

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

İNSANLARDA EGZERSİZ SIRASINDA VÜCUT
AĞIRLIĞI İLE OKSİJEN ALINIMI ARASINDAKİ
İLİŞKİ

SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FIRAT ÜNİVERSİTESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Arş. Gör. Vedat AYAN

T 99269

BEDEN EĞİTİMİ VE SPOR ANABİLİM DALI

I. DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Recep ÖZMERDİVENLİ

II. DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Oğuz ÖZÇELİK

ELAZIĞ-2000

İÇİNDEKİLER.

I. TABLO VE ŞEKİLLERİN LİSTESİ.	5
II. ÖNSÖZ.	8
1. GİRİŞ.	10
1.1. MAKSİMAL O₂ ALINIMI (VO₂max).	11
1.1.a. Maksimal Oksijen Alınımının Etkilenmesi.	13
1.1.b. Oksijenin Taşınması.	16
1.1.c. Sabit Yük Testi Sırasında Oksijen Alınımının Verdiği Cevap.	18
1.2. ANAEROBİK EŞİK.	20
1.3. SOLUNUM.	22
1.3.a. Solunum Sisteminin Anatomisi.	23
1.3.b. Dakika Solunumu (Minute Ventilation).	24
1.3.c. Egzersiz Sırasında Solunum.	25
1.4. EGZERSİZ SIRASINDAKİ DEĞİŞİKLİKLER.	27
1.4.a. Solunumun Düzenlenmesi Ve Egzersiz.	27
1.5.AMAÇ.	28
2. MATERYAL METOD.	29
2.1. TEST PROTOKOLÜ.	29
2.2. AKCİĞER GAZ DEĞİŞİM PARAMETRELERİNİN ÖLÇÜMLERİ.	33
2.2.a. Akciğer Gaz Değişim Ölçümü (Beaver Algoritmi).	34

2.3. ANAEROBİK EŞİK (θ_{an}) HESAPLAMASI. -----	36
2.3.a. Maksimal oksijen alınımı (VO_2max). -----	36
2.4. İSTATİTİK ANALİZİ. -----	37
3. BULGULAR. -----	39
3.1. Oksijen Alınımının (VO_2 ml/dk), Karbondioksit Atılımının (VCO_2 ml/dk), Dakika Solunumun (V_E l/dk) ve Gaz Değişim Oranının (VCO_2/VO_2, R) Şiddeti Düzenli Olarak Artan Yüke Karşı Yapılan Egzersiz Sırasında Verdiği Cevaplar. -----	39
3.1.a. Oksijen alınımının (VO_2 ml/dk) şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz sırasında verdiği cevaplar. -----	39
3.1.b. Karbondioksit atılımının (VCO_2 ml/dk) şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz sırasında verdiği cevaplar. -----	44
3.1.c. Gaz Değişim Oranının Şiddeti Düzenli Olarak Artan Egzersiz Testine Verdiği Cevap. -----	46
3.1.d. Dakika solunumunun (V_E l/dk) şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz sırasında verdiği cevaplar. -----	46
3.2. OKSİJEN ALINIMI İLE İŞ GÜCÜ İLİŞKİSİ (VO_2/WR). -----	50
4. TARTIŞMA VE SONUÇ. -----	54
5. ÖZET. -----	60

6. SUMMARY. -----61

7. KAYNAKLAR. -----62

8. ÖZGEÇMİŞ. -----69

9. TEŞEKKÜR. -----70



I: TABLO VE ŞEKİLLERİN LİSTESİ.

Tablo No		Sayfa No
2.1	Deneklerin fiziksel özellikleri	31
3.1	Şiddeti düzenli olarak artan egzersiz testi sırasında oksijen alınımının (VO_2) 20 watt daki ısınma döneminde, anaerobik eşikte (θ_{an}), hiperventilasyonun başladığı noktada (RCP) ve deneklerin ulaştığı maksimal güç noktasında (VO_{2max}) verdiği cevaplar ile maksimal oksijen alınımı ile anaerobik eşik arasındaki oran ($\% \theta_{an}$).	42
3.2	Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında karbondioksit atılımının (VCO_2) 20 watt daki ısınma döneminde, anaerobik eşikte (θ_{an}), hiperventilasyonun başladığı noktada (RCP) ve deneklerin ulaştığı maksimal güç noktasında verdiği cevaplar.	45
3.3	Şiddeti düzenli olarak artan egzersiz testi sırasında gaz değişim oranının (R) 20 watt daki ısınma döneminde, anaerobik eşikte (θ_{an}), hiperventilasyonun başladığı noktada (RCP) ve deneklerin ulaştığı maksimal güç noktasında verdiği cevaplar.	48
3.4	Şiddeti düzenli olarak artan egzersiz testi sırasında dakika ventilasyonun (V_E) 20 watt daki ısınma döneminde, anaerobik eşikte (θ_{an}), hiperventilasyonun başladığı noktada (RCP) ve deneklerin ulaştığı maksimal güç noktasında verdiği cevaplar	49
3.5	Şiddeti düzenli olarak artan egzersiz sırasında (15 W/dk) ramp dönemindeki oksijen alınımını (ΔVO_2), iş gücü (ΔWR), oksijen alınımı/iş gücü oranı ($\Delta VO_2/\Delta WR$), bu ilişkinin lineer regresyon analizi (Slope $\Delta VO_2/\Delta WR$) ve maksimal oksijen alınımı ile vücut ağırlığı arasındaki (VO_{2max}/kg) ilişki.	52

Şekil No		Sayfa No
1.1	Supramaksimal egzersiz testleri sırasında maksimal oksijen alınımının (VO_2max) hesaplanması (A). Oksijen alınımının ölçülmesi yüksek iş gücünde zaman ile ilişkilidir. 1. iş gücü için oksijen alınımı VO_2max ' in altındadır. 2. iş gücü için oksijen alınımı 3. ve 4. iş güçlerinde ulaşılan oksijen alınımı ile aynı seviyededir. Bu ise bu çalışma formu için VO_2max 'ı tanımlamaktadır. Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz sırasında VO_2max ve maksimum (Peak veya tepe) oksijen alınımı arasındaki farklar B'de gösterilmiştir. Denekler tolere edebilecekleri maksimum iş gücüne eriştiklerinde oksijen alınımı artan iş gücüne rağmen sabitleşmekte bu ise deneklerin VO_2max 'ını göstermektedir. Oksijen alınımının yavaşlamayıp iş gücü ile artması durumu ise en yüksek veya maksimum oksijen alınımı olarak adlandırılır (Bu şekil Wasserman ve ark 1994 çalışmasından alınmıştır).	14
1.2	Isınma dönemini takiben uygulanan sekiz farklı iş gücüne solunumdan solunuma hesaplanan oksijen alınımının verdiği cevabın gösterilmesi. Bu denek için 150 watt'ın üzerindeki iş gücünde denge durumu kaybolmaktadır (Bu şekil Whipp ve Mahler 1980 çalışmasından alınmıştır).	19
2.1	Deneyde kullanılan egzersiz protokolü. – 4 dakika ile birinci dikey kesik çizgi arası 20 watt'daki ısınma dönemini gösterir. İki dikey kesik çizgi arası iş gücünün dakikada 15 Watt olarak artırıldığı ramp dönemini gösterir. İkinci dikey kesik çizgiden sonrası 20 watt'daki iyileşme dönemini gösterir.	32
2.2	Örnek bir denek'in şiddeti düzenli olarak artırılan yüke karşı yapılan egzersiz sırasında karbondioksit atılımının (VCO_2), solunum için oksijen eşitliğinin (V_E/VO_2), solunum için karbondioksit eşitliği (V_E/VCO_2), tidal hacim sonu oksijen parsiyel basıncı ($P_{ET}O_2$ mmHg), tidal sonu karbondioksit parsiyel basıncının ($P_{ET}CO_2$ mmHg) oksijen alınımı (VO_2) ile ilişkisi. Dik kesik çizgi anaerobik eşiği göstermektedir (Denek no: 5).	38

3.1	Oksijen alınımının (VO_2 l/dk), gaz değişim oranının (R), karbondioksit atılımının (VCO_2 l/dk) ve dakika solunumun (V_E l/dk) şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz sırasında verdiği cevap (denek no: 8). Zaman 0 pedal gücünün 15 W/dk artmaya başladığı ramp döneminin başlangıcını, zaman sıfırdan öncesi ısınma dönemini gösterir. İki dikey çizgi arası ramp dönemini gösterir. Kesik dikey çizgi anaerobik eşiği gösterir. İkinci dikey çizgi sonrası ise iyileşme dönemini gösterir.	41
3.2	Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz sırasında maksimal oksijen alınımı (VO_{2max}) ile deneklerin vücut ağırlıkları arasındaki oranın, deneklerin anaerobik eşik (o) ve vücut ağırlığı (●) ile olan ilişkisi.	43
3.3	Oksijen alınımının (VO_2 l/dk) iş gücünün (WR) düzenli olarak (15 W/dk) artırıldığı yüke karşı yapılan egzersize verdiği cevap. VO_2 ile WR arasındaki ilişki lineer regresyon analizi ile hesaplandı. Bu örnek denegin verdiği cevap $0.990.8 \pm 0.07$ olarak bulundu (denek no: 8). O zaman noktası ısınma döneminin bitip ramp döneminin başlangıcını gösterir. İki dikey paralel kesik çizgi arası ramp dönemini göstermektedir. İkinci kesik çizgiden sonrası da iyileşme dönemini (recovery period) göstermektedir.	51
3.4	Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında deneklerin oksijen alınımının (VO_2) uygulanan iş gücüne (WR) verdiği cevap ile vücut ağırlığı arasındaki ilişki. Isınma dönemi ile maksimal egzersiz performansında oksijen alınımı farkı (ΔVO_2) ile iş gücü arası ilişki (ΔWR), ($\Delta VO_2/\Delta WR$). Yatay kesik çizgi ortalama değeri gösterir.	53

II. ÖNSÖZ.

İnsan vücudu doğuştan gelen özellikleri itibariyle sürekli hareket etme ihtiyacındadır (3). Günümüzde Egzersiz fizyolojisi insan organizmasının kas gruplarına ait çalışmaların cevabını ve uyumunu, sportif performansı artırma amacını güden antrenmanların fizyolojik temellerini içeren bir bilim koludur. Bu nedenle beden eğitimcilerin, antrenörlerin konuyu iyi bilmeleri gerekir. İyi bir fizyoloji ve anatomi bilgisi egzersiz fizyolojisinin temelini oluşturur (5).

Son yıllarda sporun toplum ve toplum sağlığı açısından öneminin daha iyi algılanması spor bilimlerinde müspet gelişmelerin meydana gelmesine neden olmuştur. Spor biliminin önemli bir dalı olan egzersiz fizyolojisi de bu gelişmelere paralel olarak büyük bir ivme ile gelişmiş ve spor açısından en önemli konulardan birisi haline gelmiştir (30)

İnsan organizmasının egzersize uyumunu ve performansın artırılması için yapılacak olan antrenmanların fizyolojik esaslarını inceleyen bir bilim dalı olan egzersiz fizyolojisi , spor araştırmalarının ilgi odağı olmuştur (30).

İnsanlar yarışma amacının dışında sağlığı koruma düşüncesinden hareketle spor ve egzersiz yapmaya davet edilmektedir Bu davet özellikle gelişmiş ülkelerde rağbet görmekte, geniş insan kitleleri çok değişik sportif etkinliklerde bulunmaktadır. Yaşam boyu spor, sağlıklı yaşam için spor, fitness (fiziksel uygunluk), aerobik v.b. gibi sloganlarla egzersiz yapan insanların sayısının artırılmasına çalışılmaktadır (4).

Spor ve egzersize bağlı olarak artan bu ilginin nedenini biyolojik bir dengeleme ihtiyacı şeklinde açıklamak mümkündür. Çünkü egzersiz yapan ve yapmayan insanların fiziksel kapasitelerinde, organ ve sistemlerinin işleyişinde zamanla birtakım farklılıklar ortaya çıkmakta bu farklılıklar daima egzersiz ve spor yapanlar lehinde gelişmektedir (31).

Egzersiz yapan kişilerde solunum, kalp, dolaşım ve sindirim fonksiyonlarının düzenli bulunduğu istirahat nabızları, kan basınçları ile kanda lipit ve kolesterol düzeylerinin daha düşük seyrettiği otonom sinir sistemi regülasyonunun daha iyi olduğu bilinmektedir (30,68).

Koruyucu rolünden ayrı olarak egzersiz ve spor bir tedavi aracı olarak da değer kazanmaktadır (3155,71).

Bu sebeple çağdaş toplumlarda spor giderek daha fazla önem kazanmaya başlamış, egzersiz fizyolojisi gibi yeni araştırma ve spor hekimliği gibi yeni tıp dalları oluşmuştur. Hızla ilerleyen uygarlık düzeyinin getirdiği teknolojik kolaylıklar ve durmadan değişen yaşam koşulları içinde, sporun kişi ve toplum sağlığı açısından önemi her geçen gün daha iyi anlaşılmaktadır (41).

Bu noktalardan yola çıkarak; insanların sağlık durumunun belirlenmesinde kullanılan oksijen alımının yapılan iş gücü ile arasındaki ilişkiyi normal sedanter deneklerde incelemek ve oksijen alımını etkileyen faktörleri araştırmaktır. Maksimal oksijen alımını (VO_2max) her zaman egzersiz fizyolojisinin ve fizyologlarının ilgi odağı olmuştur. Çünkü egzersizle ilgili araştırmalarda yer alan kişilerin potansiyelleri ve özellikleri belirlenmektedir. Bu değerler ayrıca hastaların egzersiz kapasitelerini belirlemek içinde klinik bilimlerinde de sık olarak kullanılmaktadır (41).

1. GİRİŞ.

İnsanlar arasında sağlık durumundaki farklılıkların nedenlerini bulmak varsa düzensizliklerin yerini, nedenlerini ve şiddetinin belirlenmesi ve gerektiğinde tedavi edilmesi amacıyla veya sedanter, sporcu ve hasta insanların vücut çalışma aerobik kapasitelerinin artırılması günümüzde spor ve klinik bilimlerinde üzerinde durulan en önemli konulardan biridir.

Bu nedenlerden dolayı bilim adamları kendi alanları (kardioloji, göğüs, spor bilimleri) ile ilgili olan konularda çeşitli testler geliştirerek vücudun fonksiyonel durumunu tespit etmeye çalışmışlardır (11,55,68,87).

Bu testler ana olarak kardiopulmoner fonksiyon testleri olarak adlandırılmıştır. Kardiopulmoner fonksiyon testlerinin en çok kullanıldığı yöntem ise deneklerin oksijen alınımlarının egzersiz sırasında ölçümlerine dayanmaktadır (14,15).

Oksijenin atmosferden egzersiz kaslarındaki mitokondrialara kadar taşınması ve bu taşınan oksijenin egzersiz kaslarında kullanılmalari egzersizin başarı ile devam ettirilip ettirilemeyeceğini gösteren iki önemli faktördür. Normal sedanter, hasta veya sporcu kişilerin yapmak istedikleri herhangi bir günlük faaliyet, egzersiz veya sportif aktiviteyi tamamlamaları için uygun iş gücünü devam ettirememeleri egzersiz intoleransı olarak tanımlanmaktadır (86).

Vücut bazal metabolizması günlük rutin işlerin yapımı veya değişik şiddet ve süredeki egzersizler sırasında vücudun ihtiyaç duyduğu enerjiyi değişen şartlara göre ayarlanmaktadır.

Vücuttaki organ ve sistemlerin düzenli olarak çalışması için gerekli olan enerji ihtiyacı vücudun oksijen alım ve taşıma sistemleri ile etkilenmektedir. Egzersiz ile birlikte vücudun artan enerji ihtiyacını karşılamak amacı ile vücudun oksijen alımında artış olmaktadır (84).

Egzersizin şiddeti arttıkça egzersizin devam ettirilebilmesi için gerekli olan enerji ihtiyacı artmaktadır. Bu ise egzersizdeki kişilerin oksijen ihtiyacını artırmakta bunu karşılamak için ise solunumlarında artış olmaktadır. Bununla birlikte her kişinin oksijen alımındaki artış için bir üst sınır vardır. Herkesin vücudunun sağlık durumuna bağlı olarak değişik derecelerde "oksijen alım" ve maksimal oksijen alım ($\dot{V}O_2\text{max}$) düzeyi vardır.

1.1. MAKSİMAL O_2 ALINIMI ($\dot{V}O_2\text{max}$).

Maksimal oksijen alımını ($\dot{V}O_2\text{max}$ l/dk) egzersiz sırasında vücudun organ ve dokularının alabileceği ve kullanabileceği maksimal oksijen alım hacmini tanımlamaktadır (65,71).

Maksimal oksijen alım kapasitesi ($\dot{V}O_2\text{max}$) maksimal kardiyak output, arterial-venöz kan arasındaki oksijen farkı ve maksimal solunum kapasitesi ile yakından bağlantısı olduğu için bu sistemlerin sağlık durumundaki değişikliklerden etkilenmektedir.

Bu nedenle, $\dot{V}O_2\text{max}$ spor ve klinik (özellikle kardioloji ve göğüs) bilimlerinde sporcu veya hastaların kardiyovasküler, metabolik ve pulmoner sistemlerin kapasitelerinin ölçümünde ve varsa anormalliklerinin kaynağının ve şiddetinin tespitinde sık olarak kullanılan önemli bir parametredir (49,58,73,74).

Kişilerin oksijen alım kapasiteleri kardiyak output ile egzersiz kaslarının oksijen kullanım potansiyeline (yani arterial–venöz kan arasındaki oksijen farkı) eşittir. Kardiyak output ise strok volum ile kalp hızının çarpımına eşittir (84).

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

Q= Kardiyak output

CaO₂= Arterial kandaki oksijen konsantrasyonu

CvO₂= Venüs kandaki oksijen konsantrasyonu

$$Q = \text{Kalp Hızı} \times \text{strok hacmi}$$

Kardiyovasküler ve pulmoner sistemlerin hayati görevlerinden biri atmosferdeki oksijeni akciğerler vasıtasıyla alıp kalp ve damar sistemleri aracılığı ile vücudun enerji ihtiyacının karşılanmasında rol oynayan enerji üretim merkezi olan hücrelerdeki mitokondrialara taşımak ve enerjinin yanında oluşan yan ürünlerden olan karbondioksiti vücuttan uzaklaştırmaktır (17,67,84).

Egzersiz ve sportif etkinlik sırasında egzersiz kaslarının enerji ihtiyacının ve buna bağlı olarak oksijen ihtiyacının artması sonucu solunum sisteminden vücuda gelen oksijen miktarında paralel bir artış olmaktadır (66,75).

Egzersiz sırasında veya herhangi bir günlük aktivite anında oksijen tüketimi direkt olarak enerji üretimi ile paralellik gösterdiğinden maksimal oksijen alımını indirekt olarak kişilerin maksimal aerobik iş kapasitelerinin tespitinde kullanılmaktadır (14,34,58,77).

Egzersiz ve sportif etkinlik sırasında, egzersiz kaslarının oksijen ihtiyaçlarının karşılanabilmesi ve üretilen karbondioksitin vücuttan uzaklaştırılarak vücut homeostazisinin sağlanabilmesi için kardio-vasküler ve respiratuvar mekanizmalarının birbirleriyle uyum içinde çalışması zorunludur (68,86).

Egzersiz sırasında artan alveolar ventilasyon sonucu akciğerde gaz değişimi ve dolayısıyla kana giren oksijen miktarında artış olmaktadır. Normal istirahat şartlarında genç bir erişkin erkekte 250 mililitre olan kana verilen oksijen miktarı egzersizde daha yüksek seviyelere kadar çıkabilir (71).

Egzersiz veya sportif aktivite sırasında egzersiz kaslarının oksijen ihtiyacı artmakta bunun karşılanması amacıyla dokular kandan oksijen alım hızını artırmaktadır. Bunun sonucunda arteriyel ve venöz kan arasındaki oksijen farkı artmaktadır.

Maksimal oksijen alımının orjinal tanımlanması artan egzersizle birlikte oksijen alımının artması ve bu uygulanan egzersiz şiddetinin artışına rağmen oksijen alımında artış olmayıp plato şeklinde sabitleşmesidir (71). (Şekil 1.1).

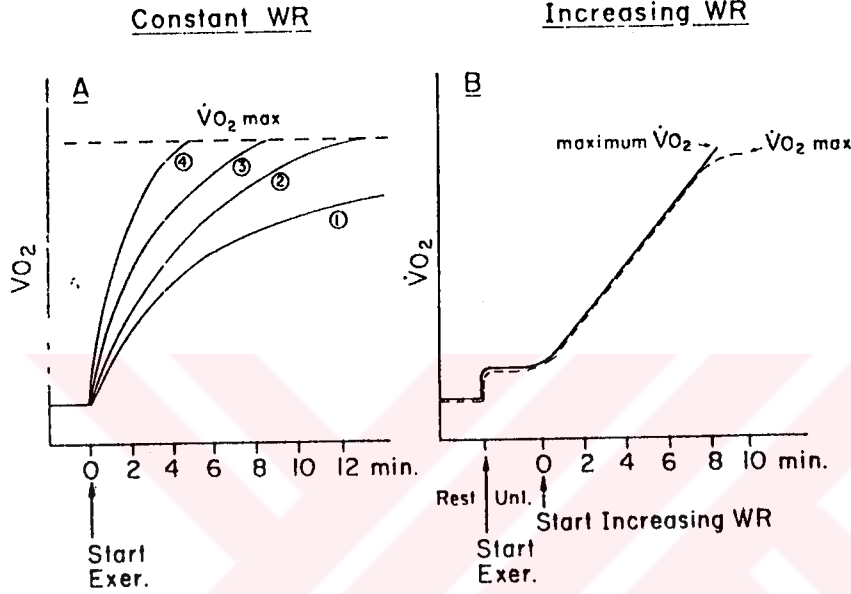
Şiddeti düzenli olarak artan egzersiz testi sırasında kişilerin tolere edebildikleri maksimal performans sırasında oksijen alımında plato görülmemesi durumu ise maksimum veya pik oksijen alımı olarak adlandırılır (71) ve bu pik oksijen alımı (VO_{2pik}) maksimal oksijen alımını yansıtmamaktadır (Şekil 1.1).

1.1.a. Maksimal Oksijen Alımının Etkilenmesi.

Vücudumuzdaki her hücre kullanılabilen enerji olan ATP' yi alınan besinlerden sentezlerken oksijen tüketmektedir. İskelet kaslarının serbest enerji kaynağı ATP' dir.

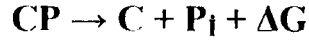


ΔG : Normal fizyolojik durum sırasında elde edilen serbest enerjiyi göstermektedir. Standart durum termodinamik bakımdan yüksek derecede fizyolojik olmadığından serbest enerji değeri ise 7 kkal/ mol'dur.



Şekil 1.1: Supramaksimal egzersiz testleri sırasında maksimal oksijen alınımının ($\dot{V}O_2\text{max}$) hesaplanması (A). Oksijen alınımının ölçülmesi yüksek iş gücünde zaman ile ilişkilidir. 1. iş gücü için oksijen alınımı $\dot{V}O_2\text{max}$ ' in altındadır. 2. iş gücü için oksijen alınımı 3. ve 4. iş güçlerinde ulaşılan oksijen alınımı ile aynı seviyededir. Bu ise bu çalışma formu için $\dot{V}O_2\text{max}$ 'ı tanımlamaktadır. Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz sırasında $\dot{V}O_2\text{max}$ ve maksimum (Peak veya tepe) oksijen alınımı arasındaki farklar B'de gösterilmiştir. Denekler tolere edebilecekleri maksimum iş gücüne eriştiklerinde oksijen alınımı artan iş gücüne rağmen sabitleşmekte bu ise deneklerin $\dot{V}O_2\text{max}$ ' ını göstermektedir. Oksijen alınımının yavaşlamayıp iş gücü ile artması durumu ise en yüksek veya maksimum oksijen alınımı olarak adlandırılır (Bu şekil Wasserman ve ark 1994 çalışmasından alınmıştır).

İskelet kaslarındaki ATP depoları oldukça düşük miktarda olup (yaklaşık olarak 5 mM/kg) yüksek derecedeki egzersizlerde yalnızca birkaç saniye süre için enerji ihtiyacını karşılayabilir. Fakat en ağır egzersizde bile vücuttaki ATP konsantrasyonu azalmaz, bu ise kreatin fosfatın (CP) kreatine (C) ve inorganik fosfata (P_i) ayrılması ile sağlanmaktadır (84).



Karbonhidratlardan enerji üretimi:



Yağ asitlerinde enerji üretimi:



Kas hücreleri özellikle egzersiz sırasında aktif halde iken yüksek miktarlarda ATP'ye ihtiyaç duymaktadırlar. Bu artan enerji ihtiyacını karşılamak ve istenilen işin devam ettirilebilmesi için ise egzersiz sırasında daha fazla oksijen alınmasına ve tüketilmesine yol açmaktadır. Vücutta bulunan milyarlarca hücre istirahat halinde, hafif veya ağır egzersiz sırasında oksijen tüketip karbondioksit üretmektedirler. Bu üretilen karbondioksitin ve tüketilen oksijenin miktarları hassas makine ve sistemlerle ağız yoluyla ölçülebilmektedir. Egzersiz sırasında oksijen tüketimindeki artış egzersiz kaslarındaki hücrelerin oksijen tüketimini özetlemektedir (61,71,84,92).

Oksijenin alınabilmesi ve enerji üretiminde kullanılabilmesi için kaslar iki ana temele ihtiyaç duyar. Bunlardan birincisi atmosferden aktif haldeki kasların hücrelerine oksijeni getiren sistem ve diğeri ise mitokondriaların aerobik enerji transferini yapabilmeleridir. Örneğin, uzun mesafe koşucuları hem güçlü bir kardiovasküler sisteme hem de iskelet kaslarında iyi bir oksidatif kapasiteye sahiptirler (60).

Etkili bir pompa olan kalp oksijen bakımından zengin olan kanı kaslara yollar ve mitokondriyalarda zengin olan kaslar ise oksijeni kullanarak yüksek seviyedeki egzersizin devamını sağlar. Egzersiz ve spor bilimlerinde hala cevap bekleyen ana soru ise vücudun oksijen taşıma sistemlerinin mi yoksa hücrelerin oksijen kullanabilme kapasitelerinin mi maksimal oksijen alımını üzerine etkili olduğudur.

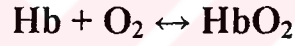
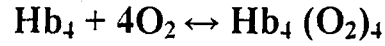
1.1.b. Oksijenin Taşınması.

Oksijen plazma içinde çözülmüş olarak ve kırmızı kan hücrelerinin hemoglobin kısmıyla taşınmaktadır. Bu hemoglobinle taşınan formuoksi hemoglobin (HbO_2) olarak adlandırılır ve bu kısım oksijen taşıma kapasitesini gerektiğinde 65 katına çıkartabilir. Plazmadaki çözümlü durumdaki oksijenin miktarı azdır. Bu nedenle dokulara çözümlü durumdaki oksijenin taşınması düşüktür. Mesela dinlenme sırasında gerekli olan 250 - 300 ml oksijenin % 3-4'ü bu çözümlü oksijenden sağlanmaktadır. Egzersiz sırasında egzersize katılan kasların artan oksijen ihtiyacının ancak % 2' den daha az bir kısmı bu çözümlü durumdaki oksijenden karşılanmaktadır. Plazmadaki çözümlü durumdaki oksijenin miktarı onun çözümlü derecesinin yanında oksijenin parsiyel basıncı ile de yakından ilişkilidir.

Bununla birlikte arteriyel kandaki oksijen basıncının saf oksijen ile artırıldığı durumda dahi çözümlü durumdaki oksijen, vücut için gerekli toplam oksijen ihtiyacının dinlenme sırasında % 38'ni maksimal egzersiz sırasında ise %12' sini karşılamaktadır. Bu nedenle çözümlü durumdaki oksijenin vücut dokularının ihtiyaç duyduğu oksijeni sağlama görevi önemsizdir.

Oksihemoglobin (HbO₂) hemoglobin kırmızı kan hücresinde bulunan kompleks bir molekül olup demir (hem) ve protein (globin) kısımları içermektedir. Oksijenin bağlanması ve taşınması hemoglobinin içindeki hem kısmı ile ilgilidir.

Her hemoglobinde bir globine bağlı dört hem kısmı vardır ve her hem kısmının bir adet oksijen molekülü taşıma kapasitesi vardır. Bunun anlamı bir hemoglobin molekülü dört adet molekül oksijeni taşımaktadır.



Diğer bir anlamıyla 1 gr hemoglobin oksijen ile sature olduğunda 1.34 ml oksijen bağlamaktadır.

Periferdeki dokulara yollanan kan hacmi (kardiak output) egzersizin başlaması ile birlikte artmaya başlar. Bu başlangıç aşamasındaki kardiak output artışı strok hacimdeki ve kalp hızındaki artışların ikisine birden bağlıdır. Fakat egzersiz devam ettiğinde kardiak output daki artış strok hacimden ziyade kalp hızındaki artış ile olmaktadır.

Hücrelere oksijen taşınması 5 değişik önemli faktöre bağlıdır.

Bunlar:

1. Kapiller kandaki oksijen partial basıncı
2. Hemoglobin konsantrasyonu
3. Kardiak output
4. Hücrelerin ihtiyaç duyduğu oksijenin dağıtımı ve perfüzyonu
5. Oksijenin hemoglobine olan afinitesi.

Oksijenin kandan mitokondria ya taşınması uygun diffüzyon gradientinin sağlanmasına bağlıdır. Özellikle ağır egzersiz sırasında oksijen ihtiyacı oksijen taşıma zinciri tarafından sağlanabilen oksijen den daha fazla olmaktadır.

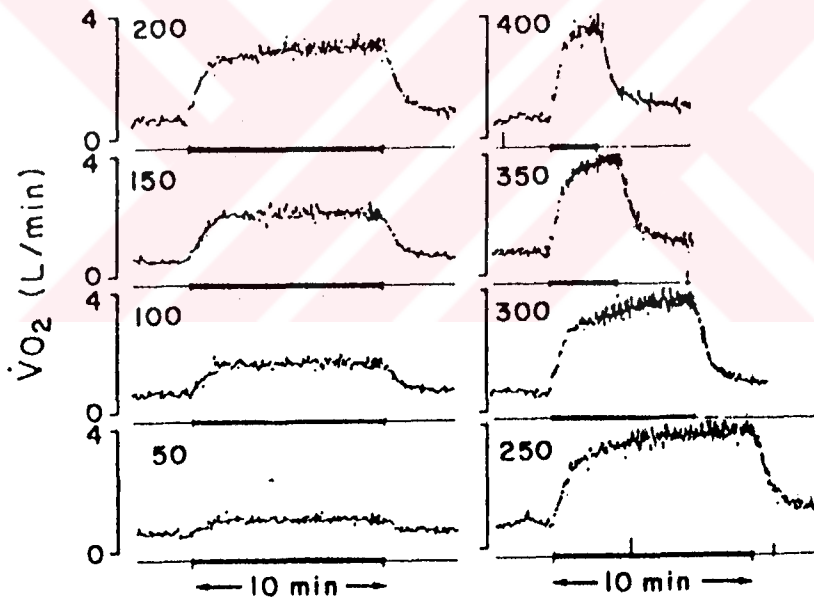
1.1.c. Sabit Yük Testi Sırasında Oksijen Alımınının Verdiği Cevap.

Egzersizin tipleri şiddetine göre klasik olarak 3 ana grup altında sınıflandırılmaktadır (85). Bunlar

1. **Hafif veya orta şiddetteki egzersizler:** Bu gruptaki egzersiz sırasında arteriyal kan laktik asit konsantrasyonu artmayıp sabit kalmaktadır.
2. **Ağır şiddetteki egzersizler:** Bu gruptaki egzersiz sırasında arteriyal kan laktik asit konsantrasyonu başlangıçta hafif artmakta fakat egzersizin devamı ile birlikte sabit kalmakta daha fazla artmamaktadır.

3. Çok ağır (şiddetli) şiddetteki egzersizler: Bu gruptaki egzersiz sırasında arteriyal kan laktik asit konsantrasyonu egzersizle birlikte artmaya başlayıp bu artış sürekli olarak devam etmektedir. Oksijen alınımı egzersizin tipine göre farklılıklar göstermektedir. Şekil 1.2 de görüldüğü gibi orta şiddetteki sabit yük egzersiz testi sırasında oksijen alınımı logaritmik olarak artmakta ve yaklaşık olarak üç dakika içinde steady-state (denge) durumuna ulaşmaktadır (8,36,76,80).

Ağır ve şiddetli sabit yük egzersiz testinde ise oksijen alınımı denge durumuna üç dakikanın üzerinde ulaşmakta yada hiç ulaşmamaktadır (8,36,76,80).



Şekil 1.2: Isınma dönemini takiben uygulanan sekiz farklı iş gücüne solumundan solumuna hesaplanan oksijen alınımının verdiği cevabın gösterilmesi. Bu denek için 150 watt'ın üzerindeki iş gücünde denge durumu kaybolmaktadır (Bu şekil Whipp ve Mahler 1980 çalışmasından alınmıştır).

VO₂max kullanımı testi bugün spor bilimlerinde ve klinik bilimlerinde kişilerin maksimal aerobik kapasitesini tayin etmek için kullanılan en güvenilir testtir (38,65,72,90,91).

Kişinin bir ünite zamanda kullanabildiği oksijen miktarı ne kadar fazla ise o kişinin aerobik kapasitesi o oranda yüksek demektir (7). Aerobik güç dayanıklılık sporlarında performansa etkili en önemli fizyolojik faktördür.

Maksimal O₂ kullanımından ilk bahseden A.V. Hill olmuştur (5). Hill'e göre bir ünite zamanda alınan oksijen dolaşım ve solunum sistemlerinin sınırlaması nedeni ile muayyen bir maksimum düzeye erişir ve yapılan iş artsa da o düzeyde kalır.

Spor fizyolojisi ve hekimliği alanında oksijen alınımının ölçülmesi çok kullanılan bir sağlık kriteri ölçüm metodu olmasına rağmen hala bu metot çeşitli uluslar arası sempozyum, kongre ve çalışma gruplarının gayretlerine rağmen standart bir hale getirilememiştir.

1.2. ANAEROBİK EŞİK.

Yapılan çalışmalar göstermiştir ki hafif egzersiz sırasında arterial kan ve kas laktik asit konsantrasyonunda artma meydana gelmez ve normal istirahat halinde ki seviyesinde kalmaktadır (11,43,59,71,82).

Kan laktik asit konsantrasyonu yalnızca belirli bir iş gücü yoğunluğunda (eşik noktası) sistematik olarak istirahat durumundaki seviyesinin üzerine doğru artmaya başlar.

Egzersiz sırasında bu kan laktik konsantrasyonunun sistematik olarak artmaya başladığı nokta anaerobik eşik olarak tanımlanmıştır (66).

Anaerobik eşik terimi, egzersiz sırasında yapılan işin devamı için gerekli olan enerjinin aerobik yolla karşılanamadığı durumlarda işin devamı için gerekli olan enerjinin sağlanması için aerobik mekanizmanın yanına ilave olarak anaerobik metabolizmanında devreye girdiği iş yoğunluğu yada oksijen kullanım düzeyini belirlemek amacıyla kullanılmaktadır (12,18,70).

Egzersiz şiddeti arttıkça kaslara taşınan oksijen miktarı artarken, gerekli olan enerjide aerobik sistemle sağlanmaktadır. Egzersiz şiddeti belirli noktayı aştığında ise aerobik sistem yetersiz kalmakta ve enerji üretimine anaerobik metabolizmalarda katılmaktadır. ATP yenilenmesine anaerobik metabolizmalarında katıldığı bu egzersiz şiddetine anaerobik eşik adı verilir (26,50,51,71)

Solunum ve kardiovasküler sistemlerin ana amaçları oksijeni akciğerler aracılığı ile atmosferden alıp hücrelere taşımak ve karbondioksiti vücuttan uzaklaştırmaktır. Vücudumuzda enerji sağlayan sistemlerin birbirine bağımlı olması ve egzersizin şiddetinin artmasıyla birlikte, kaslar tarafından üretilen son ürün olarak laktik asitin kas ve kanda birikim hızı, kan tarafından uzaklaştırılanla asit miktarının üzerine çıkar.

Anaerobik eşik antrenmanlı kişilerde (özellikle dayanıklılık sporlarında) istirahat metabolik hızının 10-20 katı gibi bir egzersiz seviyesinde görülmeyebilir.

Maksimal oksijen alınımının %80-85'i gibi bir egzersiz şiddeti anaerobik eşığe karşılık gelirken, sağlıklı antrenmansız deneklerde maksimal oksijen kullanımının (VO_2max) %55-65'i anaerobik eşığın geçildiği egzersiz şiddetine tekamül etmektedir (24,26,32).

1.3. SOLUNUM.

Solunum kısaca canlı varlık ile onun dış ortamı arasındaki gaz ilişkisi olarak tanımlanabilir Genel olarak solunum terimi dört olayı içermektedir.

Bunlar:

1. **Birinci basamak:** Pulmoner ventilasyon veya dış solunum olarak adlandırılan bu dönem havanın atmosferden akciğerlere alınmasına kadar olan kısmı tarif etmektedir.
2. **İkinci basamak:** Bu dönem alveolar ventilasyon veya iç solunum olarak adlandırılır. Bu dönem dış ortamdan alveollere gelen havadaki gazların kandaki gazlar ile değişime uğradığı kısmı ifade etmektedir. Bu aşamada venöz kanda yüksek miktarda bulunan karbondioksit alveollere geçerek vücuttan uzaklaştırılır ve alveol havasındaki yüksek konsantrasyonda bulunan oksijen ise daha düşük konsantrasyondaki kana geçer.
3. **Üçüncü basamak:** Bu dönem kana geçen oksijenin hemoglobine bağlanarak hücrelere taşındığı kısımdır
4. **Dördüncü basamak:** Hücresel respirasyon olarak da adlandırılan solunumun son aşamasında ise hücrelere kadar gelen oksijenin yakılarak enerji üretim yeri olan mitokondrialara taşınarak burada gerekli olan enerjinin üretimi ile sonuçlanmasıdır.

Solunum sisteminin en önemli görevleri ise;

*Gaz değişimi; oksijenin alınması, karbondioksitin verilmesi,

*pH ve vücut ısısının düzenlenmesi,

*Su ve ısı kaybının sağlanmasıdır (27,64).

Fiziksel egzersiz sırasında vücudun özellikle egzersize katılan kasların oksijen ihtiyacı arttığından bu ihtiyacı karşılayacak olan dolaşım ve solunum sistemlerinin de duruma fizyolojik bir uyum göstermesi doğaldır.

Dokuların oksijen ihtiyacı arttıkça buna paralel olarak solunum sisteminin organizmaya soktuğu oksijen artar ve bu alınan oksijeni dokulara taşıyacak olan dolaşım sisteminin faaliyeti de o oranda artar. Atmosferden alınan ve dokulara taşınan oksijendeki bu artmalar belirli bir noktaya kadar lineer bir şekilde beraber yürüdüğü halde bu noktadan itibaren solunum aktivitesin de artma devam etmesine, yani organizmaya daha fazla oksijen sokulmasına karşın egzersiz kaslarının oksijen kullanımları artmaz ve muayyen maksimal düzeyde kalır (VO_2max).

Solunum sistemi tarafından organizmaya fazla oksijen alınsa dahi dolaşım sisteminin dokulara taşıyabileceği maksimal oksijen miktarı kişilere göre değişmekle beraber, sınırlı demektir. Yani kalbin bir dakikada atabileceği maksimal kan volümü, bireylere göre değişmekle beraber sınırlıdır.

1.3.a. Solunum Sisteminin Anatomisi.

Solunum sistemi bir gaz değişim organı (akciğerler) ve akciğerlere hava girişini ve çıkışını (ventilasyon) sağlayan bir pompadan oluşur. Pompa göğüs kafesi, göğüs boşluğu, hacmi azaltan ve arttıran solunum kasları, kasları beyne bağlayan sinirler ve kasları denetleyen beyin bölgesinden oluşur (27).

Solunum sistemi sırayla burun, ağız, yutak (farinks), gırtlak (larinks), soluk borusu (trakea), bronşlar (sağ-sol) bronşiol ve alveol adı verilen keseciklerden oluşur. Solunumla hava alındığında, hava bu yapılardan sırayla geçer ve alveollere ulaşır. (64,87).

Trakeadan başlayarak terminal bronşiolde sonlanan bölümüne anatomik ölü boşluk adı verilir. Bu bölümde gaz değişimi yapılmamakta sadece iletici hava yolu olarak kullanılmaktadır. Her bir solunumla alınan 500 ml havanın 150 ml' si bu bölümde kalmaktadır (7,27,29,64).

Akciğerlerde gaz değişimi yani oksijen ve karbondioksit değişimi sadece alveollerde gerçekleşmektedir. Alveoller duvarlar ince hava kesecikleridir. Alveollerin etrafı ise kılcıl damarlarla çevrelenmiş durumdadır ve oksijen-karbondioksit difüzyonu alveolleri ile kılcıl damarlar arasında gerçekleşmektedir (24,52,63).

1.3.b. Dakika Solunumu (Minute Ventilation).

Dakika solunumu, bir dakikada ağızdan alınan ve verilen hava miktarıdır. Alınan havadan çok dışarı verilen hava miktarı olarak tanımlanır. Bu miktar ;

- a) Tidal hacim (V_T) (Bir nefeste almış olduğumuz hava miktarı)
- b) Solunum sayısı (dakikada alınan solunum sayısı) ile belirlenir (35).

$$V_E (L/dk) = V_T (\text{solunumun derinliği, } L) \times Bf (\text{solunum sıklığı})$$

1.3.c. Egzersiz Sırasında Solunum.

Dinlenme durumlarında genelde dakikada 4 ile 15 litre (BTPS) arası hava solunduğu halde, dakika solunumu kişiden kişiye değişiklik göstermektedir (25,71).

Dakika solunumu egzersiz sırasında artış gösterir. Solunum egzersiz kaslarında egzersiz sırasında üretilen karbondioksit ve tüketilen oksijen miktarı ile orantılı bir şekilde artış göstermekle birlikte egzersizin şiddeti ve tipine bağlı olarak bu oran anaerobik eşik üzerinde ki egzersizlerde bozulmaktadır (71,75).

Egzersize bağlı olan maksimal solunum ($V_{E,max}$) erkeklerde 180 lt/dk, bayanlarda 130 lt/dk ya kadar ulaşabilir. Bu, dinlenik durumdaki değerlerden 25 ile 30 kat daha fazla değişen artış gösterir. Solunum sadece verilen iş yükü ile farklılık göstermez aynı zamanda egzersiz öncesi, egzersiz sırasında ve sonrasında farklılık gösterir (25).

Sportif etkinlik sırasında dokuların oksijen gereksinimleri arttıkça, solunum sisteminden vücuda gelen oksijen miktarının da artması gerekir (42,86).

Egzersiz sırasında dokuların oksijen ihtiyaçlarının karşılanabilmesi ve oluşan karbondioksit fazlası ile ısının uzaklaştırılabilmesi için bir çok kalp- damar ve solunum mekanizmalarının birbirleriyle entegre şekilde çalışması zorunludur. Dolaşıma bağlı değişimler vücudun diğer bölümlerinde yeterli dolaşım sürdürülürken kas kan akımında artış şeklindedir.

Ayrıca egzersiz yapan kasların kandan oksijen alışında bir artış görülmekte ve ventilasyondaki artış ile birlikte fazladan oksijen sağlamakta, ısının bir kısmı ortadan kaldırılmakta ve karbondioksit fazlalığı atılmaktadır (27,76).

Normal istirahat şartlarında genç bir erişkin erkekte 250 ml olan kana verilen oksijen miktarı egzersizde 1 lt/dk' ya kadar çıkabilir (27). Bu değerler sedanterlerde 3 lt/dk, erkek maraton koşucularında ise 5 lt/dk' ya ulaşmaktadır. Buna bağlı olarak karbondioksit atılımı da 200 ml/dk' dan 8 lt/dk' ya kadar yükselmektedir. Egzersizde solunum frekansı ve derinliğinde (solunum hacmi) artış meydana gelse de, sporcularda solunum frekansında fazla artış meydana gelmeden daha ziyade solunum derinliğinde artış görülmektedir (35).

Tidal volüm (solunum derinliğinde)' de meydana gelen artış ihtiyacı karşılayamaz ise solunum frekansında artış görülmektedir (42). Sporcular sedanterlere göre egzersiz esnasında daha düşük ventilasyona sahiptirler. Bu durum dayanıklılık sporlarında daha belirgindir (26).

Egzersizde solunum volümü ve frekansı ile solunum dakika volümünde (dakika ventilasyonda) belirgin artışlar meydana gelir. Şiddetli maksimal egzersizlerde solunum frekansı dakikada 35-40' a ulaşabilir (60-70' e ulaştığı belirlenmiştir.).Orta dereceli bir egzersizde ventilasyon artışı büyük bir ölçüde solunum volümün deki artışa bağlıdır.

Ventilasyondaki artış oksijen tüketimine bağlıdır ve oksijen tüketiminin ventilasyonla eşitlendiği noktada kararlı denge oluşur. Maksimal egzersizlerde solunum volümündeki artışa solunum frekansında meydana gelen artışlarda eşlik eder. Maksimal egzersizlerde kararlı denge oluşmadığı gibi laktik asit ve karbondioksit üretimindeki artışlara bağlı olarak da ventilasyon daha da artar (4).

Egzersiz sırasında meydana gelen ventilasyon artışlarından sorumlu olan karbondioksit üretiminin artışı ve kimyasal uyarılarıdır (1,27).

1.4. EGZERSİZ SIRASINDAKİ DEĞİŞİKLİKLER.

Egzersizde artan metabolizmanın karşılanması ve egzersizin devam ettirilebilmesi için gerekli olan oksijeni sağlamak için solunumda artış meydana gelmektedir. Solunumun artması ise solunum volümü ve frekansında artış ile meydana gelmektedir. Maksimal egzersiz sırasında ventilasyon 200 lt/dk gibi bir düzeye erişebilmekte, bu da solunum hacmi ve frekansında sağlanan artışla gerçekleştirilebilmektedir (7,23,50).

Diğer taraftan aynı şiddetle yapılan egzersizlerde antrenmanlı sporcularda solunum dakika volümü 200 lt/dk'ya çıkarabilirken, normal kişilerde (sedanterlerde) 100 lt/dk'dır. Bu da antrenmanlı kişilerde antrenmanın solunum kaslarını kuvvetlendirmesine bağlıdır. Yapılan bir araştırmada 20 haftalık bir antrenman ile solunum kaslarının dayanıklılığının %16 dolaylarında geliştirildiği belirlenmiştir (42).

Antrenmanlarla solunum hacmi ve frekansında belirgin bir değişim meydana gelmektedir. Ancak antrenmanlarla VO_2max olarak adlandırılan dokulardaki maksimal aerobik metabolizmadaki oksijen tüketim hızında bir artış meydana gelmektedir. 7-13 haftalık bir antrenmanla VO_2max de %10'un üzerinde bir artış görülür (13). Bu yüzden önemli olan antrenmanlarla oksijenin kullanılabilirliği bir başka deyişle VO_2max 'ın artırılması önemlidir.

1.4.a. Solunumun Düzenlenmesi Ve Egzersiz.

Solunum miktarı vücudun metabolik ihtiyaçları doğrultusunda düzenlenmektedir. Bu yüzden metabolik bir ihtiyaç olduğunda solunum hızı (frekansı) ve derinliğinde (hacmi) artış meydana gelir (79).

Solunum pons ve medulla oblongatada (omurilik soğanında) yerleşmiş bulunan sinir hücrelerinin faaliyetleri düzenlenmektedir (24). Şiddetli egzersizlerde oksijen tüketimi ve karbondioksit oluşumu 20 kat gibi bir düzeyde artabilir.

Çok ağır egzersizler dışında alveolar ventilasyon metabolizmada ihtiyaç duyulan oksijeninin sağlanmasında yeterli olur ve bu yüzden PO_2 ve PCO_2 hemen hemen dengede kalır (29,71).

1.5. AMAÇ.

Bu çalışmanın ana amaçları:

- 1) İnsanlarda önemli bir sağlık kriteri olarak kullanılmakta olan oksijen alımının yapılan iş gücü ile olan ilişkisinin deneklerin farklı fiziksel özellikleri (genel olarak değişik vücut ağırlığı) ile etkilenip etkilenmediğini bulmak.
- 2) Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz sırasında oksijen alımının anaerobik eşik ile olan ilişkisini araştırarak artan kan laktik asit konsantrasyonunun iş gücü ile oksijen alımı arası ilişkiyi araştırmak.

Bu çalışmadan beklediğimiz sonuç ise eğer denekler arası bulunacak olan farklı maksimal oksijen alım seviyelerine rağmen oksijen alımı ile iş gücü arasındaki lineer değer denekler arasında farklılık göstermiyor ise vücudun egzersiz sırasında oksijen alım kapasitesini belirleyen etkenlerden en önemlisinin hücrelerin oksijen kullanım kapasitelerinin olduğunu düşündürecek olmasıdır.

2. MATERYAL VE METOD.

Bu çalışma etik komiteden izin alındıktan sonra 18 sağlıklı sedanter erkek denek üzerinde yapıldı. Her deneğe çalışma ile ilgili gerekli olan bilgiler çalışmadan önce verildi. Ayrıca bu çalışma için deneklere testten en az iki saat öncesinde yemek yememiş olmaları ayrıca çay, kahve ve herhangi bir ilaç almamaları gerektiği söylendi. Bu çalışmaya katılan deneklerin fiziksel özellikleri Tablo 2.1’de gösterilmiştir.

2.1. TEST PROTOKOLÜ.

Her denek elektromanyetik bisiklet ergometre (Excalibur; LODE) ile şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı egzersiz testine tabi tutuldu.

Egzersiz testi a) Isınma dönemi b), Ramp dönemi c), İyileşme dönemi olmak üzere üç dönemden meydana gelmektedir (Şekil 2.1).

a) Isınma Dönemi: Test, deneklerin altılı EKG’leri (elektrotları) göğüs duvarında uygun olan yerlere yerleştirildikten ve pulse oksimetreleri ikinci parmak ucuna takıldıktan sonra her denek 20 Watt da (pedal çevirme hızı 50-80 ortalama 60 rpm) minimum olarak dört dakikalık (veya denekler stabil seviyeye gelene kadar) pedal çevirmeleri ile başladı.

Bu 20 Watt’ daki ısınma döneminin amacı deneklerin durumunun normal olup olmadığını tespit etmektir. Böylece test sırasında akciğer gaz değişim parametrelerinde oluşabilecek yanlış sonuçlardan kaçınmak.

Daha önce yapılan çalışmalarda gösterildiği üzere, denekler ısınma döneminde heyecanlanmaları veya strese girmeleri durumlarında elde edilen sonuçlarda büyük farklılaşma olmaktadır (54).

b) Ramp Dönemi: Isınma dönemini takiben, deneklerin stabil olduğu görüldükten sonra bisiklet ergometrenin pedal direnci bilgisayar tarafından düzenli olarak dakikada 15 Watt artırıldı. Bu pedal gücündeki artış deneklerin pedal çevirmeye devam edemeyecekleri noktaya (maksimal seviyelerine ulaşmalarına) kadar devam etti.

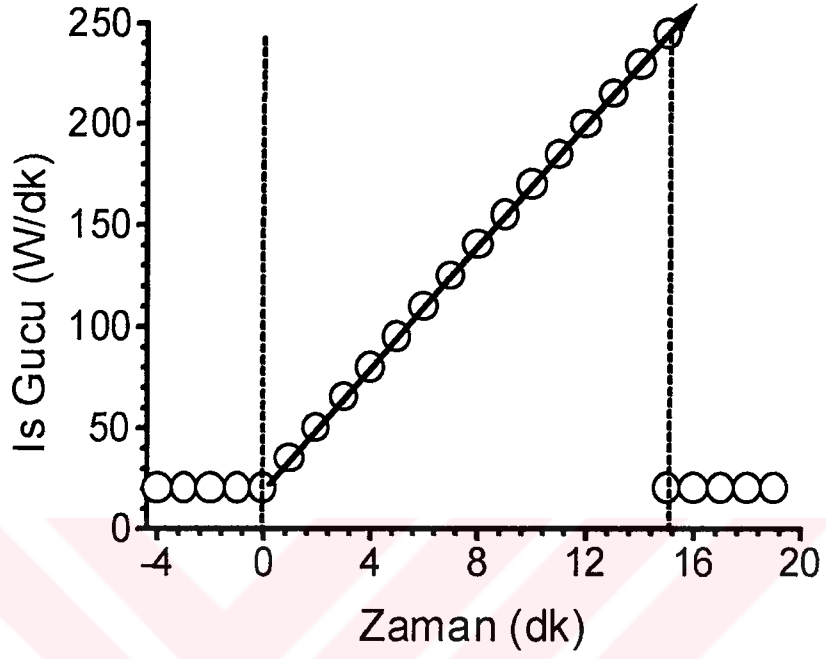
Bu dönemin amacı ise deneklere düzenli olarak stres uygulayarak bu strese deneklerin solunum, kardiovasküler ve metabolik sistemlerinin verdiği cevabı ölçmektir.

c) İyileşme Dönemi: Denekler maksimum seviyelerine ulaştıktan sonra yani pedal çevirmeye devam edemeyecek noktaya çıktıklarında bisiklet ergometrenin pedal gücü bilgisayar tarafından tekrar 20 watt a indirildi ve denekler minimum dört dakika süre ile pedal çevirmeye devam ettirildi.

Bu dönemde ise ramp süresince vücutta biriken laktik asidin eliminasyonunu artırmak ve deneklerin durumunun normale doğru dönüp dönmediğine bakmak.

TABLO 2.1: Deneklerin fiziksel özellikleri

Denek no	Yaş (yıl)	Boy (cm)	Vücut ağırlığı (kg)
1	24	167	68
2	24	183	75
3	23	177	72
4	20	167	63
5	31	181	71
6	20	180	85
7	27	172	68
8	21	171	58
9	27	170	60
10	18	175	71
11	18	174	71
12	23	189	78
13	27	172	70
14	28	170	77
15	23	183	92
16	20	190	75
17	20	186	90
18	31	181	82
Ortalama	23.6	177	73.6
± SD	4.1	7.2	9.3



ŞEKİL 2.1: Deneyde kullanılan egzersiz protokolü. (-4 dakika ile birinci dikey kesik çizgi arası 20 watt'daki ısınma dönemini gösterir. İki dikey kesik çizgi arası iş gücümün dakikada 15 Watt olarak arttırıldığı ramp dönemini gösterir. İkinci dikey kesik çizgiden sonrası 20 watt'daki iyileşme dönemini gösterir).

Watt: 1 kilogramlık ağırlığı yerçekimine karşı 1 metre yukarı kaldırmak için gerekli olan enerji 1 kilopond-metre (kpm) dir. 6 kpm ise 1 watt'a eşittir.

İş: Belirli bir mesafe boyunca uygulanan kuvvet olarak tanımlanır.

$$W = F \times D$$

$$W = \text{İş}$$

$$F = \text{Güç (mutlaka sabit olmalıdır).}$$

$$D = \text{Mesafe}$$

Ergometre: Ergo (iş) metre (ölçü): Adından da anlaşıldığı gibi ergometre iş ölçüm aletidir. Bu çalışmadaki deneylerde deneklere elektro manyetik bisiklet ergometreyi deneklere uygun iş gücünü (stres) vermede kullanıldı.

2.2. AKCİĞER GAZ DEĞİŞİM PARAMETRELERİNİN ÖLÇÜMLERİ.

Denekler test sırasında ağızlık eklenen düşük ölü aralıklı (< 90 ml) ve düşük rezistanslı (3 lt/sn akımda 1.5 cmH₂O/lt/sn) türbin volüm metre (Alpha teknolojisi) içine doğru nefes alıp verdiler (burunları burun tıkaçı ile tamamen kapalı durumda). Böylece deneklerin hem inspirasyon hemde ekspirasyon hacimleri ölçüldü.

İnspire ve ekspire edilen havadaki gazların konsantrasyonları (oksijen, karbondioksit ve nitrojen) quadropole mass spektrometre ile ölçüldü. Bu aletlerin kalibrasyonları her deneyden önce Huszczuk ve arkadaşları tarafından (1990) gösterildiği biçimde yapıldı (37).

Deney sırasında elde edilen solunum ve gaz değişim parametre değerleri 'Breath-by-breath' (Beaver algoritmi) kullanılarak hesaplandı (Formül 1,2,3,4,5) (9).

Breath-by-breath ile hesaplanan solunum ve gaz değişim parametre değerleri **Jenkins ve ark** (40) tarafından geliştirilen bilgisayar programı kullanılarak değerlendirildi. Bu breath-by-breath hesaplanan değerler; dakika solunum (V_E lt/dk, BTPS), oksijen alınımı (VO_2 lt/dk, STPD), karbondioksit atılımı (VCO_2 lt/dk, STPD) ve gaz değişim oranıdır (R).

Bütün deney süresince standart 6'lı EKG (Quinton, Q5000) ve kalp hızları herhangi bir anormallik için kontrol edildi (aritmi ve ST segment düşüklüğü gibi).

Deneklerin arterial oksijen saturasyonları noninvaziv olarak pulse oksimetre ile parmak ucundan ölçüldü (Ohmeda Biox 3740).

2.2.a. Akciğer Gaz Değişim Ölçümü (Beaver Algoritmi).

$$(VO_2)_T = \int_{insp} V_1 dt \times F_{I O_2} - \int_{exp} V_E dt \times F_{E O_2} \quad \text{Formül 1}$$

$$(VCO_2)_T = \int_{exp} V_E dt \times F_{E CO_2} - \int_{insp} V_1 dt \times F_{I CO_2} \quad \text{Formül 2}$$

$$(VN_2) = \int_{insp} V_1 dt \times F_{I N_2} - \int_{exp} V_E dt \times F_{E N_2} \quad \text{Formül 3}$$

- VO₂T:** Tek bir nefeste toplam akciğerlerden oksijen alınımı.
- VCO₂T:** Tek bir nefeste toplam akciğerlerden karbondioksit atılımı.
- F_IO₂:** Tek bir nefeste alınan havadaki oksijen konsantrasyonu.
- F_EO₂:** Tek bir nefeste atılan havadaki oksijen konsantrasyonu.
- F_ICO₂:** Tek bir nefes alınımındaki karbondioksit konsantrasyonu.
- F_ECO₂:** Tek bir nefes atılımındaki karbondioksit konsantrasyonu.
- F_IN₂:** Tek bir nefes alınımındaki nitrojen konsantrasyonu.
- F_EN₂:** Tek bir nefes atılımındaki nitrojen konsantrasyonu.
- V_I:** Alınan havanın hacmi.
- V_E:** Verilen havanın hacmi.
- STPD:** Standart ısı (273 K), basınç (760 Torr) ve kuruluk.
- BTPS:** Vücut ısısı (310 K), ortamın basıncı ve su buharının basıncı.
- F_ICO₂:** Havadan alınan karbondioksit miktarı sıfırdır.

$$VCO_2 \text{ (l/dk, STPD)} = \int_{exp} V_E dt \times F_{E}CO_2 \quad \text{Formül 4}$$

$$V_E \text{ (l/minBTPS)} = V_E \text{ (l/min STPD)} \times A \times B \times C \quad \text{Formül 5}$$

A: Düzeltilmiş ısı (0 °C den 37 °C)

B: Düzeltilmiş nem derecesi (vücut ısısında 47)

C: Gerçek basınç

2.3. ANAEROBİK EŞİK (θ_{an}) HESAPLAMASI.

θ_{an} non-invazif olarak “V-slope” tekniği (11) kullanılarak hesaplandı. Bu V-slope tekniği egzersiz sırasında artmaya başlayan kan laktik asit konsantrasyonunun bikarbonat tarafından tamponlanması sonucu salınan ekstra CO_2 ile VCO_2 'nın VO_2 'na göre hızlanmasına dayanır (Şekil.2.2). Bu V-slope tekniğine ilave olarak aşağıda açıklanan diğer sık kullanılan non-invazif tekniklerle desteklendi.

- a) Solunumun oksijen alınımına göre hızlanmaya başlaması sonucu solunum/ oksijen alınım (V_E/VO_2 , solunum için oksijen eşitliği) oranının artmaya başlaması. Solunum/ karbondioksit atılım oranının (V_E/VCO_2 , karbondioksit atılımı için solunum eşitliği) henüz artış göstermemesi (16,20, 71,81).
- b) Tidal hacim sonu oksijen parsiyel basıncının ($P_{ET}O_2$ mmHg) sistematik olarak artmaya başlaması. Tidal sonu karbondioksit parsiyel basıncının ($P_{ET}CO_2$ mmHg) düşmeyip sabit kalması (16,20,71,81).

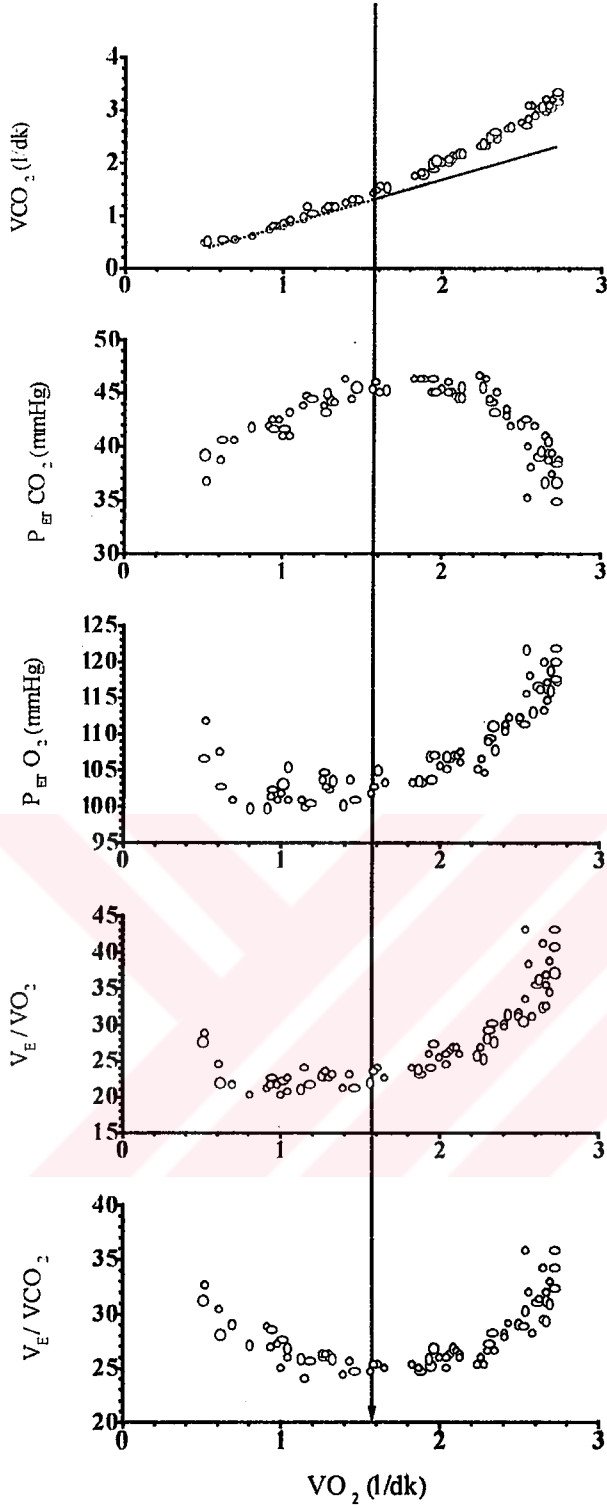
2.3.a. Maksimal oksijen alınımı (VO_2max).

Deneklerin deney sırasında maksimal performansa ulaştıkları noktadaki oksijen alınım seviyesinde sabitleme olduğunda (yani artan iş gücüne rağmen oksijen alınımı artmayıp sabit kalıyorsa) maksimal oksijen alınımı olarak değerlendirildi (65,71,76).

Deneklerin maksimal egzersiz performanslarına ulaştıklarında oksijen alınımındaki sabitliğin görölmediği nokta ise tepe veya pik oksijen alınımı olarak değerlendirildi.

2.4 İSTATİSTİK ANALİZ

Deney sırasında elde edilen bulguların istatistiki olarak anlamlı olup olmadığının değerlendirilmesi F.Ü. Tıp Faköltesi Fizyoloji Anabilim Dalında Paired-t testi programı ile yapıldı. Bütün parametreleri ortalama ve standart sapmaları hesaplandı. Anaerobik eşiğin (θ_{an}) alt ve üst bölgelerinde oksijen alınımı ve diğer parametrelerle ilgili değerler ve iş gücü ile oksijen alınımı arasındaki ilişki değerleri paired t-testi uygulanarak değerlendirildi ve $p < 0.05$ önemli olarak kabul edildi.



ŞEKİL 2.2: Örnek bir denek'in şiddeti düzenli olarak artırılan yüke karşı yapılan egzersiz sırasında karbondioksit atılımının (VCO_2), solunum için oksijen eşitliğinin (V_E/VO_2), solunum için karbondioksit eşitliği (V_E/VCO_2), tidal hacim somu oksijen parsiyel basıncı ($P_{ET}O_2$ mmHg), tidal sonu karbondioksit parsiyel basıncının ($P_{ET}CO_2$ mmHg) oksijen alımını (VO_2) ile ilişkisi. Dik kesik çizgi anaerobik eşiği göstermektedir (Denek no: 5).

3. BULGULAR.

Bu çalışmada elde edilen bulgular iki ana başlık altında açıklanacaktır.

Bunlar:

3.1. Oksijen alınımının (VO_2 ml/dk), karbondioksit atılımının (VCO_2 ml/dk), dakika solunumun (V_E l/dk) ve gaz değişim oranının (VCO_2/VO_2 , R) şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz sırasında verdiği cevaplar.

3.2. Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz sırasında oksijen alınımı (VO_2 ml/dk) ile iş gücü (WR, Watt) arasındaki ilişki (VO_2/WR).

3.1. Oksijen Alınımının (VO_2 ml/dk), Karbondioksit Atılımının (VCO_2 ml/dk), Dakika Solunumun (V_E l/dk) ve Gaz Değişim Oranının (VCO_2/VO_2 , R) Şiddeti Düzenli Olarak Artan Yüke Karşı Yapılan Egzersiz Sırasında Verdiği Cevaplar.

3.1.a. Oksijen alınımının (VO_2 ml/dk) şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz sırasında verdiği cevaplar.

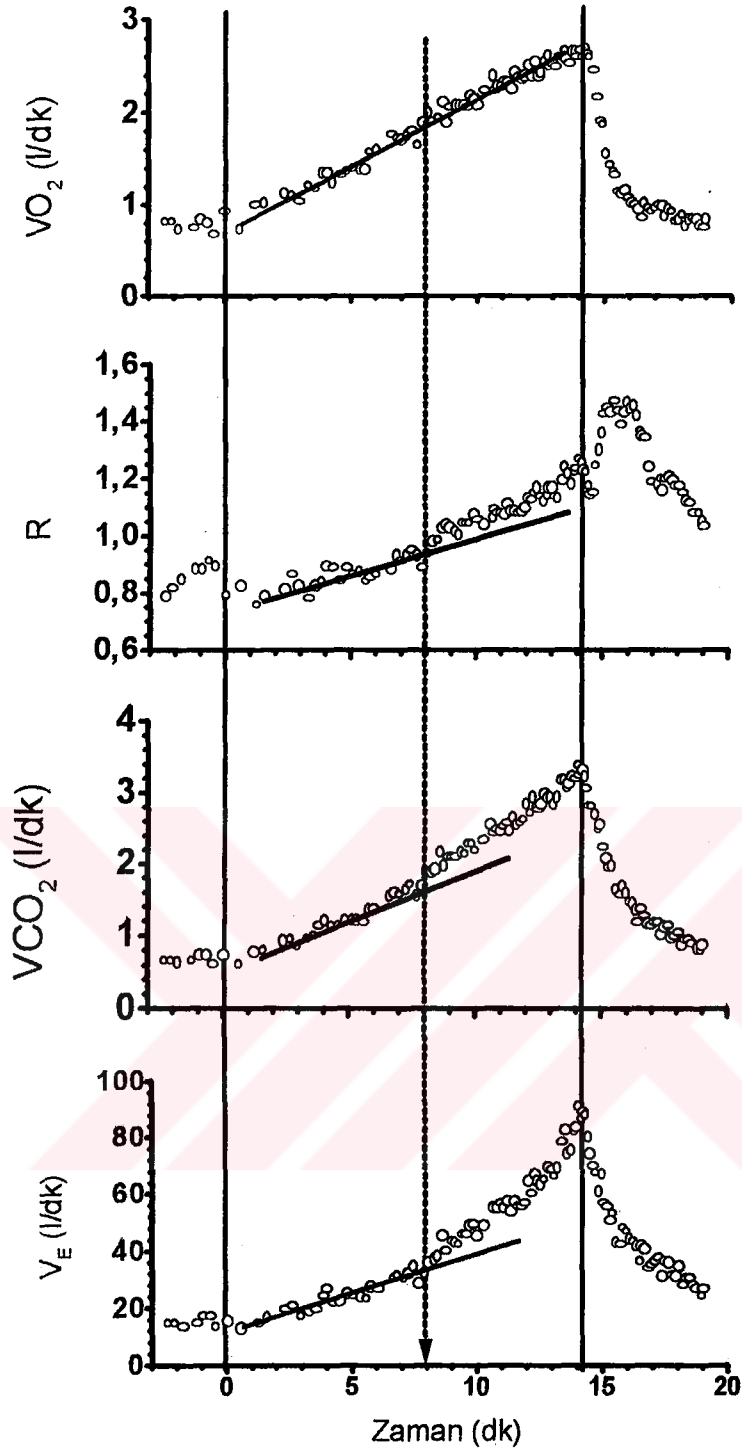
Şiddeti düzenli olarak artırılan yüke karşı yapılan egzersiz testinin 20 W daki ısınma döneminde, deneklerin ortalama (\pm SD) oksijen alınım (VO_2) değeri 768 ± 97 ml/dk olarak bulundu (Tablo 3.1).

İş gücünün dakikada 15 watt olarak artırıldığı ramp döneminin başlangıcında, oksijen alınımı egzersiz kasları ile akciğerler arası gecikme farkı ve vücut oksijen depolarının dolmasına bağlı olarak yaklaşık olarak (denek no: 8 için) 30 saniyelik gecikme zamanını takiben (Şekil 3.3) bisiklet ergometrenin pedal gücünün artırılmasına paralel olarak bir artış gözlemlendi (Şekil 3.1, Şekil 3.3). Bu oksijen alınımındaki iş gücüne olan paralel artış deneklerin maksimal performanslarına ulaşmalarına kadar devam etti.

Anaerobik eşik de oksijen alım değeri ortalama olarak (\pm SD) 1760 ± 310 ml/dk olarak bulundu, respirasyon kompansementasyon noktasında (RCP) ise 2325 ± 441 ml/dk değerine ulaştı (Tablo 3.1). Ramp döneminin sonunda yani deneklerin maksimum egzersiz performanslarına ulaştıklarında ise oksijen alım kapasiteleri ortalama (\pm SD) olarak 3108 ± 542 ml/dk değerine ulaştı (Tablo 3.1).

Deneklerin maksimal oksijen alımları ile anaerobik eşikteki oksijen alım oranları (% θ_{an}) denekler arasında farklılık göstermektedir. Bunlar %46 minimum değeri ile %65.7 maksimum değerleri arasında olup tüm denekler için anaerobik eşikteki oksijen alım oranının ortalama (\pm SD) değeri %56.1 (\pm 0.49) olarak bulundu. (Tablo 3.1).

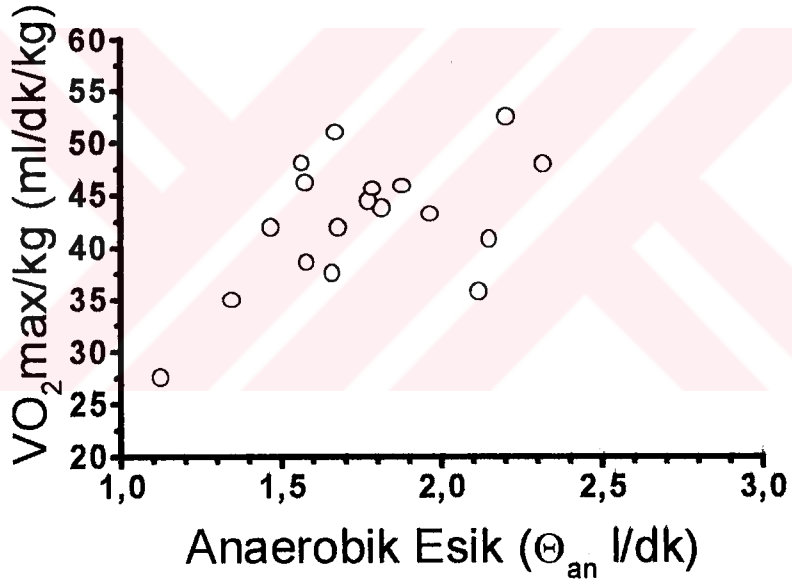
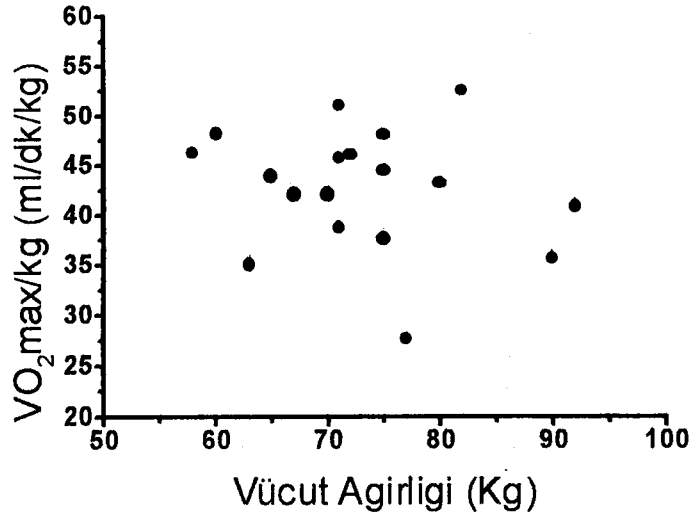
Bir örnek deneğin şiddeti düzenli olarak artırılan egzersiz testi sırasında oksijen alımının verdiği cevabı göstermektedir. Bu denek için (denek no: 8) anaerobik eşikteki oksijen alımının maksimal oksijen alımına oranı %58.8 olarak bulunmuştur.



ŞEKİL 3.1: Oksijen alınımının (VO_2 l/dk), gaz değişim oranının (R), karbondioksit atılımının (VCO_2 l/dk) ve dakika solunumunun (V_E l/dk) şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz sırasında verdiği cevap (denek no: 8). Zaman 0 pedal gücünün 15 W/dk artmaya başladığı ramp döneminin başlangıcını, zaman sıfırdan öncesi ısınma dönemini gösterir. İki dikey çizgi arası ramp dönemini gösterir. Kesik dikey çizgi anaerobik eşiği gösterir. İkinci dikey çizgi sonrası ise iyileşme dönemini gösterir.

TABLO 3.1: Şiddeti düzenli olarak artan egzersiz testi sırasında oksijen alımının ($\dot{V}O_2$) 20 watt daki ısınma döneminde, anaerobik eşikte (θ_{an}), hiperventilasyonun başladığı noktada (RCP) ve deneklerin ulaştığı maksimal güç noktasında ($\dot{V}O_{2max}$) verdiği cevaplar ile maksimal oksijen alımı ile anaerobik eşik arasındaki oran ($\% \theta_{an}$).

Denek No	20 W (ml/dk)	θ_{an} (ml/dk)	RCP (ml/dk)	$\dot{V}O_{2max}$ (ml/dk)	$\% \theta_{an}$
1	723	1817	2405	2851	51.8
2	727	1772	2647	3335	53.1
3	840	1880	2435	3311	56.7
4	708	1346	1543	2208	60.9
5	641	1582	1919	2753	57.4
6	626	1969	2623	3456	56.9
7	905	1680	1980	2816	59.6
8	789	1580	1950	2685	58.8
9	673	1566	2257	2889	54.2
10	856	1785	2489	3247	54.9
11	1011	1670	2502	3623	46.0
12	854	2320	2895	3607	64.3
13	716	1472	1758	2944	50.0
14	703	1122	1727	2130	52.6
15	716	2150	2919	3761	57.1
16	789	1660	2096	2816	58.9
17	800	2116	2747	3220	65.7
18	760	2203	2972	4307	51.1
Ortalama	768	1760	2325	3108	56.1
\pmSD.	97	310	441	542	0.49



ŞEKİL 3.2: Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz sırasında maksimal oksijen alınımı (VO_{2max}) ile deneklerin vücut ağırlıkları arasındaki oranın, deneklerin anaerobik eşik (o) ve vücut ağırlığı (•) ile olan ilişkisi.

3.1.b. Karbondioksit atılımının (VCO_2 ml/dk) şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz sırasında verdiği cevaplar.

Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testinin 20 W daki ısınma döneminde deneklerin ortalama ($\pm SD$) karbondioksit atılım (VCO_2) değeri 631 ± 89 ml/dk olarak bulundu (Tablo 3.2).

Ramp döneminin başlangıcında, yine gecikme zamanı ve vücut gaz depolarının dolmasına bağlı olarak gelişen gecikmeyi takiben (Şekil 3.1) bisiklet ergometrenin pedal gücünün dakikada 15 W olarak artırılmasına paralel olarak karbondioksit atılımında paralel bir artış gözlemlendi (Şekil 3.1). Bu paralellik anaerobik eşığe kadar devam etti (Şekil 3.1).

Anaerobik eşığın üzerinde karbondioksit atılımında hızlanma gözlemlendi. Anaerobik eşikte karbondioksit atılımının değeri 1587 ± 296 ml/dk olarak bulundu. Anaerobik eşik ile hiperventilasyonun başlangıcına kadar olan bölgede (RCP bölgesi) karbondioksit atılımı arttı ve RCP 2294 ± 455 ml/dk olarak bulundu (Tablo 3.2). RCP sonrası karbondioksit atılımı daha da hızlanarak ramp döneminin sonunda ise 3621 ± 578 ml/dk değerine ulaştı (Tablo 3.2).

TABLO 3.2: Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında karbondioksit atılımının ($\dot{V}CO_2$) 20 watt daki ısınma döneminde, anaerobik eşikte (θ_{an}), hiperventilasyonun başladığı noktada (RCP) ve deneklerin ulaştığı maksimal güç noktasında verdiği cevaplar.

Denek No	20W(ml/dk)	θ_{an} (ml/dk)	RCP (ml/dk)	Maksimal (ml/dk)
1	641	1660	2423	2944
2	602	1633	2804	3828
3	752	1785	2482	4062
4	519	1074	1464	2564
5	506	1393	1808	3306
6	511	1856	2611	4095
7	733	1459	1844	2980
8	652	1385	1908	3306
9	535	1371	2140	3885
10	676	1673	2469	3778
11	798	1534	2464	4103
12	733	2109	2811	3892
13	606	1393	1758	3300
14	641	1065	1826	2791
15	538	1907	2788	4252
16	627	1400	1987	3362
17	704	1939	2831	4001
18	589	1934	2883	4738
Ortalama	631	1587	2294	3621
±SD.	89	296	455	578

3.1.c. Gaz Değişim Oranının Şiddeti Düzenli Olarak Artan Egzersiz Testine Verdiği Cevap.

Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testinin 20 W daki ısınma döneminde deneklerin ortalama (\pm SD) gaz değişim oranı (V_{CO_2}/VO_2 , R) 0.81 ± 0.05 olarak bulundu (Tablo 3.3).

Ramp döneminin başlangıcında, bisiklet ergometrenin pedal gücünün dakikada 15 W olarak artırılması ile gaz değişim değeri (R) karbondioksit depolarının dolmasına bağlı olarak başlangıçtaki hafif azalmayı takiben artmaya başladı (Şekil 3.1).

Gaz değişim oranı, anaerobik eşik de 0.90 ± 0.04 değerine ulaştı (Tablo 3.3). Anaerobik eşğin üst kısmında bu gaz değişim oranındaki artış devam ederek RCP'de 0.98 ± 0.03 ulaştı (Tablo 3.3). Ramp döneminin sonunda ise gaz değişim oranı daha yüksek seviyede bir artma ile 1.16 ± 0.08 değerine ulaştı (Tablo 3.3).

3.1.d. Dakika solunumunun (V_E l/dk) şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz sırasında verdiği cevaplar.

Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testinin 20 W daki ısınma döneminde deneklerin ortalama (\pm SD) dakika solunum değeri (V_E) 14.6 ± 2.32 l/dk olarak bulundu (Tablo 3.4).

Ramp döneminin başlangıcında, bisiklet ergometrenin pedal gücünün dakikada 15 W olarak artırılmasına paralel olarak (yaklaşık olarak bir dakikalık gecikmeyi takiben) dakika solunumunda paralel bir artış gözlemlendi (Şekil 3.1). Bu paralellik anaerobik eşığe kadar devam etti (Şekil 3.1).

Anaerobik eşik üzerinde deneklerin solunumda hızlanma gözlemlendi (Şekil 3.1). Anaerobik eşik de bulunan dakika solunumun değeri 31.0 ± 5.63 l/dk olarak bulundu (yani ısınma dönemine göre %112'lik bir artış gözlemlendi) (Tablo 3.4).

Anaerobik eşik ile hiperventilasyonun başlangıcına kadar olan bölgede (RCP bölgesi) solunum artmaya devam etti (%47'lik artış) ve RCP noktasında 45.6 ± 8.46 l/dk olarak bulundu (Tablo 3.4). RCP sonrası solunum daha da artarak rampa döneminin sonunda ise 97.77 ± 23.36 l/dk değerine ulaştı (Tablo 3.4). Anaerobik eşik üzerinde yapılan iş gücünde, solunumda anaerobik eşik altına göre %215'lik artış gözlemlendi.



TABLO 3.3: Şiddeti düzenli olarak artan egzersiz testi sırasında gaz değişim oranının (R) 20 watt daki ısınma döneminde, anaerobik eşikte (θ_{an}), hiperventilasyonun başladığı noktada (RCP) ve deneklerin ulaştığı maksimal güç noktasında verdiği cevaplar.

Denek No	20 W	θ_{an}	RCP	Maksimal
1	0.88	0.91	1.00	1.03
2	0.83	0.93	1.06	1.15
3	0.89	0.96	1.02	1.22
4	0.73	0.80	0.95	1.16
5	0.78	0.88	0.94	1.20
6	0.81	0.94	0.99	1.18
7	0.81	0.87	0.93	1.06
8	0.82	0.87	0.98	1.23
9	0.79	0.87	0.95	1.34
10	0.79	0.94	0.99	1.16
11	0.79	0.92	0.98	1.13
12	0.86	0.91	0.97	1.08
13	0.84	0.95	1.00	1.12
14	0.91	0.95	1.06	1.31
15	0.75	0.88	0.95	1.13
16	0.79	0.84	0.95	1.19
17	0.88	0.91	1.03	1.24
18	0.77	0.88	0.97	1.10
Ortalama	0.81	0.90	0.98	1.16
±SD	0.05	0.04	0.03	0.08

TABLO 3.4: Şiddeti düzenli olarak artan egzersiz testi sırasında dakika ventilasyonun (V_E) 20 watt daki ısınma döneminde, anaerobik eşikte (θ_{an}), hiperventilasyonun başladığı noktada (RCP) ve deneklerin ulaştığı maksimal güç noktasında verdiği cevaplar.

Denek No	20W (l/dk)	θ_{an} (l/dk)	RCP (l/dk)	Maksimal (l/dk)
1	15	28	41	53
2	12	26	46	84
3	17	33	46	119
4	12	22	30	71
5	12	27	37	94
6	11	35	48	108
7	16	30	40	69
8	15	27	38	89
9	12	25	43	116
10	16	35	52	96
11	17	31	52	112
12	18	42	53	80
13	13	26	33	90
14	16	25	41	94
15	12	23	55	129
16	18	35	52	99
17	16	34	51	105
18	15	39	63	152
Ortalama	14.6	31.0	45.6	97.77
\pmSD	2.32	5.63	8.46	23.36

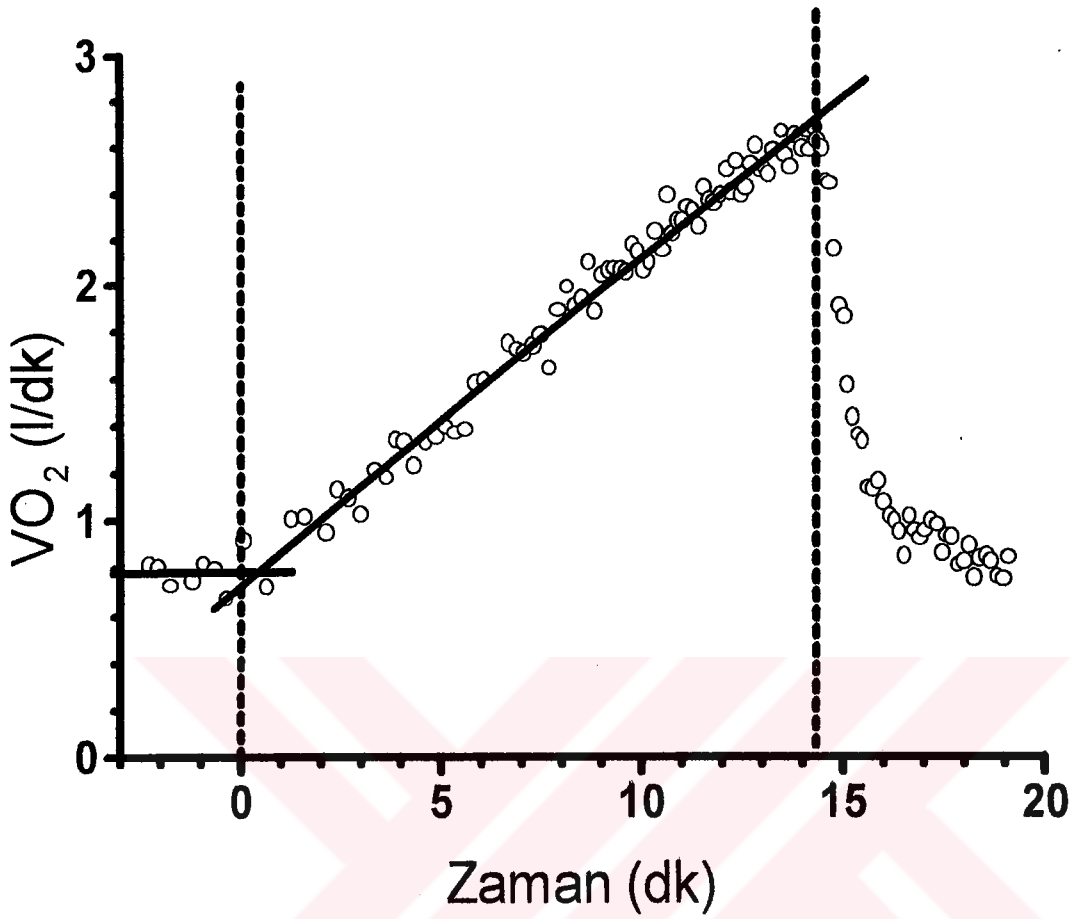
3.2. OKSİJEN ALINIMI İLE İŞ GÜCÜ İLİŞKİSİ (VO_2/WR).

Şiddeti düzenli olarak artan egzersiz testinin ramp dönemindeki iş gücü (WR) ile oksijen alınımı (VO_2) arasındaki ilişkinin derecesi lineer regresyon analizi ile hesaplandı (Şekil 3.3).

Ramp dönemindeki oksijen alınımı (ısınma dönemindeki oksijen alınımından maksimal oksijen alınımına kadar olan kısım, ΔVO_2) ile iş gücü (ısınma döneminden maksimal iş gücüne kadar olan kısım, ΔWR) arasındaki ilişkinin ($\Delta VO_2/\Delta WR$) lineer regresyon analizi denekler arasındaki değerleri 0.9778 (minimum) ile 0.9964 (maksimum) arasında değişmekte olup ortalama ($\pm SD$) değeri ise 0.9899 ± 0.006 bulundu (Tablo 3.5).

Delta oksijen alınımı ile delta iş gücü arasındaki ilişki ($\Delta VO_2/\Delta WR$) ayrıca değerlendirildi (Şekil 3.4). Her artırılan bir watt'lık iş gücü için denekler tarafından tüketilen oksijen miktarı dakikada 8.4 (minimum) ile 13.9 (maksimum) değişiklik gösterdi. Tüm denekler için ortalama ($\pm SD$) değeri ise 10.35 ± 1.2 ml/dk/W bulundu (Tablo 3.5).

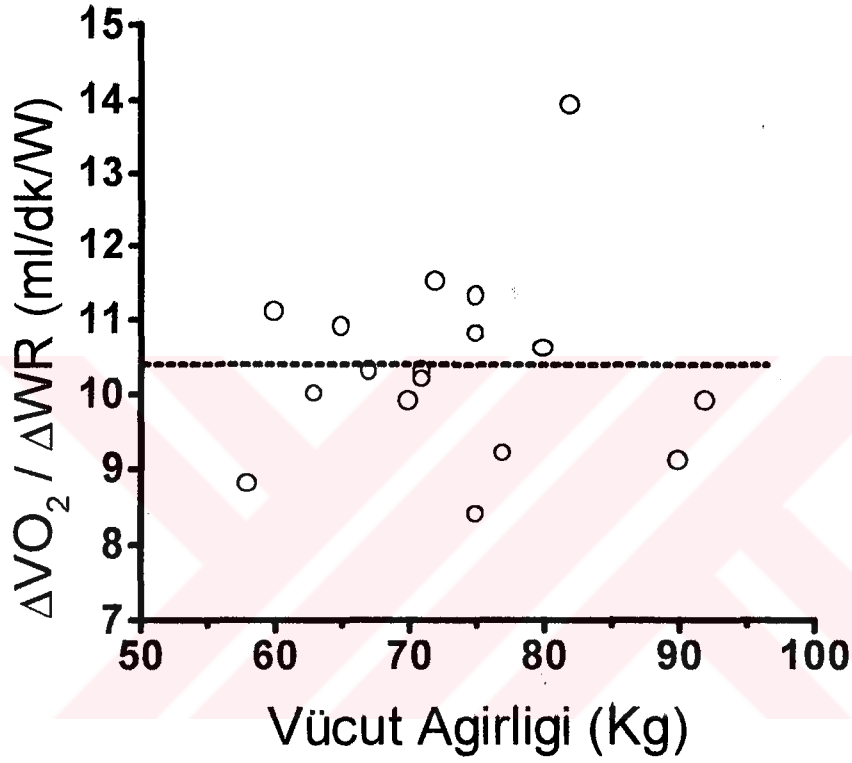
Maksimal oksijen kullanımı ile vücut ağırlığı arasındaki ilişki (VO_{2max}/kg) ile her kilogram vücut ağırlığı için alınan ve tüketilen oksijen miktarı ile denekler arası vücut ağırlığı karşılaştırıldı ve değerlendirildi. Her kilogram vücut ağırlığı için alınan oksijen miktarı denekler arasında farklılıklar gösterdi. Bu farklı değerlerin en düşüğü 27.6 ml/dk/kg bulunurken (denek no: 14) en yüksek değer ise 52.5 ml/dk/kg olarak bulundu (denek no: 18). Her kilogram vücut ağırlığı için alınan oksijen miktarının ortalama ($\pm SD$) değeri ise 43.0 ± 6.2 ml/dk/kg olarak bulundu (Tablo 3.5).



ŞEKİL 3.3: Oksijen alımının (VO_2 l/dk) iş gücünün (WR) düzenli olarak ($15 W7dk$) artırıldığı yüke karşı yapılan egzersize verdiği cevap. VO_2 ile WR arasındaki ilişki lineer regresyon analizi ile hesaplandı. Bu örnek deneğin verdiği cevap $0.990.8 \pm 0.07$ olarak bulundu (denek no: 8). O zaman noktası ısınma döneminin bitip ramp döneminin başlangıcını gösterir. İki dikey paralel kesik çizgi arası ramp dönemini göstermektedir. İkinci kesik çizgiden sonrası da iyileşme dönemini (recovery period) göstermektedir.

TABLO 3.5: Şiddeti düzenli olarak artan egzersiz sırasında (15 W/dk) ramp dönemindeki oksijen alınımı (ΔVO_2), iş gücü (ΔWR), oksijen alınımı/iş gücü oranı ($\Delta VO_2/\Delta WR$), bu ilişkinin lineer regresyon analizi (Slope $\Delta VO_2/\Delta WR$) ve maksimal oksijen alınımı ile vücut ağırlığı arasındaki (VO_{2max}/kg) ilişki.

Denek No	ΔVO_2	ΔWR	$\Delta VO_2/\Delta WR$	Slope $\Delta VO_2/\Delta WR$	VO_{2max}/kg
1	2128	195	10.9	0.9886(± 0.10)	41.9
2	2608	230	11.3	0.9886(± 0.09)	44.4
3	2471	235	11.5	0.9945(± 0.07)	45.9
4	1500	150	10	0.9842(± 0.08)	35.0
5	2112	205	10.3	0.9964(± 0.05)	38.7
6	2830	265	10.6	0.9959(± 0.07)	40.6
7	1911	185	10.3	0.9796(± 0.11)	41.4
8	1896	215	8.8	0.9908(± 0.07)	46.2
9	2216	200	11.1	0.9888(± 0.09)	48.1
10	2391	235	10.2	0.9957(± 0.06)	45.7
11	2612	255	10.2	0.9821(± 0.10)	51.0
12	2753	255	10.8	0.9778(± 0.17)	46.2
13	2228	225	9.9	0.9965(± 0.05)	42.0
14	1427	155	9.2	0.9808(± 0.08)	27.6
15	3045	305	9.9	0.9957(± 0.07)	40.8
16	2027	240	8.4	0.9914(± 0.07)	50.8
17	2420	265	9.1	0.9923(± 0.09)	35.7
18	3547	255	13.9	0.9940(± 0.10)	52.5
Ortalama	2340	226	10.3	0.9899	43.0
$\pm SD$	524	39	1.2	0.006	6.2



ŞEKİL 3.4: Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında deneklerin oksijen alımlarının (VO_2) uygulanan iş gücüne (WR) verdiği cevap ile vücut ağırlığı arasındaki ilişki. İsumma dönemi ile maksimal egzersiz performansında oksijen alımı farkı (ΔVO_2) ile iş gücü arası ilişki (ΔWR), ($\Delta VO_2/\Delta WR$). Yatay kesik çizgi ortalama değeri gösterir.

4. TARTIŞMA VE SONUÇ.

Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testi sırasında kişilere düzenli olarak uygun şiddette ve sürede stres verilerek, kişilerin kardiovasküler, solunum ve metabolik sistemlerinin bu uygulanan düzenli strese verdiği cevap kişilerin sağlık durumlarının belirlenmesinde bir kriter olarak kullanılmaktadır (28, 32, 53, 65).

İş gücü şiddetinin düzenli olarak arttırıldığı ramp dönemi üç ayrı bölgeden meydana gelmektedir. Birinci bölge ısınma döneminin sonundan (yani iş gücünün dakikada 15 watt olarak artmaya başladığı noktadan) kan laktik asit konsantrasyonunun sistematik olarak istirahat seviyesinin üzerine doğru artmaya başladığı noktaya (yani anaerobik eşik'e) kadar olan dönemdir.

Bu anaerobik eşik altı bölgesinde oksijen alınımı, karbondioksit atılımı ve dakika ventilasyon iş gücü ile paralel olarak artmaktadır (Şekil 3.1). Bu bulduğumuz sonuç bazı bilim adamlarının yaptıkları araştırmalarının sonuçları ile zıtlık gösterse de (22, 88), diğer bir çok bilim adamlarının çalışmalarının sonuçları ile uyum içindeydi (2, 13, 21, 71, 79).

Şiddeti düzenli olarak arttırılan yüke karşı yapılan egzersiz testinin ikinci bölgesi ise anaerobik eşikten solunumun konpanse edildiği noktaya kadar olan dönemdir. Bu yaklaşık olarak 600 ml oksijen alınımına denk gelen bölgede karbondioksit atılımı ve dakika solunumundaki hızlı artışa rağmen oksijen alınımı iş gücü ile lineer (paralel) olarak artmaktadır (19, 71, 78).

Bu dönemde ki dakika solunumdaki artışa rağmen deneklerde henüz hiperventilasyon başlamamıştır. Bu durumda da tidal hacim sonu karbondioksit atılım basıncında ($P_{ET}CO_2$ mmHg) anaerobik eşik sonrası görülen sabitleşmedir (Şekil 2.2). Bu bölgede solunum ve karbondioksit atılımındaki artış oksijen alınımına göre hızlı olsa da birbirleri ile yakın ilişki içerisinde dir.

Şiddeti düzenli olarak arttırılan yüke karşı yapılan egzersiz testinin üçüncü ve son dönem ise solunumun konpanse edildiği dönemden deneklerin uygulanan iş gücünü tolere edemeyip testin ramp döneminin sonlandığı maksimal egzersiz dönemine ulaştığı noktaya kadar olan bölgedir. Bu bölgede solunumdaki artış karbondioksit atılımına göre de hızlanmakta ve hiperventilasyona bağlı olarak tidal hacim sonu karbondioksit atılım basıncında ($P_{ET}CO_2$ mmHg) düşme olmaktadır (Şekil 2.2).

Egzersiz sırasında oksijen alınımının ölçülmesi deneklerin oksijeni taşıma ve kullanma mekanizmalarının önemli bir göstergesidir (14,71,74,83).

Oksijen alınımının ağızdan solunan hava içinde ölçülmesi hücreler tarafından egzersiz esnasında veya istirahat sırasında kullanılan oksijen miktarını yansıtmaktadır (71).

Egzersiz sırasında oksijen alınımını sınırlayan faktörler henüz tam olarak açığa çıkarılmamıştır. Başlıca iki ana görüş vardır. Bunlardan birincisi atmosferden mitokondrialara kadar oksijen taşıma sistemlerinin etkileri ve bir diğeri ise oksijenin mitakondrialarda kullanımınıdır (65).

Oksijen alınımı ile iş gücü arasındaki ilişki egzersiz sırasında deneklerin ne kadar oksijen kullandığını ve bu kullanılan oksijenin uygulanan eksternal iş gücü ile olan ilişkisini tanımlar.

Bu nedenle oksijen alınımı ile iş gücü arasındaki ilişki eksternal solunumdan hücresel solunuma kadar olan kısımlar hakkında önemli bilgiler vermektedir. İş gücü şiddetinin düzenli olarak arttırıldığı egzersiz sırasında egzersiz kasları tarafından alınıp kullanılan oksijen miktarı uygulanan iş gücü ile paralel olarak artmaktadır (Şekil 3.3). Oksijen alınımı ile iş gücü arasındaki (VO_2/WR) bu paralellik daha önce yapılan çalışmaların sonucu ile yakın uyum içindeydi (34,44,87,89).

Maksimal oksijen alınımının ölçülmesinde genel olarak üç ana metod kullanılmaktadır. Bunlar treadmill (yürüme ve koşu bandı), bisiklet ergometre ve basamak (merdiven) metotları. Bu çalışmada biz bisiklet ergometre kullanarak deneklerin maksimal oksijen alınımını ölçtük.

Maksimal oksijen alınımının vücut ağırlığına oranı kalp hastalarının fonksiyonel kapasitelerinin ölçümünde kullanılan önemli bir parametredir (39,69,72).

Bu çalışmada kullandığımız deneklerin maksimal oksijen alınım seviyelerinin vücut ağırlıklarına oranı denekler arasında büyük farklılıklar gösterdi. En düşük seviye olan 27.6 ml/dk/kg oksijen tüketimi ile en yüksek seviye olan 52.5 ml/dk/kg arasında değişmektedir (Tablo 3.5). Bu sonuçlar daha önce American Thoracic Society tarafından açıklanan normal sınırlar içerisindeydi (7).

Bu çalışmada elde edilen en önemli bulgulardan biri denekler arasındaki maksimal oksijen alınımlarındaki ve iş güçlerindeki istatistiki olarak elde edilen önemli farklılıklara rağmen deneklerin her watt için kullandıkları oksijen miktarı arasında önemli bir farklılığın olmamasıydı (Tablo 3.5). Oksijen alınımı kinetiği uygulanan egzersiz programındaki iş gücünün şiddeti ile değişiklik göstermektedir.

İş gücünün anaerobik eşik'in üzerinde olduğu sabit yük egzersiz testinde oksijen alınımı denge dediğimiz steady-state durumuna ulaşmayı artmakta (Şekil 1.2) ve bu artış deneklerin maksimal oksijen alınım seviyelerine kadar devam etmektedir (48,49,71,81).

Bu artış dan ise çeşitli nedenler sorumlu tutulmuştur. Bunlardan başlıcaları kas tiplerindeki farklılıklar (46,60) artan kan laktik asit konsantrasyonu (56) ve artan katekolaminler (57).

Submaksimal egzersiz sırasında oksijen alınımının ölçülmesinin aerobik iş kapasitesinin belirlenmesinde önemli rolü vardır. Şiddeti düzenli olarak artan egzersiz testi sırasında arttırılan iş gücü sonucu artan oksijen alınımı egzersiz kaslarının aerobik ve anaerobik metabolizması ile yakından ilgilidir. $\Delta VO_2/\Delta WR$ oranının düşüklüğü egzersiz kaslarındaki oksijen yetersizliğinden dolayı anaerobik metabolizmanın daha aktif olduğunu gösterir (33,45).

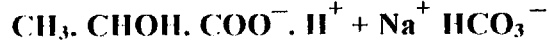
Maksimal oksijen alınımı klinik bilimlerinde özellikle kardioloji bölümlerinde konjestif kalp hastalarının durumlarını tespitinde kullanılan önemli bir yöntemdir (45,58,62).

Deneklerde şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz sırasında yaklaşık olarak maksimal oksijen alınımının %56' sına ulaşmalarına kadar oksijen alınimleri, dakika solunumları ve karbondioksit atılımları iş gücü ile paralellik göstermekteydi. (Şekil 3.1). Bu noktadan sonra oksijen alınımı ile iş gücü arasındaki paralelliğe rağmen deneklerin solunum ve karbondioksit atılımları yapılan iş gücü ile olan paralelliği bozulmakta ve daha da hızlanmaktadır. Bu elde edilen sonuç anaerobik metabolizmanın başladığını göstermektedir (10,19,32,71).

Anaerobik metabolizmanın başlangıcı ile oksijensiz enerji üretimi sonucu laktik asidin vücutta artmaya başladığı görülmektedir (45,70).

Artan kan laktik asidinin direk olarak kendisi veya kan laktik asidinin bikarbonat sistemini tarafından tamponlanması sonucu salınan ekstra karbondioksit ile solunum hızlanmaktadır (10,19,59,71,81).

Bu çalışmada elde ettiğimiz anaerobik eşik değerleri (%56.1, Tablo 3.1) daha önce normal sedanter deneklerde yapılan çalışmalarda bulunan sonuçlar ile uyum içindeydi (33, 54,71).



Laktik asit+ Sodyum bikarbonat



Sodyum laktat + Karbonik asit



Su +Karbondioksit

Anaerobik eşik, yani kan laktik asit konsantrasyonunun arteryal kanda artması, solunum ve karbondioksit atılımı üzerine önemli derecede etki ettiği halde oksijen alınımı üzerine etkisi görülmemiştir (Şekil 3.1) (86,89).

Şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz sırasında oksijen alınımı yapılan iş ile sabit kalmaya devam etmiştir. Sabit yük egzersiz testinde ise deneklere uygulanan iş gücünün anaerobik eşik üzerinde olduğu durumda (ağır ve şiddetli tiplerdeki sabit yük egzersiz testi) ise iş gücü ile oksijen alınımı arasındaki bu lineer ilişki devam etmemektedir (36,47,81).

Egzersiz sırasında maksimal oksijen alınımı deneklerin fiziksel karakterlerine bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Bu çalışmada deneklerin maksimal egzersiz performanslarında ulaştıkları oksijen alım seviyeleri 2.13 l/dk ile 4.30 l/dk arasında değişme göstermesine rağmen (Tablo 3.1) yaptıkları iş için alıp tükettikleri oksijen miktarı farklılık göstermemektedir.

Oksijen alınımının belirtilmesi genelde litre/dakika veya mililitre/dakika dır. Farklı vücut yapılarına sahip olan denekler arasında oksijen alınımını karşılaştırmak için ise vücut ağırlığına oranlanarak mililitre/kilogram/dakika olarak da kullanılmaktadır (90).

Bu ml/kg/dk formundaki oksijen alınımı egzersiz ve spor bilimlerinde kişilerin sağlık durumunu göstermede en sık kullanılan yöntemlerden biridir. Bu çalışmada ise vücut ağırlığına oranlanan oksijen alınımı denekler arası büyük bir farklılık göstermektedir. Bu ise deneklerin sağlık durumundaki farklılığa işaret etmekte ise de her artırılan iş gücü için denekler arası farklılık görülmemektedir.

Bu yapılan çalışmada sonuç olarak deneklerin maksimal oksijen alım kapasitelerinin, deneklerin sağlık durumlarının tespitinde kullanılmasında pek başarılı olamayacağını göstermekte ve farklı fiziksel yapıdaki deneklerin artırılan her watt iş gücü için aldıkları ve tükettikleri oksijende istatistiksel olarak farklılık göstermemesi, oksijen alınımının oksijen taşınmasından ziyade egzersiz kaslarındaki mitokondriolar tarafından oksijenin belirli oranda kullanıldığını düşündürmektedir.

Bu düşünceyi desteklemek için ise daha ileri aşamada çalışmalar gerekmektedir. Bu çalışmadaki deneylerde normal sedanter denekler kullanılmıştır ve oksijen alınımı ile iş gücü arasındaki ilişki yaklaşık 10 ml/dk/ W olarak bulunmuştur.

Bu deney sağlıklı yüksek aerobik kapasiteye sahip olan antrenmanlı sporculara uygulandığında farklı mitokondriya kas kitlesine sahip olduklarından dolayı oksijen alınımı ile iş gücü arasındaki ilişkinin lineerlik derecesi değişmese de oksijen alınımı ile uygulanan iş gücü arasında artışın meydana gelmesi beklenmektedir. Diğer bir husus ise aerobik kapasiteleri düşük olan hastalarda oksijen alınımı ile iş gücü arasındaki ilişkinin değerinde azalma meydana gelmesi beklenmektedir.

5. ÖZET.

İNSANLARDA EGZERSİZ SIRASINDA VÜCUT AĞIRLIĞI İLE OKSİJEN ALINIMI ARASINDAKİ İLİŞKİ.

Bu çalışmada şiddeti düzenli olarak arttırılan egzersiz sırasında oksijen alınımı (VO_2) ile iş gücü arasındaki (WR) ilişkiyi sedanter deneklerde inceledik. Onsekiz sağlıklı erkek denek (ortalama \pm SD, 23.6 ± 4.1 yaş) bisiklet ergometre ile şiddeti düzenli olarak artan (15 W/dk) yüke karşı yapılan egzersiz testine katıldılar. Solunum ve akciğer gaz değişim parametreleri noninvazif olarak türbün volümmetre ve gaz analizörü ile ölçüldü ve solunumdan solunuma hesaplandı. Maksimal VO_2 'nin vücut ağırlığına oranı denekler arasında farklılık göstermektedir: 27.6 ml/dk/kg (minimum) ve 52.5 ml/dk/kg (maksimum). Maksimal VO_2 ve WR denekler arasındaki farklılığa rağmen (3.108 ± 0.542 l/dk ve 246 ± 39 W/dk) VO_2 ile WR arasındaki lineer artışta farklılık bulunmadı. Bunun yanısıra $\Delta VO_2/\Delta WR$ oranı 10.3 ± 1.2 ml/dk/W bulundu. Sonuç olarak, bu çalışmada elde edilen bulgular VO_2 'nin egzersiz kaslarına oksijen taşınmasından ziyade hücreler tarafından kullanılmasıyla daha yakından ilişkili olduğunu göstermektedir.

6. SUMMARY.

THE RELATIONSHIP BETWEEN BODY WEIGHT AND O₂ UPTAKE DURING EXERCISE IN HUMANS.

In the present study, we wished to examine the relationships between O₂ uptake (VO₂) and work rate (WR) during ramp incremental exercise tests in normal subjects. Eighteen healthy male subjects (Mean \pm SD, 23.6 \pm 4.1 yr.) performed a ramp incremental exercise tests (15 W/min) to the limit of tolerance using an electromagnetically-braked cycle ergometer. Ventilatory and pulmonary gas exchange were measured by a turbine volume transducer and a mass spectrometry. VO₂ measured non-invasively and estimated breath-by-breath. The maximal VO₂ in relation to the body weight was varied among subjects 27.6 ml/min/kg (minimum) and 52.5 ml/min/kg (maximum). Despite the fact that maximal VO₂ and WR were differed among subjects (3.108 \pm 0.542 l/min and 246 \pm 39 W/min), respectively, there was no systematic change in the linear increase of VO₂ with WR. Furthermore, the ratio of Δ VO₂/ Δ WR was 10.3 \pm 1.2 ml/min/W. Consequently, these results may suggest that VO₂ is more related to the mitochondrial respiration rather than O₂ supply to exercising muscles.

7. KAYNAKLAR.

1. AÇIKADA, C., ERGEN, E. (1990). Bilim ve spor. Ankara.
2. AHMAIDI, S., HARDY, J.M., VARRAY, A., COLLOMP, K., MERCIER, J., PREFAUT, C. (1993). Respiratory gas exchange indices used to detect the blood lactate accumulation threshold during an incremental exercise test in young athletes. Eur.J.Appl. Physiol. Occup.Physiol. 66 (1) :31-36.
3. AKKÜN, N. (1979). Çocuk ve Spor Hekimliği Dergisi. 14 (1).1-16
4. AKKÜN, N. (1986). Egzersiz Fizyolojisi. 2. Baskı. İzmir.
5. AKKÜN, N. (1994). Egzersiz ve Spor Fizyolojisi. 1. Cilt. 5.Baskı.
6. AMERICAN THORACIC SOCIETY.(1986). Evaluation of impairment disability secondary to respiratory disorders. Thorax. 1205-1209.
7. ASTRAND, P.O., RODALH, K. (1986) Texbook of work physiology. Physiological bases of exercise. Mc Graw Hill Bokk Company USA.
8. BARSTOW, T.J., LAMARRA, N., WHIPP, B.J. (1990). Modulation of muscle and pulmonary O₂ uptakes by circulatory dynamics during exercise. J. Appl. Physiol. 68 (3): 979-989.
9. BEAVER, W.L., LAMARRA, N., WASSERMAN, K. (1981). Breath- by- breath measurement of true alveolar gas exchange. J. Appl. Physiol.:Respirat. Environ. Exerc. Physiol. 51 (6): 1662-1675.
10. BEAVER, W.L., WASSERMAN, K., WHIPP, B.J. (1986a). Bicarbonate buffering of lactic acid generated during incremental exercise. J. Appl. Physiol. 60: 472-478.
11. BEAVER, W.L., WASSERMAN, K., WHIPP, B.J. (1986b). A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. J. Appl. Physiol. 69: 2020-2027.
12. BEAVER, W.L., WASSERMAN, K. (1992). Muscle RQ and lactate accumulation from analysis of the VCO₂-VO₂ relationship during exercise. Clin. J. Sports Med. 1: 27-34.
13. BELMAN, M.J., GASSER, G.A. (1991). Exercise training below and above the lactate threshold in elderly. Med. Sci.Sports. Exerc. 23 (5): 562-568.
14. BRUCE, R.A., KUSUMI, F., HOSMER, D. (1973). Maximal oxygen intake and nomographic assessment of functional aerobic impairment in cardiovascular disease. American Heart Journal. 85 (4) 546-562.

15. **BUCHFUIRER, M.J, HANSEN, J.E, ROBINSON, T.E, SUE, D.Y, WASSERMAN, K, WHIPP, B.J .(1983).** Optimizing the exercise protocol for cardiopulmonary assessment. *J. Appl. Physiol.* 55: 1558-1564.
16. **CAIOZZO, V.J., DAVIS, J.C.A., ELLIS, F.J., AZUS, J.L., VAVDARGRIFF, R., PRIETTO, C.A., McMASTER, W.C .(1982).** A comparison of gas exchange indices used to detect the anaerobic threshold. *J. Appl. Physiol.* 53: 1184-1189.
17. **CASABURI, R., WESSMAN, M.L., HUNTSMAN, D.J., WHIPP, B.J., WASSERMAN, K .(1979).** Determination of gas exchange kinetics during exercise in the dog. *J. Appl. Physiol.* 46: 1054-1060.
18. **COOPER, C.B., BEAWER, W.L., COOPER, D.M., WASSERMAN, K. (1992).** Factor effecting the component of the alveolar CO₂ output-O₂ uptake relationship during incremental exercise in man. *Exp. Physiol* 77:51-64.
19. **DAVIS, J.A. (1985).** Anaerobic threshold: review of the concept and directions for future research. *Med. Sci. Sport. Exerc.* 17 (1): 6-18.
20. **DAVIS, J.A., VODAK, P., WILMORE, J.H., VODAK, J., KURTZ, P. (1976).** Anaerobic threshold and maximal aerobic power for three models of exercise. *J Appl Physiol.* 41 (4): 544-550.
21. **DAVIS, L.A., WHIPP, B.J., LAMARRA, N., HUNTSMAN, D.J., FRANK, M.H., WASSERMAN, K . (1982).** Effect of ramp slope on determination of aerobic parameters from the ramp exercise test. *Med. Sci. Sports Exercise.* 14 (5) 339-343.
22. **DENNIS, S.C., NOAKES, T.D., BOSCH, A.N . (1992).** Ventilation and blood lactate increase exponentially during incremental exercise. *J. Sports Sci.* 10: 437-449.
23. **DEVRIES, H.A. (1986).** Physiology of exercise for physical ediation and atletcs. WMC Brown Puhlishers. Orwa
24. **ERGEN, E., (1993).** Spor Fizyolojisi. Anadolu Üniversitesi Yayını. No: 584, Eskişehir.
25. **FOX, E., BOWER, R.W., FOSS, M.L. (1999).** Beden Eğitimi ve Sporun Fizyolojik Temelleri. Çeviren: Mesut Cerit. Ed: Hakan Yaman. Bağırğan Yayınevi. 4. Baskı. Ankara.
26. **FOX, E.J. (1988).** The physiological basis of physical education and athletics, 4th edition, Saunders College Publishing, Philadelphia.
27. **GANONG, F.W. (1995).** Tıbbı Fizyoloji, Çeviri Editörü: A. Doğan. Barış Kitapevi, İstanbul,
28. **GLADDEN, L.B., WELCH, H.G .(1978).** Efficiency of anaerobic work. *J Appl Physiol.* 44: 564-570.

29. **GUYTON, A.C. (1989).** Textbook of Medical Physiology, Çevirenler: N. Gökhan, H. Çavuşoğlu 3. Baskı İstanbul.
30. **GÜNAY, M. (1995).** Egzersiz Fizyolojisi Ders Notları, Gazi Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor Yüksek Okulu, Ankara.
31. **GÜNAY, M. (1998).** Egzersiz Fizyolojisi. Bağırhan Yayınevi, Ankara.
32. **HANSEN, J.E., SUE, D.Y., WASSERMAN, K. (1984).** Predicted values for clinical exercise testing. *Am.Rev. Respir. Dis.* 129: 49-55.
33. **HANSEN, J.E., CASABURİ. R., COOPER, D.M. (1988).** Oxygen uptake as related to work rate increment during cycle ergometer exercise. *Eur J Appl Physiol.* 57: 140-145.
34. **HENSON, C.L., POOLE, D.C., WHIPP, B.J. (1989).** Fitness as a determinant of oxygen uptake response to constant-load exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.* 59: 21-28
35. **HEY, E.N., LLOYD, B.B., CUNNINGHAM, D.J.C., JUKES, M.G.M., BOLTON, D.P.G. (1966).** Effects of various respiratory stimuli on the depth and frequency of breathing in man. *Respir. Physiol.* 1: 193-205.
36. **HUGHSON, R.L., MORRISSEY. M. (1982).** Delayed kinetics of respiratory gas exchange in the transition from exercise. *J. Appl. Physiol.* 52 (4):921-929.
37. **HUSZCZUK, A., WHIPP, B.J., WASSERMAN, K. (1990).** A respiratory gas exchange simulator for routine calibration in metabolic studies. *Eur. Respir. J.* 3: 465-468.
38. **JANICKI, J.S., WEBER, K.T., LIKOFF, M.J., FISHMAN, A.P. (1984).** Exercise testing to evaluate patients with pulmonary vascular disease. *Am. Rev. Respir. Dis.* 129 (suppl). 93-95.
39. **JANICKI, J.S., WEBER, K.T., McELROY, P.A. (1988).** Use of the cardiopulmonary exercise test to evaluate the patient with chronic heart failure. *European. Heart. Journal.* 9 (suppl). 55-58.
40. **JENKINS, J.S., VALCKE, C.P., WARD, D.S. (1989).** A programmable system for acquisition and reduction of respiratory physiological data. *Annals of Biomedical Engineering.* 17: 93-108.
41. **KALYON, T.A. (1990).** Spor hekimliği. Sporcu sağlığı ve spor sakatlıkları. Gata Basımevi, Ankara.
42. **KALYON, T.A. (1994).** Spor hekimliği, Gata Basımevi 2. Baskı Ankara.
43. **KEUL, J., DOLL, E., KEPPLER, D. (1972).** In: Energy Metabolism of Human Muscle, edited by E. Jokl and Ky. Lexington, Baltimore: University Park Press, p.135.

44. KOIKE, A., HIROE, M., ADACHI, H. (1992). Cardiac output \dot{V}_O_2 uptake relation during incremental exercise in patients with previous myocardial infarction. *Circulation*. 85:1713-1720.
45. KOIKE, A., HIROE, M., ADACHI, H., YAJIMA, T., YAMAUCHI, Y., NOGAMI, A., ITO, H., MIYAHARA, Y., KORENAGA, M., & MARUMO, F. (1994). Oxygen uptake kinetics are determined by cardiac function at onset of exercise rather than peak exercise in patients with prior myocardial infarction. *Circulation*. 90:2324-2332.
46. KUSHMERICK, M.J., MEYER, R.A., BROWN, T.R. (1992). Regulation of oxygen consumption in fast-and slow- twitch muscle. *Am. J. Physiol.* 263: C 598-606.
47. LAMARRA, N., WARD, S.A., WHIPP, B.J. (1989). Model implications of gas exchange dynamics on blood gases in incremental exercise. *J. Appl. Physiol.* 66 (4) 1539-1546.
48. LINNARSSON, D. (1974). Dynamics of pulmonary gas exchange and heart rate at start and end of exercise. *Acta. Physiol. Scand.* 415 (suppl.): 1-68.
49. LINDSEY, C.H., POOLE, C.D., WHIPP, B.J. (1989). Fitness as a determinant of oxygen uptake response to constant- load exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.* 59:21-28.
50. MATHEWS, D.K., FOX, E.L. (1976). *The Physiological Basis of Physical Education and Athletics*. Second Edition, W.B. Saunders Company: USA. 31-41.
51. McARDLE, W.D., KATCH, F., KATCH, V.L. (1991). *Exercise Physiology*. Lea and Febiger Malvern USA. 133-141
52. NOYAN, A. (1993). Yaşamda ve Hekimlikte Fizyoloji. 8. Baskı, Ankara.
53. OLDER, P., SMITH, R., COURTNEY, P. (1993). Preoperative evaluation of cardiac failure and ischemia in elderly patients by cardiopulmonary exercise testing. *Chest*. 104: 701-704.
54. OZCELİK, O., WARD, S.A., WHIPP, B.J. (1999). Effect of altered body CO_2 stores on pulmonary gas exchange dynamics during incremental exercise in humans. *Experimental Physiology*. 84: 999-1011.
55. PATESSIO, A., CASABURI, R., PREFAUT, C., FOLGERING, H., DONNER, C. (1997). Exercise training in chronic lung disease: exercise prescription. *Eur. Respir. Mon. Chapter 7*. 6. 129-146.
56. ROSTON, W.L., WHIPP, B.J., DAVIS, J.A., EFFROS, R.M., WASSERMAN, K. (1987). Oxygen uptake kinetics and lactate concentration during exercise in man. *Am. Rev. Respir. Dis.* 135: 1080-1084.

57. SALTIN, B., GOLLNICK, P.D. (1983). Skeletal muscle adaptability: significance for metabolism and performance. In: Handbook of Physiology. Section 10. Skeletal Muscle. Edited by L.d. Peachey. Bethesda, M.D, Am. Physiological Society, p.555.
58. SIETSEMA, K.E. (1992). Oxygen uptake kinetics during exercise in patients with pulmonary vascular disease. *Am. Rev. Respir. Dis.* 145: 1052- 1057.
59. STRINGER, W., CASABURI, R., WASSERMAN, K. (1992). Acid- base regulation during exercise and recovery in humans. *J. Appl.Physiol.* 72 (3): 954-961.
60. SPURWAY, N.C. (1992). Aerobic exercise, anaerobic exercise and the lactate threshold. *Brit. Med. Bulletin.* 48 (3): 569-591.
61. TAIVASSALO, T., MATTEWS, P.M., STEFANO, N., SRIPATHI, N., GENGE, A., KARPATI, G., ARNOLD, D.L. (1996). Combined aerobic training and dichloroacetate improve exercise capacity and indices of aerobic metabolism in muscle cytochrome oxidase deficiency. *Neurology.* 47:529-534.
62. TIMOTHY, R., McCONNELL, Ph.D., CHARLES, A., LAUBACH, M.D., CLARK, A. B. (1995). Value of gas exchange analysis in heart disease. *J. Cardiopulmonary Rehabil.* 15:257-261.
63. TORTORA, J.G. (1983). Principles of Human Anatomy, Third Edition, Newyork.
64. TUNCEL, N. (1994). Fizioloji, Anadolu Üniversitesi Yayını, No: 493, Ankara.
65. WAGNER, P.D. (2000). New ideas on limitation to VO₂max. *Exercise and Sports Science Reviews.* 28 (1): 10-14.
66. WASSERMAN, K., McILROY, M.B. (1964). Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. *Am. J. Cardiol.* 14: 844-852.
67. WASSERMAN, K., VAN KASSEL, A.L., BURTON, G.G. (1967). Interaction of physiological mechanisms during exercise. *J. Appl. Physiol.* 22: 71-85.
68. WASSERMAN, K., WHIPP, B.J. (1975). Exercise physiology in health and disease. *Am. Rev. Respir. Dis.* 112: 219-249.
69. WASSERMAN, K. (1990). Measures of functional capacity in patients with heart failure. *Circulation.* 81 (suppl). 1-4.
70. WASSERMAN, K., BEAVER, W.L., WHIPP, B.J. (1990). Gas exchange theory and the lactic acidosis (anaerobic) threshold. *Circulation.* 81 (Suppl II) : II-14-II-30.
71. WASSERMAN, K., HANSEN, J.E., SUE, D.Y., WHIPP, B.J., CASUBURİ, R. (1994). Principles of exercise testing and interpretation. Second edition Lea. Febiger.

72. **WEBER, K. T., JANICKI, J.S. (1985).** Cardiopulmonary exercise testing for evaluation of chronic cardiac failure. *Am. J. Cardiol.* 55: 22-31.
73. **WEBER, K.T., JANICKI, J.S., McELROY, P.A. (1987).** Determination of aerobic capacity and the severity of chronic cardiac and circulatory failure. *Circulation.* 76 (Suppl VI): VI-40-VI-45.
74. **WELTMAN, A., SNEAD, D., SEIP, R., SCHURRER, R., WELTMAN, J., RUTT, R., ROGOL, A. (1990).** Percentages of maximal heart rate, heart rate reserve and VO_2 max for determining endurance training intensity in male runners. *Int. J. Sports Med.* 11 (3):218-222.
75. **WHIPP, B.J., MAHLER, M. (1980).** Dynamics of pulmonary gas exchange during exercise. In: *Pulmonary Gas Exchange. Vol II*, ed., J.B: West (Ed.). New York: Academic Press, pp:33-96
76. **WHIPP, B.J., WASSERMAN, K., DAVIS, J.A., LAMARRA, N., WARD, S.A. (1980).** Determinants of O_2 and CO_2 kinetics during exercise in man. *Exercise bioenergetics and gas exchange.* Editörler: Cerretelli, P., Whipp, B.J. 175-185
77. **WHIPP, B.J., DAVIS, J.A., TORRES, F., WASSERMAN, K. (1981).** A test to determine parameters of aerobic function during exercise. *J. Appl. Physiol.* 50: 217-221
78. **WHIPP, B.J., DAVIS, J.A., WASSERMAN, K. (1989).** Ventilatory control of the isocapnic buffering region in rapidly-incremental exercise. *Respir. Physiol.* 76: 357-368.
79. **WHIPP, B.J., WARD, S.A., WASSERMAN, K. (1986)** Respiratory markers of the anaerobic threshold. *Adv. Cardiol.* 35: 47-64.
80. **WHIPP, B.J. (1987).** Dynamics of pulmonary gas exchange. *Circulation* 76 (suppl VI):18-28
81. **WHIPP, B.J., LAMARRA, N., WARD, S.A. (1987).** Required characteristics of pulmonary gas exchange dynamics for non-invasive determination of the anaerobic threshold. In: *Concepts and Formulations in the Control of Breathing*; edited by G Benchetrit, P. Baconnier and J. Demongeot. Manchester: Manchester University press, pp. 185-200.
82. **WHIPP, B.J., WASSERMAN, K. (1987).** Blood-gas and acid-base regulation. In: *The Lung*, chapter 152, edited by R.G. Crystal, J.B. West, et al. Lippincott Raven Publisher, Philadelphia, p: 2021-2031.
83. **WHIPP, B.J., WARD, S.A. (1992).** Pulmonary gas exchange dynamics and the tolerance to muscular exercise: effects of fitness and training. *Ann. Physiol. Anthropol.* 11 (3): 207-214.

84. **WHIPP, B.J. (1994).** The bioenergetic and gas exchange basis of exercise testing. *Clinics in Chest Medicine.* 15 (2):173-1291
85. **WHIPP, B.J. (1996).** Domains of aerobic function and their limiting parameters. In: *The Physiology and Pathophysiology of Exercise Tolerance.* Edited by Ward, S.a., Part 3, chapter 12, pp 83-89. Plenum Press . New York.
86. **WHIPP, B.J., WASSERMAN, K. (1996).** Exercise. *Textbook of Respiratory Medicine 2nd edition* editörler: Muray JF, Nadel JA, Vol 1: 219-250.
87. **WHIPP, B.J., WAGNER, P.D., AGUSTI, A. (1997).** Factors determining the response to exercise in healthy subjects. *Clinical Exercise Testing* (Eds Roca j. Whipp B J) 6: 3-31.
88. **YEH, M.P., GARDNER, R.M., ADAMS, T.D., YANOWITZ, F.G., CRAPO, R.O. (1983).** ' Anaerobic threshold': problems of determination and validation. *J. Appl. Physiol: Respir. Environ. Exerc. Physiol.* 55 (4): 1178-1186.
89. **YOSHIDA, T. (1990).** Gas exchange responses to ramp exercise. *Ann. Physiol. Antrop.* 9 (2): 167-173.
90. **ZEBALLOS, J.R., WEISMAN, I.M. (1994).** Behind the scenes of cardiopulmonary exercise testing. *Clinical exercise testing.* 15 (2) 193-213.
91. **ZHANG, Y.Y., JOHNSON II, M.C., CHOW, N., WASSERMAN, K. (1991).** Effect of exercise testing protocol on parameter of aerobic function. *Med. Sci. Sports Exerc.* 23 (5): 625-630.
92. **ZHANG, Y.Y., WASSERMAN, K., SIETSEMA, K., BEN-DOV, I., BARSTOW, T., MIZUMOTO, G., SULLIVAN, C. (1993).** O₂ uptake kinetics to response to exercise. *Chest.* 103: 735-41.

8. ÖZGEÇMİŞ.

1971 yılında Hatay'ın Kırıkhan ilçesinde doğdum. İlk ve orta öğrenimimi Kırıkhan'da Lise öğrenimimi ise Trabzon'da Trabzon Lisesinde tamamladım.1988 yılında Gazi Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor Bölümünde başlamış olduğum üniversite eğitimimi 1992 yılında Beden Eğitimi ve Spor Öğretmeni olarak tamamladım. 1992 yılında Trabzon Anadolu Lisesi'nde ilk öğretmenlik görevime başladım. 1994 1995 yılları arasında askerlik görevimi yedek subay olarak Ankara ve Tekirdağ'da tamamladım. 1996 Eğitim ve Öğretim yılında Elazığ Balakgazi Lisesine Beden Eğitimi ve Spor Öğretmeni olarak tayin edildim. 1999 yılında Fırat Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor Yüksek Okulun' da Araştırma Görevlisi olarak göreve başladım. Meslek yaşantım süresince çeşitli kulüplerde futbol oynadım. Futbol Antrenörlük ve Badminton Antrenörlük belgelerinin yanı sıra Türkiye Futbol Antrenörleri Derneği üyesiyim. Halen Fırat Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor Yüksek Okulun' da Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktayım.

9. TEŞEKKÜR.

Yüksek lisans eğitimime bilgi ve tecrübeleri ile büyük katkıda bulunan, tezimin hazırlanması süresince her türlü yardım ve desteklerini esirgemeyen danışman hocalarım Yrd. Doç. Dr. Oğuz ÖZÇELİK ve Yrd. Doç. Dr. Recep ÖZMERDİVENLİ' ye, Tez çalışmam sırasında yardımlarını gördüğüm Fizyoloji Anabilim Dalı Başkanı Sayın Prof Dr. Haluk KELEŞTİMUR' a, Yrd. Doç. Dr. Bayram YILMAZ, Yrd. Doç. Dr. Rasim MOĞOLKOÇ'a, ve asistan arkadaşlarıma. Tezimin her aşamasında bilgi, deneyim ve emeklerini benden esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Ahmet AYAR 'a ve Beden Eğitimi ve Spor Yüksek Okulu Müdürü Doç. Dr. Mehmet KUTLU'a bütün samimiyetimle teşekkür ederim.