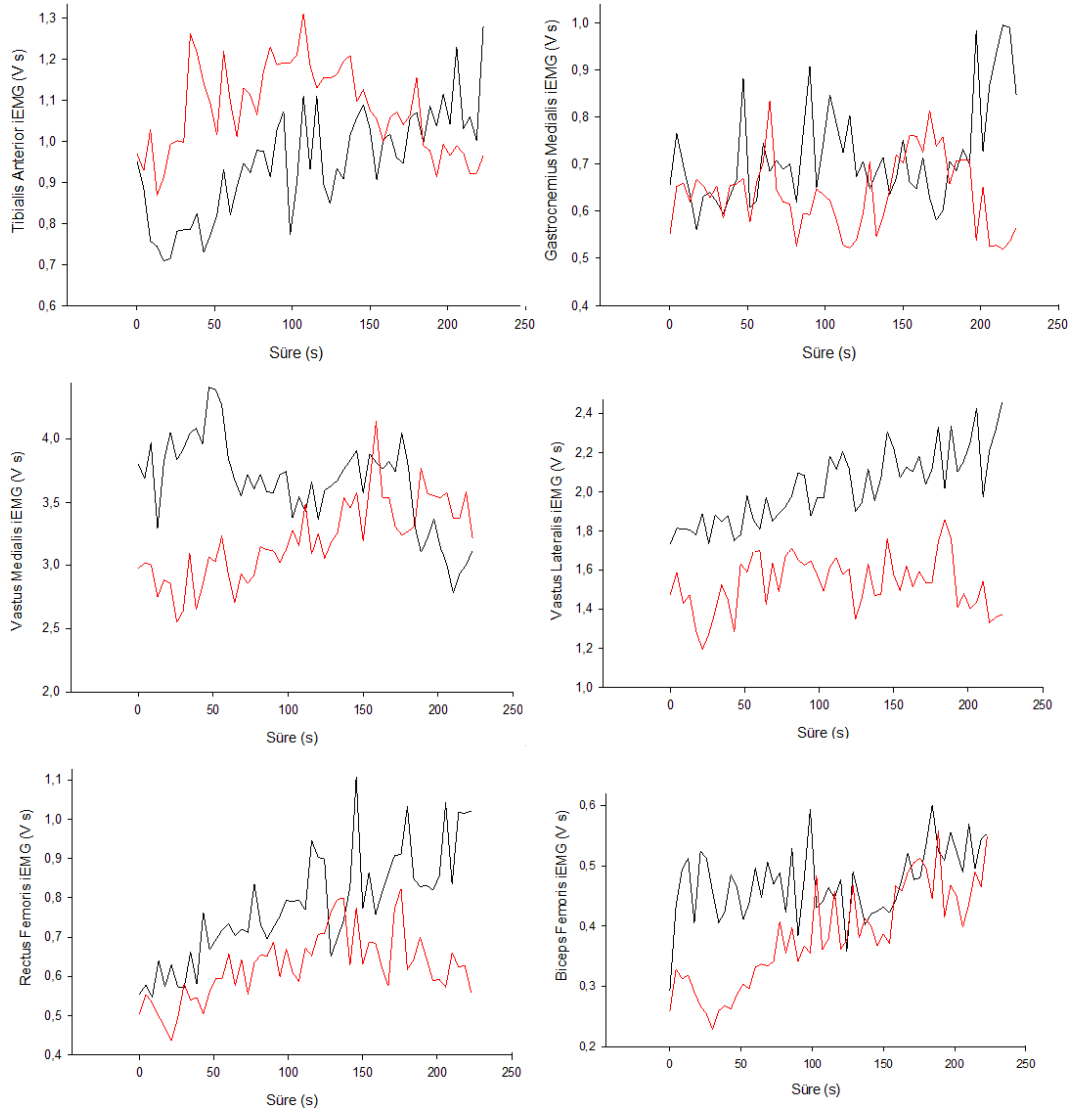
Şekil 50. AEAE Yapan Grupta 6 Haftalık Egzersiz Öncesi ve Sonrası *Biceps Femoris* Kas Aktivitesi

Altı haftalık AEAE öncesi ve sonrasında *biceps femoris* kas aktivitesinde anlamlı bir fark yoktur ($P>0.05$) (Şekil 50).



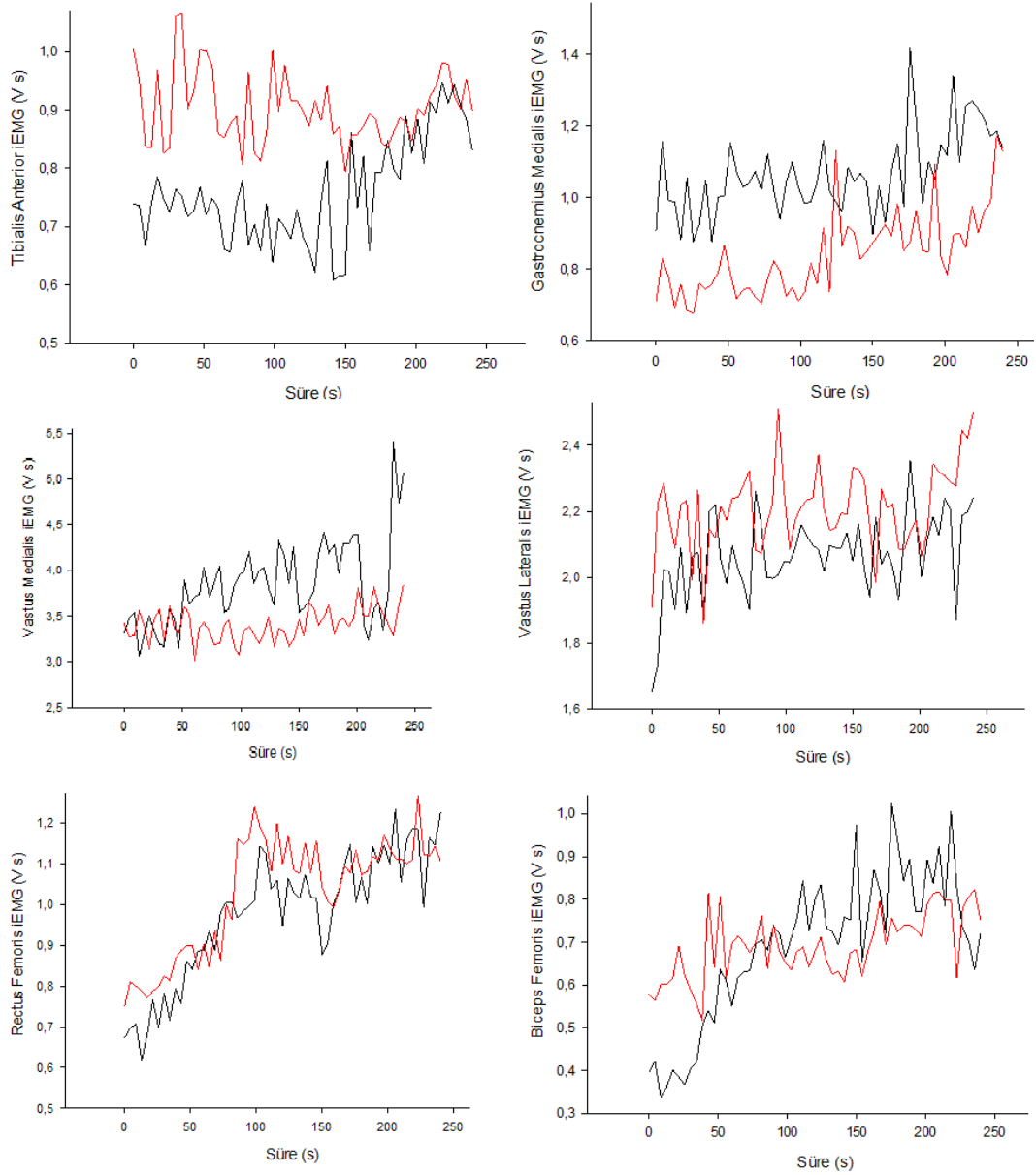
Şekil 51. AEÜE Yapan Grupta 6 Haftalık Egzersiz Öncesi ve Sonrası *Biceps Femoris* Kas Aktivitesi

Altı haftalık AEÜE öncesi ve sonrasında *biceps femoris* kas aktivitesinde anlamlı bir fark yoktur ($P>0.05$) (Şekil 51).



Şekil 52. Anaerobik Eşik Üstü Egzersizde Altı Haftalık Egzersiz Öncesi ve Sonrasında Tibialis Anterior, Gastrocnemius Medialis, Vastus Medialis, Vastus Lateralis, Rectus Femoris ve Biceps Femoris Kas Aktivitelerinin iEMG Grafikleri (AEA Grup)

Sabit yüklü AEAE öncesi ve sonrasında *tibialis anterior*, *gastrocnemius medialis*, *vastus medialis*, *vastus lateralis*, *rectus femoris* ve *biceps femoris* kas aktivitelerinin iEMG değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark yoktur ($P>0.05$) (Şekil 52).



Şekil 53. Anaerobik Eşik Üstü Egzersizde Altı Haftalık Egzersiz Öncesi ve Sonrasında Tibialis Anterior, Gastrocnemius Medialis, Vastus Medialis, Vastus Lateralis, Rectus Femoris ve Biceps Femoris Kas Aktivitelerinin iEMG Grafikleri (AEÜ Grup)

Sabit yüklü AEÜE öncesi ve sonrasında *tibialis anterior*, *gastrocnemius medialis*, *vastus medialis*, *vastus lateralis*, *rectus femoris* ve *biceps femoris* kas aktivitelerinin iEMG değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark yoktur ($P>0.05$) (Şekil 53).

Tartışma

Altı haftalık AEAE ve AEÜE'in kardiyovasküler ve metabolik parametrelere, oksijen alım kinetiğine ve *tibialis anterior, gastrocnemius medialis, vastus lateralis, vastus medialis, rektus femoris* ve *biceps femoris* kas aktivitelerine etkisi bu tez araştırmasında incelenmiştir.

Artırmalı maksimal test ile altı haftalık AEAE'in ve AEÜE'in kardiyovasküler ve metabolik adaptasyonu geliştirdiği görülmüştür ($P<0.05$). Kardiyovasküler adaptasyon, VO_{2maks} , maksimal kalp atım hızı, anaerobik eşik parametreleri değerlendirilirken metabolik adaptasyon da laktat parametresi ile değerlendirilmiştir.

Sabit yüklü test ile altı haftalık AEAE'in ve AEÜE'in oksijen alım kinetiğini hızlandırdığı, egzersiz verimliliğini artırdığı bulunmuştur ($P<0.05$). Oksijen alımının yavaş fazında ise azalma olsa da istatistiksel olarak anlamlı değildir.

Bu testlerle beraber yapılan EMG değerlendirmesi sonucunda da ön ve son test değerlendirmesinde bir fark bulunmamıştır.

İki egzersizin etkisinin karşılaştırması yapıldığında ise AEÜE sonrasında AEAE sonrasında yapılan değerlendirmeye göre kardiyovasküler ve metabolik parametrelerdeki, oksijen alım kinetiğindeki değişim yüzdesel olarak daha fazla iken istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur. Ancak metabolik değişimin belirlendiği laktat ve oksijen alımının yavaş fazının zaman sabiti AEÜE sonrasında istatistiksel olarak da daha fazla değişim göstermiştir ($P<0.05$).

Egzersiz sonundaki maksimal laktat sabit yüklü AEAE ve AEÜE testlerinde de değerlendirilmiştir. Maksimal laktat değerinin AEAE grubunda istatistiksel olarak anlamlı derecede artış gösterdiği ($P<0.05$) bulunurken AEÜE grubunda da artış olmasına rağmen istatistiksel olarak anlamlı değildir.

VO_{2maks} , egzersiz ekonomisi, laktat/solunum eşiği, oksijen alım kinetikleri dayanıklılık performansının önemli parametreleri olarak belirtilmektedir (Jones ve Carter, 2000).

Düzenli olarak yapılan aerobik egzersiz AEA ve AEÜ yapıldığında teorik olarak farklı metabolik yolları kullanmaktadır.

Aerobik egzersiz, atmosferden mitokondriye oksijen iletiminin artırılması ve kas metabolizmasının düzenlenmesi yani kardiyorespiratuar ve nöromusküler sistemin adaptasyonu ile sonuçlanmaktadır. Anaerobik egzersiz ise anaerobik substratların (kasın dinlenme durumundaki ATP, CP, C ve glikojen oranları), FT kas liflerinin boyutlarının ve enzim fonksiyonlarının, yüksek seviye laktatlarda egzersize devam edebilme düzeylerinin artması ile sonuçlandığı belirtilmiştir (Mc Ardle ve ark., 2010).

Fizyolojik sistemin zorlanması temelde eşik altına oranla eşik üstünde daha yüksek oranda olmaktadır. Hal böyleyken kas içerisinde meydana gelen değişiklikler aslında uyum yanıtlarını çok zorlamaması beklenebilir. Bu anlamda özellikle yorgunluk ve kas gelişmesine neden olabilecek sinyal yolları belki de çok aktive değildir. Bu yollar; kasın daha kolay ve hızlı oksijene ulaşmasını sağlayabilecek faktörlerden etkilenmektedir. Bu faktörler:

1. Kas liflerindeki kapiller yoğunluk (Plowman ve Smith, 2013; Bartlett ve ark. 2010)
2. Miyogloblin veya kas liflerinin uyum yanıtı (mitokondirial büyüme) (Donatelli, 2007)
3. Santral uyum kalp atım hızı vs değişkenler (Donatelli, 2007)
4. Aerobik glikolizis fonksiyonunun artması sonucu maksimal oksijen tüketimi (Bartlett ve ark. 2010).
5. İskelet kasındaki mitokondirilerin sayısı ve büyüklüğü (Bartlett ve ark. 2010).

Sistem AEÜ düşünülduğünde sistem de enerji yollarında laktik asit eklenmesi söz konusu olmaktadır pirüvik asit laktik aside dönüşerek yorgunluk oluşmaktadır (Plowman ve Smith, 2013).

Her ne kadar hidrojen iyon derişiminin artışı kasta ciddi bir sinyal yolağı tetiklediğı şeklinde yorumlanmıyorsa da AEA oranla yapılan yüklemenin hücre dengesini daha fazla bozması beklenmektedir. Bu bozma ikinci mesajcı yollarında kasın gelişmesi yönünde eşik altına oranla daha yüksek bir sinyal yolağını aktive etmektedir.

Kas gelişmesinde önemli olan faktörlerden birisinin, AMP activated protein kinaz (AMPK) olduğu belirtilmektedir. Egzersizin başlamasıyla oluşan metabolik stres AMP:ATP oranında (stressiz bir hücredeki oran 10:1'dir) değişime neden olmaktadır. Hücredeki bu enerji durumunun metabolik sensörü ya da benzin göstergesi olarak da belirtilebilen AMPK olarak belirtilmektedir. AMPK aktivasyon düzeyi kas kasılmasının süresine ve yoğunluğuna bağılı değişiklik gösterebilmektedir (Röckl ve ark., 2007; Hill ve Olson, 2012). AMPK derişiminde meydana gelen değişiklikler transkripsiyon faktörü mitokondirial biogenezis yolağını çalıştırabilir. İkinci olarak hipoksi gelişebilir. Hipoksiye sekonder olarak ortaya çıkabilecek değişiklikler sinyal yolağını çalıştırabilir. Üçüncü olarak reaktif oksijen türlerinin derişimi artabilir.

Reaktif oksijen türleri; serbest radikaller içermekte ve oksijenin reaktif formlarında olmaktadır. Metabolizmanın oranı yükseldikçe (dinlenim- AEAE-AEÜE) üretilen serbest radikal de artmaktadır. Tüketilen oksijenin yaklaşık %4-5'i serbest radikale dönüşmektedir. Anaerobik enerji üretiminde hidrojen iyonunun fazla olması oksijen serbest radikallerinin reaktif oksijen türlerinin formuna girmesine neden olmaktadır (Plowman ve Smith, 2013). Dördüncü olarak, hücre içi kalsiyum derişimi değişebilir.

Kas kasılmasının başında sarkoplazmik Ca^{2+} düzeyi hızlı bir artış göstermektedir. Bu artış ATP üretimindeki metabolik yolların uyarılmasında önemli bir role sahiptir (Bouchard ve Hoffman, 2011). Kalsiyuma bağılı protein kinaz fazla çalışabilir.

Bu gibi değişikliklerin tümü AEÜE modelinde AEAE oranla daha farklı değişikliklere yol açmaktadır.

Ayrıca AEÜE sırasında kardiyovasküler sistemdeki adaptasyonlar: Egzersiz kapasitesi artmıştır, aynı işi düşük nabızda yapmak gibi santral adaptasyonlar gelişmiştir. Doku düzeyindeki uyum yanıtı olarak da karşımıza çıkmaktadır. Hal böyle olunca stres yanıtı AEÜ egzersizlerde AEA egzersizlere oranla daha fazla

olması beklenmektedir. Bu artış beraberinde dokunun oksijeni daha kolay çekebilmesi ve kullanabilmesi için ortam yaratabilir. Kapillarizasyon artabilir, mitokondrial yoğunluk ve enzim aktivitesinin artmasıyla mitokondrial biogenezis daha fazla olabilir.

Kardiyovasküler adaptasyonun değerlendirildiği VO_{2maks} artışının büyüklüğü bir çok faktöre bağlıdır. Teste katılan kişilerin egzersize başlamadan önceki VO_{2maks} değerleri bu faktörlerden biridir (Jones ve Carter, 2000). İki egzersiz grubunun ön testleri arasında fark olmadığı için bu faktör tez sonuçlarında etkili değildir.

İki grubunda egzersiz programının süresi altı hafta, sıklığı haftada dört gün ve 30 dk.gün⁻¹ olmak üzere aynıdır. Dolayısıyla AEAE ve AEÜE programlarındaki tek fark egzersiz yoğunluğudur.

AEAE yapan grupta VO_{2maks} (L. dk⁻¹) % 8.5 artış gösterirken AEÜE yapan grupta bu artış % 17'dir. Oransal olarak VO_{2maks} (ml.dk⁻¹.kg⁻¹) artışı sonuçları ise AEAE yapan grupta %10.8 iken AEÜE yapan grupta bu artış % 15.2'dir. Ancak iki egzersiz grubundaki bu artışların arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı değildir.

Egzersize adaptasyonda en önemli nokta olarak maksimal oksijen tüketiminin yüzdesine oranlanan relatif egzersiz yoğunluğundaki artış olduğu belirtilmiştir. Anaerobik eşikteki artış büyük oranda aerobik yolla ATP üretimini kullanarak bireyin daha yüksek egzersiz yoğunluklarında performans gösterebileceğini belirtmektedir. Bu tez araştırmasında iki egzersiz programı sonrasında da anaerobik eşik % VO_{2maks} (%) benzer oranlarda (AEAE sonrası %7.8; AEÜE sonrası %13.6) artış göstermiştir. Bu sonuç hem AEAE hem de AEÜE'lerin aerobik yolla ATP üretimini, lipidleri metabolize etme yeteneğini, krep siklüsündeki enzimleri, kapiller yoğunluğu ve sayıyı arttırdığını göstermektedir (Kraemer ve ark., 2012).

Literatürde farklı egzersizlerin VO_{2maks} üzerine etkisini gösteren çalışmalar bulunmaktadır.

Carter ve ark. (1999), araştırmasında 16 kişiye 6 hafta boyunca laktat eşiğine yakın hızlarda haftada 5 gün 20-30 dk.gün⁻¹ egzersiz yaptırıp sonucunda VO_{2maks} (ml.dk⁻¹.kg⁻¹) parametresinde %10 artış bulmuşlardır. Egzersiz yoğunluğu bu tez araştırmasındaki anaerobik eşik altı egzersiz yoğunluğuna yakın olduğu için sonuçlar da paralellik göstermektedir ((VO_{2maks} (ml.dk⁻¹.kg⁻¹) artışı anaerobik eşik altı egzersiz yapan grupta %10.8-Carter ve ark. (1999) çalışmasında laktat eşiğine yakın egzersiz yapan grupta %10'dur).

Casaburi ve ark. (1987) tez araştırmasının sonuçlarına paralel olarak 8 haftalık bisiklet ergometresinde dayanıklılık egzersizinin %15 VO_{2maks} artışına neden olduğunu bulmuşlardır. Aynı şekilde Murias ve ark. (2011) çalışmasına göre de 3 haftalık dayanıklılık antrenmanı (%70 VO_{2maks}) sonrasında %12 VO_{2maks} artmıştır. Sonuçlar paralellik göstermekle beraber uygulanan antrenman yükleri farklılık gösterebilmektedir.

Murias ve ark. (2011) çalışmasında uygulanan %70 VO_{2maks} antrenman yoğunluğu AEAE da AEÜE de olabilir. Teste katılan bireylerin anaerobik eşike maksimal oksijen tüketiminin yüzde kaçıyla girdiği değişiklik gösterebilmektedir.

Bu nedenle tez araştırmasında $\Delta\%80$ anaerobik eşik üstü gibi bir egzersiz yoğunluğu belirlenmiştir.

Carter ve ark. (2000) 24 kişiye 6 hafta boyunca laktat eşliğinde devamlı ve laktat eşliği üstünde aralıklı (interval) olmak üzere haftada 3-5 gün 20-30 dk.gün⁻¹ egzersiz yaptırıp sonucunda VO_{2maks} (ml.dk⁻¹.kg⁻¹) parametresinde % 3 artış bulmuşlardır. Bu çalışmanın egzersiz protokolü ile tez araştırması farklı olduğu için sonuçlar paralellik gösterse de artış oranı yakın değildir.

Slawinski ve ark. (2001), 6 uzun mesafe koşucusuna 8 hafta devamlı ve aralıklı (interval) olmak üzere 5 gün.hafta⁻¹ laktat eşliği üstü egzersiz sonucunda VO_{2maks} (ml.dk⁻¹.kg⁻¹) parametresinde artış olmamıştır. Bunun nedeni denek grubunun uzun mesafe sporcusu olmasından dolayı ön testteki değerlerinin zaten antrene olmayan bireylere göre yüksek olması olabilir. Tez araştırmasındaki denekler aktif spor yapmayan genç bireyler olduğu için sporculara göre VO_{2maks} (ml.dk⁻¹.kg⁻¹) değeri daha düşüktür ve yanıtın daha fazla olması beklenen bir durumdur. Aynı şekilde Millet ve ark. (2002), 15 triatlet sporcusunda 7 sporcu dayanıklılık ve kuvvet ve 8 sporcu dayanıklılık olmak üzere egzersizin VO_{2maks} (ml.dk⁻¹.kg⁻¹), anaerobik eşığe girme yüzdesi (% VO_{2maks}) ve kalp atım hızı_{maks} parametrelerini değiştirmedigini bulmuşlardır. Denek grubunun ön test VO_{2maks} değerleri 69.7 ± 3.6 (dayanıklılık ve kuvvet antrenmanı yapan grup), 67.2 ± 4.4 (sadece dayanıklılık antrenmanı yapan grup), anaerobik eşığe girme yüzdesi (% VO_{2maks}) 88.4 ± 2.8 (dayanıklılık ve kuvvet antrenmanı yapan grup), 88.1 ± 5.0 (sadece dayanıklılık antrenmanı yapan grup) ve kalp atım hızı_{maks} 189 ± 10 (dayanıklılık ve kuvvet antrenmanı yapan grup), 189 ± 11 (sadece dayanıklılık antrenmanı yapan grup) gibi yüksek olması artış olmama nedeni olarak düşünülebilir. Daha önce literatürde belirtildiği gibi maksimal oksijen tüketiminin üstü limiti vardır. Dolayısıyla performansı yüksek olan sporcular zaten üst limitlere ulaşmışlardır.

Sabit yüklü egzersiz testleri (AEAE-AEÜE) sonundaki laktat verileri göz önüne alındığında egzersiz sonrası laktatın artmasının yapılan testteki iş yükünün artması ile ilgili olduğu düşünülebilir. Eğer testler mutlak iş yüklerine göre yapılsaydı maksimal laktat değerlerinde azalma beklenirdi. Ancak performansın artması ile yapılan AEAE ve AEÜE testlerinin iş yükleri de artmıştır. Bu durumda da kişilerin laktat değerlerinin yükselmesi beklenen bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır. Maksimal laktat değerlerindeki artış AEAE testinde istatistiksel olarak anlamlı bir artış gösterirken ($P < 0.05$) AEÜE testinde bu artış istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Bunun nedeninin de artmış olan performans sonucu kişilerin AEÜE testlerindeki iş yüklerinin artması olduğu düşünülebilir. Oransal iş yükündeki artış kişinin kendi $\Delta\%80$ iş yükü olmasına rağmen artmış performans sonucu gene de daha zorlayıcı olmaktadır. Bu durumda sonuçlarda etkili olduğu düşülebilir.

Bu tez araştırmasında 6 haftalık anaerobik eşik altı ve 6 haftalık anaerobik eşik üstü egzersizlerin kardiyovasküler ve metabolik parametrelerin yanı sıra sabit yüklü egzersizlerde oksijen alım kinetiklerine etkisi belirlenmiştir. Oksijen alım kinetiği ile ilgili temel bulgular aşağıda verilmiştir.

1. Altı hafta AEAE yapan kişilerde $\tau 1VO_{2p}$ (sn) süresi %16 kısalmıştır ($P < 0.05$).

2. Altı hafta AEÜE yapan kişilerde $\tau 1VO_{2p}$ (sn) süresi %20 kısalmıştır (P<0.05).
3. Altı hafta AEAE yapan kişilerde O_2 ederi ($ml.dk^{-1}.W^{-1}$) % 7 azalmıştır (P<0.05).
4. Altı hafta AEÜE yapan kişilerde O_2 ederi ($ml.dk^{-1}.W^{-1}$) % 4 azalmıştır (P<0.05).
5. Anaerobik eşik üstü egzersiz yapan kişilerde $\tau 2VO_2$ süresi anaerobik eşik altı egzersiz yapan kişilere göre daha fazla kısalmıştır (P<0.05).

Sabit yüklü egzersizlerde $\tau 1VO_{2p}$ değeri 20-65 s arasında değişiklik göstermektedir (Jones ve Poole, 2005). Bu tez araştırmasına katılan deneklerin ön testlerinde bulunan ortalama $\tau 1VO_{2p}$ değeri 31 sn olarak bulunmuştur. İki grup arasında ön test $\tau 1VO_{2p}$ değeri açısından anlamlı bir fark yoktur ($p>0.05$). Egzersiz öncesi iki grubunda VO_2 kinetikleri daha yavaştır ve egzersiz ekonomisi daha düşüktür ($\tau 1VO_{2p}$ (s) daha fazla olması ve O_2 ederinin ($ml.dk^{-1}.W^{-1}$) daha fazla olması ile belirlenir). Altı haftalık egzersiz yapan iki grupta da $\tau 1VO_{2p}$ parametresi göz önünde bulundurulduğunda oksijen alım kinetiği hızlanmıştır ve O_2 ederi azalmıştır. Hem AEAE sonrasında hem de AEÜE sonrasında yakın oranlarda oksijen alım kinetiğinin hızlanması (Egzersiz başında VO_2 artış oranının hızlanması= $\tau 1VO_{2p}$ süresinin kısalması) sonucu egzersize adaptasyon sağlanmıştır.

VO_2 kinetiğinin hızlanmasını sağlaması sonucu egzersizin başlamasının ardından çalışan kaslara O_2 'nin gönderilme hızı ve bu oksijenin mitokondride kullanılabilme kapasitesinin de artacağı literatürde belirtilmiştir (Maughan., 2009). Oksijen alım kinetiğinin hızlanması egzersizin başında oksidatif fosforilizasyona adaptasyon oranının arttığını göstermektedir. Bunun sonucu oksijen açığının azaldığı ve laktik asit üretiminin azaldığı literatürde belirtilmiştir. Oksijen açığının azalması özellikle CP olmak üzere kastaki yüksek enerji fosfatlarının ve glikojenin tükenme oranını ve yorgunlukla ilgili metabolitlerin artışını da azaltmaktadır. Egzersiz başladıktan sonra yüksek enerjili fosfat konsantrasyonlarında azalma ile VO_2 artışı arasında resiprokal ilişki olduğu belirtilmiştir (Jones ve Poole, 2005; Burnley ve ark., 2006). Egzersiz sonrası VO_2 artışının hızlanması (oksijen alım kinetiğinin hızlanması) sonucu yüksek enerjili fosfat konsantrasyonlarına olan ihtiyacın azaldığı sonucuna da ulaşılabilir.

Aktif dokulara oksijen taşınımındaki sınırlama oksidatif fosforilizasyona adaptasyon oranını düzenleyen mekanizmalardan biri olarak belirtilmiştir (Hughson ve ark., 2001). Bununla beraber femoral arter kan akış hızının artmasının da $\tau 1VO_{2p}$ 'de azalmaya neden olduğu da belirtilmektedir (Philips ve ark., 1995).

Oksijen alım kinetiğinin egzersizle hızlanmasının bir başka açıklaması da iskelet kaslarının metabolik stabilitesinin gelişmesi sonucu olduğudur. Kas metabolik stabilitesinin gelişmesinden sorumlu faktör olarak da mitokondriyal protein artışı belirtilmiştir. Aynı zamanda ATP harcanması ile temin edilmesindeki paralel aktivasyonla açıklanmıştır. Harcanan ATP'nin yerine konması (girdi) ve hücresel oksijen tüketimi (çıkıtı) bu ilişkiyi düzenlemektedir (Zoladz ve ark., 2006; Jones ve Poole, 2005).

Egzersiz sırasında aerobik ve anaerobik enerji transferinin anlık hızı ve kullanılan substrat miktarı da VO_2 kinetiğiyle belirlenmektedir. Dolayısıyla $\tau 1VO_{2p}$ süresinin kısalması ile metabolizmanın dinlenme durumundan egzersiz durumuna geçişi sırasında gerekli olan anaerobik enerji kullanımının azaldığı bilinmektedir (Burnley ve Jones, 2007).

Sistem strese girdiği anda yapılan 6 dakikalık yükleme sonrasında sistemin dokudan oksijeni çekmesi hızlandığı için zaman sabiti kısalmıştır. Yapılan önemli gözlemlerden bir tanesi de sabit bir işte yapılan oksijen ederinin azalmasıdır. Oksijen ederinin azalması mitokondrinin daha az oksijen kullanarak aynı işi yapabildiğini göstergesi açısından önemlidir.

Nitekim antrenmana uyum yanıtlarında görülen önemli değişikliklerden bir tanesi de verimlilik artışıdır. Bu verimlilik artışı kasın kendisinde olabileceği ve bireyin daha kolay iş yapmayı becebilmesi anlamında kendini gösterebileceği şeklindedir.

Mitokondrinin 1 birim oksijenle ürettiği ATP miktarında bir artış söz konusu olabilir ve bu artışta beraberinde daha az oksijenle sabit bir işi daha yüksek hızda yapabildiğini bize işaret etmesi anlamında önemlidir. Bu etkiyi kasın uyumu ile birlikte tartışacak olursak egzersiz öncesi ve sonrasında yapılan artırmalı maksimal testlerde belirlenen anaerobik eşiklerdeki bireysel iş yüklerinde artış olmuştur. Örneğin mutlak değer olarak bakıldığında bir kişinin ön testindeki AE iş yükü 120 W iken son testinde 140 W olmuştur. Yapılan sabit yüklü 6 dakikalık AEAE testlerinde bireyin ön testindeki iş yükü 108 W iken son testinde 126 W olmuştur. Mutlak W değerleri olarak bakıldığında 108 W iş yükünde performans gösteren birey egzersiz sürecinden sonra 126 W iş yükünde daha az oksijen tüketmektedir.

Yüzde değer olarak ikinci ölçümde sistemi çok zorluyor olmakla birlikte hala daha az oksijen kullanılması söz konusudur. Hal böyleyken verimlilik artışı verilen istatistik sonuçlarından çok daha yüksek olabilmektedir. Dolayısıyla bu durum AEÜE grubunda daha belirgin görülmektedir. AEÜE yapan grupta VO_{2maks} artışı, AE artışı, yüzde VO_{2maks} kullanımı artışı da yapılan sabit yüklü testi etkilemektedir. Aynı şekilde mutlak değer olarak bakıldığında AEAE iş yükünü belirlemede olduğu gibi AEÜE mutlak iş yüklerinde de ön ve son testler arasında fark söz konusudur. Kasın uyum yanıtı kasın mitokondrisinin daha iyi çalıştığını göstermektedir. AEÜ zorlanması da bir önceki kadar olmamaktadır. Zaman sabitine bakıldığında birey daha çabuk dengeye gelmeyi vaad etmektedir. Bunun anlamı yavaş fazın zaman sabiti ilk testte oldukça yavaş dengeye gelecekken son testte yaklaşık iki misli daha hızlı dengeye gelme durumu söz konusudur. Bu durum bireyin AEÜE stresinde de daha hızlı uyum sağlanacağını göstermektedir.

Sabit yüklü ve AEÜE'lerde çift eksponensiyel denklem ile değerlendirilen O_2 tüketiminin yavaş fazı birinci fazın üzerine eklenmektedir ve kas etkinliğindeki azalma sonucu ortaya çıkmaktadır (Jones ve Poole, 2005; Burnley ve Jones, 2007). VO_2 yavaş fazı, ölçüm yapılan deneklerin kas lifi tipine kas içi CP konsantrasyonuna bağlı olarak değişebilmektedir (Burnley ve Jones, 2007). Bu tez araştırmasında bireylerin testler öncesi kas lifi tplerinin dağılımı ya da kas içi CP konsantrasyonları belirlenmemiştir. Bu sınırlılık çerçevesinde değerlendirmeler yapılmıştır. O_2 tüketiminin yavaş fazında kas içi CP düzeyinde devamlı azalma gösterdiği belirtilmiştir (Jones ve Poole, 2005).

Bu tez araştırması sonucunda O₂ tüketiminin yavaş fazının toplam oksijen tüketimine oranı AEAE ve AEÜE sonrasında istatistiksel olarak azalma göstermemiştir. Ancak AEAE sonrası %10 (ön test oranı: %20-son test oranı:%18; AEÜE sonrası %22 (ön test oranı:%23- son test oranı: %18) oranında yüzdesel bir azalma görülmüştür. Yüzdesel olarak sonuçlar değerlendirildiğinde AEÜE'lerin oksijen alımının yavaş fazının toplam oksijen tüketimine oranına daha etkili olduğu söylenebilir. Ancak istatistiksel bir fark yoktur. Yüzdesel orandaki azalma sonucu kas içi CP konsantrasyonunda AEAE ve AEÜE sonrası daha düşük oranda bir azalma olduğu düşünülebilir.

Yapılan araştırmalarda oksijen alım kinetikleri üzerine egzersiz durumunun etkisi iki yaklaşımla incelenmiştir: kesitsel (cross sectional) ve boylamsal (longitudinal).

Tez araştırmasında 6 haftalık egzersiz etkisine bakıldığı için boylamsal bir çalışmadır.

Kesitsel araştırmalar antrene sporcularla sedanterler arasındaki oksijen alım kinetiği karşılaştırmaları şeklindedir. Antrene adölesan bireylerde antrene olmayanlara göre oksijen alım kinetiğinin daha hızlı olduğu bulunmuştur. Oksijen alım kinetiğinin hızlı olduğunu gösteren $\tau 1VO_{2p}$ parametresi antrene bireylerde 22.3 sn iken antrene olmayanlarda 29.8 sn bulunmuştur (Marwood ve ark., 2010). Tez araştırmasında da egzersiz sürecine başlamadan önce yapılan ön testlerdeki $\tau 1VO_{2p}$ 31 sn iken anaerobik eşik altı egzersizden sonra 28 sn ve anaerobik eşik üstü egzersizden sonra 25 saniyeye düşmüştür. Boylamsal çalışmalar, egzersiz ve egzersize fizyolojik adaptasyon arasında neden sonuç ilişkisinin ortaya konması açısından önemli olabilmektedir.

Boylamsal çalışmalarda da çeşitli yoğunluk ve sürelerde yapılan dayanıklılık ve sprint egzersizlerinin oksijen alım kinetiğine etkileri incelenmiştir.

Murias ve ark. (2010) çalışmasına göre genç erkeklerde 3 haftalık dayanıklılık antrenmanı (%70 VO_{2maks}) sonrasında $\tau 1VO_{2p}$ % 24 azalmıştır. Maksimal oksijen tüketimine göre anaerobik eşik girme yüzdesi daha önce literatür bilgisinde de verildiği üzere ortalama %45-60 arası olarak verilmiştir. Dolayısıyla antrenman yükü AE üstü yük olarak düşünülebileceğinden dolayı tez araştırması sonucunda da anaerobik eşik üstü egzersiz yapan grupta da $\tau 1VO_{2p}$ %20 azalmıştır. Bu açıdan bulgular birbirini desteklemektedir. Aynı çalışmada O₂ ederi 3 haftalık egzersiz sonrasında değişmezken tez araştırmasında hem anaerobik eşik altı egzersiz yapan grupta hem de AEÜE yapan grupta % 7 ve % 4 oranlarında olmak üzere azalmıştır. Murias ve ark. (2010) çalışmasına egzersiz süresi 3 hafta iken bu tez araştırmasında 6 hafta olduğundan dolayı O₂ ederindeki değişim farklı olabilir.

Murias ve ark. (2011) çalışmasına göre genç kadınlarda 3 haftalık dayanıklılık antrenmanı (%70 VO_{2maks}) sonrasında $\tau 1VO_{2p}$ % 30-35 azalmıştır. Bu çalışmayla da tez araştırmasının sonuçları paralellik göstermektedir. Ancak Murias ve ark. (2011) çalışmasındaki farkın daha fazla olmasının nedeni araştırmaya katılan deneklerin ön test değerlerindeki fark olabilir. Ön testte VO_{2maks} değeri ile belirlenen performansın düşük olması gelişimin daha fazla olması ile sonuçlanabilir. Aynı çalışmada O₂ ederi antrenman sonrasında değişiklik göstermezken tez araştırmasında iki grupta da azalma olmuştur. Egzersiz ekonomisini gösteren bir parametre olarak O₂ ederinin antrenman sonrasında azalması bireylerin artık daha az bir enerjiyle aynı işi tamamlayabildiklerini

göstermektedir. Egzersiz ekonomisini geliştirmek için 3 haftanın yeterli gelmemiş olabileceği düşünülebilir. Bu tez araştırmasında 6 hafta egzersiz süresi olduğu için egzersiz ekonomisi açısından daha etkili olmuş olabileceği düşünülmektedir.

Phillips ve ark. (1995) araştırmasında %60 VO_{2maks} yoğunluğunda dört günlük (2 sa.gün⁻¹) bisiklet egzersizi ile oksijen alım kinetiğinin ($\tau 1VO_{2p}$) hızlandığını göstermişlerdir. Egzersizin hem ilk dördüncü gününde hem de sonrasındaki otuzuncu günde $\tau 1VO_{2p}$ ve $\tau 2VO_{2p}$ azalmıştır. Daha önce belirtildiği gibi eski yıllarda yapılan oksijen alım kinetiği çalışmalarında egzersiz yoğunluğu anaerobik eşik ve VO_{2maks} belirlenerek yapılmadığı için %60 VO_{2maks} sabit iş yükünde bir değerlendirilmenin hangi fonksiyonla (tek eksponensiyel denklemle ya da çift eksponensiyel fonksiyon) modelleneneceği aslında yeni literatür bilgisi doğrultusunda net değildir. Araştırmaya katılan bir kişi için %60 VO_{2maks} anaerobik eşik altı iken başka bir kişi için anaerobik eşik üstü olabilir. Ancak Phillips ve ark. (1995) çalışmasında oksijen alım kinetiği çift eksponensiyel fonksiyonla modellenmiştir. Bu araştırmanın sonuçları tez sonuçları ile paralellik gösterirken tez araştırmasında AEÜE yapan kişilerde $\tau 2VO_2$ süresi AEAE yapan kişilere göre daha fazla kısalmıştır. Yapılan antrenmanın anaerobik eşik üzerinde olması $\tau 2VO_2$ süresi üzerinde daha fazla etki etmiş edebileceği düşünülmektedir.

Norris ve Petersen (1998), antrene bisikletçilerde anaerobik eşik iş yükünde 8 haftalık egzersiz sürecinin $\tau 1VO_2$ 'ni hızlandırdığını bulmuşlardır. Kullandıkları yöntem açısından bakıldığında oksijen alım kinetiği belirlemek için mutlak sabit bir egzersiz yükü (78 W sabit yüklü protokol) kullanmışlardır. Belirlemiş oldukları yük bir kişi için %80 AE, diğer bir kişi için %60 AE olabilir. Ancak sonuç olarak belirlenen yük AEAE iş yükü olduğu için tek eksponensiyel fonksiyon ile değerlendirilmiştir. Tez araştırması sonucunda da egzersiz sonrasında $\tau 1VO_{2p}$ hızlanmıştır.

Demarle ve ark. (2001), dayanıklılık sporcularında interval dayanıklılık antrenmanı sonrasında $\tau 1VO_{2p}$ hızlandığını ve oksijen alımının yavaş fazının değişmediğini bulmuşlardır. Sonuçlar tez araştırması ile paralellik göstermektedir. Tez araştırmasında son testlerde sadece göreceli iş yükünde (%90 AE ve $\Delta\%80$) testler yapılarak değişim incelenmiştir. Demarle ve ark. (2001) ise son testlerde hem mutlak (aynı iş yükü; ilk testte %90 AE iş yükü olarak 120 W belirlenmişse son testte de 120 W iş yükünde test yapılması) hem göreceli (%90 AE) olarak oksijen alım kinetiği ölçümlerini yapmışlardır. İki test sonucunda da benzer sonuçlar edinilmiştir.

AEÜE'lerin $\tau 1VO_{2p}$ üzerine etkilerini belirten yukarıdaki araştırmalarla beraber anaerobik eşik üstü olarak değerlendirilebilen tekrarlı sprint antrenmanları ile anaerobik eşik altı olarak değerlendirilebilen dayanıklılık egzersizlerinin (%90 AE) oksijen alım kinetiğine etkisine yönelik de araştırmalar bulunmaktadır.

Tekrarlı sprint (2 hafta ve toplam 6 antrenman) ve anaerobik eşik altı (%90 anaerobik eşik) egzersizlerin (dayanıklılık egzersizleri) $\tau 1VO_{2p}$ üzerine etkisi belirlenmiştir. Tekrarlı sprint egzersizleri sonrasında $\tau 1VO_{2p}$ anlamlı derecede azalırken anaerobik eşik altı antrenmanların $\tau 1VO_{2p}$ üzerine etkisi bulunmamıştır. Oksijen alımının yavaş fazı ise sadece tekrarlı sprint antrenmanı sonucunda anlamlı derecede azalmıştır (Bailey ve ark. 2009). Tez araştırması sonucunda da AEAE ve AEÜE'in $\tau 1VO_{2p}$ süresini anlamlı derecede kısalttığı bulunmuştur.

Ancak iki egzersizde $\tau 1VO_{2p}$ üzerine benzer düzeylerde etkili olmuştur. Tez araştırmasında antrenman süresinin 6 hafta olması AEAE'den de aynı düzeyde yanıt alınmasını sağlamış olabileceği düşünülebilir.

Bailey ve ark. (2009), 2 hafta antrenman verdikleri için $\tau 1VO_{2p}$ üzerine AEAE etkili olmamış olabilir. Oksijen alımının yavaş fazı ise tez araştırmasında iki egzersiz süreci sonrasında da azalma gösterirken bu azalma istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Bailey ve ark. (2009), çalışmasında tekrarlı sprint antrenmanlarında 30 sn Wingate sprint antrenmanı (ilk gün 4, ikinci gün 5, üçüncü gün 6, dördüncü gün 7, beşinci gün 7, altıncı gün 7 tekrar) yapmışlardır. Antrenman yoğunluğunun fazla olmasının 2 haftada sonuç alınmasında etkili olduğu düşünülebilir. Tez araştırmasındaki AE üstü yük ile Bailey ve ark. (2009) çalışmasındaki eşik üstü iş yükleri (30 sn wingate sprint antrenmanı) farklıdır. Gerek oksijen alımının yavaş fazı gerekse $\tau 1VO_{2p}$ üzerinde daha fazla yanıt alınmış olma sebebinin antrenman yükü olabileceği düşünülmektedir.

Casaburi ve ark. (1987), çalışmasında AEÜE'in oksijen alımının yavaş fazını azalttığını bulmuşlardır. Ancak tez araştırmasının aksine son testlerde mutlak iş yükünde (ön testlerde AE üzeri olarak belirlenen iş yükü) değerlendirme yapılmıştır. Ön testlerde $\Delta\%75$ iş yükünde olan egzersiz yoğunluğu (örneğin 200W) son testlerde daha hafif bir egzersiz yoğunluğu olarak hissedileceğinden oksijen alımının yavaş fazının azalması beklenen bir durum olarak değerlendirilebilir. Egzersiz süresi daha uzun olsaydı son testlerde uygulanan mutlak iş yükü belki anaerobik eşik altı bile olabilirdi ve oksijen alımının yavaş fazı da bu durumda görünmezdi. Sonuç olarak mutlak iş yükünde son testlerin yapılması sonuçların yorumlanması için yanıltıcı olabileceği düşünülmektedir.

Da Boit ve ark. (2014), benzer şekilde 2 hafta tekrarlı sprint (30 sn Wingate sprint antrenmanı (ilk gün 4, ikinci gün 5, üçüncü ve dördüncü gün 6, beşinci ve altıncı gün 7 tekrar)) ve %90 anaerobik eşik antrenmanı (1. gün 60 dk ve sonrasında 10 dk.gün⁻¹ olacak şekilde 6 gün) sonrasında $\tau 1VO_{2p}$ anlamlı derecede azalmıştır (tekarlı sprint antrenmanı sonrası %20-%90 AE antrenmanı sonrasında %21). Tez araştırmasının sonuçlarına paralel olarak iki antrenman sonrasında $\tau 1VO_{2p}$ (AEÜE sonrası %20- AEAE sonrası %16) yakın oranlarda azalma göstermiştir ($P>0.05$). Bununla beraber oksijen alımının yavaş fazında tez araştırma sonuçlarına paralel olarak iki egzersiz programı sonrasında da herhangi bir değişim olmamıştır.

Carter ve ark. (2000), araştırmalarında bu tez araştırmasının sonuçlarının aksine 6 haftalık hem AEÜE hem de AEAE'leri içeren dayanıklılık antrenmanının $\tau 1VO_{2p}$ üzerine etkisinin olmadığını bulmuşlardır. Bunun nedeni çalışmalarına katılan deneklerin ön testteki dayanıklılık seviyelerinin zaten oldukça yüksek olması olabilir.

Millet ve ark. (2002), triatletlerde eş zamanlı dayanıklılık ve kuvvet antrenmanlarının oksijen alım kinetiği ve koşu ekonomisine etkisini araştırmışlardır. Sonuç olarak ne eş zamanlı dayanıklılık ve kuvvet antrenmanı yapan grupta ne de sadece dayanıklılık antrenmanı yapan grupta $\tau 1VO_{2p}$ ve oksijen alımının yavaş fazı parametrelerinde bir değişim olmamıştır. Carter ve ark. (2000), çalışmasındaki gibi araştırmaya katılan denek grubunun performansı yüksek sporculardan seçilmiş olmasının oksijen alım kinetiğinin hızlanması ve

oksijen alımının yavaş fazının azalması üzerine etkisiz olmasına neden olduğu düşünülebilir.

McKay ve ark. (2009), çalışmasında 2 gün süren yüksek yoğunlukta interval (%120 VO_{2maks}) ve düşük yoğunluklu (% 65 VO_{2maks}) dayanıklılık antrenmanı sonrasında τ 1VO_{2p} parametresinde % 20 azalma olmuştur. On dokuz gün süren antrenman sonrasında ise τ 1VO_{2p} parametresinde % 40 azalmıştır. Ancak iki antrenman süreci sonrasındaki azalma arasında fark bulunmamıştır. Tez araştırması sonucunda τ 1VO_{2p} düşük yoğunluklu AEAE sonrasında %16 ve yüksek yoğunluklu AEÜE (Δ % 80) sonrasında %20 azalma göstermiştir. Yüzdesele olarak AEÜE'ler daha fazla etkili görünürken istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur. Dolayısıyla bu araştırma sonuçları tez araştırmasının sonuçları ile paralellik göstermektedir.

Literatürde egzersiz yoğunluklarında yapılan antrenmanların oksijen alım kinetiğine yönelik çalışmalara bakıldığında genel anlamda tez araştırması ile paralellik göstermekle beraber araştırmaya katılan denek gruplarının ön testlerinde maksimal oksijen tüketimlerine göre sonuçlar etkilenebilmektedir.

AEÜ stresin nedeni eğer oksijen alımının yavaş fazının nedenleri tartışılacak olursa biriken laktik asitin ekstrasından oksijen kullanılarak glikoneogenetik sürece katılması ve buradan tekrar glukoza doğru dönmesi söz konusudur.

Sabit yüklü egzersizlerde kasta tip I liflerinin yüzdesi fazla olması durumunda VO₂ yanıtının zaman sabitinin kısaldığı ve bununla birlikte hem AEAE hem de AEÜ egzersizlerdeki VO₂ ederinin ve oksijen alımının yavaş fazının da azaldığı belirtilmiştir (Pringle ve ark., 2003).

Yavaş fazı oluşturan stres kaynakları; harekete katılan kas lifi tiplerinin oranı (tip II liflerinin yüzdesinin fazla olması), vücudun ısınması, laktat ve hidrojen iyonunun birikmesi, adrenalın ve bazal metabolik oranın yükselmesi gibi faktörler literatürde belirtilmiştir (Pringle ve ark., 2003; Xu ve Rhodes, 1999; Zoladz ve Korzeniewski, 2001).

Yavaş fazı oluşturan stres kaynaklarına karşı toleransın gelişmesi söz konusudur. Bir diğer anlamda da uyumun gelişmesi ile açıklanabilmektedir. Fazladan oksijen tüketilmesine neden olabilecek bir yük ve bu yükü de somuracak bir yapı vardır. Bu yapı mitokondri verimliliği ise mitokondri bu işleri daha çabuk yapabileme becerisi kazanmıştır. Yani uyum sağlamış bir mitokondri yavaş fazı da hızlandırmış durumdadır. Eğer bir kas yavaş fazda çalışırken eşik üstüne çıkıldığında daha fazla laktik asit biriktirmeye başlıyorsa bu biriken laktik asitin kaynağı; yeni ve hızlı kasılan kas liflerinin devreye girmesidir (Xu ve Rhodes, 1999). Ancak gerek medyan frekansı gerekse integre EMG yanıtlarında bunu düşündürecek bir bulguya ulaşılmamıştır. Altı haftalık AEAE ve AEÜE sonrasında da herhangi bir değişim gözlenmemiştir. Beklenen sonuçlar oksijen alımındaki artış asidozla bir arada ve beraberinde hızlı kasılan kas lifleri olsaydı EMG medyan frekansında bir artış olacaktı.

İkinci olarak AEAE ve AEÜE uyum yanıtında yüksek frekansı görmemeyi bekledik. Santral sistemin motor yolağının aktivasyonunun çok fazla bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

Kişinin oksijen alımı artmış, kinetiği hızlanmışsa kişi dokuya çok fazla oksijen gönderiyor, gönderilen oksijen hızla çekiliyor. Buna bağlı olarak da homeostatik denge çok daha hızlı kurulabiliyor. Bu kurulan denge beraberinde uyum yanıtının kas içerisinde olduğunu düşündürmektedir.

Literatürde sabit iş yüklü egzersizlerde, izometrik kasılmalarda, aralıklı izometrik kasılmalarda ve dinamik kasılmalarda sEMG araştırmaları yapılmıştır (Jones ve Poole., 2005). Ancak çalışmaların genel özelliği kesitsel olmalarıdır.

Oksijen alımının yavaş fazı egzersize katılan kaslardan kaynaklanmaktadır (Poole ve ark., 1991). Literatürde oksijen alımının yavaş fazında elektromiyografik aktiviteyi belirlemeye yönelik çalışmalar vardır. Çalışmalarda tip I ve tip II liflerinin işe katılım oranını yani toplam nöral aktiviteyi belirlemek için iEMG analizleri yapılırken sadece tip II liflerinin işe katılım oranını tahmin etmede Median Frekans analizleri yapılmıştır (Vercruyssen ve ark., 2009; Sabapathy ve ark., 2004; Saunders ve ark., 2000; Borrani ve ark., 2001).

AEÜE'lerde oksijen alımının yavaş fazı ile daha az etkili olan tip II liflerinin işe katılımının iEMG ile mekanik ilişkisini ortaya koymuşlardır. Bu tez araştırmasında da AEÜE'lerde yorgunlukla beraber kas aktivitesi (EMG median frekansı) artışı söz konusu iken bu artış istatistiksel olarak anlamlı değildir.

AEÜE'lerde kan laktat birikimi, CO₂ oransız bir şekilde artış gösterir (Jones ve Poole., 2005). Tez araştırması sonuçları da bu bilgiyi desteklemekte olmasına rağmen kan laktatının birikmesi ve CO₂ artması sonucu işe katılan kas liflerinin de artması ile EMG aktivasyonundaki artış olması beklenirken olmamıştır. Bunun nedeni uygulanan protokollerdeki fark olabilir.

AE üzerinde uygulanan bir çok protokol vardır. Yorgunluğun çabuk olmasına neden olan Δ%80 iş yükündeki protokol kullanıldığı için bireyler oksijen alımının yavaş fazında kısa bir sürede tükenmiş ve testi bırakmıştır. Sürenin kısa olmasının tip II liflerinin işe katılım oranını yansıtan kas aktivite artışını belirlemek için yetersiz gelmiş olabileceği düşünülmektedir.

Uzun süreli (5 saat) ve %55 maksimal aerobik iş yükünde bisiklet egzersizinde 9 dayanıklılık sporcusunda nöromüsküler yorgunluk araştırılmıştır (Leepers ve ark. 2002).

Leepers ve ark. (2002), araştırmaları sonucunda *vastus medialis* ve *vastus lateralis* kas aktivitelerinde 1 saat sonrasında azalma bulunmuştur. Bu tez araştırmasında sabit yüklü egzersizlerde 6-8 dakika arası ölçüm yapıldığı için yorgunluğa bağlı bir fark görülmemiş olabilir.

Ancak AEAE'lerde literatürdeki çalışmalarla paralel bir şekilde kas aktivitesinde bir artış bulunmamıştır (Moritani ve ark., 1993).

Saunders ve ark. (2000) 15 dk boyunca anaerobik eşik altı sabit yüklü egzersizlerde *vastus lateralis* ve *rektus femoris* kaslarındaki aktivite ve VO₂ artışı açısından önemli bir fark bulmamışlardır. Bu sonuç tez araştırması ile paralellik göstermektedir.

Ancak AEÜE'de *vastus lateralis* kasının RMS ve MF değerlerinde ve VO₂ değerlerinde anlamlı bir artış bulmuşlardır. Bu tez araştırmasında *vastus lateralis* kasında AEÜE'de kas aktivite artışı olmamıştır. Bunun nedeni de kullanılan AE

üstü protokollerin farklı olması olabilir. Saunders ve ark. (2000), $\Delta\%60$ iş yükünde anaerobik eşik üstü egzersiz uygularken bu tez araştırmasında daha önce belirtildiği gibi $\Delta\%80$ iş yükünde ölçüm yapılmıştır. Tez araştırmasında uygulanan protokolde denekler kısa sürede yorgunluğa ulaştıkları ve testi tamamladıkları için oksijen alımının yavaş fazında norömüsküler aktivasyon da değişim görülmemiş olabilir. Aynı çalışmada *rektus femoris* kasında RMS ve MF değerlerinde tez araştırmasına paralel olarak artış olmamıştır.

Borrani ve ark. (2001), antrene koşucularda AEÜE ($\%95 \text{VO}_{2\text{maks}}$) koşu sırasında *vastus lateralis* ve *gastrocnemius* kaslarında O_2 alımının yavaş fazının başlaması ile median frekans artışı bulurken soleus kas aktivitesinde artış olmamıştır. Sonuçlar tez araştırması ile farklılık göstermektedir.

Bunun nedeni denek grubunun antrene koşucular olması ya da yapılan egzersizin koşu egzersizi olması olabilir. Tez araştırması ile Borrani ve ark. (2001) araştırması ölçüm protokolü, denek grubu, egzersiz tipi (bisiklet ve koşu) açısından farklı olduğu için sonuçların da paralellik göstermemesi beklenen bir durumdur.

Tez araştırmasının sonuçlarına paralel olarak oksijen alımının yavaş fazında Tordi ve ark. (2003), *vastus lateralis*, *vastus medialis*, *rektus femoris* ve *gastrocnemius medialis* kaslarında ve Scheurmann ve ark. (2001), *vastus lateralis* kas aktivitesinde artış bulmamışlardır.

Yukarıda belirtildiği gibi literatürde oksijen alımının yavaş fazı ile aktiviteye katılan kas aktivitesinin ilişkisi bazı çalışmalarla ortaya konarken bazıları da ilişki bulamamıştır.

Literatürde tez araştırmasındaki gibi AEAE ve AEÜE'lerin kas aktivitesine etkisini gösteren bir araştırma bulunmamıştır. Bu açıdan elde edilen sonuçlar kesitsel araştırmalarla tartışılmıştır. Yapılan egzersizlerin işe katılan tip II liflerinin oranını tahmin etmede kullanılan medyan frekans analizi gerek literatürde gerekse tez araştırması sonuçlarına göre standart ve net bir sonuç sağlamada yetersiz kaldığı düşünülmektedir. Bu tez araştırması ile egzersiz sonrası oksijen alım kinetiğinin hızlanmasının ve kardiyovasküler ve metabolik parametrelerin gelişiminin nöral adaptasyonla açıklanmadığı sonucuna varılmıştır.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu tez araştırması sonucu 6 haftalık AEAE ve AEÜE'lerin kardiyovasküler ve metabolik parametreleri geliştirdiği ve oksijen alım kinetiğinin hızlandığı bulunmuştur. Ancak artış yüzdesi açısından anaerobik eşik üstü egzersizin hem kardiyovasküler ve metabolik parametrelerin gelişiminde hem de oksijen alım kinetiğinin hızlanmasında daha fazla etkili olduğu bulunmuştur. Altı haftalık iki egzersiz programı sonrasında da *tibialis anterior*, *gastrocnemius medialis*, *vastus medialis*, *vastus lateralis*, *rektus femoris* ve *biceps femoris* kas aktivitelerinin medyan frekanlarında bir değişim olmamıştır.

Sonuç olarak anaerobik eşik altı ve eşik üstü egzersiz kardiyovasküler ve metabolik gelişimde, oksijen alım kinetiğinin hızlanmasında yakın düzeylerde etkili olmuştur. Oksijen alım kinetiğinin egzersiz sonrası hızlanması kardiyovasküler ve metabolik parametrelerin gelişiminin nöral adaptasyonla açıklanmadığı sonucuna varılmıştır.

Bu tez araştırması sonuçları doğrultusunda antrenörlere aşağıdaki öneriler sunulabilir.

1. Antrenörlere 6 haftalık AEAE ve AEÜE uyguladıklarında yakın oranlarda gelişim sağlayabilecekleri ve sporcularına iki egzersiz programını da uygulatabilecekleri önerilebilir.
2. Laktata tolerans AEÜE yapan grupta AEAE yapan gruba göre daha fazla gelişmiştir. Dolayısıyla eğer antrenörler uygulayacakları egzersiz sonucu laktata toleransı geliştirmek hedefindeyseler AEÜE, AEAE'lere göre daha çok önerilebilir.

İleride yapılacak araştırmalar için aşağıdaki konular önerilebilir.

1. Oksijen tüketiminin ölçümü sırasında EMG kaydı alınırken hareket açıları da ölçülüp yorgunluğun fizyolojik ve biyomekanik boyutunun ilişkisi araştırılabilir. Oksijen alımının yavaş fazında diz eklemi ve kalça eklemindeki açısal değişimin ilişkisi değerlendirilebilir.
2. Farklı ortamlarda (hyperoxia, hipoksi, normoxia) yapılan egzersizler sonrasında sabit yüklü anaerobik eşik altı egzersizlerde oksijen alım kinetiğindeki değişim araştırılabilir. Zaman sabiti ve O₂ ederindeki değişim değerlendirilebilir.
3. Farklı ortamlarda (hyperoxia, hipoksi, normoxia) yapılan egzersizler sonrasında sabit yüklü anaerobik eşik altı ve anaerobik eşik üstü egzersizlerde oksijen alım kinetiğindeki değişim araştırılabilir. Oksijen alımının yavaş fazı ön ve son testlerde değerlendirilebilir.
4. Farklı spor branşlarında oksijen alım kinetiği araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- Armstrong, N., McManus, A.M., Physiology of Elite Young Male Athletes, The Elite Young Athlete, J. Borms, M. Hebbelinck, A.P. Hills, T. Noakers, Karger Medical and Scientific Publishers, Switzerland, 8-15 (2011).
- Arnaud, S., Zattara-Hartmann, M.C., Tomei, M.D., Jammes, Y., Correlation between muscle metabolism and changes in M-wave and surface electromyogram: dynamic constant load leg exercise in untrained subjects, *Muscle Nerve*, 20, 1197–1199 (1997).
- Bailey, S.J., Wilkerson, D., DiMenna, F.J., Jones, A.M., Influence of repeated sprint training on pulmonary O₂ uptake and muscle deoxygenation kinetics in humans, *J. Appl. Physiol.*, 106, 1875-1887 (2009).
- Bartlett, R., Gratton, C., Rolf, C.G., *Encyclopedia of International Sports Studies*, USA, Routledge 29 (2010).
- Bassett, D.R., Howley, E.T., Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 32(1), 70–84 (2000).
- Bigland-Ritchie, B., Woods, J.J., Integrated EMG and oxygen uptake during dynamic contractions of human muscles, *J. Appl. Physiol.*, 36, 475-479 (1974).
- Billat, V.L., Richard, R., Binsse, V.M., Koralsztein, J.P., Haouzi, P., The VO₂ slow component for severe exercise depends on type of exercise and is not correlated with time to fatigue. *J. Appl. Physiol.*, 85(6), 2118–2124, (1998).
- Blanc, Y., Dimanico, U., Electrode placement in surface electromyography (sEMG) “minimal crosstalk area” (MCA), *Open Rehabil. J.*, 3, 110-126 (2010).
- Bompa, T.O., *Dinlenme ve Toparlanma: Antrenman Kuramı ve Yöntemi*, Spor Yayınevi ve Kitabevi, Ankara, 132-133 (2007).
- Bonci, L., Sport performance and energy systems: Sport nutrition for coaches, P.Sammann, N. Bell, P. Mazurak, C. Zych, J. Anderson, *Human Kinetics*, United States of America, 4-5 (2009).
- Borrani, F., Candau, R., Millet, G. Y., Perrey, S., Fuchslocher J., Rouillon, J. D., Is the VO₂ slow component dependent on progressive recruitment of fast-twitch fibers in trained runners?, *J. Appl. Physiol.*, 90, 2212–2220 (2001).
- Bouchard, C., Hoffman, E., Genetic and molecular aspects of sports performance, Wiley-Blackwell, UK 245 (2011).
- Bronas., U.G., Comparison of the Effect of Upper Body Ergometer Aerobic Training vs. Treadmill Training on Walking Distance in Patients with Claudication. Influence of Central Cardiorespiratory Improvement. A Randomized Controlled Study, Doktora Tezi, The Faculty of the Graduate School of the University of Minnesota, Minnesota, United States of America, 51-52, 2007.

- Bronzino, J.D., Human Performance Engineering, The Biomedical Engineering Handbook, J.D., Bronzino., IEEE Press, United States of America, 157 (2000).
- Burnley, M., Doust, J. H., Jones, A.M., Time required for the restoration of normal heavy exercise VO_2 kinetics following prior heavy exercise. *J. Appl. Physiol.*, 101, 1320–1327 (2006).
- Burnley, M., Jones, A.M., Oxygen uptake kinetics as a determinant of sports performance. *Eur. J. Sports Sci.*, 7(2), 63-79 (2007).
- Caferov, V., Üstel ve Logaritmik Fonksiyonlar, Matematik Öğretmenliği, Analiz, T.C. Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi Yayınları, Türkiye, 146 (1999).
- Caputo, F., Denadai, B.S., Effects of aerobic endurance training status and specificity on oxygen uptake kinetics during maximal exercise, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 93, 87-95 (2004).
- Carey, D.G., Quantifying differences in the ‘fat burning’ zone and the aerobic zone: implications for training, *J. Strength Cond. Res.*, 23(7) 2090-2095 (2009).
- Carra, J., Candau, R., Keslacy, S., Giolbas, F., Borrani, F., Millet, G.P., Varray, A., Ramonaxo, M., Addition of inspiratory resistance increases the amplitude of the slow component of O_2 uptake kinetics, *J. Appl. Physiol.*, 94, 2448–2455 (2003).
- Carter, H., Jones, A.M., Barstow, T.J., Burnley, M., Williams, C., Doust, J.H., Effect of endurance training on oxygen uptake kinetics during treadmill running, *J. Appl. Physiol.*, 89, 1744–1752 (2000).
- Carter H, Jones AM, Doust JH. Effect of six weeks of endurance training on the lactate minimum speed, *J. Sports Sci.*, 17, 957-67, 1999.
- Casaburi, R., Storer, T.W., Ben-Dov, I., Wasserman, K., Effect of endurance training on possible determinant of VO_2 during heavy exercise, *J. Appl. Physiol.*, 62(1) 199-207 (1987).
- Cooper, C.P., Storer, T.W., Exercise testing and interpretation, Testing methods, Cambridge university press, United Kingdom, 66 (2001).
- Connes, P., Hue, O., Perre, S., Time Course of Oxygen Uptake Kinetics, Exercise Physiology: From a Cellular to an Integrative Approach, P. Connes, O. Hue, S. Perrey, IOS Press BV, Netherlands, 285-290 (2010).
- Coşkun, F., Solunum hastalıklarında egzersizde gelişen patofizyolojik değişimler, *Solunum*, 14, 21–24 (2012).
- Cunningham, D.A., St Croix, C.M., Paterson, D.H., Özyener, F., Whipp, B.J., The off-transient pulmonary oxygen uptake kinetics following attainment of particular VO_2 during heavy-intensity exercise in humans, *Experimental Physiology*, 85(3), 339-347 (2000).
- Da Boit, Mariasole., Bailey, S.J., Callow, S., DiMenna, F.J., Jones, A.M., Effects of interval and continuous training on O_2 uptake kinetics during

- severe-intensity exercise initiated fromn elevated metabolic baseline, *J. Appl. Physiol.*, 116, 1068–1077 (2014).
- Demarle, A.P., Slawinski, J.J., Laffite, L.P., Bocquet, V.G., Koralsztein, J.P., Billat, V.L., Decrease of O₂ deficit is a potential factor in increased time to exhaustion after specific endurance training, 90, 947-953 (2001).
- Donatelli, R., *Aerobic metabolism during exercise, Sports specific rehabilitation*, Churchill Livingstone Elsevier, United States of America, 73 (2007).
- Dunford, M., Doyle, J.A., *Energy Systems and Exercise, Nutrition for Sport and Exercise*, Yolanda Cossio, United States of America, 69-80 (2011).
- Endo, M.Y., Kobayakawa, M., Kinugasa, R., Kuno, S., Akima, H., Rossiter, H.B., Miura, A., Fukuba, Y., Thigh muscle activation distribution and pulmonary VO₂ kinetics during moderate, heavy, and very heavy intensity cycling exercise in humans, *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 293, R812–R820 (2007).
- Enoka, R.M., *Neuromechanics of Human Movement, Human Kinetics*, United States of America, 241 (2008).
- Eydoux N, Py Guillaume, Lambert K, Dubouchaud H, Prefaut C, Mercier J. Training does not protect aganist exhaustive exercise-induced lactate transport capacity alterations, *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.*, 278, 1045-1052 (2000).
- Fink, H.H., Mikesky, A.E., *Nutrients: Ingestion to Energy Metabolism, Practical Applications in Sports Nutrition*, Jones&Bartlett Learning, United States of America, 46 (2013).
- Gandevia SG. Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue, *Physiol. Rev.*, 81 1725–1789 (2001).
- Gravelle, B.M.R., Murias, J.M., Spencer, M.D., Paterson, D.H., Kowalchuk, J.M., Adjustments of pulmonary O₂ uptake and muscle deoxygenation during ramp incremental exercise and constant-load moderate-intensity exercise in young and older adults, *J. Appl. Physiol.*, 113, 1466-1475 (2012).
- Hagberg, J.M., Hickson, R.C., Ehsani, A.A., Holloszy, J.O., Faster adjustment to and recovery from submaximal exercise in the trained state, *J. Appl. Physiol.*, 48, 218-24 (1980).
- Hautier, C.A., Arsac, L.M., Deghdegh, K., Souquet, J., Belli, A., Lacour, J.R., Influence of fatigue on EMG/force ratio and cocontraction in cycling, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 32(4) 839–843 (2000).
- Henneman, E., Somjen, G., Carpenter, D.O., Excitability and inhibitability of motoneurons of fiddefent sizes, *J. Neurophysiol.*, 28, 599-620 (1965) Aktaran:
- Hickson, R.C., Hagberg, J.M., Ehsani, A.A., Holloszy, J.O., Faster adjustment of oxygen uptake to energy requirement of exercise in the trained state, *J. Appl. Physiol.*, 44, 877-81 (1978).
- Hill, J.A., Olson, E.N., *Skeletal Muscle, Muscle Fundamental Biology and*

- Mechanism of Disease, Elsevier, UK 916 (2012).
- Hoffman, J., Physiological aspects of sport training and performance, Human Kinetics, United States of America, (2014).
- Hug, F., Decherchi, P., Marqueste, T., Jammes, Y., EMG versus oxygen uptake during cycling exercise in trained and untrained subjects, *J. Electromyogr. Kines.*, 14, 187–195 (2004).
- Hughson, R.L., Tschakovsky, M.E., Houston, M.E., Regulation of Oxygen Consumption at the Onset of Exercise, *Exerc. Sport Sci. Rev.*, 29, 129–133 (2001).
- Janssen, P., Energy, Lactate threshold training, Human Kinetics, United States of America, 1-3 (2001).
- Janssen R, Ament W, Verkerke GJ, Hof AL. Median power frequency of the surface electromyogram and blood lactate concentration in incremental cycle ergometry. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 75, 102–108 (1997).
- Jenkins., S.P.R., Sports Science Handbook, The Essential Guide to Kinesiology, Sport and Exercise Science, multi science publishing, 150 (2005).
- Jones, A.M., Poole, D.C., Introduction to oxygen uptake kinetics and historical development of the discipline, Oxygen uptake kinetics in sport, exercise and medicine, Routledge, London New York 47-66 (2005).
- Koga, S., Barstow, T.J., Shiojiri, T., Takaishi, T., Fukuba, Y., Kondo, N., Shibasaki, M., Poole, D.C., Effect of muscle mass on VO₂ kinetics at the onset of work, *J. Appl. Physiol.*, 90, 461–468 (2001).
- Kraemer, W.J., Fleck, S.J., Deschenes, M.R., Foundations of Exercise Physiology, Exercise Physiology Integrating Theory and Application, Emiliy, L., David, P., Lippincott Williams & Wilkins, China, 51 (2012).
- Kreighbaum, E., Barthels, K.M., Introduction to Biomechanics Instrumentation, Biomechanics, Miller, R., Macmillian Publishing Company, New York, 690 (1990).
- Leeper, R., Maffiuletti, N. A., Rochette, L., Brugniaux, J., Millet, G. Y., Neuromuscular fatigue during a long-duration cycling exercise. *J. Appl. Physiol.*, 92, 1487–1493 (2002).
- Maglischo, E.W., Swimming Fastest, The Essential Reference on Technique, Training and Program Design, Human Kinetics, United States of America, 545 (2003).
- Marwood, S., Roche, D., Rowland, T., Garrard, M., Unnithan, V.B., Faster Pulmonary Oxygen Uptake Kinetics in Trained versus Untrained Male Adolescents. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 42(1), 127–134 (2010).
- Maughan, R.J., Physiological Demands of Endurance Exercise, The Olympic Textbook of Science in Sport, Wiley-Blackwell, 45 (2009).

- McArdle, W.D., Katch, F.I., Katch, V.L., Exercise physiology: Nutrition, energy and human performance, Lippincott Williams & Wilkins, 226, 292, 2010.
- McKay, B.R., Paterson, D.H., Kowalchuk, J.M., Effect of short-term high-intensity interval training vs. Continuous training on O₂ uptake kinetics, muscle deoxygenation and exercise performance, *J. Appl. Physiol.*, 107, 128-138 (2009).
- Millet, G.P., Jaouen, B., Borrani, F., Candau, R., Effects of concurrent endurance and strength training on running economy and VO₂ kinetics, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 34(8) 1351-1359 (2002).
- Moritani, T., Takaishi, T., Matsumoto, T., Determination of maximal power output at neuromuscular fatigue threshold, *J. Appl. Physiol.*, 74(4), 1729-1734 (1993).
- Murias, J.M., Kowalchuk, J.M., Paterson, D.H., Speeding of VO₂ Kinetics with endurance training in old and young men is associated with improved matching of local O₂ delivery to muscle O₂ utilization, *J. Appl. Physiol.* 108(4), 913-922 (2010).
- Murias, J.M., Kowalchuk, J.M., Paterson, D.H., Speeding of VO₂ Kinetics to endurance training in older and young women, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 111, 235–243 (2011).
- Nolte, Volker, Rowing Physiology, Rowing Faster, Serious training for serious rowers, T. Heine, L. Podeschi, C. Gilbert, Human Kinetics, United States of America, 73 (2011).
- Norris, S.R., Petersen, S.R., Effects of endurance training on transient oxygen uptake responses in cyclists, *Journal of Sports Sciences*, 16 733-738 (1998).
- Osborne, M.A., Schneider, D.A., Muscle glycogen reduction in man: relationship between surface EMG activity and oxygen uptake kinetics during heavy exercise, *Exp. Physiol.*, 91(1), 179-189 (2006).
- Özyener, F., Oksijen Alım Kinetiği, Egzersiz Fiziyojisi Sempozyumu Özet Kitabı Genel Tıp Dergisi, I. Egzersiz Fiziyojisi Sempozyumu, 25-26 Mayıs 2007, Konya, 17(Ek sayı) (2007).
- Özyener., F., Rossiter., H.B., Ward., S.A., Whipp., B.J., Influence of exercise intensity on the on- and off transient kinetics of pulmonary oxygen uptake in humans, *J. Physiol*, 533(3), 891–902 (2001).
- Palmer, G.S., Borghouts, L.B., Noakes, T.D., Hawley, J.A., Metabolic and performance responses to constant-load vs. variable-intensity exercise in trained cyclists, *J. Appl. Physiol.*, 87, 1186-1196 (1999).
- Payton, C.J., Bartlett, R.M., Surface Electromyography, Biomechanical Evaluation of Movement in Sport and Exercise, Routledge, New York, 77 (2010).
- Philips, S.M., Green, H.J., MacDonald, M.J., Hughson, R.L., Progressive Effect of Endurance Training on VO₂ Kinetics at the onset of Submaximal Exercise, *J. Appl. Physiol*, 79(6), 1914-1920 (1995).

- Plowman, S.A., Smith, D.L., *Anaerobic Metabolism during Exercise*, Exercise Physiology for Health, Fitness and Performance, Lippincott Williams&Wilkins, China 57 (2013).
- Poole, D.C., Schaffartzik, W., Knight, D.R., Derion, T., Kennedy, B., Guy, H.J., Prediletto, R., Wagner, P.D., Contribution of exercising legs to the slow component of oxygen uptake kinetics in humans, *J. Appl. Physiol.*, 71(4), 1245-1253, (1991).
- Pringle, J.S.M., Doust, J.H., Carter, H., Tolfrey, K., Campbell, I.T., Jones, A.M., Oxygen uptake kinetics during moderate, heavy and severe intensity 'submaximal' exercise in humans: the influence of muscle fiber type and capillarization, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 89, 289-300 (2003).
- Perrey, S., Betik, A., Candau, R., Rouillon, J. D., Hughson. R. L., Comparison of oxygen uptake kinetics during concentric and eccentric cycle exercise. *J. Appl. Physiol.*, 91, 2135–2142 (2001).
- Pyke, F., *Designing a Training Program, Coaching Experience*, Human Kinetics, USA, 111, 2012.
- Röckl, K.S.C., Hirshman, M.F., Brandauer, J., Fujii, N., Witters, L.A., Goodyear, L.J., Skeletal Muscle Adaptation to Exercise Training: AMP-Activated Protein Kinase Mediates Muscle Fiber Type Shift, *Diabetes*, 56(8), 2062-9 (2007).
- Sabapathy., S., Schneider, D.A., Comadira, G., Johnston, I., Morris, N.R., Oxygen uptake kinetics during severe exercise: a comparison between young and older man., *Resp. Physiol. Neurobiol.*, 139, 203–213 (2004).
- Saunders, M.J., Evans, E.M., Arngrimsson, S.A., Allison, J.D., Warren, G.L., Cureton, K.J., Muscle activation and slow component rise in oxygen uptake during cycling, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 32(12), 2040–2045 (2000).
- Scheurmann, B.W., Hoelting, B.D., Noble, M.L., Barstow, T.J., The slow component of O₂ uptake is not accompanied changes in muscle EMG during repeated bouts of heavy exercise in humans, *J. Physiol.*, 531(1) 245-256 (2001).
- Slawinski, J., Demarle, A., Koralsztejn, J.P., Billat, V., Effect of supra-lactate threshold training on the relationship between mechanical stride descriptors and aerobic energy cost in trained runners, *Arch. Physiol. Biochem.*, 109 (2) 110-116 (2001).
- Tiidus, P.M., Tupling, A.R., Houston, M.E., *Metabolism: Regulation and Adaptation to Exercise and Training*, Biochemistry Primer for Exercise Science, Human Kinetics, USA, 128 (2006).
- Tipton., C.M., *ACSM's Advanced Exercise Physiology*, E. Lupash, M.J. Hauber, J. Glazer, Hearthsides Publishing Services, USA, 157 (2006).
- Tordi, N., Perrey, S., Harvey, A., Hughson, R.L., Oxygen uptake kinetics during two bouts of heavy cycling seperated by fatiguing sprint exercise in humans, *J. Appl. Physiol.*, 94, 533-541 (2003).
- Tomkinson., G.R., Olds., T.S., *Aerobic fitness: What are we measuring?*,

- Pediatric Fitness Secular Trends and Geographic Variability, J. Borms, M. Hebbelinc, A.P. Hills, *Medicine and Sport Science*, Switzerland, 50, 19 (2007).
- Vercruyssen, F., Missenard, O., Brisswalter, J., Relationship between oxygen uptake slow component and surface EMG during heavy exercise in humans: Influence of pedal rate *J. Electromyogr. Kines.*, 19, 676–684 (2009).
- Vollestad, N.K., Blom, P.C.S., Effect of varying exercise intensity on glycogen depletion in human muscle fibers, *Acta. Physiol. Scand.*, 395-405 (1985) Aktaran Jones, A.M., Poole, D.C., Introduction to oxygen uptake kinetics and historical development of the discipline, *Oxygen uptake kinetics in sport, exercise and medicine*, Routledge, London New York 47-66 (2005).
- Vollestad, N.K., Vaage, O., Hermansen, L., Muscle glycogen depletion patterns in type I and subgroups of type II fibers during prolonged severe exercise in man, *Acta. Physiol. Scand.*, 122, 433-41 (1984) Aktaran Jones, A.M., Poole, D.C., Introduction to oxygen uptake kinetics and historical development of the discipline, *Oxygen uptake kinetics in sport, exercise and medicine*, Routledge, London New York 47-66 (2005).
- Wasserman, K., Hansen, J.E., Sue, D.Y., Stringer, W.W., Whipp, B.J., *Principles of exercise testing and interpretation including pathophysiology clinical applications*, Lippincott Williams & Wilkins, USA (2005).
- Wilkerson, D.P., Koppo, K., Barstow, T.J., Jones, A.M., Effect of work rate on the functional ‘gain’ of Phase II pulmonary O₂ uptake response to exercise, *Resp. Physiol. Neurobiol.*, 142, 211–223 (2004).
- Williams, C., Ratel, S., *Fatigue and Training Status*, Human Muscle Fatigue, Routledge, USA and Canada, 174 (2009).
- Xu, F., Rhodes, E.D., Oxygen uptake kinetics, *Sports Med.*, 27 (5), 313-327 (1999).
- Zoladz, J.A., Gladden, L.B., Hogan, M.C., Nieckarz, Z., Grassi, B., Progressive recruitment of muscle fibers is not necessary for the slow component of VO₂ kinetics. *J. Appl. Physiol.*, 105, 575–580 (2008).
- Zoladz, J.A., Korzeniewsky, B., Grassi, B., Training-induced acceleration of oxygen uptake kinetics in skeletal muscle: The underlying mechanism, *J. Physiol. Pharmacol.*, 57(10), 67-84 (2006).
- Zoladz, J.A., Korzeniewsky, B., Physiological background of the change point in VO₂ and the slow component of oxygen uptake kinetics, *J. Physiol. Pharmacol.*, 52(2), 167-84 (2001).

EK 1. Etik Kurul Raporu



Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Tıp Fakültesi Etik Kurul (Danışma Komisyonu)

ETİK KURUL (Danışma Komisyonu)

Prof. Dr. M. Arif AKŞİT
Klinisyen Doktor (Başkan Yardımcısı)
Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Anabilim Dalı
Neonatoloji Bilim Dalı Başkanı
Tel: +90. 222. 239 29 79 / 1380 - 2709
Tel & Faks: +90. 222. 229 00 64
E-Mail: aaksit@ogu.edu.tr
E-Mail: maaksit@hotmail.com

Prof. Dr. Bekir YAŞAR
Klinisyen Doktor
Genel Cerrahi Anabilim Dalı
E-Mail: byasar@ogu.edu.tr

Prof. Dr. Ömer ÇOLAK
Biyokimya Uzmanı
Biyokimya Anabilim Dalı
E-Mail: ocolak@ogu.edu.tr

Prof. Dr. Demet ÖZBABAĞLIK
Klinisyen Doktor
Nöroloji Anabilim Dalı
E-Mail: demet@ogu.edu.tr

Prof. Dr. Serap İŞIKSOY
Patoloji Uzmanı
Patoloji Anabilim Dalı
E-Mail: sserapis@gmail.com

Prof. Dr. Fatma Sultan KILIÇ
Farmakoloji Uzmanı (Raporör)
Farmakoloji Anabilim Dalı
E-Mail: fskili@ogu.edu.tr

Prof. Dr. Ömür ELÇİOĞLU
Deontoloji Uzmanı
Deontoloji Anabilim Dalı
E-Mail: elcioğlu@ogu.edu.tr

Dr. Ecz. Gökçen YAZ GÜZEY
Eczacı
Eğitim, Uygulama ve Araştırma Hastanesi
E-Mail: gokcenyaz@yahoo.com

Sayı: 2012/ 21
Konu:

08 Mart 2012

Sayın, Prof. Dr. İlker YILMAZ
Anadolu Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor Yüksek Okulu

Tarafımızdan yürütülmekte olan "Anaerobik eşik altı ve üstü bisiklet egzersizinde oksijen alım kinetiğinin değerlendirilmesi" başlıklı proje hakkında alınan karar ilişikte gönderilmiştir.

Bilgilerinizi ve gereğini saygı ile rica ederim.


Prof. Dr. M. Arif AKŞİT
Etik Kurul Başkan Yardımcısı
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Tıp Fakültesi

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Tıp Fakültesi Dekanlığı
Tel: +222. 239 37 70 - 239 29 79 / 4690
Faks: +222. 239 37 72

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Tıp Fakültesi Etik Kurulu
Meşelik Kampüsü (Yerleşkesi)
26480 ESKİŞEHİR

ESKİŞEHİR OSMANGAZİ ÜNİVERSİTESİ TIP FAKÜLTESİ
ETİK KURUL (DANIŞMA KOMİSYONU) KARARI

27 OCAK 2012 13) KONU BAŞLIK	(PR-12-01-27-13): "Anaerobik eşik altı ve üstü bisiklet egzersizinde oksijen alım kinetiğinin değerlendirilmesi"
27 OCAK 2012 GÖRÜŞ: 13	27.01.2012 tarihli görüş dikkate alınmıştır.
27 OCAK 2012 KARAR: 13	Raportör görüşü temelinde çalışma olumlu olarak nitelendirilmiştir. Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Anabilim Dalı ve Fizyoloji Anabilim Dalı'na görüş için gönderildi.

Prof. Dr. M. A. AKŞİT
Pediatri Uzmanı

Prof. Dr. B. YAŞAR
Genel Cerrahi Uzmanı

Prof. Dr. Ö. ÇOLAK
Biyokimya Uzmanı

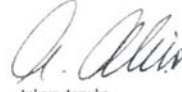
Prof. Dr. D. ÖZBABALIK
Nöroloji Uzmanı

Prof. Dr. S. İŞIKSOY
Patoloji Uzmanı

Prof. Dr. F. S. KILIÇ
Farmakoloji Uzmanı

Prof. Dr. Ö.ELÇİOĞLU
Deontoloji Uzmanı

Dr.Ecz. G.YAZ GÜZEY
Eczacı



Ashın Aymdır
Prof.Dr.M.Arif AKŞİT
Etik Kurul Başkan Yardımcısı

EK 2. Doktora Tezi Ölçüm Formu

Tarih:

İsim Soyisim:

Egzersiz Grubu:

Anaerobik Eşik Altı Egzersiz

Anaerobik Eşik Üstü Egzersiz

Ölçüm Tarihleri

	Tarih ve Saat	VO ₂	Laktat	EMG
Anaerobik Eşik Testi 01				
Anaerobik Eşik Altı Sabit yüklü test 01				
Anaerobik Eşik Üstü Sabit yüklü test 01				
Anaerobik Eşik Testi 02				
Anaerobik Eşik Testi 03				
Anaerobik Eşik Altı Sabit yüklü test 02				
Anaerobik Eşik Üstü Sabit yüklü test 02				

Antropometrik Veriler

	Doğum Tarihi	Boy (cm)	VA (kg)	VYY (%)	BMI	BMR (kcal.gün ⁻¹)
Ön Test						
Son Test						

Maksimal Egzersiz Yanıtları

	VO ₂ (L.dk ⁻¹)	VO ₂ (ml.dk ⁻¹ .kg ⁻¹)	Kalp Atım Hızı (atım.dk ⁻¹)	İş Yüğü (W)	Laktat mM	Δ Laktat
Ön Test						
Ara Test						
Son Test						

Anaerobik Eşik Test Sonuçları

	VO ₂ (L.dk ⁻¹)	VO ₂ (ml.dk ⁻¹ .kg ⁻¹)	% VO _{2maks}	KAH (atım.dk ⁻¹)	İş Yüğü (W)
Ön Test					
Ara Test					
Son Test					

Anaerobik Eşik Altı ve Üstü Egzersiz Yükleri

	Anaerobik Eşik Altı		Anaerobik Eşik Üstü	
TEST 01				
TEST 02				
TEST 03				

Anaerobik Eşik Altı Egzersizde VO₂ Modelinin Parametreleri

	VO ₂ base (ml.dk ⁻¹ .kg ⁻¹)	A1 (ml.dk ⁻¹ .kg ⁻¹)	τ1 (sn)
Ön Test			
Son Test			

Anaerobik Eşik Üstü Egzersizde VO₂ Modelinin Parametreleri

	VO ₂ base (ml.dk ⁻¹ .kg ⁻¹)	A1 (ml.dk ⁻¹ .kg ⁻¹)	τ1 (sn)	A2 (ml.dk ⁻¹ .kg ⁻¹)	τ2 (sn)
Ön Test					
Son Test					

EMG Elektrotlarının Yerlerinin Ölçüleri

KAS	Yerden Yüksekliği
Tibialis Anterior	
Gastrocnemius	
Vastus Medialis	
Rektus Femoris	
Vastus Lateralis	
Biceps Femoris	

Laktat Yanıtları

ANAEROBİK EŞİK TESTİ				
Süre (dk)	Laktat mM 01	Laktat mM 02	Glukoz 01	Glukoz 02
0				
2				
4				
6				
8				
10				
12				
14				
SABİT YÜKLÜ ANAEROBİK EŞİK ALTI TEST				
0				
2				
4				
6				
SABİT YÜKLÜ ANAEROBİK EŞİK ÜSTÜ TEST				
0				
2				
4				
6				
8				

EGZERSİZ TAKİBİ

1. Hafta				
2. Hafta				
3. Hafta				
4. Hafta				
5. Hafta				
6. Hafta				

ÖLÇÜMLERLE İLGİLİ NOTLAR