

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DAYANIKLILIK GELİŞİMİNDE KULLANILAN
GÜNCEL KESİNTİLİ VE KESİNTİSİZ ANTRENMAN MODELLERİNİN
KARDİYOASKÜLER YANITLAR ÜZERİNE ETKİLERİ

Spor Sağlık Bilimleri Anabilim Dalı
Spor Bilimleri Doktora Programı

Doktora Tezi

Görkem Aybars BALCI

DANIŞMAN

Prof. Dr. Muzaffer ÇOLAKOĞLU

İZMİR

2018

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DAYANIKLILIK GELİŞİMİNDE KULLANILAN
GÜNCEL KESİNTİLİ VE KESİNTİSİZ ANTRENMAN MODELLERİNİN
KARDİYOASKÜLER YANITLAR ÜZERİNE ETKİLERİ

Spor Sağlık Bilimleri Anabilim Dalı
Spor Bilimleri Doktora Programı

Doktora Tezi

Görkem Aybars BALCI

DANIŞMAN

Prof. Dr. Muzaffer ÇOLAKOĞLU

İZMİR

2018

DEĞERLENDİRME KURULU ÜYELERİ

(Adı Soyadı)
(İmza)

Başkan Prof.Dr. Muzaffer ÇOLAKOĞLU
(Danışman)

Üye Prof.Dr. Cem Şeref BEDİZ

Üye : Prof.Dr. Bahtiyar ÖZÇALDIRAN

Üye Doç.Dr. Utku ALEMDAROĞLU

Üye Doç.Dr. Faruk TURGAY

Doktora Tezinin kabul edildiği tarih: 26.03.2018

ÖNSÖZ

Akademik hayatım boyunca bana yol gösteren, doktora tez süresince yardımlarını esirgemeyen tez danışmanın ve çok değerli hocam Prof. Dr. Muzaffer ÇOLAKOĞLU' na,

Tez çalışmamın başından sonuna kadar olan destekleriyle hep yanımda olan çalışma ekibimizdeki değerli hocam Doç. Dr. Özgür ÖZKAYA' ya,

Tez çalışmam süresindeki tüm yardımlarından dolayı değerli çalışma arkadaşım Hakan AS' a,

Değerli desteklerinden dolayı arkadaşlarım Okt. Ramazan AYDINOĞLU' na, ve Arş. Gör. Yasin YÜZBAŞIOĞLU' na,

Tez süresindeki bilimsel desteğini ve katkılarını hiçbir zaman esirgemeyen tez izleme komitesindeki hocalarım Prof.Dr.Cem BEDİZ' e ve Doç.Dr.Faruk TURGAY' a,

Çalışmaya gönüllü olarak katılan tüm sporculara ve değerli antrenörleri Bora BAYRAKTARLAR' a,

Hayatıma olan tüm desteğinden dolayı eşim Zeynep Selin BALCI' ya,

Son olarak sevgili aileme,

En İçten Teşekkürlerimi Sunarım...

İZMİR 2018

Görkem Aybars BALCI

ÖZET

Dayanıklılık gelişiminde kullanılan güncel kesintili ve kesintisiz antrenman modellerinin kardiyovasküler yanıtlar üzerine etkileri

Bu çalışmanın amacı, dayanıklılık geliştirmede kullanılan güncel antrenman modellerinin maksimal oksijen kullanım düzeyini (VO_{2maks}) oluşturan merkezi ve periferik bileşene ait gelişim potansiyellerini ortaya koymaktır. 5 farklı yüksek yoğunluklu antrenman modelinin (HIT), yüklenme ve toparlanma fazlarına ait O_2 kullanım düzeyi (VO_2) ve bu değeri oluşturan kardiyak çıktı (KÇ), kalp atım hacmi (KAH), kalp atım sayısı (KAS) ve arterio-venöz O_2 farkı ($a-vO_{2farkı}$) yanıtları analiz edildi. Çalışmaya orta ve ileri düzeyde antrene 8 erkek bisiklet sporcusu katıldı. Uyum seanslarını takiben, sporcuların aerobik güç ($\dot{V}O_{2maks}$) düzeyleri ölçüldü ve sonrasında bireysel maksimal KÇ, KAH, $a-vO_{2farkı}$, ve KAS düzeyleri ($KÇ_{maks}$), (KAH_{maks}), ($a-vO_{2farkı_maks}$), (KAS_{maks}), $\dot{V}O_{2maks}$ 'ın %40'ından %110'una kadar olan farklı egzersizlerle nitröz-oksit tekrar-soluma yöntemi kullanılarak saptandı. Daha sonra farklı günlerde rastgele şekilde beş farklı egzersiz modeli; HIT₁: VO_{2maks} 'ın ~%110'una denk gelen güç çıktısıyla ($p@~\%110 VO_{2maks}$) 45-sn \times 16 tekrar, 1:1 yüklenme/toparlanma (y/t) oranıyla kesintili model; HIT₂: $p@~\%95VO_{2maks}$ ile 3-dk \times 4 tekrar, 1:1 y/t oranıyla kesintili model; HIT₃: 1-dk $p@~VO_{2maks}$ + 4-dk $p@~$ Anaerobik eşik (AnE) yükünde \times 5 tekrar değişken yüklü kesintisiz model; HIT₄: 25-dk sabit yüklü kesintisiz model; HIT₅: vücut kütlelerinin %7,5'i ile 30-sn \times 6 tekrar, 1:7 y/t sprint yüklenme özellikli HIT modelleri maksimal eforla uygulandı. Elde edilen veriler arasındaki farklar tekrarlayan ölçüm varyans analizi sonrasında post-hoc olarak parametrik değerler LSD, nonparametrik değerler Wilcoxon testleriyle değerlendirildi. VO_{2maks} 'a %5 yakınlık kriterine göre bu düzeyde en uzun süreye HIT₂ modelinde ulaşıldı ($p<0.05$). $KÇ_{maks}$ düzeyinde geçirilen süre, kesintisiz HIT₃ ve HIT₄ modellerinde, kesintili HIT₁, HIT₂ ve HIT₅ modellerine oranla daha büyüktü ($p<0.05$). KAH_{maks} düzeyinde geçirilen süre HIT₄ modelinde, HIT₁ ve HIT₂ modellerine oranla daha büyüktü ($p<0.05$). $a-vO_{2farkı_maks}$ düzeyinde geçirilen süre, HIT₁ ve HIT₂ modellerinde HIT₃ ve HIT₄ modellerine oranla daha büyüktü ($p<0.05$). Ulaşılan laktat düzeyi ve egzersiz sonrası yağ oksidasyonu HIT₅ seansında daha yüksekti ($p<0.05$). Bu sonuçlar benzer VO_{2maks} düzeyine ulaşan farklı egzersiz modellerinin, VO_{2maks} ile ilişkili farkı bileşenlerin gelişiminde etkili olabileceğini göstermektedir. Kesintili HIT modellerinin periferik, kesintisiz HIT modellerininse VO_{2maks} 'ın merkezi bölümünü geliştirmede daha etkili olabileceği söylenebilir.

Anahtar kelimeler: Aerobik güç, kalp atım hacmi, maksimal oksijen kullanım düzeyi, nitröz-oksit tekrar soluma, performans

ABSTRACT

Effects of current continuous and intermittent training strategies used for endurance development on cardio-vascular responses

The purpose of the present study was to examine the potentials of the endurance-related training methods based on central and peripheral components of maximal oxygen consumption level ($\text{VO}_{2\text{max}}$). We analysed O_2 consumption (VO_2), cardiac output (Q), stroke volume (SV), heart rate (HR) and arteriovenous O_2 difference ($\text{a-vO}_{2\text{diff}}$) during 5 different regimes of high intensity training (HIT) loading and recovery periods for the aims. Eight well-trained male competitive cyclists take part in the study (age: 22.1 ± 3.1 years; body mass: 66.2 ± 8.5 kg; height: 175.4 ± 5.2 cm; body fat: $7.2\% \pm 1.1\%$; $\dot{\text{V}}\text{O}_{2\text{max}}$: 64 ± 5.61 $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$). Following familiarization sessions, $\text{VO}_{2\text{max}}$ was determined, and then, maximal SV, HR, Q and $\text{a-vO}_{2\text{diff}}$ (SV_{max}), (HR_{max}), (Q_{max}), ($\text{a-vO}_{2\text{diff}_{\text{max}}}$) were evaluated using exercise intensities corresponding to 40 to 110% of $\text{VO}_{2\text{max}}$ separately, by nitrous-oxide re-breathing method. Thereafter, training models; HIT₁: 16 repetitions with power at $\sim 110\%$ of $\text{VO}_{2\text{maks}}$ ($\text{p}@\sim 110\% \text{VO}_{2\text{maks}}$) for 45-sec with 1:1 work and recovery (w/r) ratio, intermittent model; HIT₂: 4 repetitions with $\text{p}@\sim 93\% \text{VO}_{2\text{maks}}$ for 3-min with 1:1 w/r ratio, intermittent model; HIT₃: 1-min with $\text{p}@\sim \text{VO}_{2\text{maks}}$ and 4-min with $\text{p}@\text{anaerobic threshold (AnT)} \times 5$ repetitions alternating continuous model; HIT₄: 25-min constant-load continuous model; HIT₅: 6 repetitions of 30-sec at 7,5% body weight with 1:7 w/r ratio sprint interval specific HIT model were performed. Maximal session effort prescription was adopted for all exercise sessions. After the repeated-measures analyses, possible significant differences will be investigated by post-hoc LSD test or Wilcoxon test. Time spent (T_{spent}) above 95% of $\text{VO}_{2\text{max}}$ is higher in HIT₂ session than other exercise modalities ($\text{p} < 0.05$). T_{spent} at Q_{maks} is higher in HIT₃ and HIT₄ sessions than Short and Long HIT ($\text{p} < 0.05$). T_{spent} at SV_{maks} was higher in Constant-Loading HIT session than HIT₁, HIT₂ and HIT₅ sessions ($\text{p} < 0.05$). T_{spent} at $\text{a-vO}_{2\text{diff}_{\text{max}}}$ were higher HIT₁ and HIT₂ sessions than HIT₃ and HIT₄ sessions. Maximal lactate and maximal post exercise fat oxidation were attained in HIT₅ session ($\text{p} < 0.05$). These results show that different exercise modalities reaching similar $\text{VO}_{2\text{max}}$ levels may be effective in the development of different components associated with $\text{VO}_{2\text{max}}$. It may be said that continuous HIT modalities are more appropriate to improve central component of $\text{VO}_{2\text{max}}$, while intermittent HIT modalities seems better for peripheral one.

Keywords: *Aerobic power, maximal oxygen consumption, nitrous-oxide rebreathing, performance, stroke volume*

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
TABLolar DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
RESİMLER DİZİNİ.....	ix
GİRİŞ.....	1
1.1. Araştırmanın Amacı.....	3
1.2. Araştırmanın Hipotezleri.....	4
1.3. Araştırmanın Önemi.....	4
1.4. Sınırlılıklar.....	4
1.5. Varsayımlar.....	5
1.6. Tanımlar.....	5
2. GENEL BİLGİLER.....	7
2.1. Yüksek Yoğunluklu İnterval Antrenman Yönteminin Tarihi.....	7
2.2. Dayanıklılık Performansında Anaerobik Eşiğin Önemi.....	9
2.3. Aerobik Güç Antrenman Uygulamalarının Genel Perspektifleri.....	10
2.4. Dayanıklılık Performansında Merkezi ve Periferik Bileşenin Önemi.....	14
2.5. Dayanıklılık Performansında Arteriyo-Venöz Oksijen Farkının Önemi.....	16
2.6. Dayanıklılık Performansını Değerlendirmede Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar.....	18
2.7. Yüksek Yoğunluklu Antrenmanların (HIT) Yarattığı Fizyolojik Uyaranlar.....	19
3. GEREÇ VE YÖNTEM.....	22
3.1. Araştırmanın Tipi.....	22
3.2. Kullanılan Gereçler.....	22
3.2.1. Cihazlar.....	22
3.2.2. İklimlendirme Odası.....	22
3.2.3. Test Ergometresi.....	23
3.3. Kullanılan Yöntemler.....	23
3.3.1. Araştırmanın evreni ve Örneklemi.....	23
3.3.2. Egzersiz Modelleri.....	24
3.3.3. Deneysel Tasarım.....	24
3.3.4 Pilot Çalışma.....	25
3.3.5. Ölçüm Yöntemleri.....	26

3.3.5.1. Kardiyak performans ölçümleri ve gaz analizleri.....	26
3.3.5.2. Laktat Ölçümleri.....	28
3.3.5.3. Yağ Oksidasyonu ve Enerji Tüketiminin Hesaplanması.....	28
3.3.5.4. VO_{2maks} Düzeyinde Geçirilen Süre ve Alan Analizi.....	29
3.3.5.5. KAH_{maks} , $KÇ_{maks}$, $a-vO_{2farkı_maks}$ ve KAS_{maks} Düzeyinde Geçirilen Süre Analizi	29
3.4. Prosedürler	30
3.4.1. Uyum Seansı	30
3.4.2. Submaksimal VO_2 Testi.....	30
3.4.3. VO_{2maks} testi	31
3.4.4. Bireysel KAH_{maks} , $KÇ_{maks}$, $a-vO_{2farkı_maks}$, KAS_{maks} Düzeylerinin Belirlenmesi	31
3.4.5. İnterval Egzersiz Uygulamaları.....	32
3.5. İstatistiksel Analizler	32
4. BULGULAR.....	34
5. TARTIŞMA.....	54
5.1. HIT'lerde Yüklenme Süresi ve Şiddet İlişkisi	56
5.2. Kesintisiz ve Kesintili HIT'ler	61
5.3. HIT'lerde Yüklenme Toparlanma İlişkilerinin Etkileri.....	70
5.4. Sprint İnterval Özellikli HIT Antrenman Modeli.....	74
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	79
7. KAYNAKLAR.....	81
8. EKLER.....	108
8.1. EK 1: BİLGİLENDİRİLMİŞ GÖNÜLLÜ OLUR FORMU	108
8.2. EK 2: ETİK KURUL ONAY FORMU	113
9. ÖZGEÇMİŞ.....	114

KISALTMALAR DİZİNİ

a-vO₂farkı_{maks}: maksimal arterio-venöz oksijen farkı

a-vO₂farkı: arterio-venöz oksijen farkı

AZD: algılanan zorluk derecesi

HIT: High intensity training

KAH: kalp atım hacmi

KAH_{maks}: Maksimal kalp atım hacmi

KAS: kalp atım sayısı

KAS_{maks}: Maksimal kalp atım sayısı

KÇ_{maks} : maksimal kardiyak çıktı

KÇ: kardiyak çıktı

KMT: kademeli maksimal egzersiz testi

N₂O: nitroz oksit

N₂O_{Ts}: nitroz oksit tekrar solutulma yöntemi

SDO: solunumsal değişim oranı

SF₆: kükürt Hekzflörür (asal gaz)

SIT: Sprint interval training

T_{maks}: aerobik güç düzeyinde geçirilen süre

VCO₂: karbondioksit tüketimi

VO₂: oksijen tüketimi

VO_{2maks}: Maksimal aerobik güç

W: Watt

y/t: yüklenme/toparlanma

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1 - Katılımcıların tanımlayıcı istatistikleri (n=8)	34
Tablo 2 - Egzersiz modellerine ait ortalama güç çıktıları	34
Tablo 3 - Egzersiz modelleri sırasında ilgili parametrelerin zirve değerleri	46



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1 - Deneysel Akış Şeması	26
Şekil 2 - Katılımcıların VO_{2maks} düzeylerinde geçirdikleri sürelerin (VO_{2maks} 'a %5 yakın olma kriterine göre) egzersiz modellerine göre karşılaştırılması	35
Şekil 3 - Katılımcıların VO_{2maks} düzeylerinde geçirdikleri sürelerin (VO_{2maks} 'a %10 yakın olma kriterine göre) egzersiz modellerinde karşılaştırılması	36
Şekil 4 - Egzersiz seansları sırasındaki enerji tüketim değerleri	36
Şekil 5 - Egzersiz seansları sonrasındaki (2 saatlik) enerji tüketim değerleri	37
Şekil 6 - Egzersiz seansları sonrasındaki (2 saatlik) yağ oksidasyonu değerleri	38
Şekil 7 - Egzersiz seanslarında ulaşılan maksimal laktat düzeyleri	38
Şekil 8 - Katılımcıların VO_{2maks} düzeylerinde geçirdikleri sürelerine ait alan analizinin (VO_{2maks} 'a %5 yakın olma kriterine göre) egzersiz modellerine göre karşılaştırılması	39
Şekil 9 - Katılımcıların VO_{2maks} düzeylerinde geçirdikleri sürelerine ait alan analizinin (VO_{2maks} 'a %10 yakın olma kriterine göre) egzersiz modellerine göre karşılaştırılması	40
Şekil 10 - %90 $KÇ_{maks}$ Üzerinde Geçirilen Süre	40
Şekil 11 - %95 $KÇ_{maks}$ Üzerinde Geçirilen Süre	41
Şekil 12 - %90 KAH_{maks} Üzerinde Geçirilen Süre	42
Şekil 13 - %95 KAH_{maks} Üzerinde Geçirilen Süre	43
Şekil 14 - %90 KAS_{maks} Üzerinde Geçirilen Süre	43
Şekil 15 - %95 KAS_{maks} Üzerinde Geçirilen Süre	44
Şekil 16 - %90 $a-vO_{2fark1_maks}$ Üzerinde Geçirilen Süre	45
Şekil 17 - %95 $a-vO_{2fark1_maks}$ Üzerinde Geçirilen Süre	45
Şekil 18 – HIT ₁ : Kısa yüklenme süreli kesintili seanstaki (45" × 16 set, $p@ \sim 110VO_{2maks}$) hemodinamik ve metabolik parametrelerin değişimi	47
Şekil 19 – HIT ₂ : Uzun yüklenme süreli kesintili seanstaki (3' × 4 set, $p@ \sim 93VO_{2maks}$) hemodinamik ve metabolik parametrelerin değişimi	48
Şekil 20 - HIT ₃ : Değişken yüklü kesintisiz seanstaki (1' $p@ \sim VO_{2maks}$ + 4' $p@ AnE$ yükünde × 5 set) hemodinamik ve metabolik parametrelerin değişimi	49
Şekil 21 - HIT ₄ : Sabit yüklü kesintisiz seanstaki (25' $p@ \sim 80VO_{2maks}$) hemodinamik ve metabolik parametrelerin değişimi	50
Şekil 22 - HIT ₅ : Sprint özellikli HIT seansındaki (30-s × 6 tekrar, yük: %7,5 vücut kütlesi) bazı hemodinamik ve metabolik parametrelerin değişimi	51

RESİMLER DİZİNİ

Resim 1 - İklimlendirme Odası ve Test Düzeneği.....	23
--	----



GİRİŞ

Aerobik dayanıklılık antrenmanlarıyla birlikte oluşan birçok metabolik ve fizyolojik adaptasyonun, kas hücresindeki enerji ihtiyacına yanıt olarak oluştuğu kabul edilir. Şiddet, yüklenme süresi, kapsam ve yüklenme toparlanma oranı gibi antrenman bileşenlerinin farklılaşması, kas hücresindeki belirli metabolik yollar devreye sokularak kasın kullanımına sunulacak O_2 miktarını değiştirir ve kronik uyumları farklılaştırır. Dolayısıyla, hem sistemik hem de hücresele düzeyde gerçekleşen bu adaptasyonların niteliği ve niceliği antrenman programının karakteristik özelliklerine göre değişir (1). İstirahat durumundan yoğun egzersize kadar farklı metabolik hızlarda ihtiyaç duyulan O_2 'yi sağlamak için dolaşım sisteminin faaliyeti merkezi ve periferik yollarla sürekli olarak düzenlenir (2,3). Dolaşım sisteminin merkezi bileşeni, kalbin bir seferde pompaladığı kan miktarının (Kalp Atım Hacmi; KAH) bir dakikadaki atım sayısı ile (Kalp Atım Sayısı; KAS) çarpımından oluşan kardiyak çıktıyı (KÇ) ifade ederken, dokuların O_2 kullanım düzeyini (VO_2) belirleyen $a-vO_{2\text{farkı}}$ ise periferik düzeyde O_2 kullanımının işaretçisidir. VO_2 düzeyi bu merkezi (KÇ) ve periferik ($a-vO_{2\text{farkı}}$) parçaların sayısal olarak çarpımı üzerinden hesaplanır. Bu değer en yüksek sınırlarına ulaşarak maksimum oksijen tüketimini ($VO_{2\text{maks}}$) açığa çıkabilmesi için KAH, KAS ve $a-vO_{2\text{farkı}}$ değerlerinin potansiyel olarak en üst düzeylerine ulaşmaları gerekir. KÇ, deniz seviyesindeki sağlıklı bireylerde $VO_{2\text{maks}}$ düzeyini sınırlayan birincil faktördür (4,5). Maksimal egzersizler sırasında yorgunluk yaratan temel ölçütün KAH'de azalmaya bağlı olarak KÇ'deki düşüş ve iskelet kaslarına iletilen O_2 miktarında azalma olduğu söylenmektedir. KAH'deki düşüşü KAS artışı kompanze etmeye çalışırken, iskelet kaslarına iletilen O_2 miktarındaki azalmayı $a-vO_{2\text{farkı}}$ artışının telafi etmeye çalıştığı rapor edilmiştir (6,7). KAH'deki bu düşüşe, venöz dönüşün ve kardiyak kontraktilitenin azalması gibi birçok faktör etkilidir (8,9). Antrenmana adaptasyonla birlikte KÇ, maksimum KAH artışıyla birlikte yükselir. Bu sırada KAS bir miktar düşer ya da sabit kalır (10). Dolayısıyla $a-vO_{2\text{farkı}}$ ya da KAS'a kıyasla, KAH artışının $VO_{2\text{maks}}$ gelişiminde daha önemli bir faktör olduğu iddia edilir (9,11). Özellikle miyokardın morfolojik adaptasyonu ile artan plazma ve kan volümlerine bağlı olarak artış gösteren maksimum KAH'ın (KAH_{maks}) kardiyak adaptasyon etkileri, maksimum KAS'daki (KAS_{maks}) azalmayla da gözlenebilir (12). Bu değişimler maksimum yüklenmelerde daha yüksek bir KÇ düzeyi ve aynı iş yükünde daha etkili bir kas ve deri kan akışı sağlar (13,14).

VO_{2maks} 'ı geliştirmede yıllardır kullanılan geleneksel antrenman yöntemleri, submaksimal yoğunlukta kesintisiz ya da fartlek (hız oyunu) tarzı değişken hızlarda uzun süreli ve devamlı yüklenmeler içeren yöntemlerdi (15–17). Kesintili (interval) antrenman yöntemlerinin saha kullanımları 1910'lara ve ilk akademik çalışmaları 1960'lara dayansa da bu antrenman uygulamalarının önemi 1990'lı yılların sonunda yapılan önemli çalışmalarla anlaşılmıştır. Kesintili yüklenme yapısı, kesintisiz antrenman metotlarıyla yeterli antrenman hacimleri oluşturmaya yetecek düzeylerde sürdürülemeyecek kadar yüksek şiddetlerde gerçekleştirilir. Bu durum, kısa süreli ancak çok sayıda (tekrarlanan) yüklenmeler yoluyla gerekli antrenman yoğunluklarına ulaşma imkânı sunar (18–20). Dolayısıyla, interval antrenman yöntemleri hem aerobik hem de anaerobik performans gelişiminde en etkili antrenman yaklaşımları olarak kabul görmektedir. Fizyolojik sabit durum veren egzersiz şiddetleri (Kritik güç, maksimal laktat dengesi, solunumsal anaerobik eşik) altındaki şiddetlerle uygulanan “aerobik intervaller”, egzersiz seansı süresince ilgili yük/hızlarda geçirilen zamanı, egzersiz seansına ait toplam O_2 tüketimi düzeyini arttırmada ve kardiyovasküler sapmanın olası olumsuz etkilerini gidermek için önemli antrenman stratejileri olarak değerlendirilebilirler (21). Diğer yandan fizyolojik sabit durum veren yük/hız üzerindeki şiddetlerde uygulanan egzersizler “yüksek yoğunluklu antrenman” (high intensity training; HIT ya da high intensity interval training; HIIT) olarak nitelendirilir. Doğru planlanmış HIT'ler yoluyla hem VO_{2maks} düzeyinde, hem de onu oluşturan merkezi ($KÇ_{maks}$) ve periferik ($a-vO_{2fark1_maks}$) bileşenlerin en yüksek zirve düzeylerinde (en yüksek değere %5–10 yakın düzey) egzersiz yanıtları almak mümkündür (22,23).

VO_{2maks} 'ı geliştirmede kullanılan güncel HIT metotları genel olarak VO_{2maks} 'a karşılık gelen kassal güç üretim düzeyleri ($p@VO_{2maks}$) ya da koşu hızlarının ($v@VO_{2maks}$) %85–120'sine karşılık gelen egzersiz şiddetlerinde uygulanır. Kesintili olarak uygulanan metotların yüklenme süreleri 15 saniyeden VO_{2maks} 'ı sürdürebilme sınırlarına kadar (4–6 dakika) değişebilmektedir (23–25). Konuya ait terminolojide yüklenme süresi 60 saniyeden kısaysa “kısa HIT”, 2 dakikadan daha uzunsa “uzun HIT” olarak bir sınıflandırma yapılmıştır (11). Bu uygulamaların y/t oranları 1:0,5 ve 1:1 dolaylarındadır (25,26). Diğer yandan yıllar öncesinde yalnızca sürat ve süratte devamlılık geliştirmede kullanılan sprintlerin, günümüzde aerobik güç ve kapasite geliştirmede etkili uygulamalar olabileceği düşünülmektedir. Özellikle 2000'li yıllardan bu yana supramaksimal egzersiz şiddetlerinde ($>%130 VO_{2maks}$) uygulanan

sprint interval özellikli antrenman rejiminin aerobik dayanıklılık geliştirici etkilerini vurgulayan önemli çalışmalar mevcuttur (27–32). Genel olarak sprint interval özellikli bu antrenman uygulamaları HIT türevleri olarak değerlendirilirler. Burada yüksek yoğunluğu yaratan egzersiz bileşeni yalnızca şiddet değildir. Egzersiz şiddetinin yanı sıra her bir yüklenmenin süresi, yüklenme/toparlanma oranları (y/t) ya da toplam kapsam da “yüksek yoğunluk” oluşturmada etkili egzersiz bileşenleridir (33,34).

Aerobik güç gelişim potansiyelini belirleme hedefiyle yapılan farklı egzersiz şiddet / süreleri içeren HIT’lerde zirve düzeyinde VO_2 yanıtlarına ulaşabilse de VO_{2maks} ’ı oluşturan bileşenlerden herhangi biri için zirve yanıt sağlamıyor olabilir. Dolayısıyla dayanıklılık antrenmanları için gerekli olan VO_{2maks} gelişimini tetikleyecek ve ayrıca VO_{2maks} ’ı oluşturan her bir bileşen için en doğru uyarımı sağlayacak egzersiz yönteminin saptanması bu tez çalışmasının temel hedefidir. Literatürde bilginiz dahilindeki hiçbir çalışma egzersizlere ait VO_2 ve bu değeri oluşturan KÇ, KAH ve $a-vO_{2farkı}$ yanıtlarının HIT uygulamaları sırasında bireysel maksimum değerlere yakınlık potansiyellerini incelememiştir. Diğer yandan HIT uygulamalarının muhtemel etkileri, hem egzersiz hem de toparlanma periyotlarına ait parametreler incelenerek değerlendirilmemiştir. Karşılaştırılan HIT örnekleri sadece sınırlı sayıdaki çalışmalarda maksimal eforla sonlandırılmıştır (23,24,35–42). Diğer yandan HIT etkilerini, geleneksel düşük şiddetli kesintisiz egzersizler kullanarak karşılaştırmalar yapıp, daha yüksek fizyolojik potansiyelleri açığa çıkarttıkları iddia etmişlerdir (30,43–47). Dahası araştırmaların geneli aerobik güç gelişiminin merkezi boyutlarına odaklanmış ve egzersizlere bireysel $a-vO_{2farkı}$ yanıtları ya da $a-vO_{2farkı_maks}$ ’da geçirilen zaman ihmal etmiştir. (36,47–49).

Sonuç olarak, VO_{2maks} gelişiminde kullanılan yenilikçi antrenman yöntemlerinin geliştirici potansiyel akut etkilerinin üst düzey antrene homojen bir grupla değerlendirildiği, bu yöntemlerin hem yüklenme hem de toparlanma fazlarına ait VO_2 yanıtları ve bu değeri oluşturan KÇ, KAH, KAS ve $a-vO_{2farkı}$ yanıtların her bir parametre için bireysel maksimum değerlere yakınlık potansiyelini temel alıp analiz ederek söz konusu HIT yöntemlerinin kıyaslandığı bir çalışma bulunmamaktadır.

1.1. Araştırmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı; dayanıklılık geliştirmede güncel olarak kullanılan beş farklı antrenman modelinin; HIT_1 : VO_{2maks} ’ın $\sim\%110$ ’una denk gelen güç çıktısıyla ($p@ \sim\%110 VO_{2maks}$) 45-sn \times 16 tekrar, 1:1 y/t oranıyla kesintili model; HIT_2 :

$p@ \sim \%93VO_{2maks}$ ile 3-dk \times 4 tekrar, 1:1 y/t oranıyla kesintili model; HIT₃: 1-dk $p@ \sim VO_{2maks} + 4$ -dk $p@ \sim$ Anaerobik eşik (AnE) yükünde \times 5 tekrar değişken yüklü kesintisiz model; HIT₄: 25-dk sabit yüklü ($p@ \sim \%80VO_{2maks}$) kesintisiz model; HIT₅: vücut kütesinin %7,5'i ile 30-sn \times 6 tekrar, 1:7 y/t sprint yüklenme özellikli HIT modelleri maksimal eforla uygulatılıp, yüklenme ile toparlanma VO_2 'si ve bu değeri oluşturan KÇ, KAH, KAS ve $a-vO_{2farkı}$ yanıtlarını inceleyip ilgili parametrelerin maksimum düzeylerini göz önünde bulundurarak, antrenman modellerinin VO_{2maks} düzeyini oluşturan merkezi ve periferik bileşenlere ait gelişim potansiyellerini analiz etmektedir.

1.2. Araştırmanın Hipotezleri

Bu çalışmanın hipotezleri; a) HIT₃ modelinin, diğerlerine oranla %95 VO_{2maks} ve %95 KÇ_{maks} üzerinde daha fazla süre geçireceği, b) HIT₂ modelinin diğer modellere oranla %95 $a-vO_{2farkı-maks}$ dolaylarında daha fazla süre geçireceği ve daha büyük KÇ_{maks} yanıtına ulaşılacağı, c) HIT₄ modelinin diğer modellere oranla %95 KAH_{maks} ve üzerinde daha fazla süre geçireceği, d) HIT₅ modelinin diğer modellere göre daha büyük KAH ve laktat yanıtı ve egzersiz sonrası 2 saatlik süre boyunca daha büyük enerji ve yağ oksidasyonu sağlayacağı, e) HIT₁ modelinin diğer modellere oranla egzersiz seansındaki ortalama VO_2 'nin daha yüksek olacağıydı.

1.3. Araştırmanın Önemi

Bu yolla antrenör ve sporculara performans gelişiminde en etkili antrenman yöntemlerinin seçiminde, antrenman periyotlarını daha nitelikli olarak düzenlemede ve ilgili dönemlerde zirveleme stratejilerini oluşturmada önemli katkılar sağlamak amaçlanmaktadır. Ek olarak, spor bilimleri çevrelerinde alanla ilgili yeni tartışmaların oluşmasında ve bağlantılı araştırma projelerinin geliştirilmesinde ve kardiyovasküler hastalık risklerinin önlenmesi ve kardiyak rehabilitasyon alanlarında kullanılacak egzersiz modellerinin oluşturulmasında tıbbi bilimlere önemli katkılar sağlamak amaçlanmaktadır.

1.4. Sınırlılıklar

Bu tez çalışmasının sınırlılıkları, çalışmada kullanılan nitroz oksit tekrar soluma (N_2O_{TS}) yönteminden dolayı, egzersizlerdeki yüklenme ve toparlanma fazlarına ait KÇ, KAH ve $a-vO_{2farkı}$ yanıtlarının farklı seanslarda elde edilmesidir. Ayrıca çalışmada kullanılan kesintili ve kesintisiz egzersiz modelleri, aerobik gücü

geliştirmede sıklıkla tercih edilen modeller olsa da, hem egzersizlerin süresi hem de yüklenme/toparlanma oranlarını belirli seviyelerde sınırlandırmak diğer olası farklı şiddet, kapsama ya da yüklenme dinlenme oranlarına ait antrenman varyasyonlarını göz ardı etmemize neden olmaktadır. Bu tez çalışmasının diğer bir sınırlılığıysa beş farklı antrenman yöntemine karşılık sadece sekiz adet katılımcı kullanılarak testlerin tamamlanmasıdır. Ancak bu konuyla ilgili literatürdeki referans çalışmalar benzer sayıdaki örneklem gruplarıyla yapmışlardır (50,51). Bu bağlamda tez çalışmasında karşılaşılan zorluksa egzersiz modellerinin maksimal efor ve sabit süre sınırlamasıyla yapılmasından dolayı bireysel en uygun yükün belirlenmesinin oldukça zor olmasıdır. Dolayısıyla 8 adet iyi antrene sporcunun tez çalışmasından 6 ay öncesinden itibaren belirlenen antrenman modellerine adaptasyonlarının düzenli şekilde laboratuvar ergometresinde sağlanması çalışmada karşılaşılan diğer bir zorluk olarak ifade edilebilir.

1.5. Varsayımlar

- Katılımcıların verdikleri beyana göre performans artırıcı ilaç vb. maddeleri almadıkları varsayılmıştır.
- Test seansları öncesindeki diyet, uyku, egzersiz düzenlemelerine uydukları varsayılmaktadır.
- Egzersiz modellerine ait yüklenme ve toparlanma fazlarına ait ölçümler iki farklı seansta tamamlanıp, bu seansların VO₂ ve KAS yanıtlarının benzer olmasından dolayı yarattığı fizyolojik yüklerde benzer olduğu varsayıldı.

1.6. Tanımlar

Maksimal Oksijen Kullanım Düzeyi: Vücudun kullanabileceği azami oksijen miktarıdır. 1 dakikada kilogram başına tüketebilecek maksimal O₂ düzeyi olarak ifade edilmektedir (ml·dk·kg⁻¹). <45 ml·dk·kg⁻¹ düzeyindeki bireyler sedanter, 45-60 ml·dk·kg⁻¹ düzeyindeki bireyler rekreasyonel olarak aktif, 60-75 ml·dk·kg⁻¹ düzeyindeki bireyler iyi düzey antrene, >75 ml·dk·kg⁻¹ düzeyindeki bireyler elit düzeyde sporcu olarak kabul edilmektedir (52).

Kardiyak Çıktı: Kalbin 1 dakikada pompaladığı kan miktarıdır (lt·dk⁻¹).

Kalp Atım Hacmi: Kalbin 1 seferde pompaladığı kan miktarıdır (ml·atım⁻¹).

Kalp Atım Sayısı: Kalbin 1 dakikadaki atım sayısı (atım·dk⁻¹).

Arterio-venöz O₂ Farkı: Arteriel ve venöz kandaki oksijen miktarlarının farkıdır.

Yüksek Yoğunluklu Antrenman (HIT): Anaerobik eşik üzerindeki şiddetlerle organizmada yorgunluğu oluşturacak kapsamda yapılan egzersizlerdir.



2. GENEL BİLGİLER

2.1. Yüksek Yoğunluklu İnterval Antrenman Yönteminin Tarihi

İnterval antrenmanın fiziksel kondisyonda yeni veya çığır açan bir bilimsel yaklaşım olması anlayışı eskilere dayanmaktadır. Temel uygulama tarihi aslında 20. yüzyılın başlarına dayanmakla birlikte, yenilikçi yaklaşımlar sporcular ve antrenörlerin deneme ve hata gözlemlene aktiviteleri sonucu gelişmiştir. Tekniğin öncüsü şampiyon koşucular Hannes Kolehmainen (1912 Stockholm Olimpiyatlarında 3 olimpiyat şampiyonluğuna sahiptir) ve Paavo Nurmi'yle birlikte (1920 ile 1928 yılları arasında 9 olimpiyat şampiyonluğu vardır) Finlandiyalı antrenör Lauri Pikhala'dır. Nurmi'nin antrenmanları, yarış temposuna çok yakın olacak şekilde fazla sayıda (20'den fazla) tekrar koşuları arasında kısa (60 saniyeden az) dinlenmelerden oluşurdu. Ayrıca farklı egzersiz şiddet ve sürelerinin kullanıldığı fartlek adı da verilen, kros koşusu ve kayağı gibi (yokuş yukarı, yokuş aşağı ve düz) çeşitli dayanıklılık sporlarının egzersiz süreçlerinden de kullanılırdı. 1930'lu yıllarda, Alman antrenör Woldemar Gerschler ve kardiyolog Herbert Reindel, kalp atım sayısı alanlarına dayalı yüklenme ve toparlanma periyotlarından oluşan yeni bir antrenman sistemi oluşturmuştur. Bu yaklaşımda bir sporcu kısa mesafeyi dakikada 180 kalp atış hızına ulaşacak kadar hızlı koşmalı ve devamında da, tekrar efora başlamadan önce kalp atışını dakikada 120'ye düşürecek kadar bir dinlenme periyodu geçirmeliydi. Gerschler ve Reindel'e göre toparlanma intervali, yaklaşımlarının en önemli parçasıydı çünkü kalbin adaptasyonu, büyümesi ve güçlenmesi, bu aşamada oluyordu (19). İnterval antrenmanı ünlü eden en önemli atletlerden birisi ise Çekoslovakyalı koşucu Emil Zatopek'ti. 1952'de üç olimpiyat altın madalya sahibi Zatopek, her gün, aralarına 200 metre toparlanma koşularını serpiştirdiği 100×400 metre'ye kadar çıkan hacimlerde koşular içeren kısa interval antrenmanlar yapardı. O dönemde antrenörler, hiçbir fizyolojik parametreyi hesaba katmadan, interval yoğunluğu reçeteleri için özel yarışma hızlarını 800 ile 5000 metrede eforlarında kullanıyordu (20). İnterval antrenmanının en ünlü sporcularından bir diğeri ise 1 mil'i 4 dakika altında koşan ilk kişi ünvanını taşıyan Sir Roger Bannister'dir. Londra'da tıp öğrencisi olan Bannister sadece öğle aralarında her biri ~60-sn olan 10 × 400 metre antrenmanının 2 dakika arayla yaptıktan sonra hastaneye işinin başına geri dönmekteydi. Bu antrenman sayesinde 1 mil mesafeyi 6 Mayıs 1954 yılında 3 dakika 59 saniye koşarak önemli bir

rekor kırmış oldu (19). Antrenörler de sporcular da 20. yüzyılın başından beri interval antrenmanların etkisini kabul etse de, intervallerin performansa etkisinin fizyolojik temellerine dair ilk bilimsel yayınlar 1960'larda yayımlandı. İnterval antrenmanın bir bilimsel dergideki ilk tanımını Reindell ve Roskam, 1959'da yaptı. 1960'da, Irma ve Per Olaf Astrand ile Erik Hohwü Christensen'dan oluşan İsveçli araştırma grubu, interval antrenman ile ilgili önemli çalışmaları yayımladı. Bu çalışmalarda, farklı çalışma süreli interval egzersizlere karşın, kesintisiz egzersizlerde elde edilen akut kalp atış hızı, oksijen kullanımı ve laktat yanıtlarını incelediler. Saltin ve arkadaşları, 1976'daki incelemelerinde, kısa intervaller boyunca, zirve-antrenman yükü ve toparlanma aşamaları arasındaki düşük kan laktat seviyeleri ve VO₂ yanıtları rapor etmişlerdir. Bunun yanı sıra bu çalışmalarında, uzun intervallerin de antrenman ve toparlanma aşamalarındaki VO₂ değerleri arasında farklılık gösterdiğini ve yüksek laktat seviyelerine ulaşıldığını rapor ettiler (53). Bu çalışmalar, dayanıklılık sporcularının egzersiz performanslarındaki gelişmelere odaklanmıştır. Üstelik maksimal laktatın sabit durumdaki koşu hızı ile maksimal VO₂ ortaya çıkaran zirve şiddetleri konu etmişlerdir. Sonraki yıllarda bu tür interval antrenmanların halk sağlığıla ilintili uygulamaları gittikçe daha çok rağbet görmeye başladı. 1974'te Ohio Üniversitesi'nden fizyolog Edward Fox ve Donald Matthews, antrenörler, sporcular ve sağlık için egzersiz yapmak isteyen insanlara uygulanabilecek en iyi egzersiz yönteminin interval antrenmanın olduğunu belirtmişleridir (54). Gerschler ve Reindel gibi Fox ve Matthews da, kardiyovasküler dayanıklılığı geliştirmek için toparlanma periyodu içeren egzersiz yöntemlerinin önemini vurgulamıştır (54). Sonraki yıllarda sağlıklı bireylerin yanı sıra sağlıksız kişilerde de interval egzersizler uygulanmaya başladı. 1990'ların ortasında Katarina Meyer, interval egzersiz metodunun, kalp yetmezliği olan hastalara uygun olduğunu ortaya çıkardığı çalışmasında, "aynı yoğunluğun kesintisiz uygulanmasıyla muhtemelen yeterli sürelerde tolere edemeyecek olan hastaların, interval tipi egzersizlerde daha fazla uyarana tepki verdiğini ve daha uzun süreler tolere edebildiklerini" belirtmiştir (55). Geçtiğimiz son 10 yılda, aerobik yüksek-yoğunluklu interval antrenmanlar sadece sağlıklı insanların uygulamadığı ayrıca kronik hastalıkların tedavisinde de sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Bu nedenle interval egzersizlerinin halk sağlığına yönelik uygulamaları son yıllarda önem kazanmıştır (56). Günümüzdeyse sprint özellikli HIT'ler (sprint interval antrenmanları) veya tekrarlı-sprint antrenmanlar (kısa maksimal yoğunluk süreleri içeren sprintler) egzersiz fizyolojisi araştırmalarının odağı oldu. Tekrarlı kısa

maksimal sprintler, aerobik dayanıklılığı geleneksel dayanıklılık antrenmanlara oranla benzer düzeyde geliştirerek, üstelik bunu yüksek düzeyde zaman tasarrufu sağlayarak yapmasından dolayı (düşük-hacim, yüksek-yoğunluklu sprint interval antrenman) antrenman programlarında sıklıkla tercih edilmektedir (19,57,58). Hala günümüzde sprint interval antrenmanları ve yüksek yoğunluklu interval antrenmanları spor bilimlerinde popüler araştırma konuları ve fitness trendinin zirvesindeki uygulamalardır.

2.2. Dayanıklılık Performansında Anaerobik Eşiğin Önemi

Dayanıklılık sporları VO_{2maks} düzeyi çok önemli olsa da dayanıklılık performansı için tek önemli unsur daha yüksek VO_2 düzeyine ulaşma değildir. Egzersiz sırasında yüksek oranlardaki VO_2 'nin sürdürebilmesi oldukça önemlidir (25). Buradaki önemli husus hidrojen iyon konsantrasyon artışının önlenmesidir ki bu da performans düzeyiyle yakında ilişkilidir. Şiddeti kademeli olarak artan egzersiz sırasında kan laktat düzeyindeki laktat artışından hesaplanan laktat eşiği ya da VCO_2 , VO_2 ve VE gibi solunumsal parametreler hesaplanan solunumsal aerobik eşik, anaerobik metabolizmanın ve diğer metabolik değişkenlerin başlangıcı olarak ifade edilmektedir (59). Özellikle sporcular, antrenman/müsabaka sırasında biriken laktat ve düşen pH düzeyinden dolayı oluşan metabolik strese maruz kalırlar. Kan laktat seviyesi, laktat üretimi ve laktatın uzaklaştırılması arasındaki balansı göstermektedir ve artan egzersiz yükünde bu parametrenin bireysel bir paterni vardır (60). Metabolik asidozun tolere edilme hızının artış hızının gerisinde kaldığı seviyeler ise anaerobik eşik olarak ifade edilmektedir. Anaerobik eşik seviyesi, VCO_2 , VO_2 ve VE gibi solunumsal parametrelerle, efor süresi/mesafesi ve efor hızı/güç çıktısı kullanılarak matematiksel modellerle (kritik hız/güç) ya da kan laktat seviyesindeki değişim noktalarıyla (2.laktat eşiği ya da maksimal laktat dengesi) saptanmaktadır (59). Bu seviyedeki egzersizler metabolik dengenin korunabildiği son noktalardır ve bu seviyenin üstündeki egzersizler “şiddetli” egzersiz alanı olarak adlandırılır (60). Özellikle 60 dakika ve üzerindeki sürelerde sonlanan müsabakalar için elzem öneme sahip olan anaerobik/2.laktat eşiği/maksimal laktat dengesi, VO_{2maks} düzeyinin artmasıyla birlikte doğrudan gelişebilir. Genellikle %50 – 70 VO_{2maks} düzeyinde denk gelen anaerobik eşik düzeyi, ilgili ve üstündeki hızlar/yüklerle yapılacak antrenmanlarla birlikte daha yüksek VO_{2maks} fraksiyonlarına (>%90 VO_{2maks}) yaklaşabilir (61–63). Böylece anaerobik eşiğin sağa kayarak, fraksiyonel olarak

VO_{2maks} düzeyine yaklaşması, daha yüksek hız/yüke rağmen benzer düzeyde metabolik asidoza neden olur (64). Yapılan çalışmalar, kesintili egzersiz metotlarının (interval) daha yüksek yüklere daha uzun süre maruz bırakan yapıları nedeniyle daha fazla asidoz üretimine neden olarak asidoza tolerans kapasitesinin gelişmesine olanak sağladığını öne sürmektedirler (65). Metabolik asidozun azalma hızının H^+ konsantrasyon düzeyine bağlı olduğu, bu nedenle yüksek şiddetli kesintili egzersizler glikolitik sistemi çok fazla çalıştırmışından dolayı daha yüksek H^+ üretimine ve asidoza toleransının gelişmesine neden olmaktadır (66). Metabolik asidozun kastaki respirasyon kapasitesiyle ilişkili olduğu bilinmektedir (67). Bu nedenle egzersiz hızı/yükü arttıkça daha az hidrojen iyonu üretmek, egzersiz performansı açısından önemli bir faktördür (68). Ayrıca hidrojen iyonu yanıtının, kas fibril tipi, kapiller yoğunluk ve mitokondri sayısı gibi periferik faktörlerle ilişkili olduğu gösterilmiştir (69).

Günümüzde antrenman planlamasındaki anaerobik eşiğin diğer önemi, aerobik güç gelişimi için yapılacak egzersizin yeterli uyarı sağlaması için, egzersiz şiddetinin en az anaerobik eşik şiddetine denk gelmesi gerekliliğidir (70). Bu nedenle anaerobik eşik dayanıklılık gelişimi için tasarlanan antrenman alanlarının belirli önemli noktalarında alan sınırı olarak ifade edilmektir ve bu düzeyin egzersiz seanslarındaki takibi, hedeflenen antrenman adaptasyonları açısından önemlidir (71). Günümüzde bu egzersiz şiddeti, şiddetli (severe) egzersiz alanının sınırını oluşturmaktadır.

2.3. Aerobik Güç Antrenman Uygulamalarının Genel Perspektifleri

Dayanıklılık performansının belirleyicisi olarak VO_{2maks} , anaerobik eşik, aerobik eşi ve hareket ekonomisi/verimlilik gibi önemli faktörler bulunmaktadır (72). Özellikle 1 saatin altındaki maksimal eforlar için VO_{2maks} düzeyi oldukça önemli bir kriterdir. Daha yüksek şiddetli aktivitelerdeyse, egzersiz süresi submaksimal alandan çıktıkça (<20 dakika) ve total enerji miktarındaki anaerobik metabolizma payı artmaya başladıkça daha da önemli ve belirleyici hale gelmektedir. Müsabaka ya da egzersiz sırasında daha yüksek VO_2 seviyesine ulaşmak ve bu düzeyi sürdürebilmek önem taşımaktadır (25,73). Şüphesiz ki bu noktada en önemli konu, VO_{2maks} 'ı geliştirmede kullanılan bu antrenman metotları ve bu yöntemleri oluşturan şiddet, yüklenme süresi, yüklenme/toparlanma oranı, toplam kapsam, vb. her bir bileşenin niteliğidir (33,34). VO_{2maks} düzeyini geliştirmek için kullanılması gerek en doğru yük hala önemli bir

araştırma sorusudur. Ancak VO_{2maks} geliştirmek için en düşük şiddetin yaklaşık olarak %55 – 65 KAS_{maks} düzeyine denk geldiği önerilmektedir (74). Bunun yanı sıra dayanıklılık egzersizlerine yeni başlamış bireylerde VO_{2maks} düzeyinin %40 – 50'ine denk gelen hız/yükler kullanarak daha hızlı bir gelişim sağlamak mümkün olduğu da söylenmektedir (75,76). Rekreatif aktif bireylerdeyse %65 – 75 VO_{2maks} şiddetiyle kısa ve uzun dönemde yapılan çalışmalar iskelet kaslarına oksijen iletimi (merkezi) ve iletilen oksijenin iskelet kaslarındaki kullanımının (periferik) adaptasyonlarıyla fiziksel iş kapasitesini arttırdığı öne sürülmektedir (77–79). Uzun süren submaksimal egzersizlerde oluşan hücresel düzeydeki hipoksi, iskelet kaslarına oksijen iletimi, oksijenin iskelet kaslardaki kullanımı ve yağ metabolizmasındaki adaptasyonlar fiziksel kondisyonu arttırdığı rapor edilmiştir (18,80,81). Ancak alışagelmiş uzun süreli submaksimal antrenmanlarda egzersiz kapsamının artışıyla oluşacak performans artışı, iyi düzeyde antrene dayanıklılık sporcu profiline sahip bireylerde mümkün olmayabilir. Çünkü antrene dayanıklılık sporcuları, 3-4 kat daha büyük oksidatif enzim aktivitesi, 3 kat daha fazla kastaki kapiller yoğunluğu ve daha fazla miktarda yavaş-kasılan fibril miktarına sahiptirler. Bu sporcularda dayanıklılık performansının artışı için egzersiz hacmini arttırmadan ziyade farklı şiddetler barındıran antrenman yöntemlerine ihtiyaç duymaktadırlar (18,80,82). Dolayısıyla antrenman adaptasyonu sağlamış kişilerde çok daha yüksek fraksiyonel şiddetlerin kullanılması gerekliliği bilinmektedir (83). MacDougall ve Sale, VO_{2maks} düzeyinin %75'lik şiddetleri miyokart stresini en optimal düzeyde yaratacağından dolayı ilgili şiddetin aerobik gücü geliştirici en uygun yük olacağını speküle etmektedirler (84). Başka çalışmadaysa optimal egzersiz yükü için %80 VO_{2maks} üzeri yüklerin mitokondriyel dejenerasyon yaratabileceğinden dolayı uygun olmayabileceğini tartışmışlardır (85). Fakat periferik adaptasyonu ve kaslardaki kapillirasyonu, mitokondri yoğunluğunu ve oksidatif enzim aktivitesi için %80 VO_{2maks} ve üzeri egzersiz şiddetlerine çıkılması gerektiğini tartışan çalışma grupları vardır (86). Literatürde aerobik gücü gelişimine odaklanan güncel antrenman metotları genel olarak VO_{2maks} 'a denk gelen kassal güç üretiminin ($p@VO_{2maks}$) ya da koşu hızlarının ($v@VO_{2maks}$) %90 - 105'ine karşılık gelen şiddetlerle, her bir yüklenme süresi 20 - 40 saniyeden, VO_{2maks} 'ı sürdürebilme sınırlarına kadar uygulanır (24,25,87). Bu yüklenme süreleri orta düzey antrene sporcularda ~3,5 - 4 dakika, üst düzey antrene sporcularda 6 - 7 dakikaya kadar uzayabilir ve yaklaşık olarak yüklenme/dinlenme oranı (y/t) 1:0,5'den (iki yüklenme arasında yüklenme süresinin yarısı kadar bir dinlenme süresi) r:1:1'e kadar (iki

yüklenme arasında yüklenme süresi kadar dinlenme süresi) kullanılarak uygulanmaktadır (25,71). Kesintili antrenman modelleri, eğer yüklenme süresi 60 saniyeden kısa ise, kısa interval (Kİ); eğer 2-3 dakikaya ya da daha uzunsa, uzun interval (Uİ) olarak sınıflandırılabilir (11). Başka bir sınıflamadaysa kısa interval 15 – 45 saniye arası, uzun interval ise 3-5 dakika aralığında gösterilmektedir (20). VO_{2maks} 'ı geliştirmede kullanılan ve VO_{2maks} hızları temel alındığında yüksek yoğunluklu interval antrenman (HIIT; high intensity interval training ya da HIT; high intensity training) olarak değerlendirilen bu yöntemler için kısa HIT ya da uzun HIT gibi bir sınıflandırma yapmak da mümkündür. VO_{2maks} 'a ulaşılmasını sağlayan en düşük güç çıktısı ($p_{min}@VO_{2maks}$) ile bu yükü devam ettirebilme süresinin %50 – 70'lerinde denk gelen yüklenme süresiyle uygulanacak kesintili antrenman metotları da aerobik güç gelişimi için son dönemlerde sıklıkla önerilmektedir (11,50,88). Ayrıca VO_{2maks} gelişimi hedefli antrenmanlarda en az VO_{2maks} düzeyi veren en düşük şiddetler olan $\Delta 50$ (anaerobik eşik ile VO_{2maks} şiddetinin ortasında denk gelen şiddet) ya da kritik güç/hızın %5 üzerindeki şiddetinin kullanılması gerektiği de tartışılmaktadır (89,90).

Egzersiz şiddeti olarak kısa intervaller için %100 – 115 $p/v@VO_{2maks}$, uzun intervaller için %85 - 100 $p/v@VO_{2maks}$ düzeyleri önemli şiddetlerdir (22). Ayrıca güncel çalışmalarda kesintisiz uygulanan yüksek şiddetli submaksimal egzersizler ($>80 VO_{2maks}$), kesintili HIT antrenmanlarına benzer metabolik ve kardiyovasküler adaptasyonlara neden olabileceğini tartışılmaktadır (36,49). Bu nedenle aerobik güç gelişimi hedefli antrenman programlarının içerisine değişken ya da sabit hız/yük içeren yüksek şiddetli aktiviteleri dahil etmek gerekebileceği düşünülebilir. Yine 2000'li yıllara ait literatürde sprint interval antrenman (SIT) olarak sınıflandırılan ve supramaksimal şiddetlerin ($>130 VO_{2maks}$) kullanıldığı antrenman rejimlerinin de aerobik dayanıklılık üzerine geliştirici etkilerinden bahseden önemli çalışmalar mevcuttur (27–32). Bahsedildiği gibi günümüzde interval antrenmanlar sonsuz değişkenliğe sahip olmakla birlikte genellikle iki kategoriye ayrılır; belirli bir hız/güç çıktısıyla fizyolojik ya da metabolik bir hızla yapılan egzersizler (örneğin; maksimal kalp atış hızını en az %80'e çıkararak submaksimal/maksimal eforlarla yapılan yüksek yoğunlukta interval egzersiz) ve 'baştan sonra maksimal yüklenmeli' (all-out) eforla, güç çıktısı/hız olarak VO_{2maks} düzeyi üzeri şiddetleri oluşturan yoğunluk içerikle yapılan sprint interval egzersizleridir (91). Tabata ve arkadaşlarının (1996) klasik çalışmasında gösterdiği gibi, SIT özellikle zamandan tasarruf sağlayan etkili bir interval egzersiz metodudur. Bisiklet ergometresinde 8 tekrar \times 20 saniyelik sprint ve

10 saniye toparlanma periyodu içeren, VO_{2maks} 'ın %170'ine ulaşan yoğunluktaki bir egzersiz protokolüyle uygulanan bir çalışmada, ilgili antrenmanın haftada 5 defa ve 6 hafta süresince uygulandığında, VO_{2maks} düzeyi haftada 5 saatlik orta yoğunluktaki bisiklet egzersizindekine yakın büyüklükte arttırdığı gösterilmiştir (92). Gillen ve arkadaşları (2016), benzer şekilde SIT'in geleneksel dayanıklılık antrenmanlarıyla karşılaştırarak, iki antrenman tipi arasındaki egzersiz hacmi ve zaman farklılıklarına rağmen benzer düzeyde dayanıklılık adaptasyonu sağladığını ortaya çıkarmıştır. Bahsedilen çalışmadaki katılımcılar sedanter genç erkeklerden oluşturulmuş ve 12 hafta boyunca haftada 3 kez SIT veya orta yoğunlukta devamlı egzersizleri uygulanmıştır. SIT uygulaması, 500 W (VO_{2maks} testleri sonunda deneklerin ulaştığı güç çıktısının yaklaşık 2-3 katı) güç çıktısıyla bisiklet ergometresinde 3 tekrar \times 20 saniyelik 'all-out' yüklenmeyle, sprintler arasında 2 dakikalık düşük şiddetli (50 W) dinlenme fazından oluşmuştur. Orta şiddetli kesintisiz yüklenmede 110 W'da 45 dakika sürekli (VO_{2maks} 'ın %50'si şiddetiyle) egzersiz uygulanmıştır. Diğer yandan orta şiddetli kesintisiz yüklenmede, 50 dakikalık kesintisiz egzersizden oluşmuştur. Her iki grupta da damar içi glukoz tolerans testlerinin sonuçlarına göre benzer egzersiz insülin duyarlılığı ile birlikte VO_{2maks} düzeyinde %19 artış rapor edilmiştir. İskelet kası mitokondri içeriği de SIT ve orta şiddetli kesintisiz yüklenme sonrasında benzer oranlarda artmıştır (93). Bu sonuçlar özellikle zaman kısıtlaması olan bireylerde, fizyolojik gelişimleri sağlayarak yaşam kalitesini arttırmak için SIT'lerin tercih edilebilecek bir egzersiz uygulaması olduğunu göstermektedir (19).

Diğer yandan, VO_{2maks} 'ı geliştirmede kullanılan antrenman modellerinin yüklenme sürelerine ait ipuçları bugün itibarıyla konuyu direkt olarak ele alan "Antrenman Bilimi" alanına dahil çalışmalardan ziyade, maksimal/submaksimal yüklerde VO_2 kinetiklerini irdeleyen, submaksimalden - maksimal şiddetlere kadar değişen egzersiz yüklerinde kardiyovasküler sapmanın görülme süreleri ve sapma derinliklerine ya da genel sağlık ve/veya tıbbi fizyoloji, kardiyak rehabilitasyon vb. alanlarda önemli iddialar ortaya atan çalışma bulgularına aittir (6,94). Alonso ve ark.'nın VO_{2maks} düzeyinde tek kademeli (sadece bir adet yüklenmeden oluşan bir egzersiz) test verileri incelendiğinde, KÇ ve KAH'de 5 dakikadan sonra düşüşe geçerek egzersizin 7. dakikalarda sonlandığını rapor etmişlerdir. Yazarlar konuyu irdelemeseler de tükenme sonrasında 2-3 dakika boyunca KAH düzeyi tükenme düzeyinin üstüne çıktığı gözükmemektedir (6,7). Diğer önemli bir çalışmada, kademeli VO_{2maks} testi ve $p@VO_{2maks}$ 'ın %85'ine denk gelen yüküyle sabit şiddetli yapılan

çalışmada, egzersizin %77 – 85 VO_{2maks} aralığından sonra KÇ ve KAH'da düşüş gözlenmiştir. Ayrıca tükenme sonrası KAH'da 3 dakika boyunca yükseliş rapor edilmiştir (94). Bu yüklenme ve toparlanma fazlarını içeren interval tipi egzersizlerde KAH düzeyinin toparlanma periyotlarında yüksek seviyelerde kalarak merkezi adaptasyonlara katkı sağlayabileceğini gösterir.

Dayanıklılık antrenmanlarının toplam hacmi değerlendirildiğinde, Seiler ve ark.'nın ve Aasen'in yaptıkları önemli çalışmada, iyi düzey antrene bireyler için antrenman şiddetlerini alanlara ayırmışlardır (70,95). Burada aerobik güç gelişimini etkileyecek önemli alt sınır, ilgili çalışmadaki sınıflamaya göre 3. alan olarak ifade edilen anaerobik eşiktir (2.laktat eşiği, maksimal laktat dengesi, kritik hız/güç). Bu düzeylerinde yapılacak olan kesintili ya da kesintisiz antrenmanların sırasıyla 50 ve 90 dakika toplam maksimal hacminde ve en yüksek %85 VO_{2maks} yükünde yapılabileceğini ifade etmişlerdir. Bir üst alan olarak gösterdikleri 4. alandaysa aerobik güç geliştirmede alt sınır şiddet olarak kabul edilen ~%90 VO_{2maks} şiddetiyle yapılacak antrenmanlardan oluşmaktadır. Bu antrenman şiddetlerinde kesintisiz modeller için 30, kesintili modeller içinse 60 dakika sürdürülebileceğini ve kısa-uzun intervaller kullanılarak, bu alan içerisinde antrenman yapmanın uygun olduğu belirtilmektedir. Çalışmadaki en üst egzersiz alanındaysa VO_{2maks} şiddetiyle yapılan egzersizler bulunmaktadır. Buradaki kapsam iyi antrene sporcular için toplam 24 – 30 dakika arasında öngörülmektedir. Ayrıca, Seiler ve ark., algılanan zorluk düzeyleri (AZD) üzerinden antrenman modellerine yüklerinin uygunluğunu değerlendirmiştir. Bu değerlendirmeye göre 5. alan olan VO_{2maks} şiddetlerinde, belirlenen egzersiz sürelerinde toplam 300-350 ($AZD \cdot dk^{-1}$) düzeyine ulaşılması gerektiği belirtilmiştir (70). Sporcuların algıladıkları zorluk düzeyleri ve egzersiz süresi üzerinden yapılan bu hesaplama, antrenmanın yeterli uyarıyı yaratmasının kontrolü açısından önemli olabilir.

2.4. Dayanıklılık Performansında Merkezi ve Periferik Bileşenin Önemi

Bilindiği gibi Fick prensibine göre potansiyel VO_{2maks} düzeyi, maksimal kardiyak çıktı ve maksimal arterio-venöz oksijen farkından oluşmaktadır. Dolayısıyla, bu iki değişkeni belirleyen herhangi bir fizyolojik yapı veya süreç aerobik gücü potansiyel olarak sınırlandırabilir. Dolayısıyla bu iki parametreden herhangi biri arttıracak etki doğrudan VO_{2maks} düzeyine etki edebilir. Sağlıklı bireylerde VO_{2maks} düzeyini sınırlayan birincil faktörün KÇ olduğu bilinmektedir (4,5). Maksimal

egzersiz sırasında temel yorgunluk yaratan gösterge KAH'da azalmaya bağlı olarak KÇ'deki düşüş ve iskelet kaslarına iletilen O₂ miktarındaki azalmadır. KAH'daki düşüşü KAS artışı kompanse etmeye çalışırken, iskelet kaslarına iletilen O₂ miktarındaki azalmayı a-vO₂ farkı artışının telafi etmeye çalıştığı rapor edilmiştir (6,7). KAH'deki bu azalmaya venöz dönüşün ve kardiyak kontraktilitenin azalması gibi birçok faktör etki edebilmektedir. Sedanter ya da düşük düzey antrene bireylerde %40 – 60 VO_{2maks} aralığında olan KAH_{maks} düzeyi, bu seviyelerden yüksek şiddetlere gidildikçe düşüş göstermektedir. İyi düzey antrene bireylerdeyse VO_{2maks} düzeyine kadar artışına devam etmektedir (51). Çocukluktan yetişkinliğe kadar aerobik gücü oluşturan parametreler incelendiğinde, bu büyük gelişim potansiyelinin a-vO₂ farkı düzeyinden ziyade KAH'daki yükselişten dolayı KÇ'de olduğuna bilinmektedir (33,96–98). Antrenmana adaptasyonla birlikte artan KÇ_{maks}, aslında KAH_{maks} gelişiminden kaynaklanmaktadır. Bu sırada KAS düzeyi biraz düşer ya da sabit kalır (10). Dolayısıyla kardiyak çıktının artışı a-vO₂ farkı ya da KAS'na kıyasla KAH_{maks} ile ilişkilidir (9,11). Merkezi adaptasyon olarak da adlandırılan özellikle miyokartın morfolojik adaptasyonu, artan plazma ve kan volümünden olumlu etkilenen KAH_{maks} düzeyinin artışı, KAS_{maks}'ın daha düşük seviyelere ulaşmasıyla da gözlenebilir (12). Plazma volümü ve VO_{2maks} düzeyini ilişkilendiren çok sayıda çalışma vardır (29,47,99–102). Gillen ve ark. (1991), tek seans kesintili olarak tekrarlanan egzersiz (4 dakika - %85 VO_{2maks}) seansından 24 saat sonra plazma volümünde %10 artış saptamışlardır (103). Başka bir çalışmada, 12 haftalık kesintisiz submaksimal egzersiz (30 dakika %65 VO_{2maks}) ve kesintili tekrarlanan egzersiz (2 dakika %90 VO_{2maks}) sonrasında yaklaşık %11'lik plazma volümü artışı rapor edilmiş ve bu artışın KAH düzeyini arttırdığını speküle etmişlerdir (99). Ancak asıl önemli adaptasyon, ventriküler diyastolik gerilmede hacmin adapte olunanın üstüne çıkması sonucunda aşırı artan diyastol sonu hacmin ve buna bağlı olarak ventriküler boşalmayla gelişen miyokart dokusuyla oluşmaktadır (104). Sol ventrikülün diyastolünde oluşan bu gelişme, sol arka ventriküldeki ve ventriküller arası septum duvarındaki kalınlaşmayla birlikte kasılma gücünün gelişime neden olarak KAH'nin ve dolayısıyla KÇ'nin artmasını sağlamaktadır (105,106). Bu değişimler maksimal yüklenmelerde daha büyük KÇ'ya ve aynı iş yüklerinde kas ile deriye kan akımının artmasını sağlayarak performansı arttırmaktadır (13,14). Sedanter ve rekreasyonel olarak aktif bireylerde yapılan çalışmalar bu adaptasyonun çok hızlı bir şekilde (3 - 4 gün) başladığını rapor

etmişlerdir (77). Fakat etkili ve kalıcı VO_{2maks} düzeyi artışı için 3 - 5 haftalık antrenman planlanmasını ihtiyaç olduğu bilinmektedir (78,80).

2000’li yıllarda dayanıklılık gelişiminde kullanılan antrenman yüklerinde oluşan bitkinliğin aktif iskelet kaslarında üretilen metabolik asidoza bağlı periferik temelli değil, daha çok beyin ve kalp merkezli olduğu iddia edilmektedir (107). Bu iddiaya göre, beynin kalp hasarını engellemek için miyokard kasının fonksiyonunu sınırladığı, bu durumun KAH’i düşürdüğü ve eğer KAS artışı ile bu düşüş kompanze edilemezse $KÇ_{maks}$ düzeyinde hatırı sayılır bir düşüş oluşarak, dayanıklılık performansının bozulduğu speküle edilir (51). Nitekim antrene sporcularda kademeli olarak artan egzersizde $KÇ$ ’nin doğrusal değil, eğrisel olarak artan bir trendi bulunmaktadır (108). Fakat $a-vO_{2farklı_maks}$ için bu eğilim farklıdır. Ulaşılan VO_2 düzeyi arttıkça $a-vO_{2farklı_maks}$ düzeyinin de doğrusal arttığı gösterilmiştir (108,109).

2.5. Dayanıklılık Performansında Arteriyo-Venöz Oksijen Farkının Önemi

Özellikle iskelet kaslarında kapillarizasyonun artması ve tip I ve II kaslarının oksidatif metabolizmasının gelişmesiyle büyüyen maksimal $a-vO_{2farklı}$ ($a-vO_{2farklı-maks}$) VO_{2maks} düzeyini arttırmak için çok önemli bir fizyolojik faktördür (25,110). İskelet kaslarının kapillarizasyonunun dayanıklılık egzersizleri ile birlikte artış gösterdiği bilinmektedir; ancak kastaki kapiller yoğunluğun ve mitokondriyel kapsamın artarak $a-vO_{2farklı}$ ’nın gelişmesi için merkezi bileşene göre daha fazla sayıda/sürede antrenmana ihtiyaç vardır (111,112). Kapillarizasyonu indükleyen mekanizma, kan akımı gerilimi ve kan akım hızının artmasına bağlı oluşan kapiller basınçtır (113). Dolaylı olarak, VO_{2maks} düzeyine kadar artan egzersiz yüküyle birlikte kan akımı artacağından dolayı benzer şekilde VO_{2maks} düzeyine kadar artan kan akımı gerimi nedeniyle kapillarizasyon adaptasyonu da artış gösterir (25). Böylece difüzyon kapasitesi ve kullanımı artarak, arterio-venöz oksijen farkının büyümesine neden olur.

İskelet kaslarındaki miyogloblin, oksijenin mitokondri yüzeyine ulaşmasını arttırmaktadır (114). Ratlarda yapılan çalışmada egzersize bağlı olarak artan miyogloblin miktarı rapor edilse de daha düşük şiddetlerde ($\%60 - 75 VO_{2maks}$) insanlar üzerinde uygulanan çalışmada miyogloblin miktarında anlamlı fark olmadığını rapor eden çalışmalar vardır (115). Ayrıca normoksik koşullara yakın düzeylerdeki egzersizin miyogloblin miktarında ve miyogloblin haberci ribonükleik asit konsantrasyonunda anlamlı fark oluşturmadığını rapor eden çalışmalar bulunmaktadır (116,117). Aynı çalışmada hipoksinin hücre içi miyogloblin gen ekspresyonunu

stimüle ettiğini rapor etmişlerdir (117). Oksihemoglobin saturasyonunun yüksek egzersiz şiddetlerinde azaldığı bilinmektedir (118). Bu nedenle yüksek VO_{2maks} fraksiyonlarında yapılacak şiddetli egzersizler oksihemoglobin saturasyonunun azalmasıyla dokuda hipoksi yaratarak miyogloblin konstrasyonunun artışına neden olabilir (25,119).

İskelet kaslarının oksidatif kapasitesi her ne kadar antrenmana adaptasyonu ile gelişse de VO_{2maks} 'ı geliştirmede başlıca rol oynamadığı speküle edilmektedir. Bunun nedeni olarak, egzersiz sırasında iskelet kaslarının oksidatif kapasitesinin, kardiyovasküler sistemin oksijen transfer sisteminden daha iyi olması gösterilmektedir (10). Bununla birlikte, maksimal egzersiz sırasında, kasta kanın perfüze olduğu tip II lifleri içeren alanların, bu liflerin nispeten düşük oksidatif kapasiteye sahip olması nedeniyle, kılcal venül ucundan nispeten yüksek bir oksijen içeriğinde ayrılma olasılığı vardır (120). Dolayısıyla tip II fibrillerin oksidatif kapasitesinin artması, aynı perfüze olan kanda daha fazla oksijen kullanımına neden olur ve sonuç olarak daha büyük arterio-venöz oksijen farkı elde edilir. Yüksek uyarı eşik değerine sahip bu tip II fibrillerin aktive olması için egzersiz şiddetinin artarak yüksek şiddetli motor ünitelerin devreye girmesi gereklidir (121). Dolayısıyla tip II fibrillerin devreye girebilmesi ve oksidatif gelişim için adapte olmasını sağlayacak yanıtları oluşturabilmesi için, egzersiz şiddetinin en az VO_{2maks} 'ın %90 – 100'üne denk gelmesi gerekmektedir (100). Arterio-venöz O_2 farkını büyütmenin diğer bir yoluysa eritrosit ve hemoglobin miktarını arttırarak kanın taşıyabileceği oksijen miktarını arttırmaktır (100). Şiddetli egzersizlerde böbrek kan akımının azalmasına bağlı olarak kemik iliğinde eritropoetin yapımı indüklenmektedir (122). Bu nedenle yüksek egzersiz şiddetleri dayanıklılık sporcularında eritrosit yapımının uyarılmasına neden olabilir. Yapılan deneysel çalışmalar, antrenmana bağlı eritrosit ve hemoglobin miktarının artmasının, VO_{2maks} düzeyini kardiyak çıktı düzeyinde değişim olmaksızın arttırdığını rapor etmişlerdir (123). Fakat antrenmana bağlı eritrosit artışının yaklaşık 30. günde sonlanıp stabil hale geldiği rapor edilmektedir. Dolayısıyla dayanıklılık sporcularında ilk 30 günden sonra VO_{2maks} üzerinde, bu yolla yüksek hızda bir değişim yaratması olası değildir (124).

Ayrıca egzersizde ulaşılan VO_2 düzeyi arttıkça $a-vO_{2farkı}$ düzeyinin de doğrusal arttığı gösterilmiştir (108,109). Başka bir çalışmada aynı yükte (orta yoğunlukta) uygulanan kesintili ve kesintisiz modeldeki $a-vO_{2farkı}$ yanıtları karşılaştırılmış ve aynı şiddetlerle uygulanmalarına rağmen daha yüksek VO_2 düzeyine ulaşan kesintisiz

modelde $a-vO_{2\text{farklı}}$ daha yüksek seviyeler ulaşmıştır (125). Bunların yanı sıra, kesintisiz yüklenmeler maksimal yoğunlukla kurgulandığında kesintisiz submaksimal yüklenmelere oranla daha büyük $a-vO_{2\text{farklı}}$ rapor eden çalışmalar da mevcuttur (126). Dolayısıyla $VO_{2\text{maks}}$ şiddeti altındaki yükler $a-vO_{2\text{farklı}}$ 'nı geliştirmede yetersiz kalabilir. Bu nedenle yüksek şiddetli egzersizler daha büyük kan akımı gerimi yaratacağından egzersiz programları planlanırken bu husus göz önünde bulundurulmalıdır.

2.6. Dayanıklılık Performansını Değerlendirmede Dikkat Edilmesi Gereken

Hususlar

En önemli husus $VO_{2\text{maks}}$ düzeyinin belirlenmesidir. $VO_{2\text{maks}}$ birçok farklı yöntemle belirlenebilmektedir (Basamak, doğrusal yük, sabit yük, azalan yük, rampa vb). Testin süresi, başlangıç yükü, test kontrol kriterleri ve doğrulama fazı uygulaması gibi birçok farklı etmen test sonucuna etki edebilmektedir (127,128). Aynı test protokolünün aynı kişilerde farklı günlerde tekrarlanmasının farklı sonuçlar verebileceği bilinmektedir (129). Dolayısıyla $VO_{2\text{maks}}$ 'ın doğru ölçülememesi, farklı egzersiz seanslarındaki $VO_{2\text{maks}}$ düzeyinde geçirilecek süre analizi gibi sonuçları etkileyerek, yanlış antrenman planlamasıyla birlikte potansiyel antrenman etkilerinin azaltmasına neden olabilir. Bundan dolayı test seanslarına başlamadan önce uygun bir uyum seansı oldukça önem taşımaktadır. Hatta yapılacak $VO_{2\text{maks}}$ testinin 48 saat sonra tekrar test güvenilirliğinin sorgulanması da önerilmektedir (130). Günümüzde hala net bir protokol tercihi olmasa da genel kabul gören standartlar, testin kontrol kriterlerinden platonun kesinlikle sorgulanması, test süresinin 15 dakikayı geçmemesi ve yeterli dinlenme arası verilerek $VO_{2\text{maks}}$ düzeyinin, farklı günlerde tekrarlanan tek kademeli yüklerle doğrulama testlerinin yapılmasıdır (127,128,131).

Egzersiz seansları sonrası belirlenen kriterlere göre $VO_{2\text{maks}}$ düzeyinde geçirilen sürenin analizi, $VO_{2\text{maks}}$ testi sonrasındaki veriye uygulanacak farklı miktarlardaki düzeltme (smoothing) ya da ortalama (değerlenmeye tabii tutulacak zaman dilimi) ile değişebilmektedir. Büyük düzeltme katsayısı ya da zaman ortalaması kullanmak ulaşılacak VO_2 düzeyini azaltabilecekken, düşük katsayısı ya da zaman ortalaması kullanmak maksimal değerleri büyütebilmektedir. Bir çalışmada 5 saniye ve 15 saniyelik ortalama veriler üzerinden $VO_{2\text{maks}}$ düzeyinde geçirilen süre analizinde sırasıyla 200 ve 120 saniyelik farklı değerler rapor edilmiştir. Çalışma sonunda özellikle kesintili egzersiz seanslarındaki uygulamanın yapısı gereği yükselen ve

azalan yapıda değerler elde edildiği, verinin karakterine uygun oranda yapılacak düzelme katsayısıyla birlikte 15 saniyelik zaman ortalaması uygulanmasının ilgili VO₂ verilerinde doğru analize olanak sağladığını ifade etmiştir (129). Dolayısıyla elde edilen verilerin analizinde bu hususlara dikkat etmek gerekmektedir.

2.7. Yüksek Yoğunluklu Antrenmanların (HIT) Yarattığı Fizyolojik Uyarılar

Egzersiz geleneksel olarak aerobik/dayanıklılık veya kuvvet/güç olarak kategorize edilir ve bunların geliştirilmesi iki karşıt antrenman dizaynıyla mümkündür. Farklı egzersiz modellerinin etkilediği moleküler yollar da farklıdır (132). Kısacası, geleneksel dayanıklılık egzersizi, mitokondriyel proteinlerin artışı ve antrene miyofibrillerin solunum kapasitesinde değişiklikler meydana getirir. Bu adaptasyonlar, belli bir submaksimal egzersiz şiddetinde daha az hidrojen iyonu üretimi ile sonuçlanır. Buna karşın, kuvvet geliştirici egzersizler, iskelet kaslarının büyümesinden sorumlu ve egzersiz sırasındaki enerji kullanımında önemli değişiklikler olmadan maksimal kasılma kuvvetini arttıran myofibril proteinlerinin üretimini tetikler. HIT ve SIT'in paradoksal özelliği, kısa ve şiddetli direnç egzersizine çok benzeyen ama geleneksel dayanıklılık egzersiziyle ilişkili uyumlara neden olan yoğun tekrarlı eforlardır. Antrenman hacmi, kaslardaki mitokondriyel içeriğin egzersiz yoluyla artmasının temel belirleyicisi olarak ortaya atılsa da; son yıllarda ortaya konulan bilimsel kanıtlar, fizyolojik yanıtlardaki egzersiz şiddetinin potansiyel rolünü vurgulamaktadır (58). Tüm antrenman protokollerinin temel ilkesi, tekrarlayan akut egzersizlerin uzun dönemli kalıcı değişimlerinin sonlanmadan, fizyolojik adaptasyonların çeşitliliğine neden olacak belirli metabolik/fizyolojik eşik düzeylerinin aşılması zorunluluğudur. Bu yüzden adapte olunan yük tekrar kullanılmaz. Hacim ya da şiddet artışı yapılmalıdır. Düzenli yapılan antrenmanlar, aktif iskelet kaslarının metabolik aktivitesinin artmasının neden olduğu doku ve organlarda daha fazla değişikliğe yol açar. Buna karşılık metabolizma, iskelet kasları ve tüm vücut oksijen talebinin artmasının neden olduğu homeostatik sınırlamaları sonlandırmak için görev yapar (132). Uzun süreli kesintisiz submaksimal egzersizlerin son bir saatinde, oksijen tüketimi çoktur ve aktif kasların substrat talebi de büyük oranda, karbonhidrat ve yağ bazlı enerjilerin oksidasyonu ile karşılanır. Bu konuda öncelikli görev yavaş kasılan kas fibril olan tip I ünitelerdir ve hücre dinamiklerin ve tüm vücut homeostatik bozunumlarının değişim oranı göz ardı edilebilir. Buna karşın, HIT / SIT, hem periferik, hem sistemik (kardiovasküler, solunumsal, nöral ve

hormonal) homeostatiklerin geniş düzeyde pertürbasyonuna yol açar. Özellikle SIT, kesintisiz submaksimal egzersizlere göre daha yüksek güç çıktılarında uygulandığından hızlı kasılan tip II fibril senkronizasyonu gerektirir. Bunun karşılığında özellikle yağ bazlı enerjinin egzersiz sırasındaki çok az katkısının olduğu, gerekli enerjinin (yüksek enerjili fosfatlar ve glikojen kaynaklarından) talebini karşılamak için oksidatif olmayan substrat metabolizmanın yaygın kullanıldığı bilinmektedir. Daha fazla enerji talebi ve farklılaşan fibril kullanımı daha fazla oksijen ihtiyacı ve submaksimal yoğunluktaki devamlı egzersize göre toplam enerji gereksinimini artırır (19).

Egzersiz şiddetinin hormonal adaptasyonlar açısından önemlidir. Solunumsal eşiğin altında yapılacak egzersizlerin hormonal adaptasyon yanıtları için çok uzun kapsam içeren antrenmanlar seansları gerektiği speküle edilmektedir (133). Benzer şekilde egzersiz şiddetinin yanında antrenman kapsamının da akut ve kronik hormonal adaptasyonu etkilediği saptanmıştır (134). Bunların yanında, mitokondrideki biyogenezi ve oksidatif genleri regüle eden PGC-1 α 'nın %60 VO_{2maks} yüküyle yapılan 60 dakikalık egzersizde değişmediği rapor edilmiştir (135). Bu bilgiler, hormonal adaptasyon sağlayacak yüklerin düşük şiddetli egzersizler olmadığını göstermektedir. Antrenmanlara eklenecek yüksek şiddetli egzersizlerin, mitokondriyel biyogenezi, substrat regülasyonunu ve yeni kan damarları oluşumunu olumlu etkileyeceği bilinmektedir (136). Ortalama egzersiz yükünü eşitleme HIT antrenmanlarının karakteristiği açısından diğer bir önemli konu olabilir (44,48,99,137,138). Egzersiz yükü, özellikle HIT'lerde anaerobik eşik ile zirve hızlara ulaşılan maksimal yükler arasında, ya maksimal efor (baştan sona maksimal yüklenmeli: all-out) ya da belirli bir süredeki zamana göre geniş yelpazede uygulanır. Bu nedenle, egzersiz seansının ortalama yükü birçok değişkene göre değişebilir ve buna göre egzersiz yükünü ayarlamak zor ama mümkün olabilir (20). Farklı antrenman ve toparlanma yüküyle, bunların süreleri gibi kombinasyonları olduğu düşünüldüğünde, bilimsel çalışmalarda ve egzersiz antrenmanlarında kullanılan kesintili egzersiz modellerinin çeşitli olması da normal kabul edilebilir. Örneğin, Trapp ve arkadaşları antrenman aşamasında sekiz saniye sprint ve toparlanma aşamasında 12 saniye pedal çevirme uygularken (139); Helgerud ve arkadaşları %90 ile %95 arası KAS_{maks}'ta dört dakikalık antrenman aşamaları ve %70 KAS_{maks}'ta üç dakikalık toparlanma aşamaları uygulamışlardır (72).

Farklı uygulamalara rağmen, HIT'lerle farklı deneklerde (iyi düzey antrene, sağlıklı sedenter, hasta birey) yararlı etkiler sağlanabilir. Bu nedenle, kesin bir HIT tanımı olmak zorunda değildir. Bununla birlikte, egzersiz modellerini oluşturan her bir değişkenin farklı uygulamalarının, akut metabolik veya kardiyopulmoner (ve nöromusküler) tepkilere direkt etkisi vardır. İki veya daha fazla etken aynı anda uygulanırsa, egzersizin fizyolojik etkilerinin kaynağı belirleme zorlaşabilir. Bu akut tepkiler, belirli orta ve uzun dönemli egzersiz uyumlarına neden olmakla birlikte, özellikle hastalarda belli sağlık riskleri oluşturabilir. Bu nedenle, HIT egzersizlerinin düzenlemelerindeki farklı uygulamaların tetiklediği akut fizyolojik mekanizmaların anlaşılması, egzersiz fizyolojisi araştırmalarında çok önemlidir (20). Bu nedenle farklı HIT modellerinin fizyolojik ve hemodinamik etkilerinin belirlenmesiyle bu uygulamaların potansiyel etkilerini ortaya koyan yaklaşımlar hala gereklidir.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Araştırmanın Tipi

Bu araştırma, dış ortamdan yalıtılarak özel olarak tasarlanan iklimlendirme odasında, belirlenen ortam şartlarında ve farklı egzersiz modellerini katılımcılara uygulanıp elde edilen verilerin karşılaştırılması ve sonuca varılması amacıyla uygulanan tekrarlanan ölçümlerden oluşan deneysel bir araştırmadır.

3.2. Kullanılan Gereçler

3.2.1. Cihazlar

VO₂ kullanımı, VCO₂ üretimi, KÇ, KAH, a-vO₂farkı ve oksijen saturasyonu ölçümlerinin yapılabilmesi için Innocor marka laboratuvar tipi sistem kullanıldı (Innocor, Inno500, Odense, Danimarka). KAS ölçümleri Polar marka telemetrik bir nabız ölçer yoluyla takip edildi (Polar® RS 400, Polar Electro Oy, Kempele, Finlandiya). Egzersiz seanslarının yapılabilmesi için elektronik frenli bir bisiklet ergometresi kullanıldı (Lode, Excalibur Sport, Groningen, Hollanda). Kan laktat değerleri Biosen marka bir cihaz kullanılarak belirlendi (Biosen® C-line, EKF Diagnostics, Barleben, Almanya). Kütle ve vücut kompozisyonları için Tanita marka empedans ölçüm sistemi (Tanita® BC 418 MA, Tanita Corp. Tokyo, Japonya), boy ölçümlerindeyse Seca marka laboratuvar tipi bir stadiometre (Seca® 217, İngiltere) kullanıldı. Egzersiz seansları sırasındaki ortam sıcaklığı ve nem ölçümleri Trotec marka (Trotec DL200P, Almanya) veri kaydedici, ortam basıncının ölçümünde dijital barometre (TFA Dostmann, Almanya) kullanıldı.

3.2.2. İklimlendirme Odası

İklimlendirme Odası 6 m uzunluk, 4 m genişlik ve 3 m yüksekliğe sahip boyutlardadır. Odanın soğutması oda içerisindeki buharlaştırıcı ile ısıtması ise odanın üstüne yerleştirilmiş elektrikli ısıtıcı ile gerçekleştirilmektedir. Oksijen ve karbondioksit düzeyinin istenilen aralıkta tutulması için sistemde sürekli taze hava beslemesi yapılmaktadır. Sistem -5°C ile +40°C sıcaklık, %25-95 bağıl nem, >%20 O₂ ve ≤450ppm karbon-dioksit (CO₂) şartlarını uygun dış koşullar dahilinde sağlayabilmektedir. Tüm sistem otomasyon yardımıyla kontrol edilmektedir (Resim 1).

Resim 1 - İklimlendirme Odası ve Test Düzenegi



3.2.3. Test Ergometresi

Çalışma, farklı kadanslarda direnci değiştirerek güç çıktısını sabitleyebilen bilgisayar kontrollü elektro-manyetik frenli bisiklet ergometresi kullanıldı (Lode BV, Excalibur Sport, Lode Medical Technology, Groningen, Hollanda). Sele ve gidon yüksekliği her katılımcı için standart olarak ayarlanarak tüm prosedürlerde bireysel olarak ayarlandı.

3.3. Kullanılan Yöntemler

3.3.1. Araştırmanın evreni ve Örneklemi

Bu çalışma iyi düzeyde antrene sekiz erkek bisiklet sporcusunun (yaş: $22,1 \pm 3,1$ yıl; antrenman yaşı: $7,8 \pm 2,8$; vücut kütlesi: $66,2 \pm 8,5$ kg; boy: $175,4 \pm 5,2$ cm; vücut yağ oranı: $7,2 \pm 1,1$; $\dot{V}O_{2maks}$: $64 \pm 5,61$ ml·min⁻¹·kg⁻¹; p@VO_{2maks}: $5,5 \pm 0,3$ W·kg⁻¹) gönüllü katılımlarıyla yapıldı. Çalışma Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu tarafından onaylandı (EGE.ETK.2016.16-3.2/11). Çalışma kriterlerine uygun katılımcı adaylarına, gönüllü olur formu okundu, test prosedürlerinin detaylarına, bu prosedürlerin kendilerine sağlayacağı fayda ve olası zararlara ait konular açıklandı, konu ile ilgili soruları cevaplandı, metni tam olarak okumaları istendi. Gönüllü olur formunu imzalayanlar çalışmaya dahil edildi. Katılımcılara ölçümlerden en az iki gün öncesinden itibaren ağır egzersizler yapmamaları bildirilerek, testlerden en az 2,5 saat önce yemek yemeleri ve test

seansına kadar yeterli sıvı tüketimi yapılması istendi. Sistemik bir hastalığı olan veya kardiyovasküler performansı etkileyebilecek herhangi bir ilaç veya ergojenik yardım kullanan adaylar çalışmaya dahil edilmedi.

3.3.2. Egzersiz Modelleri

Bu tez çalışmasında 5 ayrı egzersiz modeli kullanıldı.

- **HIT₁**: 45-sn × 16 tekrar, y/t oranı: 1:1; yükleme yükü: $\dot{V}O_{2maks}$ 'ın ~%110'una denk gelen güç çıktısıyla ($p@~\%110 \dot{V}O_{2maks}$); toparlama yükü: $p@\%35 \dot{V}O_{2maks}$, olan kesintili model.
- **HIT₂**: 3-dk × 4 tekrar, y/t oranı: 1:1; yükleme yükü: $p@~\%93\dot{V}O_{2maks}$; toparlama yükü: $p@\%35 \dot{V}O_{2maks}$, olan kesintili model.
- **HIT₃**: (1-dk + 4-dk) × 5 tekrar, 1-dk'lar: $p@~\dot{V}O_{2maks}$, 4-dk'lar: $p@~\text{Anaerobik eşik (AnE)}$ yükünde, olan değişken yüklü kesintisiz model;
- **HIT₄**: 25-dk $p@~\%80\dot{V}O_{2maks}$ sabit yüklü (zamana karşı üretilebilecek en yüksek güç çıktısıyla) kesintisiz model.
- **HIT₅**: 30-sn × 6 tekrar, y/t oranı: 1:7, yüklenme yükü: vücut kütlelerinin %7,5'i ile maksimal yüklenme, toparlama yükü: $p@\%35 \dot{V}O_{2maks}$, olan kesintili model.

Uygulanan tüm egzersizleri sonunda tükenenleri (AZD düzeyi ≥ 19) şekilde uygulatıldı.

3.3.3. Deneysel Tasarım

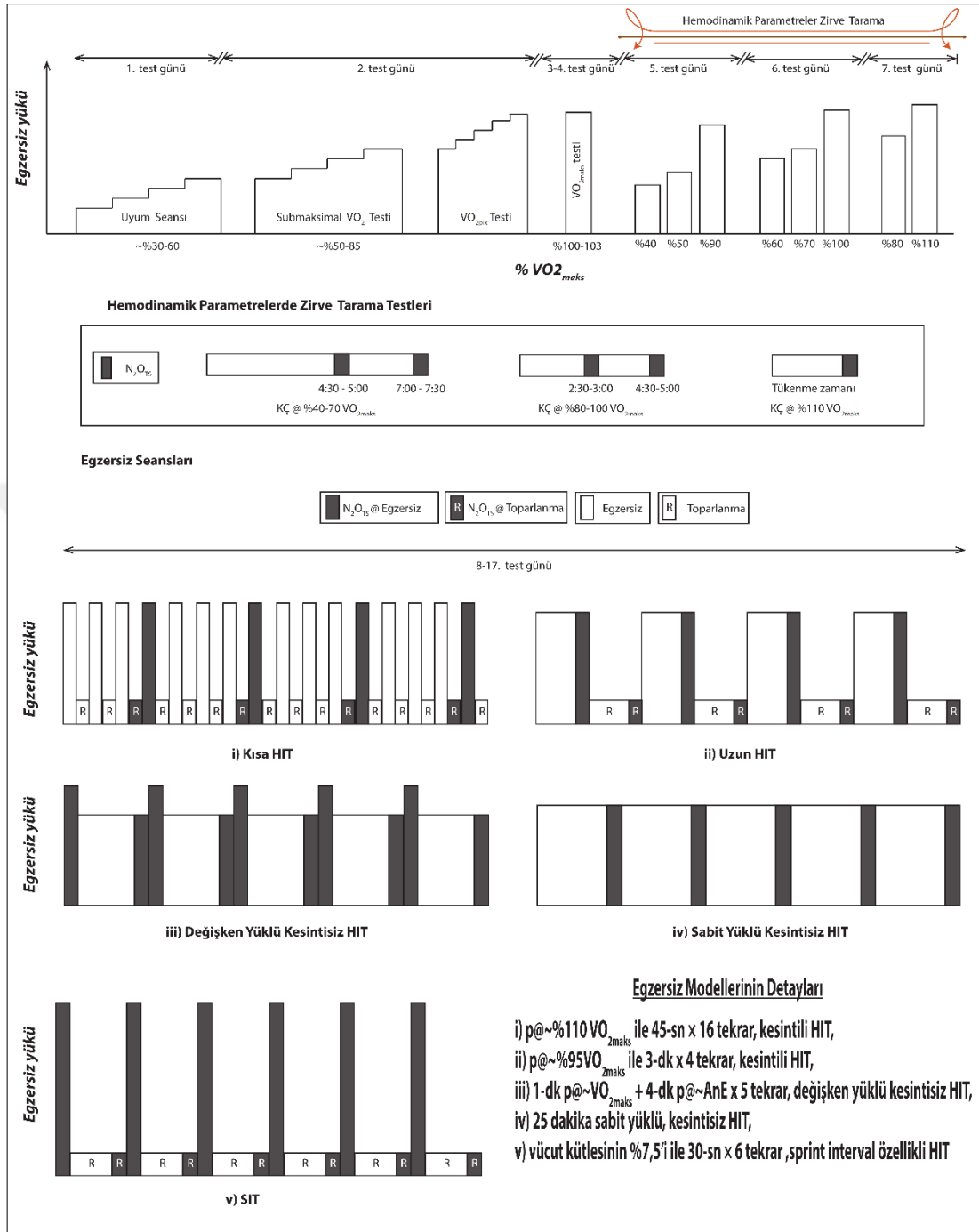
Laboratuvardaki ortam şartlarının hassas şekilde ayarlanabildiği iklimlendirme odasında, kontrollü olarak normo-termal ve normoksik koşullarda (20°C, %50-55 bağıl nem, $>\%20,7 O_2$, $\leq 400\text{ppm } CO_2$) direnci değiştirerek güç çıktısını sabitleyebilen bilgisayar kontrollü elektro-manyetik frenli bisiklet ergometresi kullanılarak gerçekleştirilen bu laboratuvar deneyinde, tekrarlanan ölçümler deney tasarımı kullanılmıştır (Şekil-1). Uyum seanslarını takiben, standart bir kademeli maksimal egzersiz testi (KMT) uygulaması sonrası farklı bir günlerde KMT'nin zirve $\dot{V}O_2$ 'yi verdiği güç çıktılarıyla ($p@\%97-100-103\dot{V}O_{2pik}$) farklı günlerde doğrulama testleri yapılarak $\dot{V}O_{2maks}$ düzeyi saptandı. Bireysel KAH_{maks} , $K\dot{C}_{maks}$ ve $a-\dot{V}O_{2farkl_{maks}}$ düzeylerinin belirlenmesi için, 3 farklı günde $\dot{V}O_{2maks}$ 'ın %40'dan %110'a kadar olan düzeylere denk gelen yükler kullanılarak sabit yüklü testler gerçekleştirildi. Daha

sonra farklı günlerde (en az 48 saat arayla) randomize şekilde beş farklı egzersiz modeli, planlanan egzersiz süresi sonunda AZD düzeyi ≥ 19 düzeyine ulaşacak şekilde uygulandı. Sporcular test seanslarına bireysel olarak benzer saat dilimlerinde alınmasına özen gösterildi. Toplamda bir katılımcı için 16-18 test gününde, genel toplamda yaklaşık 40 günde tüm prosedürler tamamlandı (Şekil 1). Yüklenme ve toparlanma fazlarına ait tüm fizyolojik ölçümlerin saptanması amacıyla her seans iki gün sonra tekrar uygulandı. Ayrıca her egzersiz modelinin sonunda 2 saatlik gaz analizi yapılarak toplam enerji tüketimleri, yağ oksidasyon miktarları ve laktat düzeyleri hesaplandı. Ek olarak, test için ayrılan günün saati, katılımcıların her biri için sirkadiyen varyansın herhangi bir etkisini en aza indirmek için standartlaştırıldı.

3.3.4 Pilot Çalışma

Pilot çalışmasının hedefi, egzersiz seanslarının bireysel olarak doğru güç çıktılarının bulunması ve bu egzersiz modellerine adaptasyonlarının sağlanmasıydı. Bu hedef doğrultusunda katılımcılar aerobik güç testlerine alındıktan sonra belirlenen antrenman yöntemlerinden haftada en az 2 tanesi farklı sıralar kullanılarak 6 ay boyunca antrenman programlarının içerisinde uygulandı. Böylece katılımcılar bir yandan laboratuvar ergometresine ve deney ortamına uyum sağlamış olurken, diğer yandan egzersiz sonunda tükenecekleri doğru egzersiz yükleri belirlendi. Yarışma dönemlerinin ve performans durumlarının test seanslarını etkilememesi amacıyla çalışma hedef yarışların hemen akabinde başlatıldı.

Şekil 1 - Deneysel Akış Şeması



3.3.5. Ölçüm Yöntemleri

3.3.5.1. Kardiyak performans ölçümleri ve gaz analizleri

KÇ ve KAH ölçümleri kanda çözünen bir gaz olan nitroz-oksitin (N₂O) ve çözünemeyen asal gaz olan sülfür hekzafloridin (SF₆) 3-4 litrelik elastik torbadan tekrar solutulmasına (rebreathing) dayalı non-invaziv bir yöntem olan N₂O tekrar-

soluma yöntemi (N_2O_{TS}) kullanılarak ölçüldü (Innocor INN00500, Innovision A/S, Odense, Denmark). Ölçümler sırasında elastik torba içerisinde düşük konsantrasyonlu bir karışım olan bir SF_6 ve N_2O gaz konsantrasyonunun ortam havası ile karıştırılmış hali bulunmaktadır. Torba içerisindeki bu gazların konsantrasyon düzeyleri, egzersizdeki tüketilen oksijen miktarı, solunum frekansı ve her bir nefesteki solunum miktarı ve sporcuların bireysel vital hacim düzeyinden hesaplanarak ayrıca test sonrasında torbadaki O_2 konsantrasyonu %15'in altına, CO_2 konsantrasyonu %10'un üzerine çıkmayacak şekilde ayarlandı. KÇ ölçümleri sırasında akış ölçer valfinin otomatik şekilde solunumu torbaya yönlendirmesinden sonra, torbadaki gaz karışımı yaklaşık olarak 5-6 nefes solutularak hesaplanmaktadır. Buradaki 5-6 nefesin ilk 2 nefesi hazırlık aşaması olup asıl ölçüm son 3 nefesten yapılmaktadır. Bu hesaplama sistem tarafından otomatik olarak yapılmakta olup, SF_6 gazının akciğer hacmi ve torba içerisindeki konsantrasyonunun dengelenmesi sonrası pulmoner dolaşımdaki toplam kan miktarının belirlenmesi ve N_2O gazının dolaşıma her bir nefesteki kana karışma oranından akciğerlerdeki kan akış miktarını hesaplamasına dayanmaktadır. Bu yöntemin en büyük sınırlılığı, sonraki ölçüm öncesinde vücutta ilgili gazların tamamen dışarı atılmasının gerekliliğidir. Dolayısıyla tekrar testlerde en az 2-3 dakikalık bir ara gerekmektedir. Bu nedenle tekrar eden ölçümlerde firmanın önerdiği ölçüm arası tekrar süreler göz önünde bulundurulmasının yanında, ilgili gazların solunum yoluyla tamamen atılmasını garanti altına almak amacıyla testlerden hemen önce solunum valfindeki N_2O ve SF_6 değerlerinin %0,001 düzeyinin altında olduğu kontrol edildi. Eğer istenilen seviyeye düşmediyse bu düzeye düşene kadar sonraki ölçüm birkaç nefes daha bekletildi. Yöntemin diğer sınırlılığı ise maksimal şiddetteki ölçümlerde tekrar dolaşım (re-circulation) riskinin olmasıdır. Bu solunumda N_2O gazının ölçümün son nefesinde tekrar solunumda görülmesiyle ölçümde hataya neden olmasıdır. Bu sorunun görüldüğü ölçümlerde KÇ ölçümünü temel aldığı son 3 nefesteki regresyonu, cihaz ayarlarından 2 nefes olarak değiştirilerek re-circulation riskinden kaçınıldı (140). KAH, KÇ'nin o düzeyde elde edilen KAS'a bölünmesiyle hesaplandı. Ayrıca $a-vO_{2\text{farkı}}$, sisteme katılımcıların hemoglobin değerleri girildikten sonra altta belirtilen eşitlikler (Eşitlik1-2) kullanılarak sistem tarafından otomatik hesaplanmaktadır.

Eşitlik.1

$$\%a - v O_2 = \%S_p O_2 - \%S_v O_2 [\%]$$

$\%S_pO_2$: Periferik oksijen satürasyonu

$\%S_vO_2$: Venöz oksijen satürasyonu

$\%SpO_2$ sistemde bulunan nabız oksimetresi tarafından hesaplandı. $\%SvO_2$ eşitlik-2 kullanılarak hesaplandı.

Eşitlik.2

$$S_vO_2\% = S_cO_2\% - \frac{VO_2}{PBF \cdot 0.000139 \cdot Hb} [\%]$$

$S_cO_2\%$: Kapiler sonu oksijen satürasyonu

PBF : Pulmoner kan akımı

Hb : Hemoglobin miktarı (mmol)

3.3.5.2. Laktat Ölçümleri

Kan laktat analizleri Ege Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesinde bulunan biyokimya laboratuvarında bulunan laboratuvar tipi laktat analizörü kullanılarak gerçekleştirildi (Biosen C line, Barleben, Almanya). Laktat ölçümlerinde öncelikle katılımcının parmak ucu sırasıyla alkollü ve kuru pamukla silinerek lanset yardımıyla delindi. Laktat analizörünün özel tüpleri yardımıyla 20 µL miktarında kan alımı gerçekleştirildi ve parmak ucuna alkollü pamuk konularak işlem tamamlandı. Bu işlem ısınmaya başlamadan hemen önce yapılarak katılımcıların istirahat laktat düzeyleri belirlendi. Egzersiz modellerindeki zirve laktat düzeylerinin belirlenmesi için her egzersiz bitiminden itibaren sırasıyla; egzersizin hemen sonunda, 1., 2., 3., 5., 7. dakikalarda kan örnekleri toplandı. Ayrıca laktat eliminasyonunun değerlendirilmesi için egzersiz sonrasındaki 30. ve 60.'cı dakikalarda kan örnekleri alındı. Böylece her seans için toplamda en fazla 9 adet kan örneği alınıp analiz edildi.

3.3.5.3. Yağ Oksidasyonu ve Enerji Tüketiminin Hesaplanması

Her bir egzersiz protokolü sırasında (24-25 dakika) ve sonrasında (120 dakika) aralıksız olarak yapılan gaz ölçümleri 15 saniyelik ortalamalarla kaydedildi (ısınma bölümü hariç). Tercih edilen antrenman modellerinin değişken egzersiz yapılarından kaynaklanan SDO kısıtlılığı göz önüne alındığından dolayı 1 L O_2 'in kalori eşitliği 5

kcal olarak kabul edildi (141). Ayrıca egzersiz sonrası yağ oksidasyon hızı aşağıdaki formül kullanılarak hesaplandı (Eşitlik-3) (142).

Eşitlik-3

$$\text{Yağ oksidasyon (g} \cdot \text{dk}^{-1}) = 1,695 \times \text{VO}_2(\text{L} \cdot \text{dk}^{-1}) - 1,701 \times \text{VCO}_2(\text{L} \cdot \text{dk}^{-1})$$

3.3.5.4. VO_{2maks} Düzeyinde Geçirilen Süre ve Alan Analizi

Katılımcıların bireysel olarak belirlenen VO_{2maks} seviyelerinden bu düzeye %5 ve %10 yakın kalma kriterlerine göre süre analizleri yapıldı. Bu analizler her bir egzersiz seansındaki VO₂ yanıtlarının 15'er saniyelik ortalama değerleri üzerinden bireysel olarak hesaplandı. İlgili %5 ve %10 yakın olma kriterine göre maksimal düzeylerdeki alan analiziye belirlenen VO_{2maks} sınırlarında geçirilen sürenin yanında ulaşılan VO₂ düzeylerinin büyüklüklerine ait farkın ortaya koyması için yapıldı. Bu analizde süre analize benzer şekilde VO₂ yanıtlarının 15'er saniyelik ortalama değerleri kullanıldı. Maksimal değerlere %5 ya da %10 yakın olduğu her bir 15 saniyelik ortalama VO₂ değeri ile ilgili maksimal VO₂ sınırlarına ait VO₂ farkı 15 saniye ile çarpılarak integrali alındı ve tüm seans boyunca bu değerler toplandı (örneğin; %5 sınırı: 4,8 L VO₂, ulaşılan VO₂ 4,95 ise; (4,95-4,8) × 15-sn= 2,25). Bu analiz tüm veri setine uygulanarak her egzersiz seansına ait alan değerleri elde edildi.

3.3.5.5. KAH_{maks}, KÇ_{maks}, a-VO_{2farkı_maks} ve KAS_{maks} Düzeyinde Geçirilen Süre Analizi

Katılımcıların bireysel olarak belirlenen KAH_{maks}, KÇ_{maks}, a-VO_{2farkı_maks} düzeylerinden bu düzeye %5 ve %10 yakın geçirilen süre analizleri yüklenme ve toparlanma fazlarına ayrı ayrı uygulandı. Bu analizler, KÇ, KAH, a-VO_{2farkı} ve KAS parametrelerinin paternleri VO₂ değişimiyle ilişkili olduğundan, egzersiz modellerine ait ilgili parametrelerin süre analizleri N₂O_{TS} sonrasında ilgili parametrede zirve değerler tespit edildiyse, ne kadar süre zirve sayılacağı VO₂ değişiminden interpolasyon yaparak uygulandı. Ayrıca aşağıdaki kriterlerde göz önüne alındı.

HIT₁ seansı için; eğer ölçülen parametre belirlenen % kriterin (%5 ya da 10) üstündeyse ilk 2 setteki süreler hariç yüklenme ve toparlanma fazlarının tamamı,

HIT₂ seansı için; eğer yüklenme fazında ölçülen parametre belirlenen % kriterin üstündeyse 2 dakika, toparlanma fazında maksimal düzeylere ulaşıldığıdaysa 3 dakika,

HIT₃ için; eğer ölçülen parametre belirlenen % kriterin üstündeyse ilk yüklenmenin 45 saniyesi hariç diğer ölçümlerin tamamı,

HIT₄ için; eğer ölçülen parametre belirlenen % kriterin üstündeyse ilk ölçümün 3 dakikası, diğer ölçümlerin tamamı,

ve HIT₅ için; eğer % kriterin üstündeyse yüklenme fazları için 1 dakika toparlanma fazları için 3 dakikalık süreler ilgili parametrelerin “maksimal” sürelerine dahil edildi.

3.4. Prosedürler

3.4.1. Uyum Seansı

Katılımcılar çalışma öncesi yaklaşık 6 aydır ön test seanslarına katılıyor olmalarına rağmen, bisiklet ergometresine, iklimlendirme odasına, gaz analizörünün aparatlarına, N₂O_{Ts} yöntemine adaptasyonlarının kontrollerini yapmak amacıyla uyum seansına alındılar. Bu seansta katılımcılara ~60 W dirençle başlanarak, her basamakta ~25-30 W'lık yük artışı yapıldığı, 5'er dakikalık 4 kademededen oluşan egzersiz testi uygulandı ve test boyunca nabız, solunum gaz yanıtları ve AZD'nın yanıtlanması gibi durumlar kontrol edildi.

3.4.2. Submaksimal VO₂ Testi

Her katılımcının yaklaşık solunumsal anaerobik eşik değerini veren egzersiz yükü bulmak amacıyla VO₂ submaksimal testi uygulandı. Katılımcıların uyum seanslarında kaydedilen verileri göz önünde bulundurularak, 15 dakikalık standart bir ısınma periyodu sonrasında (4-dk 120 W + 4-dk 160 W + 2-dk 180 W + 5-dk aktif dinlenme/streching) maksimal KAS değerlerinin %50-60'larına denk gelen yüklerle her kademesi 2,5 dakika süren 6-7 kademeli submaksimal teste başladılar. ~25-30 W'lık artışlarla devam eden teste, katılımcılar AZD olarak 18 düzeyine ulaştıklarında ve VE/VCO₂ eğrisinde kırılma görüldükten sonra test sonlandırıldı. Test boyunca KAS, solunum gaz yanıtları ve AZD sürekli olarak kayıt altına alındı.

3.4.3. VO_{2maks} testi

KMT, submaksimal test sonrası gerçekleştirilen 60-90 dakikalık bir dinlenmeyi takiben başlatıldı. Öncelikle katılımcılar her hademesi 4 dakika süren 3 dakikalık ısınımına seanslarına alındındılar. Kademelerdeki egzersiz yükleri sırasıyla $p@VO_{2maks}$ 'ın %30'u, %40'ı ve %50'si kullanıldı. Her kademenin sonunda $p@VO_{2maks}$ 'ın %200'lerine ulaşacakları şekilde 5 saniye süren maksimal yüklenmeli sprintler yapıldı. KMT'ler solunumsal anaerobik eşik düzeyinden başlatıldı ve her kademesi 2 dakika süren 3-5 kademeli yük artışları olan bir protokolle bitkinlik oluşana kadar devam edecek şekilde uygulandı. KMT'lerden sonraki günde, KMT'de elde edilen VO_{2pik} düzeyine karşılık gelen güç çıktısıyla sabit yüklü doğrulama fazı uygulamaları sonrasında $\dot{V}O_{2maks}$ değeri saptandı. Bu değer doğruluğu, önceki doğrulama testi 5 dakikadan uzun sürdürülmüşse ilgili güç çıktısının %3 üstü, 5 dakikadan az sürdürülmüşse %3 altı sonraki günde tek kademeli testle $\dot{V}O_{2maks}$ düzeyleri sınandı. KMT ve doğrulama fazı uygulamaları sırasında tüm katılımcılara testin başından tükenme anına kadar sözlü motivasyon desteği verildi. Katılımcıların bitkinliğe dayalı olarak protokollerini sonlandırdıkları düzeyin doğruluğu; *i*) $\dot{V}O_2$ 'de 60 saniye süresince 150 ml değerinden düşük fark (plato), *ii*) maksimal KAS değerinin (220-yaş) %10 ve üzerinde nabız yanıtı ($vuru \cdot dk^{-1}$), *iii*) 1,1 ya da üzerinde SDO ve *iv*) $AZD \geq 19$ yanıt kriterleri kullanılarak denetlendi. İlgili kriterlerin gözlenmediği KMT ve doğrulama fazları, bir sonraki gün tekrarlatıldı. $\dot{V}O_{2maks}$, 30 saniye süreyle ölçülen en yüksek $\dot{V}O_2$ değeri olarak, bu düzeye denk gelen güç çıktısı $p@VO_{2maks}$ düzeyi olarak kaydedildi.

3.4.4. Bireysel KAH_{maks} , $K\dot{C}_{maks}$, $a-vO_{2fark1_{maks}}$, KAS_{maks} Düzeylerinin Belirlenmesi

Bireysel KAH_{maks} , $K\dot{C}_{maks}$, $a-vO_{2fark1_{maks}}$ düzeylerinin belirlenmesi için $\dot{V}O_{2maks}$ 'ın %40-%110'lük aralığında sabit yüklü egzersizler uygulandı. Egzersiz yükleri, VO_{2pik} ve submaksimal VO_2 testlerinden elde edilen verilerle ekstrapolasyon ve intrapolasyon yapılarak hesaplandı. VO_{2maks} 'ın %40-70'i aralığındaki yüklerle 7,5 dakikalık, $\dot{V}O_{2maks}$ 'ın %80-100'ü aralığındaki yüklerle 5'er dakikalık sabit yüklü egzersizler gerçekleştirildi. Hemodinamik parametrelerin ölçümleri N_2O_{TS} yoluyla, 7,5 dakikalık egzersizlerde 5:00 ve 7:30'da; 5 dakikalık egzersizlerdeyse 2:30 ve eğer

mümkünse 4:30'da gerçekleştirildi. % 110 $\dot{V}O_{2maks}$ şiddetine denk gelen egzersizdeyse tükenme zamanından hemen önce hemodinamik parametrelerin ölçümü yapıldı.

3.4.5. İnterval Egzersiz Uygulamaları

Testler sırasında egzersizin hedeflenen süre öncesinde tükenmesini önlenmek ve egzersiz sonundan bitkin duruma gelmesini garanti altına almak için, egzersiz sırasında en fazla 10 W'lık yük ayarlaması yapıldı. Burada önceki seanslarda elde edilen KAS ve anlık AZD değerleri üzerinden değerlendirmeler yapıldı. İlgili modellerde hem yüklenme hem de toparlanma fazlarında hemodinamik parametre ölçümlerinin yapılabilmesi için her bir egzersiz seansı farklı günlerde tekrarlatıldı. Tekrarlanan egzersiz modelleri aynı yüklerle uygulansa da KAS ve VO_2 yanıtlarından fizyolojik farklılıkları kontrol edildi. Anlamli düzeyde farklar olması durumunda seans farklı günde tekrar edildi. Kesintisiz sabit yüklü modelde (HIT₄) her 5 dakikada bir olmak üzere toplam 5 adet, değişken yüklü kesintisiz HIT modelinde (HIT₄) her 1 dakikalık ve 4 dakikalık fazlarda olmak üzere toplamda 10 adet, kesintili uzun HIT modelinde (HIT₃) tüm yüklenme ve toparlanma fazlarına ait 4'er adet olmak üzere toplamda 8 adet, kesintili kısa HIT modelinde (HIT₁) 4., 8., 12. ve 16. yüklenmelerde ve bu yüklenmelerin hemen öncesindeki toparlanma periyotlarında olmak üzere toplamda 8 adet, sprint interval özellikli HIT modelindeyse (HIT₅) tüm yüklenme ve toparlanma fazlarına ait 6'şar, toplamda 12 adet N_2O_{TS} ölçümü yapıldı. Yüklenme fazlarına ait ilgili N_2O_{TS} ölçümleri yüklenmenin son 5 saniyesinde başlatıldı. Toparlanma fazlarına ait N_2O_{TS} ölçümlerin yapılabilmesi için HIT₁, HIT₃ ve HIT₅ ayrı günlerde tekrar edildi. Egzersiz sırasında solunum gazları ve KAS sürekli, AZD belirli periyotlarla kaydedildi. Kesintili seanslarının toparlanma yükleri VO_{2maks} 'ın %35'ine denk gelen güç çıktısıyla yapıldı. Ayrıca seanslar sonrasında 2 saatlik toparlanma bölümünde laktat ve solunum gazları analiz edilerek, toplam enerji tüketimleri ve yağ oksidasyon miktarları hesaplandı. Tüm egzersiz seansları öncesinde VO_{2maks} testinde uygulanan ısınma protokolü uygulandı.

3.5. İstatistiksel Analizler

Verilerin analizinde sporculara ait fiziksel özellikler, antropometrik özelliklere ilişkin tanımlayıcı istatistikler hesaplandı. Verilerin basıklık ve çarpıklık analizlerinin ardından normal dağılıma uygunluğu Shapiro-Wilk testiyle değerlendirildi. Çalışmada parametrik olarak kabul edilen veriler tek yönlü tekrarlanan ölçümler varyans analizi

(ANOVA) yöntemiyle değerlendirilirken, non-parametrik veriler K-Related Samples/Friedman analiz yöntemiyle değerlendirildi. Sonrasındaysa parametrik verilerin post-hoc analizleri LSD testi ile non-parametrik verilerin analizleri ise Wilcoxon testiyle yapıldı. Egzersiz uygulamalarına ait KÇ, KAH, KAS, $a-vO_2$ farkı, enerji, yağ oksidasyonu parametreleri arasındaki çoklu karşılaştırma yapıldı. Verilerin istatistiksel analizinde Statistical Package for Social Sciences (version 20.0; SPSS Inc., Chicago, IL) istatistik programı kullanıldı ve anlamlılık düzeyi $p \leq 0.05$ olarak kabul edildi.



4. BULGULAR

Çalışmaya katılım gösteren gönüllülerin tanımlayıcı istatistikleri Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1 - Katılımcıların tanımlayıcı istatistikleri (n=8)

Değişkenler	Ortalama \pm SS	%CV	Minimum	Maksimum
Yaş (yıl)	22,1 \pm 3,1	14,2	18	28
Boy (cm)	175 \pm 5,2	3,0	170	183
Kilo (kg)	66,2 \pm 8,5	12,9	55	78,5
VYO (%)	7,2 \pm 1,1	15,3	5,9	9,2
Ant. Yaşı (yıl)	6,4 \pm 2,2	34,5	4	11
VO _{2maks} (ml·dk ⁻¹)	64 \pm 5,6	8,8	58,1	74,1
p@VO _{2maks} (W·kg ⁻¹)	5,5 \pm 0,3	6,3	5	6,1
AnE@%VO _{2maks}	78,4 \pm 3	3,8	74,5	83,1
p@AnE (W·dk ⁻¹)	4 \pm 0,4	13,5	76,4	87
p@KAH _{maks} (W)	284 \pm 48,9	26,2	210	350
KÇ _{maks} (lt·dk ⁻¹)	25 \pm 2,7	10,8	20,3	28,2
KAH _{maks} (ml)	145 \pm 19,7	18,5	113	172
a-vO _{2farkı_maks} (%)	89 \pm 6,3	7,11	81	99
KAS _{maks} (vuru·dk ⁻¹)	188 \pm 7,2	3,8	177	198
KAH _{maks} @%VO _{2maks} (%)	86,3 \pm 9,2	3,46	70	100

VYO: Vücut yağ oranı; VO_{2maks}: Vücudun kilogramı başına tükettiği oksijen miktarı, p@VO_{2maks}: Aerobik güç düzeyindeki güç çıktısı; AnE@%VO_{2maks}: Anaerobik eşiğin VO_{2maks} düzeyinin % kaçına denk geldiği; p@AnE: Anaerobik eşiğe denk gelen güç çıktısı; KÇ_{maks}: Maksimal kardiyak çıktı; KAH_{maks}: Maksimal kalp atım hacmi; a-vO_{2farkı_maks} (%): Maksimal arterio-venöz oksijen farkı; KAS_{maks}: Maksimal kalp atım sayısı; KAH_{maks}@%VO_{2maks}: Maksimal kalp atım hacmine denk gelen güç çıktısının VO_{2maks} düzeyinin hangi fraksiyonuna denk geldiği.

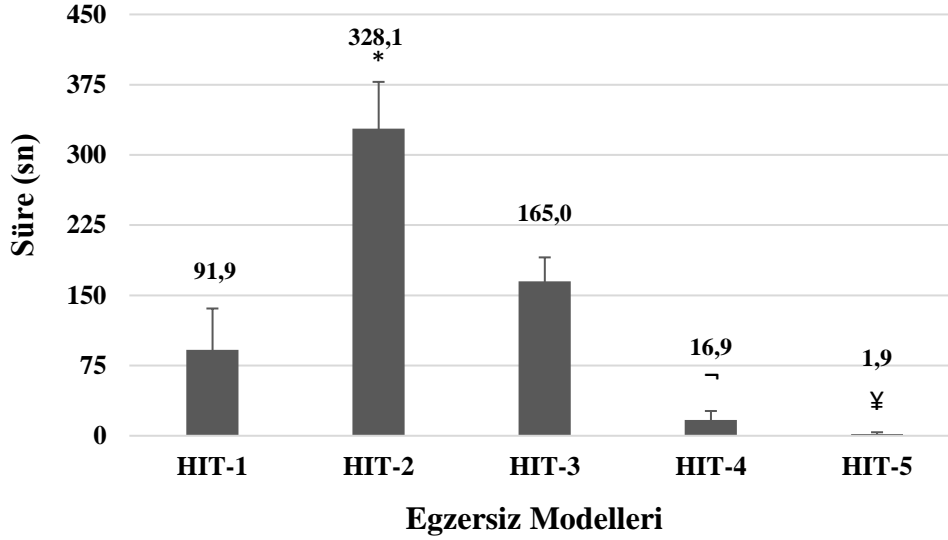
Kesintili egzersiz modellerinin yüklenme ve toparlanma fazına ait ortalama güç çıktılarıyla kesintisiz modellerin ortalama güç çıktıları Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2 - Egzersiz modellerine ait ortalama güç çıktıları

Egzersiz Modelleri	Yüklenme (Ortalama \pm SS)	Toparlanma (Ortalama \pm SS)	Ortalama (Ortalama \pm SS)
HIT ₁ (W)	399 \pm 44	108 \pm 10,7	254 \pm 27,4
HIT ₂ (W)	338 \pm 41,8	108 \pm 10,7	223 \pm 26,3
HIT ₃ (W)	351 \pm 36,9 ve 266 \pm 38,9	-	283 \pm 38,5
HIT ₄ (W)	289 \pm 35,6	-	289 \pm 35,6
HIT ₅ (W)	640 \pm 79,2	108 \pm 10,7	175 \pm 12,7

Egzersiz modelindeki ulaşılan ortalama güç ıktıları değerlendirildiğinde, ortalama olarak en yüksek güç çıktısına $288,8 \pm 35,6$ W ile HIT₄ modelinde ulaşıldı. En düşük ortalama güç ıktısıysa HIT₅ modelinde $174,8 \pm 12,7$ W olarak saptandı.

Şekil 2 - Katılımcıların VO_{2maks} düzeylerinde geçirdikleri sürelerin (VO_{2maks}'a %5 yakın olma kriterine göre) egzersiz modellerine göre karşılaştırılması

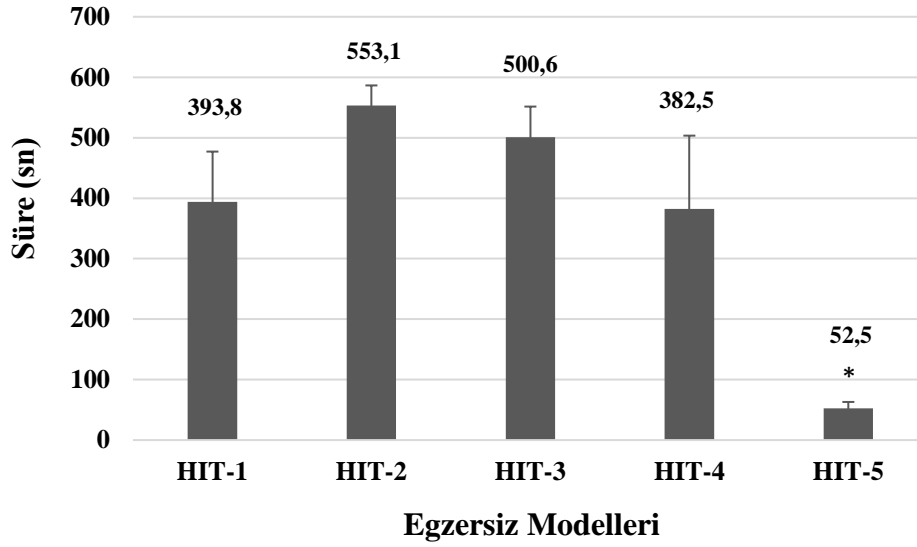


*: Diğer modellere göre daha uzun süre yanıtı; ¤: HIT₁, HIT₃ ve HIT₄ modellerine oranla daha kısa süre yanıtı; -: HIT₃ ve HIT₂ modeline oranla daha kısa süre yanıtı, p<0.05.

Egzersiz modellerinde VO_{2maks} düzeyinde geçirilen süre (%5 VO_{2maks} düzeyine yakın olma kriterine göre) en yüksek HIT₂ modelindeydi. Ayrıca HIT₃ modelinde HIT₄ ve HIT₅ modellerine oranla daha uzun süre VO_{2maks} düzeyinde kaldığı gözlemlendi. En kısa sreyse sadece 1 katılımcının 15 saniye boyunca ulaştığı HIT₅ modelindeydi (Egzersiz modelindeki ulaşılan ortalama güç ıktıları değerlendirildiğinde, ortalama olarak en yüksek güç çıktısına $288,8 \pm 35,6$ W ile HIT₄ modelinde ulaşıldı. En düşük ortalama güç ıktısıysa HIT₅ modelinde $174,8 \pm 12,7$ W olarak saptandı.

Şekil 2).

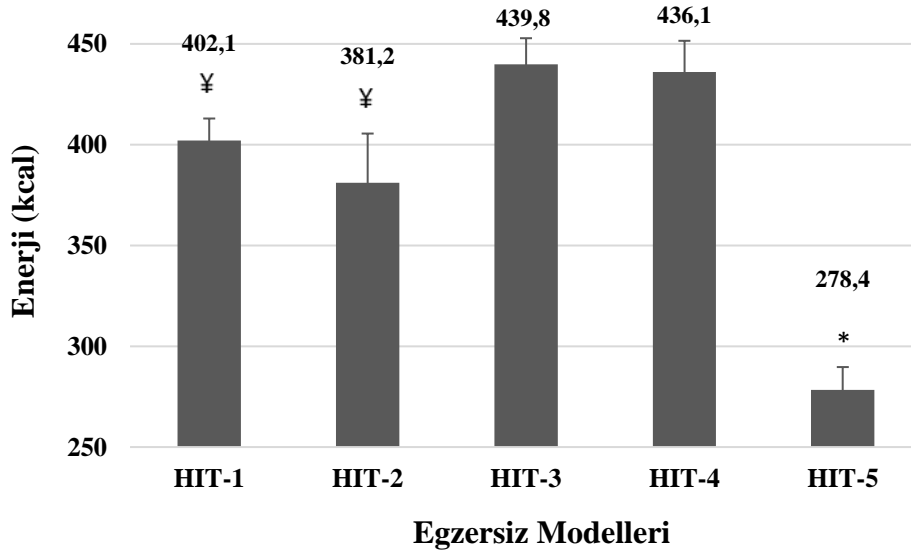
Şekil 3 - Katılımcıların VO_{2maks} düzeylerinde geçirdikleri sürelerin (VO_{2maks} 'a %10 yakın olma kriterine göre) egzersiz modellerinde karşılaştırılması



*: Diğer modellere göre daha küçük süre yanıtı; $p < 0.05$.

Aynı analiz VO_{2maks} düzeyine %10 yakın olma kriterine göre ele alındığında sadece HIT₅ modelinde diğer modellere oranla anlamlı düşüş bulundu. Diğer egzersiz modellerinde VO_{2maks} düzeyinde geçirilen süreler arasında farklar anlamlı değildi (Şekil 3).

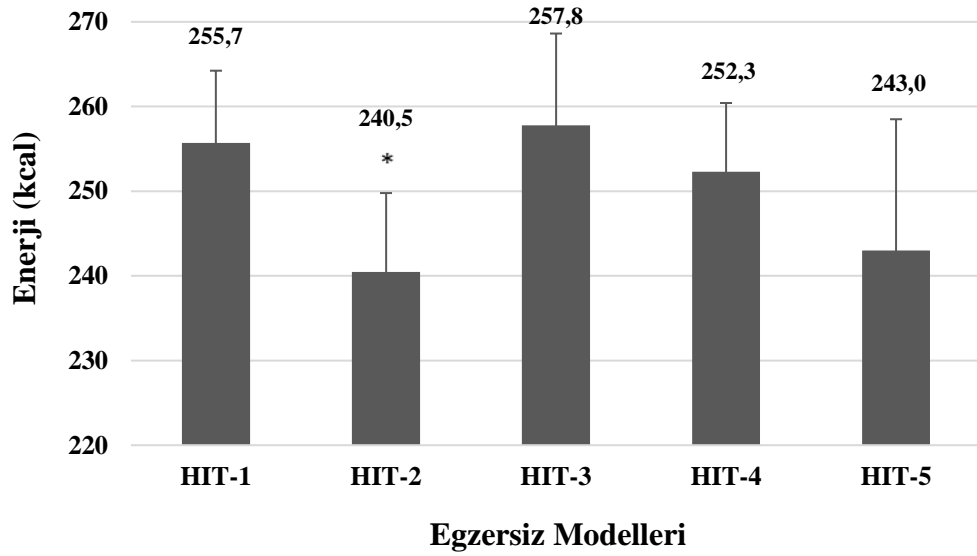
Şekil 4 - Egzersiz seansları sırasındaki enerji tüketim değerleri



*: Diğer modellere göre daha küçük enerji tüketimi; ₺: HIT₃ ve HIT₄ modeline göre daha küçük enerji tüketimi, $p < 0.05$.

Egzersiz seanslarındaki enerji tüketimleri incelendiğinde HIT₃ ve HIT₄ modelleri HIT₁ ve HIT₂ modellerine oranla daha büyük enerji maliyeti olduğu saptandı ($p<0.05$). Ayrıca HIT₅ modelindeki enerji tüketim değeri diğer seanslara oranla daha küçüktü ($p<0.05$) (Şekil 4).

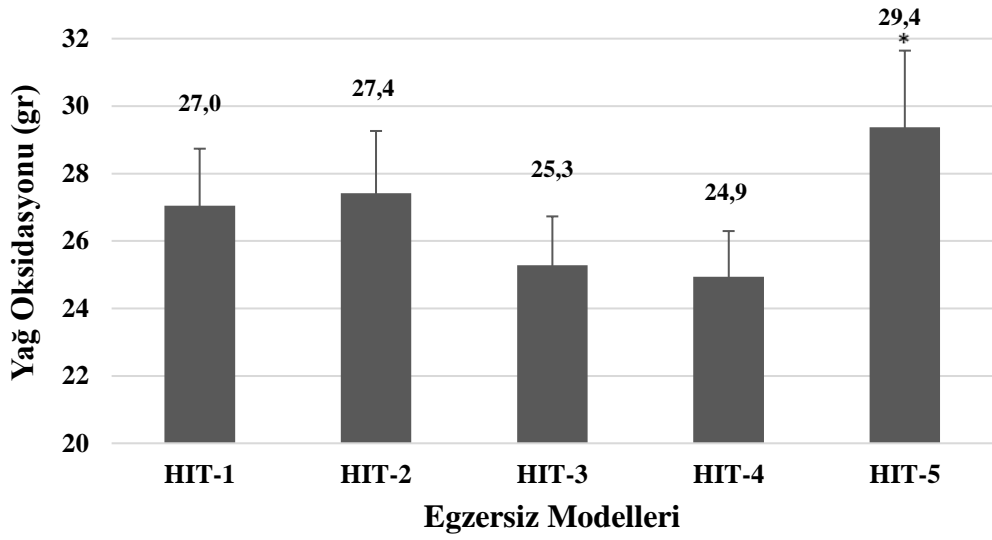
Şekil 5 - Egzersiz seansları sonrasındaki (2 saatlik) enerji tüketim değerleri



*: HIT₁ ve HIT₃ modellerine göre daha küçük enerji tüketimi, $p<0.05$.

Egzersiz seansları sonrası 2 saatlik süredeki enerji tüketimleri incelendiğinde HIT₂'nin HIT₁ ve HIT₃ modeline oranla daha küçük enerji tüketimi olduğu saptandı ($p<0.05$). Diğer modellerin arasında anlamlı farklar gözlemlenmedi (Şekil 5).

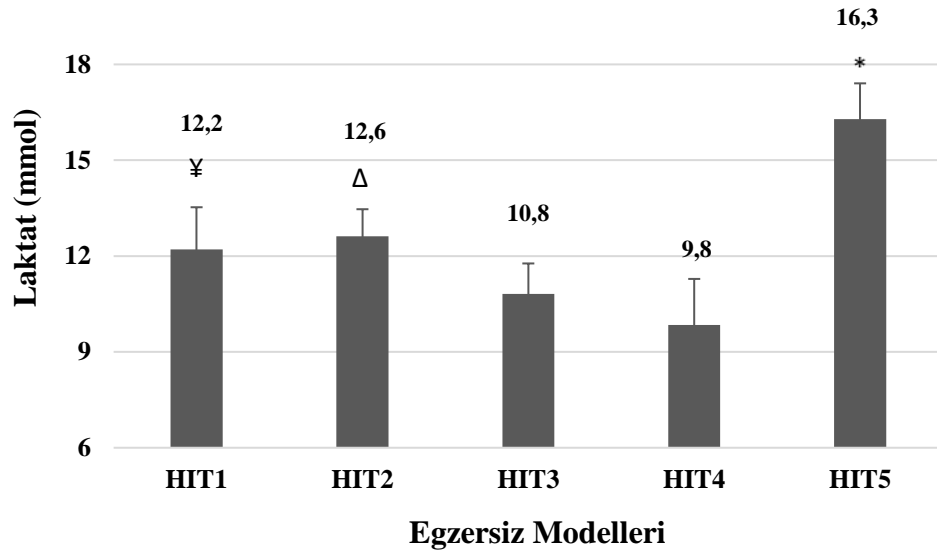
Şekil 6 - Egzersiz seansları sonrasındaki (2 saatlik) yağ oksidasyonu değerleri



*: HIT₃ ve HIT₄ modellerine göre daha büyük yağ oksidasyonu, p<0.05.

Egzersiz seansları sonrası 2 saatlik süredeki yağ oksidasyon miktarları incelendiğinde HIT₅ modelinde, HIT₃ ve HIT₄ modellerine oranla daha büyük olduğu saptandı (p<0.05) (Şekil 6).

Şekil 7 - Egzersiz seanslarında ulaşılan maksimal laktat düzeyleri

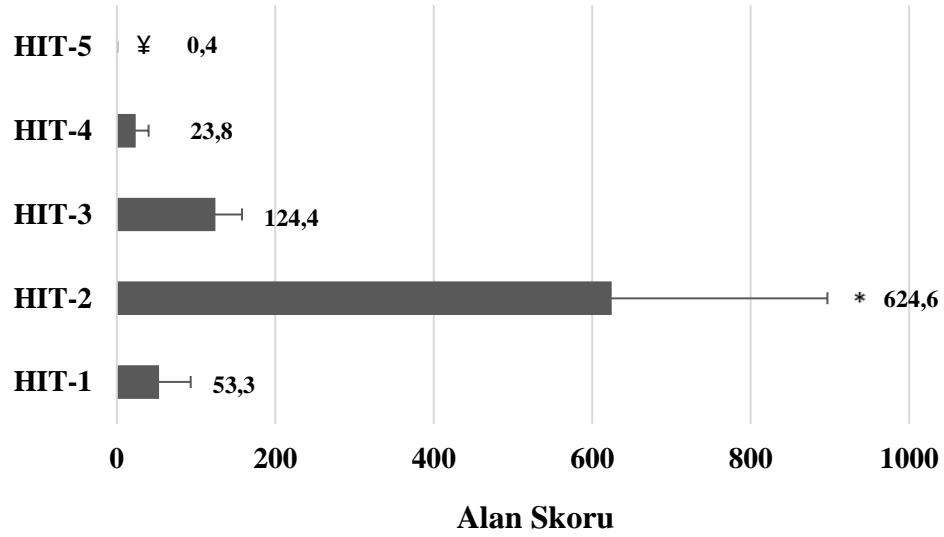


*: Diğer modellere oranla daha büyük laktat yanıtı; Δ: HIT₃ ve HIT₄ modellerine göre daha büyük laktat yanıtı; ¥: HIT₄ modeline oranla daha büyük laktat yanıtı, p<0.05.

Egzersiz seanslarında ulaşılan maksimal laktat düzeyleri incelendiğinde en büyük laktat yanıtının HIT₅ modelinde olduğu gözlemlendi (p<0.05). Ayrıca HIT₁ ve HIT₂

modellerindeki maksimal laktat yanıtları HIT₃ ve HIT₄ modellerine oranla daha büyüktü (p<0.05) (Şekil 7).

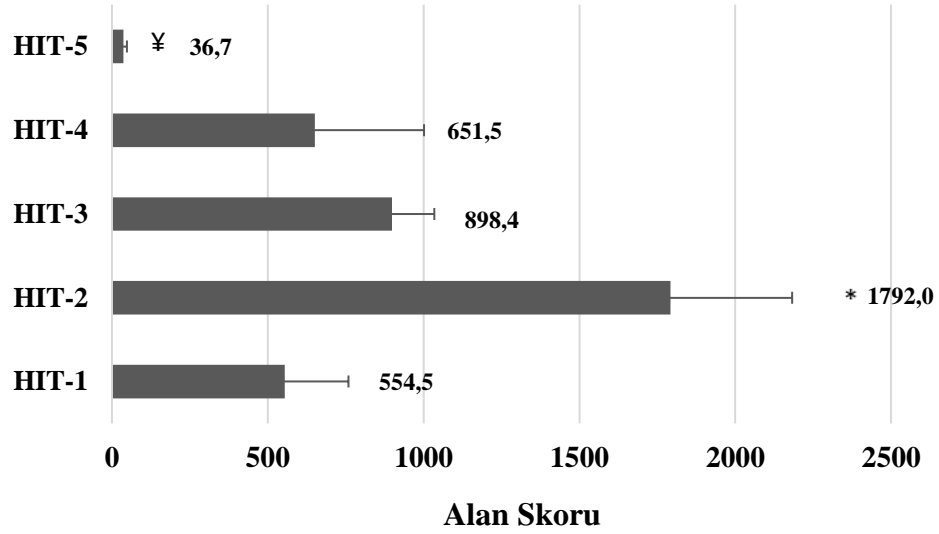
Şekil 8 - Katılımcıların VO_{2maks} düzeylerinde geçirdikleri sürelerine ait alan analizinin (VO_{2maks}'a %5 yakın olma kriterine göre) egzersiz modellerine göre karşılaştırılması



*: Diğer modellere göre daha büyük skor; ¥: Diğer modellere göre daha küçük skor, p<0.05.

Egzersiz modellerinde ulaşılan VO₂ düzeyleri kullanılarak yapılan alan hesabında (%5 VO_{2maks} düzeyine yakın olma kriterine göre) en yüksek skor HIT₂ modelinde saptandı ve bu düzey diğer tüm modellerden daha yüksekti (p<0.05). En düşük skorsa HIT₁ modeli hariç diğer tüm modellerden anlamdı düzeyde düşük olan HIT₅ uygulamasındaydı (p<0.05). Diğer modeller arasında anlamlı değişiklik gözlenmedi (Şekil 8).

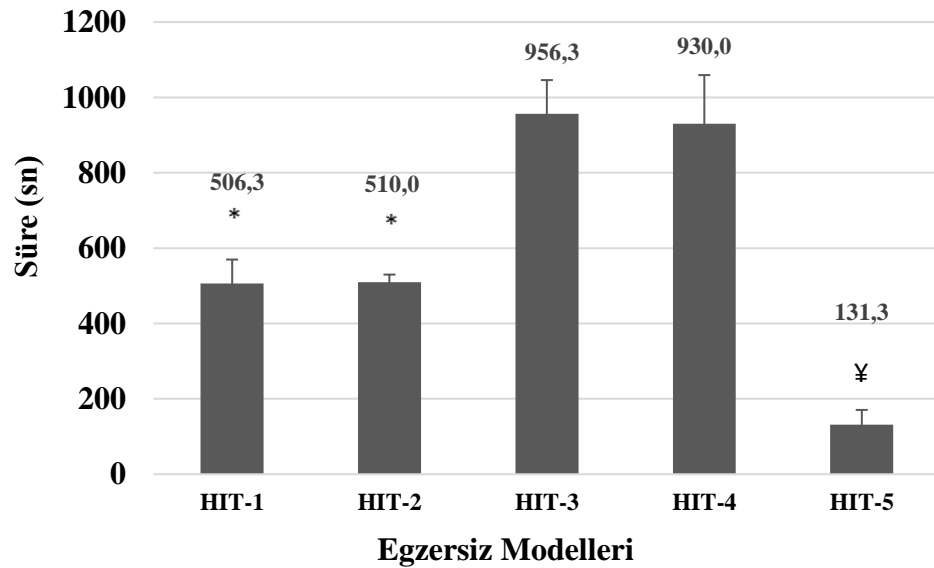
Şekil 9 - Katılımcıların VO_{2maks} düzeylerinde geçirdikleri sürelerine ait alan analizinin (VO_{2maks} 'a %10 yakın olma kriterine göre) egzersiz modellerine göre karşılaştırılması



*: Diğer modellere göre daha büyük skor; ¥: Diğer modellere göre daha küçük skor, $p<0.05$.

Egzersiz modellerinde ulaşılan VO_2 düzeyleri kullanılarak yapılan alan hesabında (%10 VO_{2maks} düzeyine yakın olma kriterine göre) en yüksek skor HIT₂ modelinde saptandı ve bu düzey HIT₃ haricindeki tüm modellerden daha yüksekti ($p<0.05$). En düşük skorsa tüm seanslardan anlamdı düzeyde düşük olan HIT₅ modelindeydi ($p<0.05$). Diğer modeller arasında anlamlı değişiklik gözlenmedi (Şekil 9).

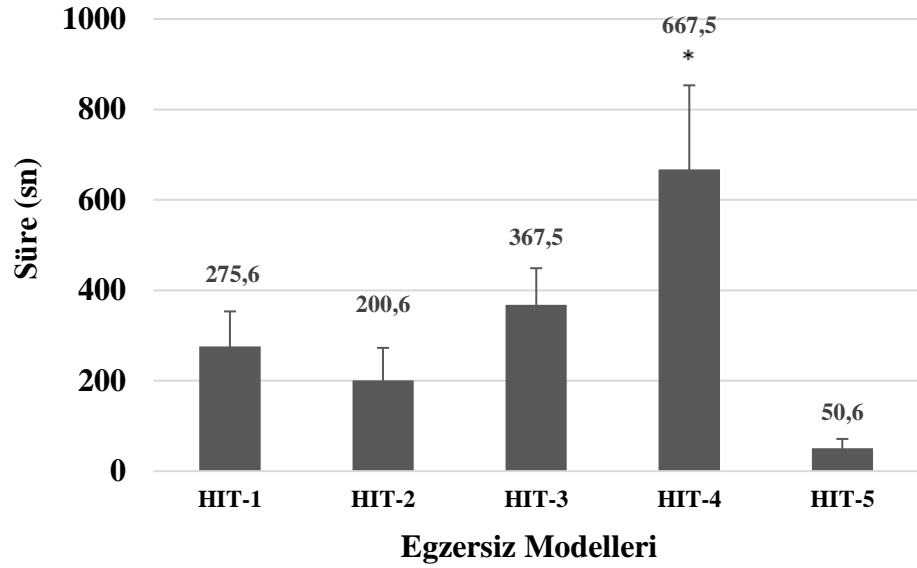
Şekil 10 - %90 $KÇ_{maks}$ Üzerinde Geçirilen Süre



*: HIT₃ ve HIT₄ seanslarında göre daha küçük süre; ¥: Diğer seanslara göre daha küçük süre, $p<0.05$.

Egzersiz modelleri, $K\check{C}_{maks}$ düzeyinde geçirilen süreye (%10 yakın olma kriterine göre) göre incelendiğinde, HIT₃ ve HIT₄ modellerinin HIT₁, HIT₂, ve HIT₅ modellerine oranla $K\check{C}_{maks}$ düzeyinde daha fazla süre geçirilmesine olanak sağladığı saptandı ($p<0.05$). En düşük $K\check{C}_{maks}$ düzeyinde geçirilen süre HIT₅ seansında gözlemlendi ($p<0.05$) (Şekil 10).

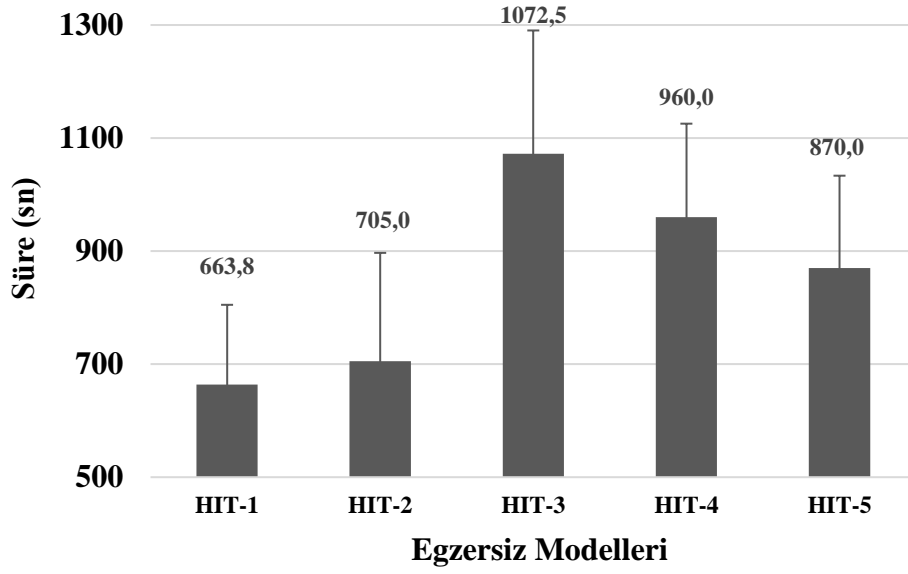
Şekil 11 - %95 $K\check{C}_{maks}$ Üzerinde Geçirilen Süre



*: HIT₁ ve HIT₂ seanslarına oranla daha büyük süre, $p<0.05$.

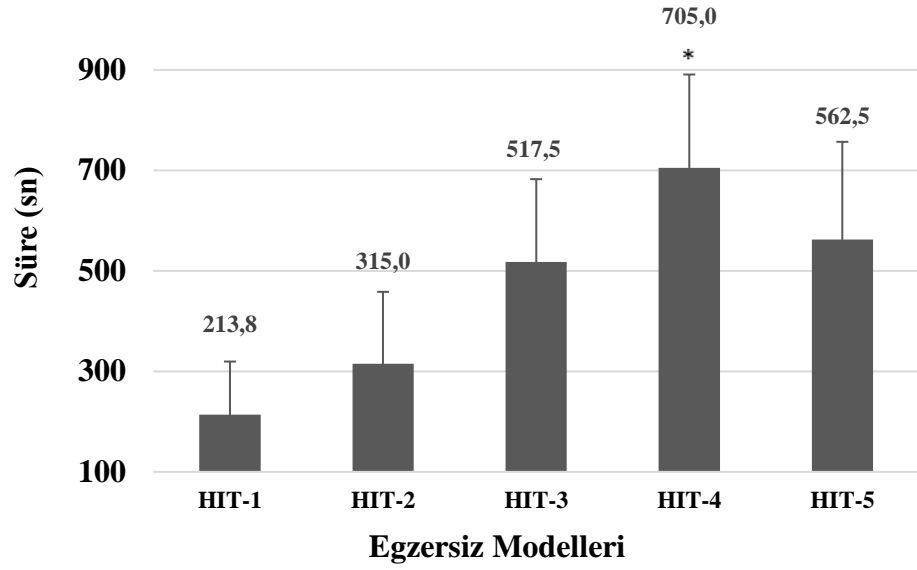
Egzersiz modelleri, $K\check{C}_{maks}$ düzeyinde geçirilen süreye (%5 yakın olma kriterine göre) göre incelendiğinde, HIT₄ modelinin HIT₁ ve HIT₂ modellerine oranla $K\check{C}_{maks}$ dolaylarında daha fazla süre geçirilmesine olanak sağladığı saptandı ($p<0.05$) (Şekil 11).

Şekil 12 - %90 KAH_{maks} Üzerinde Geçirilen Süre



Egzersiz modelleri, KAH_{maks} düzeyinde geçirilen süreye (%10 yakın olma kriterine göre) göre incelendiğinde, HIT₄, HIT₃ ve HIT₅ modelleri HIT₁ ve HIT₂ modellerine oranla KAH_{maks} dolaylarında daha büyük süre geçirdiği saptansa da bu düzeydeki farklar anlamlı düzeyde değildi. HIT₄ modelinin HIT₁ ve HIT₂ modeline oranla p değeri açısından anlamlı fark bulunmasa da (sırasıyla; p=0.142, p=0.117) orta düzeyde etki büyüklüğü (ES) saptandı (sırasıyla; ES=0.59, ES=0.63). Benzer şekilde HIT₃ modeli HIT₁ modeline oranla p değeri açısından anlamlı düzeyde olmasa da (p=0.13) orta düzeyde etki büyüklüğü saptandı (ES=0.61) (Şekil 12).

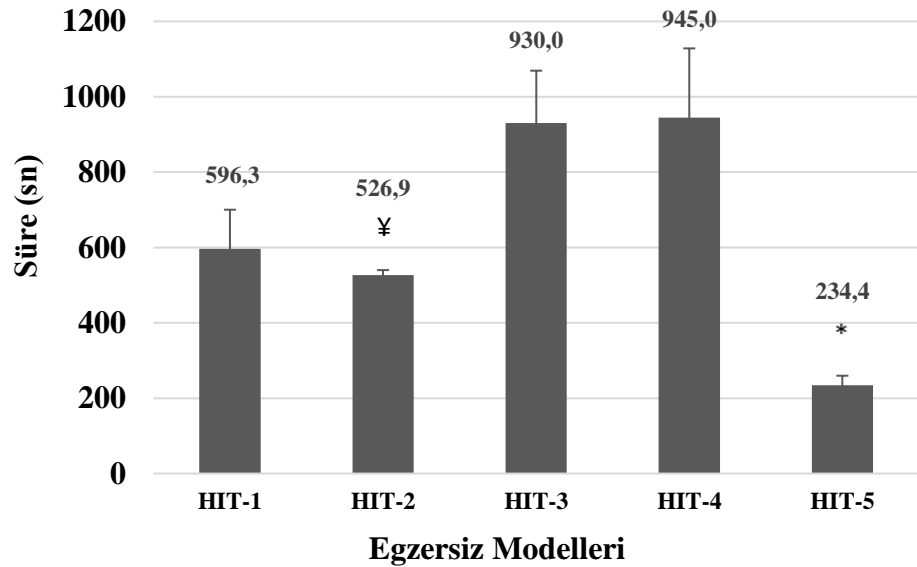
Şekil 13 - %95 KAH_{maks} Üzerinde Geçirilen Süre



*: HIT₁ ve HIT₂ modellerine göre daha büyük süre, p<0.05.

Egzersiz modelleri, KAH_{maks} düzeyinde geçirilen süreye (%5 yakın olma kriterine göre) göre incelendiğinde, HIT₄ modeli HIT₁ ve HIT₂ modellerine oranla KAH_{maks} düzeyinde daha fazla süre geçirdiği saptandı (p<0.05). HIT₅ modelinin HIT₁ modeline oranla p değeri açısından anlamlı fark bulunmasa da (p=0.091) orta düzeyde etki büyüklüğü saptandı (ES=0.60) (Şekil 13).

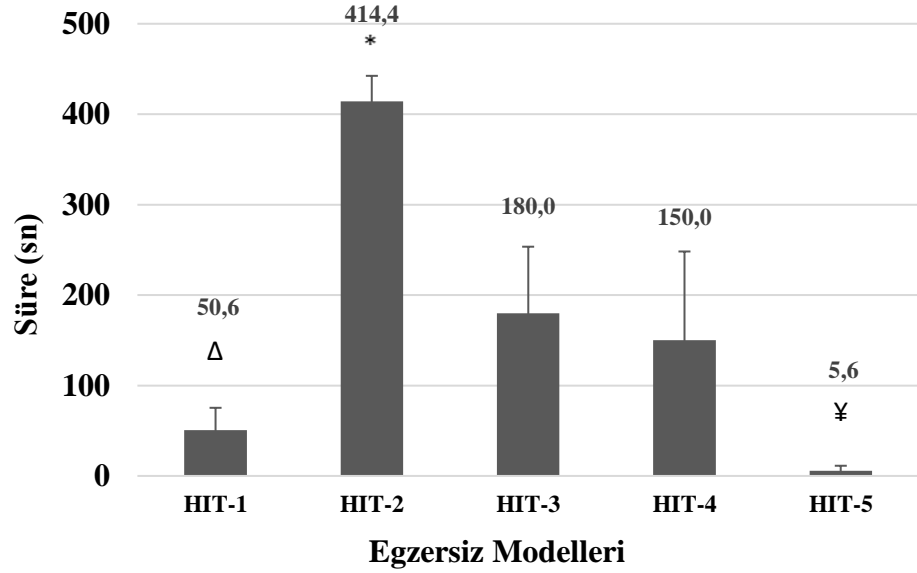
Şekil 14 - %90 KAS_{maks} Üzerinde Geçirilen Süre



¥: HIT₃ ve HIT₄ modellerine göre daha düşük süre; *: Diğer modellere göre daha küçük süre, p<0.05.

Egzersiz modelleri, KAS_{maks} düzeyinde geçirilen süreye (%10 yakın olma kriterine göre) göre incelendiğinde, HIT₃ ve HIT₄ modelleri, HIT₂ modeline oranla KAS_{maks} düzeyinde daha fazla süre geçirdiği saptandı ($p>0.05$). Ayrıca HIT₅ modelindeki KAS_{maks} süresi diğer modellerden daha düşüktü ($p<0.05$) (Şekil 14).

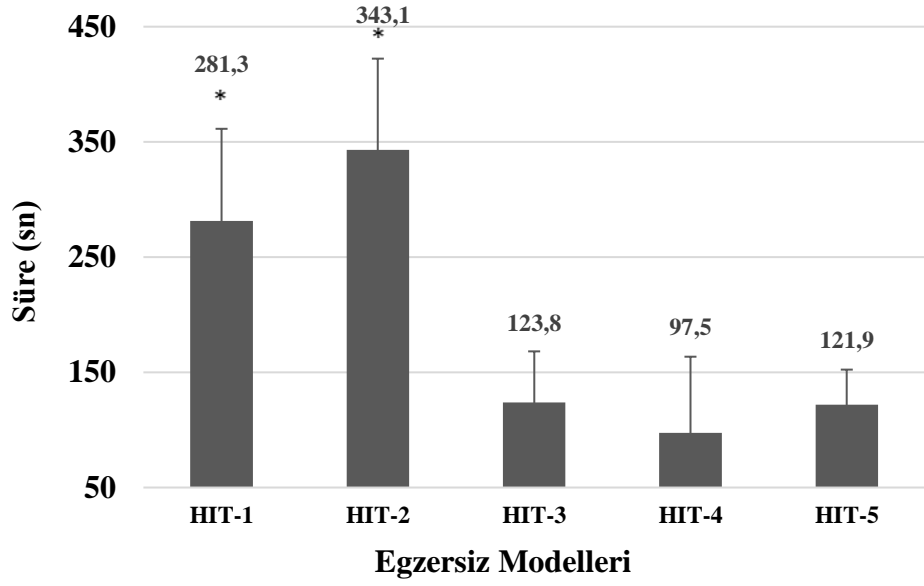
Şekil 15 - %95 KAS_{maks} Üzerinde Geçirilen Süre



*: Diğer modellere göre daha büyük süre; ¥: Diğer modellere göre daha küçük süre; Δ: HIT₃ modeline oranla daha küçük süre yanıtı, $p<0.05$.

Egzersiz modelleri, KAS_{maks} düzeyinde geçirilen süreye (%5 yakın olma kriterine göre) göre incelendiğinde, HIT₂ modeli diğerlerine göre KAS_{maks} dolaylarında daha büyük, HIT₅ modeliyse daha küçük düzede süre geçirdiği saptandı ($p>0.05$). Ayrıca kısa HIT modelindeki KAS_{maks} süresi değişken yüklü modele oranla daha düşüktü ($p<0.05$) (Şekil 15).

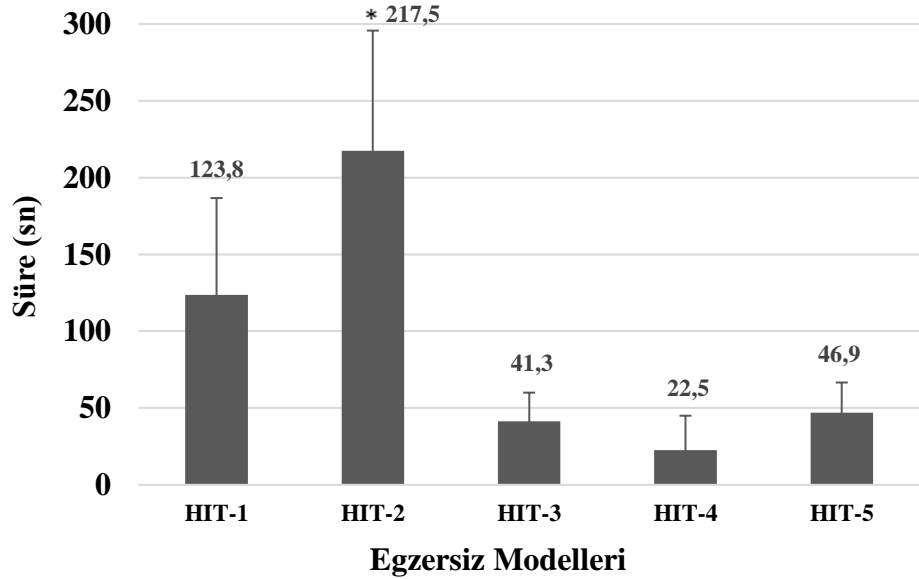
Şekil 16 - %90 a-vO₂farkı_{maks} Üzerinde Geçirilen Süre



*: HIT₃, HIT₄ ve HIT₅ modellerine göre daha büyük süre yanıtı, p<0.05.

Egzersiz modelleri, a-vO₂farkı_{maks} düzeyinde geçirilen süreye (%10 yakın olma kriterine göre) göre incelendiğinde, HIT₁ ve HIT₄ modelleri, diğerlerine oranla a-vO₂farkı_{maks} düzeyinde daha fazla süre geçirdiği saptandı (p<0.05) (Şekil 16).

Şekil 17 - %95 a-vO₂farkı_{maks} Üzerinde Geçirilen Süre



*: HIT₃, HIT₄ ve HIT₅ modellerine göre daha büyük süre yanıtı, p<0.05.

Egzersiz modelleri, $a-vO_{2\text{farkl}_\text{maks}}$ düzeyinde geçirilen süreye (%5 yakın olma kriterine göre) göre incelendiğinde, HIT₂ modeli, HIT₁ hariç diğer egzersiz modellerine oranla %95 $a-vO_{2\text{farkl}_\text{maks}}$ düzeyinde daha fazla süre geçirdiği saptandı ($p<0.05$) Ayrıca HIT₁ ve HIT₃ modelleri HIT₄ modeline kıyasla p değeri olarak anlamlı fark bulunmasa da (ikisi de $p=0.068$), orta düzeyde etki büyüklüğü saptandı ($ES= 0.65$) (Şekil 17).

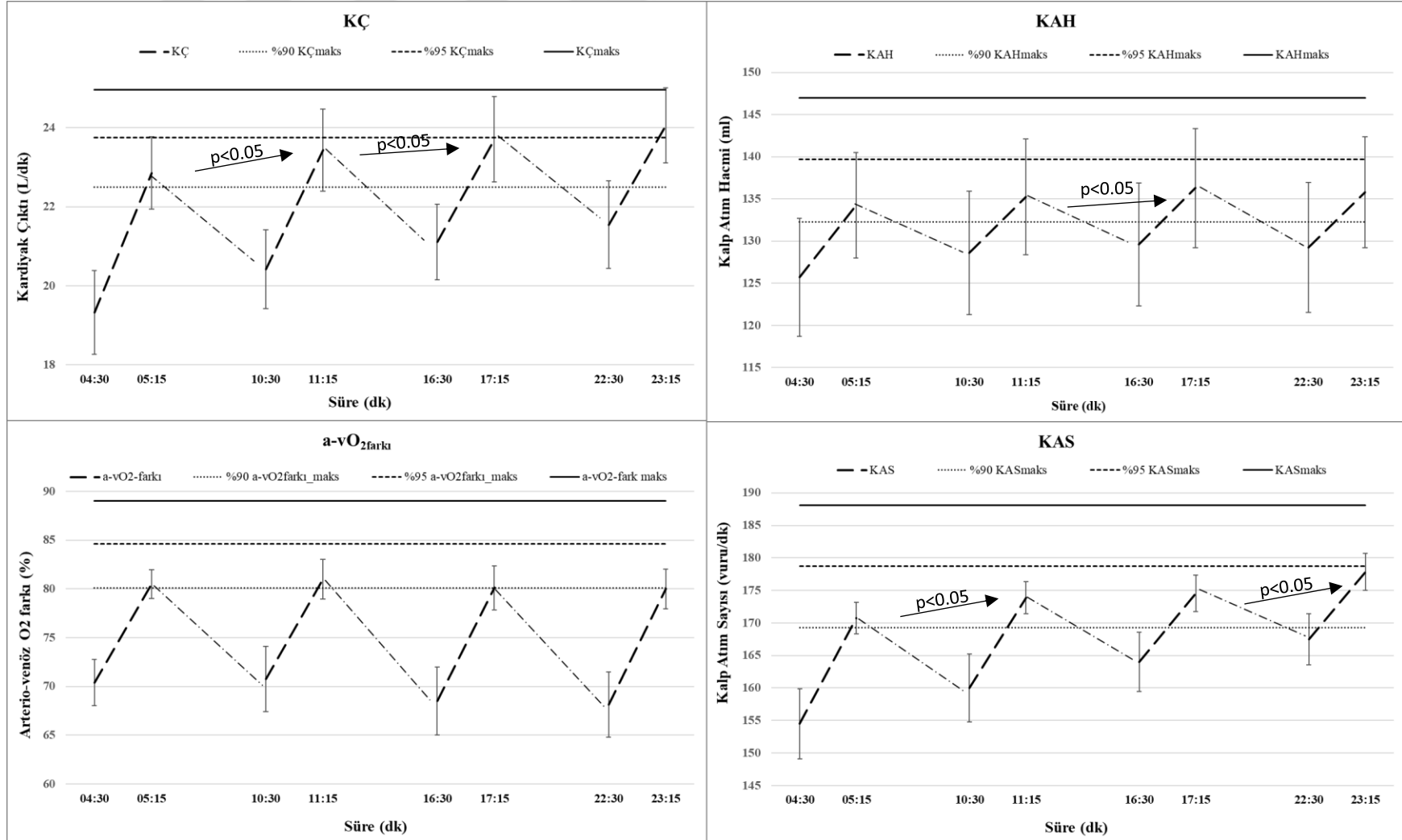
Tablo 3 - Egzersiz modelleri sırasında ilgili parametrelerin zirve değerleri

Egzersiz Modelleri	KÇ (L/dk ¹)	KAH (ml)	KAS (vuru/dk)	$a-vO_{2\text{fark}}$ (%)	Minimum O ₂ Satürasyon (%)
HIT ₁	24,4±2.88	140±20,7	178±7,8	83,9±5,03	92,5±2,3
HIT ₂	24,7±3.32	140±20.3	184±6,7 ^c	86±7,25	90,5±2,7 ^d
HIT ₃	24,9±2.19	142±15,5	182±6,7 ^c	84,1±5,69	91,6±2,3 ^d
HIT ₄	24,9±3.38	144±20,3	177±7,1	78,5±5,86 ^b	92,8±1,8
HIT ₅	23,1±3.49 ^a	148±20,8	176±6,7	84,5±6,36	93,1±3,4

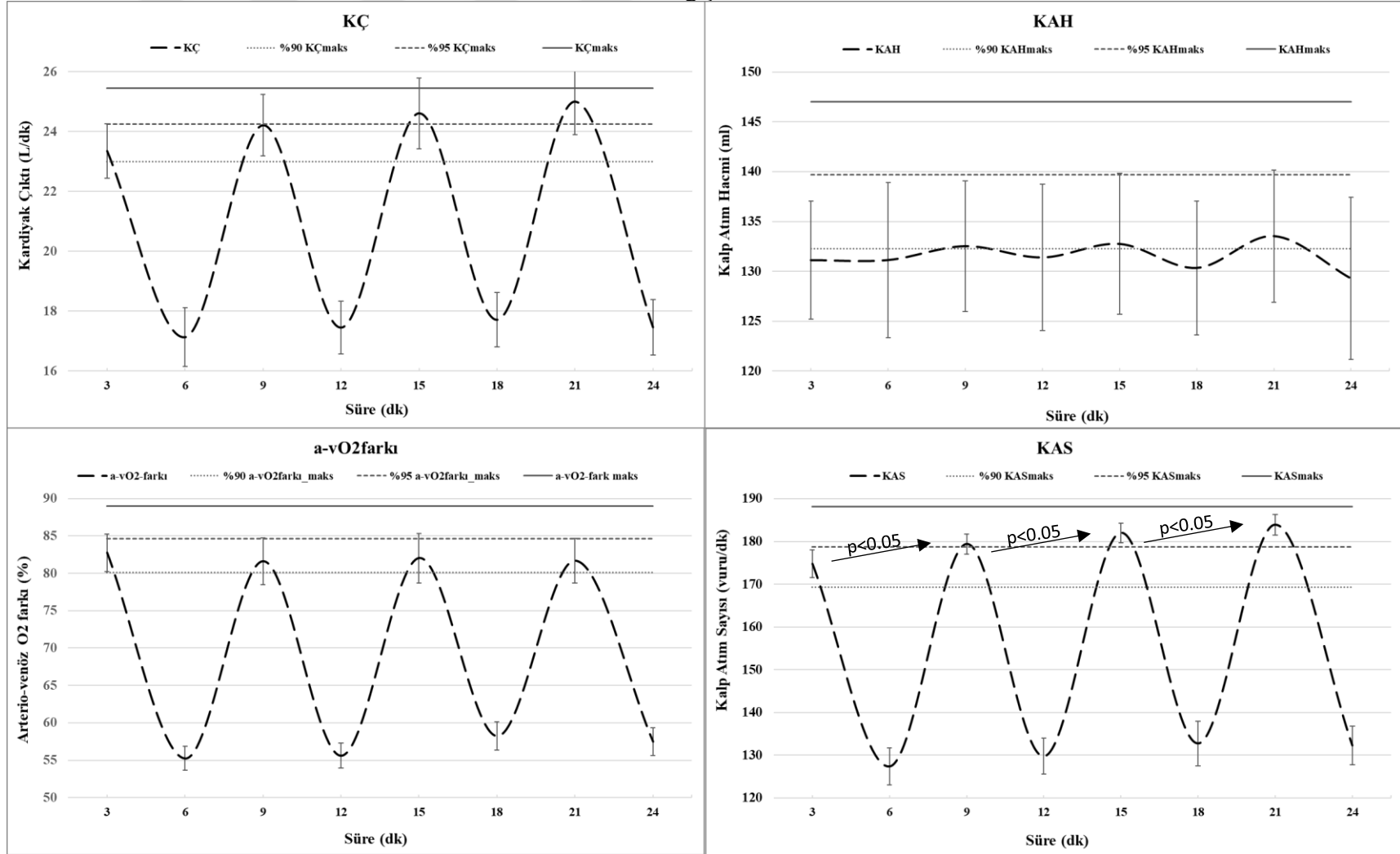
KÇ: Kardiyak çıktı; KAH: Kalp Atım Hacmi; KAS: Kalp Atım Sayısı; $a-vO_{2\text{fark}}$: Arterio-venöz O₂ farkı.
^a: HIT₃ ve HIT₄'den dah küçük yanıt; ^b: Diğer modellerde kıyasla daha düşük yanıt; ^c: HIT₁, HIT₄ ve HIT₅'den daha büyük yanıt, ^d: HIT₁, HIT₄ ve HIT₅'den daha küçük yanıt.

Egzersiz modelleri sırasında ulaşılan zirve değerler Tablo 3'te sunulmuştur. HIT₅ modeli zirve KÇ yanıtı açısından HIT₃ ve HIT₄'e oranla daha düşük seviyede yanıtla ulaştı. Zirve KAH yanıtları benzer düzeylerdeydi. Zirve KAS yanıtları açısından HIT₂ ve HIT₃ diğer modellerden daha yüksekti. Zirve $a-vO_{2\text{fark}}$ yanıtları değerlendirildiğinde HIT₄ diğerlerine oranla en düşük seviyedeydi. Minimum oksijen saturasyonu HIT₂ ve HIT₃ modellerinde diğerlerine oranla dah düşük seviyelere ulaştı.

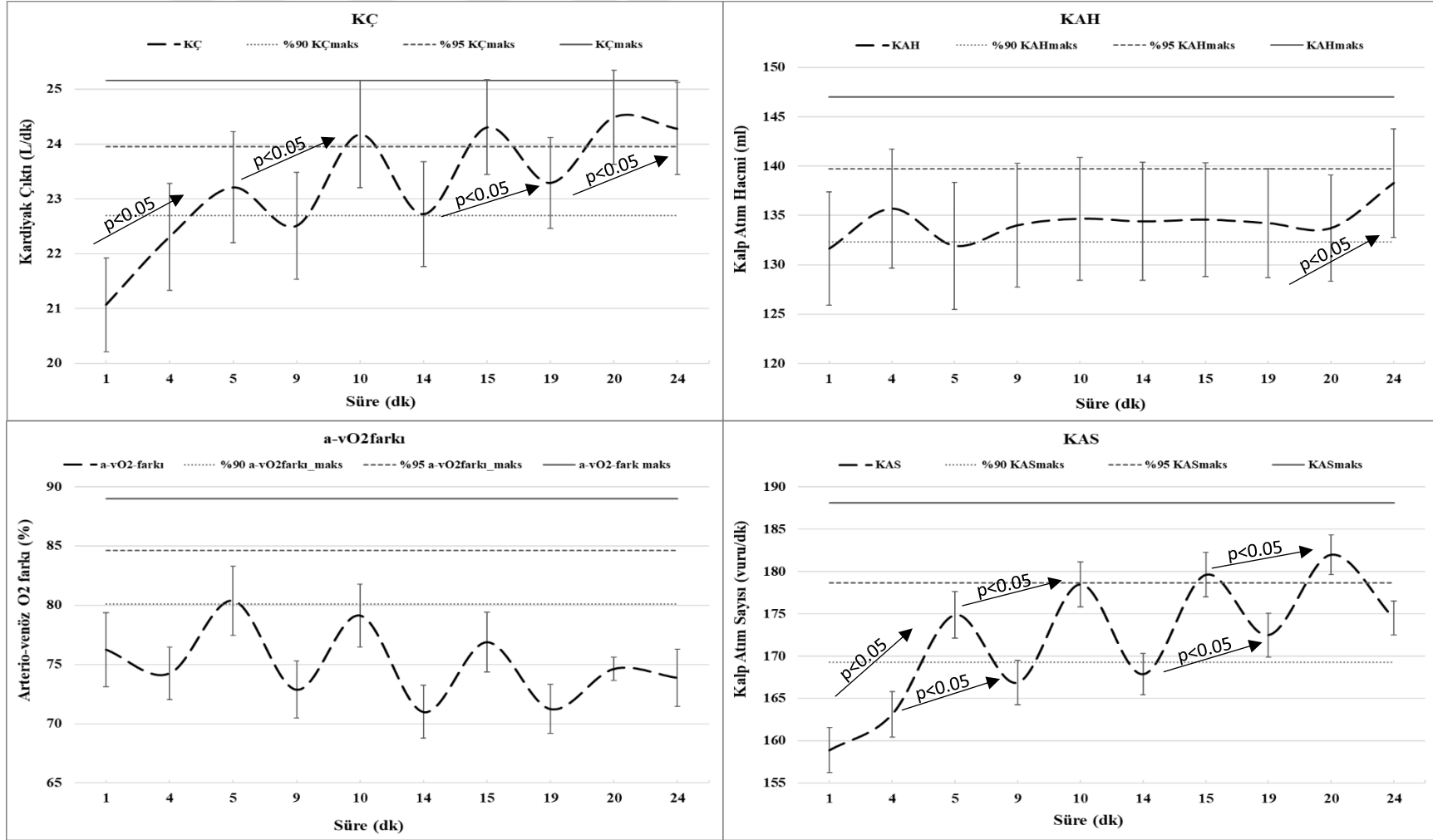
Şekil 18 – HIT₁: Kısa yüklenme süreli kesintili seanstaki (45" × 16 set, p@~%110VO_{2maks}) hemodinamik ve metabolik parametrelerin değişimi



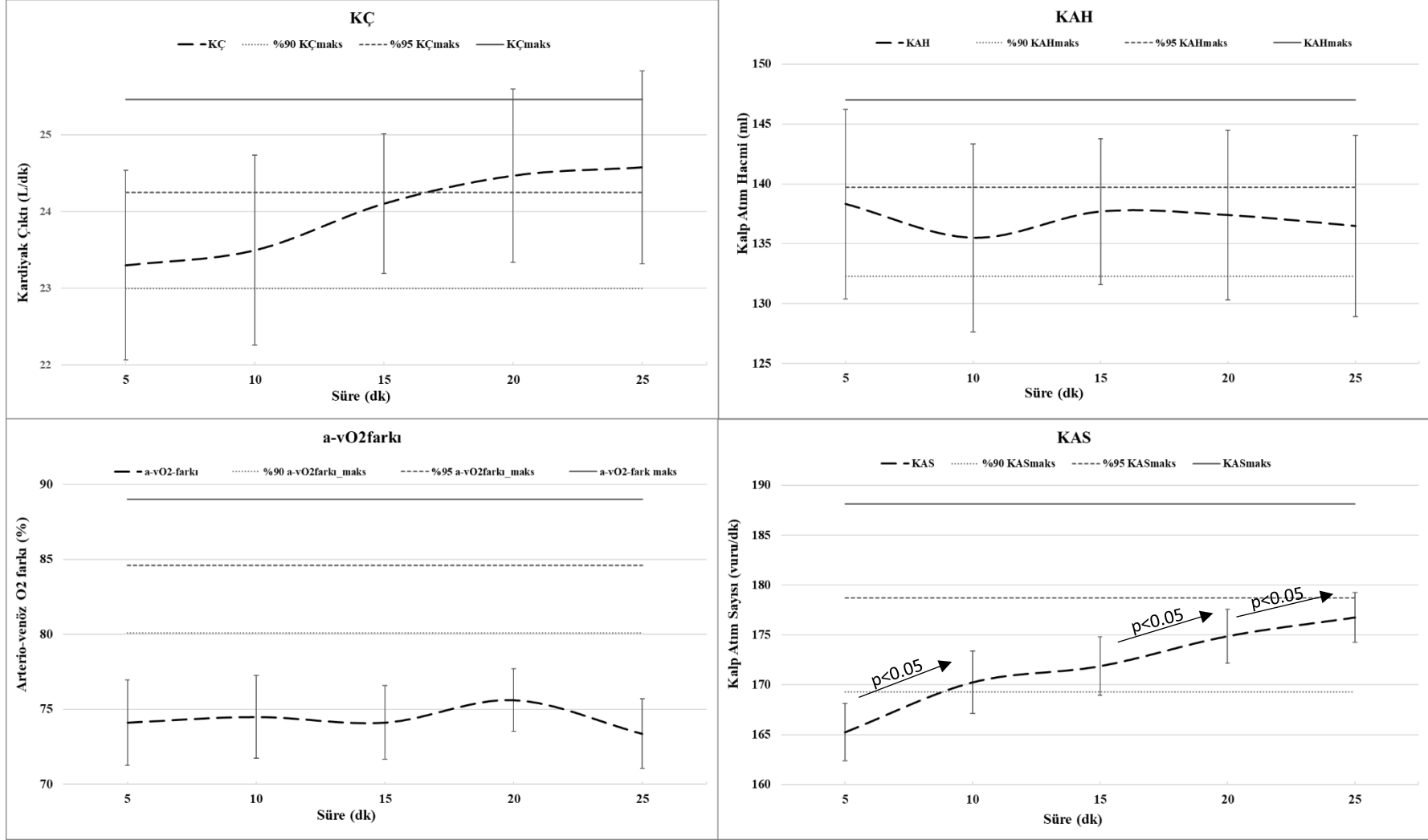
Şekil 19 – HIT₂: Uzun yüklenme süreli kesintili seanstaki (3' × 4 set, p@~%93VO_{2maks}) hemodinamik ve metabolik parametrelerin değişimi



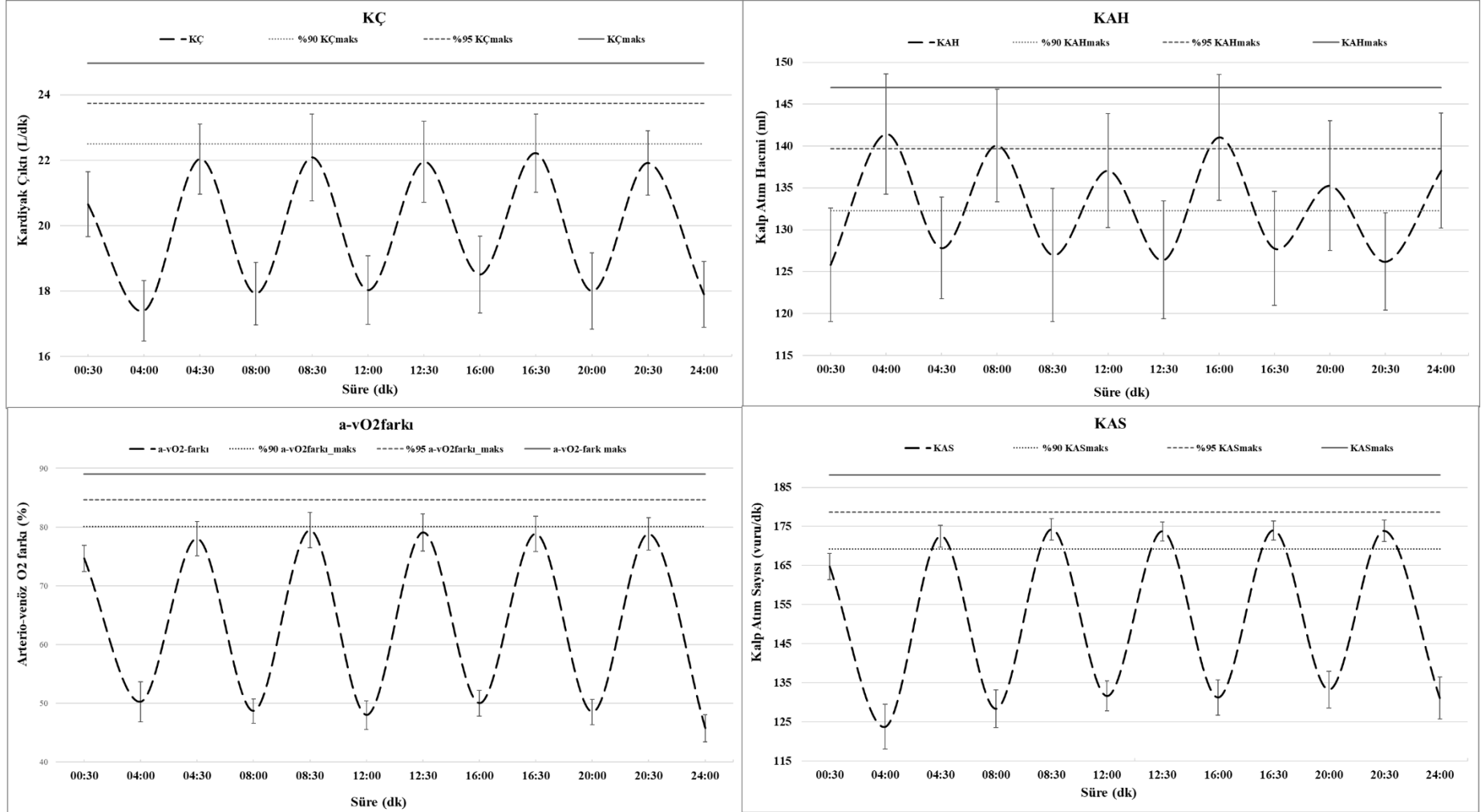
Şekil 20 - HIT₃: Değişken yüklü kesintisiz seanstaki (1' p@~VO_{2maks} + 4' p@AnE yükünde × 5 set) hemodinamik ve metabolik parametrelerin değişimi



Şekil 21 - HIT₄: Sabit yüklü kesintisiz seanstaki (25' p@~%80VO_{2maks}) hemodinamik ve metabolik parametrelerin değişimi



Şekil 22 - HIT₅: Sprint özellikli HIT seansındaki (30-s × 6 tekrar, yük: %7,5 vücut kütlesi) bazı hemodinamik ve metabolik parametrelerin değişimi



Egzersiz seansları sırasındaki KÇ, KAH, $a-vO_{2-farkı}$ ve KAS düzeyleri, ilgili parametrelerin %90 ve %95 düzeyine yakınlık kriterine göre incelendiği grafikler Şekil 18 – 22 arasında verildi.

HIT₁ modelinde, ortalama KÇ düzeyi 4., 8. ve 12. tekrarlara ait ölçümlerde anlamlı düzeyde artış gösterdi ve 16. tekrardaki ölçümde ortalama olarak %95’lik maksimum düzeyinin üstüne çıktı. KAH düzeyiyse, 8. ve 12. tekrarlara ait ölçümlerde anlamlı düzeyde artış saptandı ve tüm yüklenme fazlarına ait ölçümlerde %90 ve 95’lik maksimal değerler arasında yanıtlar sağladı. Ortalama $a-vO_{2-farkı}$ düzeyi yüklenme fazlarına ait ölçümler incelendiğinde, tüm ölçümlerin %90 ve 95’lik maksimal değerler arasında yanıtlar sağladı. 4 ile 8. ve 12 ile 16. tekrarlara ait KAS düzeyinde anlamlı artış saptandı ve ortalama %95 KAS_{maks} düzeyine çıkamadı (Şekil 18).

HIT₂ modelinde, ortalama KÇ yanıtları sürekli artarak 3. tekrardan itibaren %95’lik maksimal düzeyinin üstüne çıktığı saptandı. Ortalama KAH yanıtları az miktarda da olsa yüklenme fazlarında egzersiz sonunda kadar artış göstererek 2. Tekrardan itibaren %90’lık maksimal düzeyin üstünde yanıt sağladığı gösterildi. Ortalama $a-vO_{2-farkı}$ düzeyi her bir yüklenme fazına ait yanıtları %90 – 95’lik maksimal düzey aralığındaydı. Ortalama KAS düzeyleri her tekrar artış göstererek 2. tekrardan itibaren yüklenme fazlarında %95’lik maksimum düzeyin üzerinde çıktı (Şekil 19).

HIT₃ modelinde ortalama KÇ düzeyi ilk 10 dakika boyunca anlamlı düzeyde artış gösterdi. 10. dakikadan itibaren %90 ve üzeri maksimal yanıtlar sağladı. Ayrıca aynı sürelerde VO_{2maks} yüküyle yapılan 1 dakikalık fazlara ait ortalama KÇ düzeyi %95 ve üzeri maksimal yanıtlar sağladı. Ortalama KAH yanıtları 22 dakika boyunca %90 ve 95 arasında maksimal düzeyde kaldı. Ayrıca egzersizin son ölçümünde anlamlı düzeyde artış sağladı. Egzersizin ilk 5 dakikası kadar %90’lık maksimal düzeyin üstünde ortalama $a-vO_{2-farkı}$ saptansa da sonrasında giderek düştü. KAS yanıtlarıysa egzersizin sonuna kadar anlamlı düzeyde artarak, 15. Dakikadan itibaren %95 ve üzeri maksimal düzeyde yanıtlar saptandı (Şekil 20).

HIT₄ modelinde ortalama KÇ düzeyi sürekli %90 ve üzeri maksimal düzeyde yanıtlar sağlayarak, 15. dakikadan itibaren de %95’lik maksimal düzeyinin üzerindeydi. Ortalama KAH düzeyleri tüm seans boyunca %90 – 95’lik aralıkta kaldığı gözlemlendi. Ortalama $a-vO_{2-farkı}$ düzeyleri maksimal $a-vO_{2-farkı}$ düzeylerine ulaşamadı. Ortalama KAS yanıtları egzersiz sonuna kadar anlamlı düzeyde sürekli artarak model sonunda %95’lik maksimal düzeye ulaşamadı (Şekil 21).

HIT₅ modelinde ortalama %90 maksimal düzeye ulaşamadı. Ortalama KAH yanıtları toparlanma fazlarında %90'lık maksimal düzeyin üzerinde, bunların 3 tanesinde %95'lik maksimal düzeyi aşan değerlerdeydi. Ayrıca bazı sporcular yine bu fazda bireysel maksimal KAH düzeyinin üstünde yanıtlar sağladı. Ortalama a-vO₂ farkı maksimal düzeyde yanıtlar sağlamadı. Ortalama KAS düzleri ilk yüklenme fazı hariç diğer yüklenmelerde %90 - 95'lik maksimal aralık içerisinde yanıtlar sağladı (Şekil 22).



5. TARTIŞMA

Yüksek yoğunluklu antrenmanlar aerobik ve anaerobik performansı arttırmak için uzun yıllardır kullanılmaktadır. Özellikle son yıllarda Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization; WHO) ve Amerikan Spor Hekimliği Koleji (American College of Sports Medicine; ACSM) önerileri, bu egzersiz modellerinin sağlıklı yaşam için de oldukça popüler hale geldiğini göstermektedir (52,143). Böylece farklı yaş gruplarının yanında ve sedanter bireylerden elit sporculara kadar olan büyük bir popülasyona hitap etmeye başlamıştır. 2000'li yıllarla birlikte tüm bu gelişmeler HIT'lerin farklı şiddet, kapsam, yüklenme süresi, yüklenme ve toparlanma ilişkisi vb. varyasyonlarıyla ilişkili yaklaşımlara ait bilimsel çalışmaların sayısını arttırmıştır. Fakat dayanıklılık performansını arttırmak için uygulanması gereken en doğru antrenman yaklaşımları halen tartışılmaktadır. Egzersiz şiddeti olarak VO_{2maks} düzeyini açığa çıkarabilecek yüklerle, 2 dakikadan uzun süreyle ve 1:1 y/t oranı kullanılarak yapılacak HIT'ler özellikle aerobik gücü geliştirmek için en kabul gören yaklaşımlardandır. 60 saniyeden kısa yüklenme süreli intervallerin VO_{2maks} 'ı oluşturan merkezi bileşene, sprint interval özellikli HIT'lerin VO_{2maks} 'ı oluşturan periferik bileşene ve anaerobik metabolizmaya, kesintisiz egzersizlerin yağ oksidasyonu ve toplam enerji tüketimine etkileri tartışılrsa da bu tip egzersizlere ait dayanıklılık performansıyla ilişkili merkezi ve periferik bileşenlerin analiz edildiği çalışmalar sınırlıdır. Özellikle aerobik güç gelişimine odaklanan güncel antrenman yöntemlerinin, yüklenme ve toparlanma fazlarına ait metabolik düzeylerin yanında, hemodinamik parametrelerin de ölçülerek merkezi ve periferik bileşenlere ait gelişim potansiyelinin ayrı ayrı tartışıldığı, iyi düzey antrene bir katılımcı grubuyla yapılan çalışmaya rastlanmamıştır. Bu tez çalışmasında aerobik güç gelişiminde kullanılan 5 farklı antrenman metodunun yüklenme ve toparlanma fazlarına ait kardiyak çıktı ve kalp atım hacmi düzeyleri üzerinden merkezi bileşene, arterio-venöz oksijen farkı üzerinden periferik bileşene, laktat yanıtları bakımından anaerobik gelişim potansiyellerine etkileri iyi düzey antrene katılımcı grubuyla değerlendirilmiştir.

Fizyolojik sisteme uygulanan stres, adaptasyon için elzem olan uyarıcıdır. Organizma hâlihazırda adapte olduğu yüklerin biraz üstündeki şiddetlerin düzenli artan bir şekilde kademeli olarak kullanıldığı bir antrenman planına tabi tutulduğunda, performans giderek artar (1,144). Saltin ve ark., VO_{2maks} gelişiminin antrenman seansı süresince oluşan stresin büyüklüğü ve süresiyle ilişki olduğunu söylemektedir (53).

Dolayısıyla dayanıklılık gelişimi odaklı antrenman seansında egzersiz modellerini karşılaştırırken eşit düzeyde strese maruz bırakmak önemli olabilir. VO_{2maks} düzeyini geliştirmek egzersiz şiddetini ve/veya hacmini değiştirerek mümkün olabilmektedir (145,146). Fakat egzersiz şiddetinin bu gelişimi tetikleyecek en etkili uyaran olduğu bilinmektedir (146,147). VO_{2maks} 'ı sınırlayan fizyolojik süreçler VO_{2maks} veren egzersiz şiddetine en yakın olanlardır. Bu nedenle VO_{2maks} 'a yakın şiddetlerin kullanımını VO_{2maks} 'ı geliştirmede etkili yöntem olabilir (129). “ VO_{2maks} şiddeti kavramı” ilk kez Daniels ve ark., tarafından ortaya konulmuştur ve günümüze kadar spor bilimleri çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (148). VO_{2maks} 'ı belirlemede kullanılan ilk yöntemlerde, submaksimal koşu hızları kullanılarak, VO_{2maks} ile ilişkisi ekstrapolasyon yapılarak bulunmuştur. Daha sonraları bu kavram VO_{2maks} düzeyini veren en düşük ve en yüksek hız/yük gibi kavramlar için de kullanılmıştır (129). VO_{2maks} dolaylarındaki yüklerin kullanımının yaygınlaşması 1990'lardaki önemli çalışma sonuçlarına dayamaktadır (50,149–151). Bu çalışmalarda, VO_{2maks} civarındaki yüklerin kullanılmasının en yüksek ve en uzun sürede VO_2 yanıtı sağladığı gösterilmiştir. VO_{2maks} düzeyine ulaşılmasını sağlayan en düşük hız/güç çıktısı kavramı, VO_{2maks} dolaylarında en uzun kalınmasını sağlayacak konsept olduğu düşünülmüş ve aerobik gücü gelişmek için en uygun şiddet olarak önerilmiştir (73,152–155). Bunun nedeni, birçok yazarın VO_{2maks} 'a yakın (ör: $\geq 90 - 95 VO_{2maks}$) geçirilecek süreyi yaratacak egzersizlerin, VO_{2maks} gelişimi için en uygun strateji olmasıdır (25,156,157). Bu nedenle bu tez çalışmasında da VO_{2maks} dolaylarında geçirilen süreler VO_{2maks} 'a %5 ve %10 yakın olma kriterine göre ele alınmıştır. Ayrıca egzersiz şiddeti olarak sabit yüklü kesintisiz model ve sprint interval özellikli HIT modeli hariç diğer egzersiz modellerinde VO_{2maks} civarındaki (%93-110) yükler kullanılmıştır. Fakat maksimal VO_{2maks} düzeyine ulaşmayı sağlayacak egzersiz, VO_{2maks} 'ı sınırlayan fizyolojik bileşenlerden herhangi biri için optimal stresi yaramıyor olabilir. Dolayısıyla VO_{2maks} 'ı oluşturan parametreden herhangi birinin gelişimi doğrudan VO_{2maks} düzeyine etki edebileceği gibi VO_{2maks} gelişiminde onu oluşturan bileşenlerden herhangi biri optimal düzeyde gelişim sağlamıyor olabilir (4,5). Bu nedenle VO_{2maks} 'ı oluşturan parametrelerin gelişimini sağlayacak en doğru antrenman yöntemi VO_{2maks} gelişimi için altın öneme sahiptir (33,96). Dolayısıyla buradaki diğer önemli konu VO_{2maks} 'ı oluşturan bileşenlerin de egzersiz sırasında zirve düzeylerde olup olmadığıdır. McCole ve ark. (2001), 6 dakika süren VO_{2maks} testlerinde 12 dakika süren test yapılarına kıyasla daha büyük bir KÇ ve KAH yanıtı

elde etmelerine rağmen, ölçülen VO_2 düzeyleri arasında anlamlı bir fark bulunmadığını rapor etmişlerdir. Daha büyük KÇ'ye rağmen VO_{2maks} düzeyinde benzer yanıtlar, 12 dakikada bitkinlikle sonlanan kademeli bir test yapısında 6 dakikaya kıyasla daha yüksek bir $a-VO_{2farklı}$ oluşmasından kaynaklanmış olduğunu tartışmışlardır (88). Başka bir çalışmada 2 farklı şiddetle ($\Delta 50$ ve VO_{2maks} yükü) yapılan maksimal egzersizler benzer VO_2 yanıtlarına ulaşsa da, yüksek şiddetli egzersizde daha yüksek KAH ve KÇ yanıtı, rapor edilmiştir (51). Bu çalışmalar göstermektedir ki, farklı egzersiz şiddetleri ve değişken yükler benzer VO_2 yanıtlarına neden olsa da VO_{2maks} 'ı oluşturan bileşenler için bir uygulama herhangi biri için zirve yanıtları doğururken, başka bir bileşen için düşük kalabilmektedir. Buradaki en önemli amaç dayanıklılık antrenmanları için gerekli olan VO_{2maks} gelişimini tetikleyecek her bir bileşen için en doğru uyarımı sağlayacak egzersiz yönteminin saptanmasıdır.

5.1. HIT'lerde Yüklenme Süresi ve Şiddet İlişkisi

HIT'lerin optimal yüklenme süresi ve şiddetinin ne olması gerektiği popüler bir araştırma konusudur. Hill ve ark.'nın 1997 yılındaki çalışmasında tek kademeli sabit yüklerle (%92 VO_{2maks} ve %100 VO_{2maks} hızlarıyla) yaptırdıkları egzersizde, %92 VO_{2maks} şiddetine denk gelen hızın VO_{2maks} hızına oranla, VO_{2maks} düzeyinde daha fazla süre geçirmesini sağladığını (130'a 32-sn) rapor etmişlerdir (149). Diğer bir çalışmada Billat ve ark.'nın VO_{2maks} 'ın %90 - 100 - 120 ve 140'ına denk gelen hızlar kullanılarak yapılan sabit yüklü ve tek kademeli egzersiz seanslarında, %100 ve 120 şiddetlerindeki egzersizlerde diğerlerine göre daha büyük VO_2 yanıtları elde edilirken, en yüksek VO_2 düzeyine %100 şiddetiyle uygulanan egzersizde ulaşıldığı rapor edilmiştir (50). Benzer şekilde Hill ve ark., %95 - 100 - 105 - 110 VO_{2maks} şiddetinde yaptığı kesintisiz yüklemeli egzersizlerde %100 VO_{2maks} yükünün diğerlerine oranla daha yüksek VO_2 yanıtlar verdiğini saptamışlardır (151). Bu önemli referans çalışmaları, VO_{2maks} şiddeti civarındaki yüklerin kullanılmasının VO_{2maks} düzeyine ulaşma ve burada geçirilecek sürenin artması nedeniyle aerobik güç gelişimi açısından VO_{2maks} 'a denk gelen şiddetlerin kullanılmasının önemini göstermektedir. Bu nedenle bu tez çalışmasında egzersiz şiddeti olarak kesintili modellerde VO_{2maks} düzeyine daha yakın şiddetler (%93-110) tercih edildi. Kesintisiz modellerdeyse, şiddetli egzersiz alanı olarak (severe) ifade edilen ve potansiyel olarak VO_{2maks} yanıtı sağlayacak egzersiz şiddetlerinin kullanılmasına özen gösterildi.

Kısa yüklenme süreli (<1-dk) HIT uygulamaları gerek uygulamadaki kolaylık gerekse takım sporlarına uygunluğu nedeniyle, HIT araştırmalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Kısa yüklenme süreli HIT'lerin optimal yüklenme süresine odaklanan bir çalışmada 3 farklı (20-s, 25-s ve 30-s) yüklenme süresi ve %105 ve 115 vVO_{2maks} yükleri kullanılarak egzersiz yaptırılmış ve 30 saniye yüklenme süreli HIT modelinin VO_{2maks} dolaylarında daha uzun süre sağladığı rapor edilmiştir (158). Bu sonuçlara göre %105 ve 115 vVO_{2maks} yükü civarında ve 25 saniye üzerindeki yüklenme süresinin aerobik gücü arttırmada daha doğru bir strateji olduğu tartışılmıştır. Benzer diğer bir çalışmada, VO_{2maks} yükünün %110, 120, 130 ve 140'ı kullanılarak 15 saniyelik kesintili (1:1 y/t oranı) egzersiz yaptırarak VO_{2maks} düzeyinde geçirilen süreleri incelemişlerdir. Çalışmaya göre 15 saniye süreyle %120 VO_{2maks} yüküyle yapılan intervallerin diğerlerine kıyasla VO_{2maks} düzeyinde daha uzun süre geçirdikleri saptanmıştır (%100-110-120-130-140 için sırasıyla; 120, 120, 202, 50, ve 48 sn) (159). Bu kısa yüklenme süreli HIT'ler için %120 yüklere kadar olan şiddetlerin uygun olabileceğini göstermektedir. Millet ve ark. (2003), VO_{2maks}'ın %100 ve 105'ine denk gelen yüklerle yaptıkları 30 saniyelik kesintili (1:1 y/t oranı) ve VO_{2maks} yüküyle kesintisiz egzersizleri, ulaşılan VO₂ ve %90 VO_{2maks} düzeyi üzerinde geçirilen süre kriterlerine göre karşılaştırmışlardır. Çalışma sonunda her iki kritere göre %105 yüküyle yapılan kesintili egzersiz daha büyük VO₂ yanıtları vermiştir (160). Bahsedilen kısa yüklenme süreli çalışmaların sonuçları, kısa yüklenme süreleriyle uygulanacak intervallerin %105 - %120 arasındaki supramaksimal yüklerle yapılmasının daha uygun olabileceğini göstermektedir. Ayrıca kısa yüklenme süreli HIT'lerin uzun olanlara göre en büyük avantajı, kas içi asidozu en düşük seviyede tutarak egzersiz süresini uzatması olduğu belirtilmektedir (89). Dolayısıyla kısa intervallerin daha uzun yüklenme süresiyle ve daha yüksek şiddetle yapılması doğru bir yaklaşım olabilir. Bu tez çalışmasında kısa yüklenme süreli (45-sn) HIT uygulaması uzun yüklenme süreli HIT uygulamasına oranla yaklaşık %15 daha büyük güç çıktısı kullanılarak, 24 dakikalık seansta benzer egzersiz sonu zorluk düzeyine ulaşılması sağlandı. Ayrıca bu tez çalışmasında kısa HIT'ler %90 ve üzerindeki VO_{2maks} düzeyinde ortalama olarak 394 saniye süre geçirilmesi sağladı. Literatürdeki sürelerle oranla biraz fazla olan bu süre, 15 saniye süreyle uygulanacak HIT'lerin yapısı gereği daha yüksek VO₂ düzeyi çıkmaya izin vermeyecek sürelerde olmasından kaynaklanıyor olabilir. Lakin 45 saniyelik yüklenme süresinin seçilmesinin nedeni

yapılan pilot çalışmasında, 30 saniyelik yüklenmelerden oluşan HIT'lerin 45 saniye yüklenme süresine oranla daha düşük VO_2 yanıtlarına ulaşılmıştır.

İlk kez Astrand ve ark. (1960), kısa yüklenme süreli HIT modellerine oranla uzun yüklenme süresiyle uygulanan HIT modellerinin (2-3 dakika) daha iyi kardiyovasküler adaptasyon sağlayabileceğini belirtmişlerdir (161). Yüklenme süresine odaklanan ve sabit düzeyde zorluk seviyesi yaratan önemli bir çalışmada, 24×1-dk, 12×2-dk, 6×4-dk, ve 4×6-dak süreli egzersizleri, sırasıyla %93, 88, 86 ve 84 VO_{2maks} hızları kullanarak uygulamışlardır. Tüm egzersiz seanslarında AZD 17 civarında sabit olacak şekilde ve toplam 24 dakika yüklenme süresi, 1:1 y/t oranıyla yapılmıştır. Çalışmanın sonunda, en düşük VO_2 düzeyine 1 dakikalık yüklenmelerde, en yüksek VO_2 'ye 4 dakikalık yüklenmelerde ulaşıldığı gösterilmiştir (87). Bu sonuç VO_{2maks} gelişimi için optimal yüklenme süresinin 3-4 dakikalar civarında olması gerektiği şeklinde yorumlanmıştır. Fakat maksimal efor düzeylerinde sonlanmayan egzersizlerin fizyolojik etkilerini tartışmak yetersiz kalabilir. Maksimal eforla uygulanan önemli bir çalışmada, rekreasyonel olarak aktif sporcularla, %90 ve %100 VO_{2maks} yükleriyle 30 saniyelik ve 3 dakikalık yüklenme süreli 4 ayrı egzersiz protokolü 1:1 y/t oranıyla uygulamışlardır. Seanslar katılımcılar tükenene kadar devam ettirilmiştir. Çalışmada en uzun egzersiz süresi beklendiği gibi daha düşük şiddet olan %90 VO_{2maks} yüküyle yapılan egzersizlerde oluşmuştur. %95 ve üzeri VO_{2maks} düzeyinde geçirilen süreler analiz edildiğinde, 30 saniyelik intervaller uzun olanlarına göre ortalama 5 - 6 dakika daha uzun sürdürülmesine rağmen, egzersiz modelleri arasında fark saptanmamıştır. (39). Uzun interval modelinde, kısa interval modeline oranla daha uzun süre VO_{2maks} düzeyinde kalamamasının nedeni, farklı yüklenme sürelerinde uygulanıp özel yük ayarlaması yapılmamasında kaynaklanıyor olabilir. Çünkü uzun intervaller kısalara oranla daha kısa sürdürülmüş ve VO_{2maks} düzeylerinde geçirilen sürelerse 6 ile 4 dakikalar arasında rapor edilmiştir. Bu tez çalışmasında, uzun yüklenme süreli HIT'de ortalama 6 dakika, kısa yüklenme süreli HIT'deyse ortalama 2 dakika %95 ve üzeri VO_{2maks} dolaylarında süreler geçirildi. Bu farklılıkta bizim VO_{2maks} düzeyini doğrulama testi sonrası elde edilen veriler kullanılarak VO_{2maks} düzeyinde geçirilen süre analizi yapmamızdan kaynaklanıyor olabilir. Çünkü bu tez çalışmasında kademeli testten elde edilen VO_{2pik} düzeyi doğrulama testinden elde edilen VO_{2maks} düzeyinden %1,7 daha düşüktü. Eğer VO_{2pik} değerleri üzerinden analiz yapılsaydı muhtemelen daha büyük süre yanıtları elde edilecekti. Combes ve ark. (2016), bisiklet sporcuları ile $p@%70VO_{2maks}$ yükü

kullanarak, aynı y/t oranı ile 3 farklı yüklenme süreli (30 s:30 s, 60 s:60 s, 120 s:120 s) interval egzersizini 60 dakika boyunca yaptırmışlardır. Çalışmada her 3 intervaldeki ortalama VO₂ arasında fark bulunmamasına rağmen, en yüksek VO₂ düzeyine 120 saniyelik intervalde ulaşıldığı ve en fazla VO₂ dalgalanmasına 60 saniyelik intervalde saptandığı gösterilmiştir. Egzersiz yükünün düşük olmasından dolayı intervaller %90 VO_{2maks} düzeyine ulaşamamıştır (162). Bu tez çalışmasında en düşük güç çıktısı p@~%80VO_{2maks} (anaerobik eşikten %8 daha büyük) seviyesine denk gelerek HIT₄ modelinde uygulandı. Bu egzersiz modelinin yaklaşık 7. dakikasından itibaren VO₂ yanıtlarının %90 VO_{2maks} düzeyine ulaşmaya başladığı saptandı. Bu sonuç şiddetli egzersiz alanının altındaki düşük şiddetli kesintili HIT'lerin aerobik güç gelişimi açısından fayda sağlayamayabileceğini, en azından anaerobik eşğin %10 üstündeki şiddetli alana ait güç çıktılarının kullanılması gerektiğini önerilebilir. Ayrıca son yıllarda egzersiz seansının toplam iş yükünün sabitlendiği HIT uygulamaları artış göstermektedir. Bunlardan birinde, HIT'lerin yüklenme süreleri kısa (30-s, p@VO_{2maks}) ve uzun (4-dk; p@~%82 VO_{2maks}) seanslarda karşılaştırılarak, benzer zirve ve ortalama VO₂ düzeyi rapor edilmiştir (56). Bu sonuç egzersiz seansının toplam iş yükünün sabit tutulmaya çalışmasından dolayı, uzun yüklenme süreli HIT'lerin düşük egzersiz şiddetinden olumsuz etkilenmiş olabileceğini göstermektedir. Benzer diğer bir çalışmada, Tschakert ve ark. (2015), i) 4 × 4 dk. %95 KAS_{maks} yükü (p@~%82 VO_{2maks}) ve y/t oranı: 4/3 %70 KAS_{maks} yüküyle, ii) 20 saniye p@VO_{2maks} ile yüklenme, toparlanma: 26,7-sn, toparlanma yükü olarak aerobik eşğinin hemen altındaki yük kullanılarak ve iii) uzun interval antrenmanındaki ortalama güç çıktısıyla (p@~%63 VO_{2maks}) ile sabit yüklü egzersiz protokolleri uygulamıştır. Bütün protokolleri toplam 28 dakika olacak şekilde ayarlamış ve tüm protokollerin güç çıktısı ortalamasını eşitlemişlerdir. Sadece zirve KAS ve zirve laktat düzeyleri açısından uzun yüklenme süreli HIT için daha büyük sonuçlar rapor edilmiştir. Ortalama KAS, zirve ve ortalama VO₂ yanıtları açısından üç test arasında fark bulunmamıştır. Uzun yüklenme süreli HIT'de katılımcıların tükenme sınırlarına kadar gittikleri, diğer modellerin daha az bitkinlik düzeyinde sonlandığı rapor edilmiştir (56). Önceki çalışmayla benzer şekilde toplam iş yükünün sabit tutulmaya çalışmasından dolayı uzun yüklenme süreli HIT seansı düşük egzersiz yükünden olumsuz etkilenmiş olabilir. Ayrıca daha yüksek laktat yanıtına daha düşük şiddetle yapılan uzun yüklenme süreli HIT'de ulaşılması, egzersizin daha anaerobik düzeyde olmasının şiddetin yanı sıra tükenme durumuyla da ilişkili olduğunu göstermektedir.

Bu tez çalışmasında, tükenme durumunun her seans için sağlanması durumunda, $p@ \sim 160\text{VO}_{2\text{maks}}$ şiddetiyle uygulanan sprint interval özellikli HIT₅ seansında daha büyük laktat yanıtlarına ulaşılması egzersiz şiddetinin anaerobik katkı için en önemli unsur olduğunu göstermektedir.

Özellikle kesintili uzun HIT'lerin yüksenme süresinin belirlenmesinde $\text{VO}_{2\text{maks}}$ düzeyini sürdürebilme süresi (T_{maks}) önemli bir metottür. Bu yöntemle HIT uygulamasının yüklenme süresini belirlenmesi ilk kez Billat ve ark. (1996) tarafından uygulanmış ve güncel bir metot olarak sıklıkla kullanılmaktadır (73). Bu uygulama için alt ve üst limit T_{maks} süresi %50-75 olarak önerilmektedir (24,150,163). Bu tez çalışmasındaki uzun yüklenme süreli HIT₂ modeli de yaklaşık olarak %60 T_{maks} sürelerine denk gelmektedir. Bu modelin kullanıldığı önemli bir çalışmada, 30 saniye (1:1 y/t oranı) ve 60 saniye (2:1 y/t oranı) yüklenme süreli kısa HIT modelleriyle, $\text{VO}_{2\text{maks}}$ düzeyinin sürdürebildiği süresinin yarısı kadar (~2 dakika) yüklenme süreli model (1:1 y/t oranı), yüklenme süreleri 12 dakika olacak şekilde $\text{VO}_{2\text{maks}}$ hızıyla egzersiz modelleri uygulanmıştır. 60 saniyelik ve 2 dakikalık intervallerle uygulanan modelin %90 ve üzeri $\text{VO}_{2\text{maks}}$ düzeyinde 30 saniyelik intervale oranla daha fazla süre geçirdiği saptanmıştır (sırasıyla 531, 487 ve 149 saniye) (164). Bu sonuç uygulanacak kısa yüklenme süreli intervallerin 30 saniyeden daha uzun olmasının $\text{VO}_{2\text{maks}}$ düzeyinde daha fazla sürelerde vakit geçirebileceğini işaret etse de çalışmada rapor edilen ortalama AZD düzeylerine göre 30 saniyelik intervallerin diğerlerine oranla daha düşük düzeyde kaldığını rapor edilmiştir. Bu nedenle bu tez çalışmasında hem Millet ve ark.'nın yapmış olduğu gibi kesintili egzersiz seanslarının yüklenme süreleri eşitlenerek hem de aynı fizyolojik düzeylerde tükenmelerini sağlamak amacıyla pilot çalışmalarda güç çıktısı ayarlamaları yapıldı. Uzun yüklenme süreli HIT (HIT₂) yaklaşık $p@ \sim 93\text{VO}_{2\text{maks}}$, kısa yüklenme süreli HIT ise (HIT₁) $p@ \sim 110\text{VO}_{2\text{maks}}$ düzeyinde yapıldı. Eğer egzersiz yükü ayarlaması yapılmadan kesintili modeller $\text{VO}_{2\text{maks}}$ şiddetinde sabit tutulseydi HIT₁ henüz AZD düzeyi 19'lara çıkmadan, HIT₂ ise hedeflenenden antrenman süresi tamamlanamadan sonlanacaktı. Maksimal eforla uygulanan bir çalışmada kısa yüklenme süreli HIT (30-sn), uzun yüklenme süreli HIT (%50 T_{maks} : ~3-dk yüklenme) ve uzun yüklenme süreli HIT₂ (%80 T_{maks} : ~4,5-dk yüklenme) olarak 2:1 y/t oranıyla, $\text{VO}_{2\text{maks}}$ düzeyi veren en düşük güç çıktısıyla uygulanmıştır (sırasıyla, ~23, 14 ve 10-dk). Çalışmada, %90 KAH_{maks} düzeyi üzerinde geçirilen süreler analiz edildiğinde 30 saniyelik ve 3 dakikalık intervaller için

sırasıyla ~12 - 8,5 dakikalık anlamlı fark oluşan süreler rapor etmişlerdir. Ayrıca %90 VO_{2maks} düzeyi üzerinde geçirilen sürelerde 30 saniyelik intervalde daha yüksek olduğu belirtilmiştir (41). Bu çalışma yöntem olarak maksimal efor ile uygulanmış olsa da modeller arasındaki farklı tükenme süreleri, çalışma sonuçlarını önemli düzeyde etkilemiş olabilir. Bu tez çalışmasında maksimal efor ve sabit egzersiz süresiyle uygulanan kısa ve uzun yüklenme süreli interval uygulamalarında, KAH düzeyleri benzer olsa da VO_{2maks} kriterine göre uzun yüklenme süreli interval çok daha uzun sürelerde VO_{2maks} düzeyinde kalınmasını sağladı. Bu açıdan literatürdeki çalışmalarda büyük ölçüde benzerlik taşımaktadır. Fakat bilgimiz dahilinde bu tez çalışmasında olduğu gibi kesintili, kesintisiz ve sprint interval modellerini aynı katılımcı grubuyla karşılaştıran çalışmaya rastlanamamıştır. Homojen antrene gruptaki sonuçlara göre en yüksek VO_2 düzeyine ve bu düzeyde geçirilen süreler açısından (%5 yakınlık kriterine göre) en büyük sonuçlar uzun yüklenme süreli HIT senasına aitti. Bu nedenle aerobik güç gelişimi açısından 3 dakika / T_{maks} 'ın %60'ı yükleme süresiyle maksimal eforla uygulanan HIT seansı en büyük potansiyele sahiptir.

5.2. Kesintisiz ve Kesintili HIT'ler

Uzun yıllar boyunca kesintisiz submaksimal şiddetteki egzersizlerin VO_{2maks} düzeyini geliştirmede en etkili yöntemler olduğuna inanılırdı. Ancak kesintisiz egzersiz modellerinden özellikle yüksek şiddetli olanları uzun süre sürdürülemediğinden, bunların yaratacağı stress ve adaptasyon kesintili yüklenmelere göre oldukça yetersiz kalmaktaydı (129). Kesintili yüklenmeler, kesintisiz modellere göre hem daha uzun bir antrenman seansına olanak sağlayarak hem de VO_{2maks} düzeyinde geçirilecek zamanı arttırabilmesinden dolayı günümüzde daha sık kullanılan antrenman yöntemidir. Billat ve ark. (2000), VO_{2maks} düzeyinde geçirilen süre üzerinden kesintili ve kesintisiz HIT antrenmanlarını karşılaştıran ilk çalışmayı yapmışlardır. VO_{2maks} hızında 30 saniye yüklenme ve aynı sürede %50 VO_{2maks} hızında toparlanma içeren kesintili egzersizle $\Delta 50$ yüküyle (AnE ile VO_{2maks} düzeyine denk gelen güç çıktısının ortalaması) kesintisiz egzersiz modelini tükenene kadar uygulamışlardır. Çalışma sonuçlarına göre kesintili modelde 8 dakika VO_{2maks} dolaylarında kalırken, kesintisiz modelde bu süre 3 dakikada kalmıştır (24). Bu sonuç kesintili modellerin VO_{2maks} dolaylarında geçirilen süreyi arttırmak için kesintisiz modellere göre çok daha etkili olduğunu gösterse de kesintisiz model 8, kesintili modelse yaklaşık 20 dakika sürdürülmüştür. Bu çalışma sonundaki soru, daha düşük

şiddetle yapılması durumunda daha uzun sürdürülecek olan kesintisiz modelin VO_{2maks} sınırına ulaşip ulaşamayacağıdır. Bu tez çalışmasında kesintisiz uygulanan HIT_4 modeli yaklaşık $\Delta 25$ (anaerobik eşikle VO_{2maks} düzeyi arasındaki farkın %25'i) yüküne denk gelerek 25 dakika kadar sürdürüldü. Ayrıca %90 ve üzeri VO_{2maks} düzeyinde diğer tüm seanslarla benzer sürelerde yanıt sağladı. Diğer kesintisiz değişken yüklü modelde (HIT_3), HIT_4 'e benzer düzeylerde yüksek VO_2 yanıtları sağladı. Demarie ve ark. (2000), $\Delta 50$ yükünü (AnE ile VO_{2maks} düzeyine denk gelen güç çıktısının ortalaması: ortalama %92,5 VO_{2maks} düzeyi) kullanarak sabit yüklü ve kesintili ($\Delta 50$ 'yi sürdürdüğü sürenin yarısı kadar yüklenme süresi ve 2:1 y/t oranıyla tükenene kadar) egzersiz uygulamışlardır. Kesintili HIT modelinin diğerine oranla VO_{2maks} düzeyinde daha fazla süre geçirdiklerini (sırasıyla 5'e 10 dakika) ve daha büyük VO_2 düzeylerini ulaştıklarını rapor etmişlerdi (65). Bu tez çalışmasında benzer sürelerde tükenme durumuna gelen katılımcıların uzun yüklenme süresine sahip HIT_2 ve kesintisiz HIT_4 modeli arasında ortalama olarak 50 W'lık bir güç çıktısı farkı vardı. Dolayısıyla bu tip egzersizleri aynı ortalama yükte uygulamak kesintisiz modelin çok daha az sürelerde sürdürülmesine yol açabilir ve bu durum fizyolojik yanıtları etkileyebilir. Başka bir çalışmada rekreasyonel olarak aktif bireylerle 90-120 dakika arasında kesintisiz submaksimal (%65 VO_{2maks}) ve kesintili HIT (8-12 × 60-sn, p@%95-100 VO_{2maks} yüküyle, toparlanma:75-sn) modellerini kullanarak 2 hafta boyunca antrenman yaptırmışlardır. Kesintisiz submaksimal egzersiz ve HIT uygulaması için sırasıyla %5 ve %9 VO_{2maks} gelişimi, %5 ve %11 KÇ gelişimi rapor etmişlerdir (47). Egzersiz sonu AZD düzeylerinin rapor edilmediği bu çalışma oldukça farklı düzeydeki yük ve sürelerle uygulanan kesintili ve kesintisiz egzersiz yöntemlerini karşılaştırmıştır. Kesintisiz modele uygulandığı yük (%65 VO_{2maks}) HIT sınıflamasının altında kalan bir yük olabilir. Buna rağmen gelişim düzeyleri incelendiğinde kesintisiz modelde aerobik güce ait gelişimin tamamının merkezi bileşenle ilişkili KÇ artışından kaynaklandığı gözükmektedir. Kesintisiz modeldeki sonuç açısından bu tez çalışmasına benzer sonuç ortaya çıkmıştır. Tez çalışmasında kesintisiz modellerdeki merkezi bileşene ait akut yanıtlar incelendiğinde, ilgili parametrelerin zirve düzeyleri açısından oldukça yüksek yanıtlar saptandı. Başka bir çalışmada, sedanter yaşlı bireylerde 3 hafta boyunca haftada 5 gün ortalama 60 dakika, VO_{2maks} 'ın %65'ine denk gelen şiddetle sabit yüklü kesintisiz yaptırmışlardır. 3 haftalık dönem sonunda $KÇ_{maks}$ ve KAH_{maks} düzeylerinde anlamlı artışlar gözlenmemiştir. VO_{2maks} düzeyindeyse %7,3 oranında artış rapor edilmiştir. Merkezi

bileşende artış olmamasına rağmen sabit yüklü kesintisiz modeldeki gelişim, $a\text{-VO}_{2\text{farkl}_\text{maks}}$ düzeyindeki %10,5'lik artıştan kaynaklandığı aktarılmıştır (165). İlginç olan bu sonuçlar kesintisiz yüklenmelerin periferik adaptasyonlara olanak sağlayarak aerobik güç gelişimine katkıda bulunabileceği göstermektedir. Bu sonuçlara benzer diğer bir çalışmada, %75 – 85 KAS_{maks} düzeyinde 30 dakika süreyle yapılan uzun dönemli antrenmanların, KÇ_{maks} 'dan ziyade $a\text{-VO}_{2\text{farkl}_\text{maks}}$ 'ı geliştirerek $\text{VO}_{2\text{maks}}$ 'ı arttırdığını saptamışlardır (166). Benzer şekilde %75 KAS_{maks} düzeylerinde yapılan uzun süreli antrenmanların KÇ_{maks} artışı olmaksızın $a\text{-VO}_{2\text{maks}}$ düzeyini artırarak $\text{VO}_{2\text{maks}}$ 'a olumlu etki ettiği gösterilmiştir (167). Sabit yüklü kesintisiz egzersizlerde $a\text{-VO}_{2\text{farkl}_\text{maks}}$ artışının, oksijenin difüzyona uğradığı kas fibrili ve kan damarları arasındaki mesafenin kısalmasına ve bu değişimin olduğu alanın büyümesine bağlı olarak oksijenin birim zamandaki transfer miktarının artmasından kaynaklandığı speküle edilmektedir (168). Benzer diğer bir çalışmada, Daussin ve ark. (2008), hafta 3 gün yapılan ve 8 hafta süren, 20-35 dakika kesintisiz submaksimal egzersiz seansını, (kesintili seansın ortalama güç çıktısıyla: %61 $\text{VO}_{2\text{maks}}$), 4 dakika aerobik eşik + 1 dakika %90 $\text{VO}_{2\text{maks}}$ yüküyle 5 set olarak uygulayarak karşılaştırmışlardır. Kesintisiz model ve kesintili model için $\text{VO}_{2\text{maks}}$ gelişimi sırasıyla %9 ve %15 olarak saptanmıştır. Kesintisiz modelde $a\text{-VO}_{2\text{farkl}_\text{maks}}$ gelişimi %13 iken kesintili modelde %9, KÇ ve KAH gelişimi ise kesintili model için sırasıyla %10 ve %8 olarak saptanmıştır. KÇ ve KAH parametrelerine ait gelişim kesintisiz modelde rapor edilmemiştir (44). Diğer bir çalışmada, Daussin ve ark. (2008), 8 haftalık kısa yüklenme süreli HIT modelinin etkilerini, geleneksel dayanıklılık tipi antrenmanlarla kıyaslanmıştır. Çalışmada kullanılan değişken hız antrenmanları 1 dk $p@VO_{2\text{maks}}$ + 4 dk $p@laktat$ eşiği yükünde 4-6 tekrar ve hafta üç gün olarak uygulanırken, geleneksel model %60 $\text{VO}_{2\text{maks}}$ 'ta kesintisiz koşullardan oluşturulmuştur. Araştırmanın sonuçlarına göre, HIT antrenmanları AnE'de kullanılan VO_2 'de ~%40'lık, $\text{VO}_{2\text{maks}}$ 'da %33, KÇ_{maks} 'da %11, KAH_{maks} 'da %5,6'lık ve anlamlı derecede daha yüksek artışlar olduğunu gösterilmiştir. Bu bulgular $p@VO_{2\text{maks}}$ ile $p@laktat$ eşiği arasındaki değişken hız uygulamalarının, geleneksel yöntemlere kıyasla daha etkili bir antrenman modeli olduğunun göstergesidir. Ancak kullanılan HIT modelinin yanında diğer kesintisiz submaksimal model orta düzey antrene bireyler için %60 $\text{VO}_{2\text{maks}}$ 'ta yani AnE'nin altında laktat eşiği hızlarına oldukça yakın düzeylerde uygulanmıştır. Egzersiz sonunda ulaşacakları farklı AZD düzeyi nedeniyle yaratacağı stres açısından aralarında oldukça büyük fark vardır ve bu modellerin karşılaştırılması taraflı bir sonuç

doğurabilir (45). Bu tez çalışmasındaysa, bu sonuçların aksine merkezi bileşende kesintisiz HIT modellerinin olumlu gelişim potansiyeli gösterilmesine rağmen $a-vO_{2_farkı}$ açısından zirve değerlerden uzak kaldığı gözlemlenmiştir. Bunun nedeni anaerobik eşik şiddetine kadar olan kesintisiz egzersizlerde egzersizin 10. dakikasından itibaren KAH'da azalma ve KAS'da artış olarak tanımlanan kardiyovasküler sapmanın görülmesi olabilir (169). Kardiyovasküler sapma durumunda, düşük KAH yanıtlarından dolayı merkezi adaptasyon olumsuz etkilenebilir. Dolayısıyla bu şiddetin altındaki uzun süreli çalışmalar $a-vO_{2_farkı}$ 'nın gelişmesine olanak sağlıyor olabilir. Bu nedenle bu tez çalışması, yukarıda bahsedilen kesintisiz modellerin $a-vO_{2_farkı}$ gelişimleri açısından farklı sonuçlar sağlamış olabilir. Çünkü bu tez çalışmasındaki kesintisiz modellerin hiçbirisi anaerobik eşik yükünün altına uygulanmadı. Kesintisiz modellerin şiddetli egzersiz alanı (severe) olarak ifade edilen düzeyde yapılmasından dolayı VO_{2maks} düzeyinde VO_2 yanıtları sağlayarak merkezi bileşen ait parametrelerde de yüksek seviyeler korundu. Görüldüğü gibi son yıllardaki bu gibi çalışmalar, özellikle metabolik ve hemodinamik parametrelerini karşılaştırmak için kullanılan sabit yüklü modellerin, HIT antrenmanlarının aksine çok daha düşük yüklerle yapılıp, sürdürülebilecek sürelerin çok daha altında sonlandırıldığı ya da çok yüksek şiddetle yapılıp katılımcıların erken tüketildiği ve bu uygulamaların yanlış değerlendirmelere yol açabileceği tartışılmaktadır (36,48,49). Dolayısıyla bu tip kesintisiz submaksimal antrenmanları daha yüksek şiddetlerde yapılmasının gerektiği tartışılmaktadır (72). Kesintisiz HIT modelinin VO_{2maks} 'ı geliştirmede kesintili HIT modelleri kadar etkili olabileceği ve anaerobik eşik düzeyini gelişiminde kesintisiz uygulamaların etkili olduğunu güncel bir konu olsa da, tükenmeyle sonlanan 20 - 30 dakikalık kesintisiz ve kesintili HIT antrenmanlarının benzer aerobik güç gelişimi gösterdiği 1998 yılındaki bir çalışmada rapor edilmiştir (40). İlgili çalışmada, rekreasyonel koşucularla 6 haftalık süreyle; 6×4 -dk, 2:1 y/t oranı ile uygulanan uzun yükleme süreli HIT, $30-40 \times 15$ -sn, r:1:1y/t oranıyla uygulanan kısa yüklenme süreli HIT ve 20 – 30 dakikalık kesintisiz egzersizlerini 3 farklı grupta uygulamışlardır. Egzersizleri bireysel 5 ve 10 km yarış hızlarıyla tükenene kadar devam ettirmişlerdir. VO_{2maks} gelişimi sırasıyla %6, %3,6 ve 5,9 olarak saptanmıştır. %85 VO_{2maks} şiddetini sürdürme düzeyleri sırasıyla %67, 65 ve 94 olarak en yüksek gelişim kesintisiz grupta sağlanmıştır (40) Bu sonuçlar uzun intervallerin ve kesintisiz uygulanan yüksek şiddetli egzersizlerin VO_{2maks} 'ı geliştirmede, anaerobik eşik düzeyi ve VO_{2maks} düzeyi arasındaki submaksimal alanın gelişimindeyse

kesintisiz yüklenmelerin daha etkili olabileceğini göstermektedir. Seiler ve ark. (2013), 4 × 4-dk, r:2-dk; 4 × 8-dk, r:2-dk; 4 × 16-dk, r:3-dk yüklenme yöntemlerini içeren, farklı sürelerde fakat her modelin sonunda tükendikleri 6 haftalık antrenman protokolünü rekreasyonel olarak aktif bireylerde uygulamışlardır. Yük olarak sırasıyla %94 (yaklaşık VO_{2maks}), %90, (yaklaşık %90 VO_{2maks}) %88 (yaklaşık AnE) % KAS_{maks} düzeylerini kullanmışlardır. VO_{2maks} düzeyi (%8), %80 güç çıktısıyla tükenme süresi (%100) ve VO_{2maks} 'a denk gelen güç çıktısı (%8) gelişimi sağlayan 4×8 grubu, diğerlerine göre belirtilen parametrelerde daha büyük gelişim sağlamıştır. 4 dakikalık ve 16 dakikalık yüklenme süreyle yapılan intervaller arasındaysa fark olmadığı rapor edilmiştir (23). Bu sonuçlar 4 dakikadan uzun yapılan kesintili HIT uygulamalarının eğer bitkinlikle sonlanan metotla kurgulanırsa etkili bir dayanıklılık gelişimi sağlayabileceğini göstermektedir. Rekreasyonel olarak aktif katılımcılarla yapılan diğer bir çalışmada, ~29 set × 30-sn %110 VO_{2maks} yüküyle (1:1 y/t oranıyla) kısa interval, ~9 set × 2-dk %95 VO_{2maks} yüküyle (1:1 y/t oranıyla) uzun interval ve %70 VO_{2maks} yüküyle ~29 dakika kesintisiz modelleri egzersiz sonunda benzer AZD düzeyine (~17) gelecek şekilde planlamışlardır. Uzun intervallerde %8 daha yüksek VO_2 ve %6,4 daha yüksek KÇ düzeylerine ulaştığını rapor etmişlerdir. Zirve kan laktat düzeyleri, kesintisiz model, uzun ve kısa interval modelleri için sırasıyla; 8 – 10,7 – 9,5 mmol·lt⁻¹ olarak saptanmıştır. Ortalama KÇ gelişim düzeyleri karşılaştırıldığında uzun interval ve kesintisiz HIT benzer düzeyde sonuç verirken her ikisi de kısa intervalden daha iyi düzeyde olduğu rapor edilmiştir. a- $VO_{2_farkı}$ düzeylerindeyse fark rapor edilmemiştir. Çalışmada VO_{2maks} 'la ilişkili merkezi bileşenin gelişmesi için en iyi stratejinin uzun intervallerle birlikte yüksek şiddetli kesintisiz yüklerin uygulanması önerilmiştir (36). Bu tez çalışmasında ilgili çalışmadan biraz farklı olarak kesintisiz HIT'ler (HIT₃₋₄) hem kısa hem de uzun yüklenme süreli HIT'lere oranla KÇ ve KAH yanıtları olarak daha büyük ve sürdürülebilir sonuçlar sağlayarak, merkezi bileşen için daha büyük gelişim potansiyelinin olduğu ortaya konmuştur. Bu farklılık tez çalışmasının tükenme odaklı uygulama metodundan ve kesintisiz modelin daha yüksek şiddetle yapılmasından kaynaklanmış olabilir. Benzer diğer bir çalışma submaksimal kesintisiz eforlara dikkat çekmektedir. Rekreasyonel aktif katılımcılarla, kesintisiz submaksimal (%83 VO_{2maks} şiddetiyle), kısa interval (30-sn, %110 VO_{2maks} şiddetiyle, 1:1 y/t oranı %50 VO_{2maks} şiddetiyle), uzun interval (3-dk, %95 VO_{2maks} şiddetiyle, 1:1 y/t oranı %35 VO_{2maks} şiddetiyle) egzersizlerini uygulamışlardır (~14 dakika toplam süre). Egzersiz modelleri arasında aynı zorlamayı yaratmak için KAS

%97 seviyesine gelince egzersiz sonlandırılmıştır ve egzersizlerin benzer sürelerde tamamlanmasına odaklanılmıştır. Kesintisiz model, kısa ve uzun yüklenme süreli interval modelleri için ulaşılan VO_{2maks} düzeyleri sırasıyla; %91,8 - 97 - 93,9 VO_{2maks} olarak saptanmıştır. Ayrıca egzersiz seanslarında ortalama VO_2 düzeyleri arasında fark bulunmamaktadır. %90 VO_{2maks} üzerinde geçirilen süre uzun interval uygulamasında diğerlerine göre daha yüksek olduğu rapor edilmiştir (38). Ancak çalışmada egzersizin hem tükenene kadar devam ettirilmemesi hem de interval uygulamalarındaki farklı dinlenme yükleri çalışmanın sonuçlarını farklılaştırmış olabilir. Uygulama açısından metodu bu tez çalışmasında benzerlik gösteren bu çalışma, egzersiz yükleri açısından oldukça yakın düzeyler olmasına rağmen egzersiz süresi bu tez çalışmasına oranla yaklaşık 10 dakika daha az sürdürülmüştür. Bunun nedeni katılımcıların antrene olmaması olabilir. Ayrıca, VO_{2maks} düzeyinde en fazla süre geçiren egzersiz modeli bu tez çalışmasıyla benzerlik göstererek uzun yüklenme süreli HIT uygulamasında olmuştur. Öte yandan 15 dakika altındaki sürelerde sonlanan egzersizlerde kardiyak fonksiyonların baskılanması mümkün olabileceği ve bu durumda KAS düzeyi, KÇ düşüşünü önlemek için daha büyük oranda artmaktadır ve bu durumun da KAH düzeyini azaltabileceği tartışılmaktadır (170). Pratt ve ark. (2013), rekreasyonel aktif bireylerle, uzun yüklenme süreli HIT (VO_{2maks} hızıyla 5 set \times 2-dk, 1:1 y/t oranı %50 VO_{2maks} hızıyla), maksimal eforlu kesintisiz HIT (~ AnE düzeyinde) ve uzun yüklenme süreli HIT seansının ortalama hızıyla kesintisiz submaksimal egzersiz uygulamışlardır. Tüm egzersizler toplam 20 dakika olacak şekilde ayarlanmıştır. Uzun yüklenme süreli HIT, maksimal kesintisiz HIT ve submaksimal kesintili HIT için ortalama VO_2 düzeyleri sırasıyla %83 - 84 - 76 VO_{2maks} düzeylerine denk gelmiştir. Ortalama VO_2 düzeyleri uzun yüklenme süreli HIT ve kesintisiz HIT modelinde benzer olsa da, kesintisiz modelde yapılan iş daha fazla olduğu rapor edilmiştir (48). Bu sonuçlar HIT modellerinin uygulaması açısından bu tez çalışmasında benzer niteliktedir. Ortalama VO_2 yanıtı olarak tez çalışmasında kesintisiz HIT modeli kesintili HIT modellerine oranla daha büyük enerji maliyeti sağladı. Ayrıca ilgili çalışma maksimal eforlu ve sabit süreli egzersiz yapmanın zorluklarından bahsederek, en doğru yükün tayini için katılımcıların antrenman için laboratuvarı çok daha sık ziyaret etmesi gerekliliğini belirtmektedir (48). Bu nedenle bu tez çalışmasında, katılımcılar yaklaşık 6 ay önceden laboratuvar ziyaretlerini başlatarak yapılan pilot çalışmayla tez çalışmasındaki antrenman metotları haftada en az 2 gün olacak şekilde uygulandı. Bunun sonucunda tüm sporcuların her bir egzersiz seansı için 24 - 25

dakikalık tükenme süreleri için ideal egzersiz yükleri belirlendi. Nicolo ve ark. (2014), antrene sporcularda maksimal efor ve sabit egzersiz süresi konseptini baz alarak yapılan ilk çalışmada, a) kesintisiz 30-dk, b) 40-s:20-s, c) 30-s:30-s ve d) 20-s:40-s y/t oranıyla ($p@%70 - 91 - 107 - 125 \text{ VO}_{2\text{maks}}$) egzersizler karşılaştırılmıştır. Çalışmada doğrusal (linear) mod seçilerek tüm egzersiz modellerinin sonunda tükenilmesi hedeflenmiştir. Çalışmada kesintisiz model daha büyük VO_2 ve daha küçük laktat yanıtına neden olmuştur. Kesintili egzersizlerden 40:20 modeli diğer kesintili modellere göre daha büyük VO_2 yanıtı sağlamıştır (171). Bu tez çalışmasında benzer şekilde maksimal efor ve sabit egzersiz süresi konseptiyle yapılan çalışma, tez çalışmasının aksine kesintisiz modelde daha büyük VO_2 yanıtı sağlamıştır. Buradaki fark Nicolo ve ark.'nın egzersiz süresi uzun olan modelin 2:1 y/t oranı nedeniyle egzersizi düşük güç çıktılarında yapmış olması olabilir ($p@%92\text{VO}_{2\text{maks}}$). Bu kısa yüklenme süreli HIT'lerde supramaksimal yüklerin kullanılması daha uygun olabilir. Tez çalışmasında kısa yüklenme süreli HIT ve sabit yüklü kesintisiz HIT modelleri arasında VO_2 açısından fark saptanmadı. Laktat yanıtları açısından tez çalışmasına benzer sonuçlar ulaşıldı. Kesintili modellerin laktat yanıtları kesintisiz sabit yüklü HIT modelinde daha yüksek bulundu. Ortalama yük ve egzersiz süresini eşitleyerek iyi düzey antrene sporcularda yapılan bir diğer çalışmada, 21-set \times 30 saniyelik kısa ve 4-set \times 3 dakikalık uzun yüklenme süreli HIT ($\text{VO}_{2\text{maks}}$ yüküyle, 1:1 y/t oranıyla), 32 dakikalık sabit yüklü egzersiz ($%50 \text{ VO}_{2\text{maks}}$ yükü) uygulamışlardır. Kısa yüklenme süreli HIT modeli solunumsal anaerobik eşik düzeyine ulaşamazken, uzun yüklenme süreli HIT modeli ulaşılan VO_2 seviyesi açısından her bir yüklenmede $%95 \text{ VO}_{2\text{maks}}$ düzeylerine ulaşmıştır. Kesintisiz modelde solunumsal aerobik eşiğin altında kalmıştır. AZD düzeyleri kısa – uzun yüklenme süreli HIT ve sabit yüklü egzersiz için sırasıyla 12,3 – 17,3 – 8,6 olarak saptanmıştır. Uzun yüklenme süreli HIT'de laktat $11 \text{ mmol}\cdot\text{lt}^{-1}$ düzeyine ulaşırken, kısa yüklenme süreli HIT'te $4 \text{ mmol}\cdot\text{lt}^{-1}$ seviyesinde kalmıştır (137). Bu sonuçlar egzersiz süresi ve ortalama yükünün sabit tutulmasının, farklı şiddetlerdeki egzersizlerde tutarsız AZD düzeylerinden dolayı egzersizleri karşılaştırmada yetersiz olduğunu göstermektedir. Bu tez çalışmasında sabit egzersiz süresiyle uygulanan uzun (HIT_2) ve kısa (HIT_1) yüklenme süreli HIT'lerin yüklenme fazlarına ait yükler $%15$ kadar farklılaştı. Buradaki temel farklılığın nedeni, tez çalışmasında seans sonunda maksimal efora ulaşma kriterini temel alarak yapılmasından kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla sabit bir güç çıktısının hem kısa hem de uzun yüklenme süreli interval modelinde aynı y/t oranıyla uygulanması uzun

yüklenme süreli HIT'lere avantaj sağlayarak, karşılaştırılan HIT'lerin etkilerini yanlış değerlendirmeye yol açabilir.

Bu tez çalışmasında değişken yüklü kesintisiz HIT modelinde (HIT₃) egzersiz yükü olarak AnE düzeyi tercih edildi. Bunun nedeni egzersiz seansı süresince şiddetli egzersiz alanında kalınması ve kardiyovasküler sapma etkilerinden kaçınılması olsa da diğer önemli bilimsel çalışma sonuçlarının da katkısı vardır. Bunlardan ilki, Leclair ve ark. (2011) çalışmasına dayanmaktadır. İlgili çalışmada, şiddetli egzersiz alanında %90 VO_{2maks} ve üzerinde geçirilen süre ve bu alandaki egzersizde tükenme zamanını, AnE ile VO_{2maks} arasındaki farkın %50 ($\Delta 50$) ve %75'i ($\Delta 75$), p@VO_{2maks} ve p@%110 VO_{2maks} egzersizleri üzerinden karşılaştırmışlardır. Çalışmada şiddet arttıkça %90 ve üzeri VO_{2maks}'da geçirilen süre azalmıştır (172). Böylece bu tez çalışmasındaki HIT₃ modelinde VO_{2maks} düzeyine en hızlı şekilde ulaşılmasını sağlayan 1 dakikalık VO_{2maks} yükü sonrasında, VO_{2maks} düzeyine yakın yanıtların devam edebileceği kadar düşük ve yapılan HIT modelinin kesintili model olarak özelleşmeyeceği kadar yüksek bir yük olan AnE yükü tercih edildi. Bu tercihimizin ikinci nedeni Billat ve ark. 2000 yılındaki çalışmaya dayanmaktadır. Bu çalışmada 3 farklı değişken hızlı egzersiz modelleri VO_{2maks} düzeyinde geçirilen süre ve laktat üretimi üzerinden tartışılmıştır. Çalışmada a) %90 - 80, b) %100 - 70 ve c) %110 - 60 p@VO_{2maks} hızları 15 saniyelik sürelerde değişmeli olarak kullanılmıştır. VO_{2maks} düzeyinde geçirilen süre bakımından, a ve b modelinde c modeline oranla iki kat daha fazla süre geçirdiği fakat daha az laktat üretimine (9'a 11 mmol·lt⁻¹) neden olduğu saptanmıştır. %100 - 70 p@VO_{2maks} hızında yapılan egzersizin diğer modellere oranla hem daha yüksek VO₂ düzeyine ulaşması hem de benzer VO₂ düzeylerine ulaşan a modeline oranla yaklaşık 1,5 km/sa daha yüksek hızda koşulması dolayısıyla, antrenmanlarda bu modele yer verilmesi önerilmiştir. İlgili çalışmada katılımcıların anaerobik eşik düzeyleri ortalama olarak %83 VO_{2maks} seviyesine denk gelmektedir (89). Daha yüksek VO₂ düzeylerine %100 - 70 yüklerle yapılan egzersiz modeline ulaşılması bizimde değişken yüklü modelde AnE ve VO_{2maks} şiddetlerini tercih etmemize katkısı olmuştur.

Dayanıklılık sporcularının birincil ayır edici özelliği, kalp kasındaki gelişim nedeniyle daha büyük KAH_{maks} ve dolayısıyla daha fazla KÇ_{maks} düzeyine sahip olmalarıdır (173). MacDougall ve Sale, p@VO_{2maks}'ın %75'lik şiddetleri miyokart stresini en optimal düzeyde yaratacağından dolayı ilgili şiddetin aerobik gücü geliştirici en uygun yük olacağını speküle etmektedirler (84). Bunun nedeni olarak

kalp atım hacminin %40 – 75 VO_{2maks} düzeylerinde plato eğrisi yanıtı ve ortalama arter basıncının da %70 – 80 VO_{2maks} düzeylerinde oluştuğunu speküle etmektedir (2,174). Fakat iyi düzey antrene gruplarla yapılan çalışmalarda hem maksimal kalp atım hacminin hem de ortalama arter basıncının VO_{2maks} düzeyine kadar yükselmeye devam ettiği gösterilmiştir (175,176). Böylece egzersiz şiddetine bağlı olarak sol ventrikül boşalma miktarının artışına neden olmaktadır. Dolayısıyla bu tip sporcularda en yüksek miyokart stresine bağlı adaptasyonun VO_{2maks} yüklerinde olacağı söylenilebilir (129). Bizim çalışmamızda katılımcıların KAH_{maks} düzeyleri VO_{2maks} düzeyinin %83'üne, güç çıktısı olarak $p@%80$ 'ine denk gelmektedir. Tüm HIT seansları bu şiddetin üstünde yapılmıştır. Colakoglu ve ark., KAH_{maks} şiddetiyle yapılan egzersizlerin VO_{2maks} düzeyinde yapılacak egzersizlere oranla daha fazla KAH yanıtlarına neden olabileceğini göstermiştir (33). Dolayısıyla bu tez çalışmasında KAH_{maks} düzeyinin (284 W), kesintisiz HIT modeliyle benzer şiddetlere (289 W) gelmesi nedeniyle en büyük KAH yanıtlarının bu egzersizde açığa çıkmasına neden olmuş olabilir. Hatta egzersiz süresi boyunca ortalama KAH yanıtları maksimal %90 düzeyinin altına hiç inmemesi, KAH gelişimi açısından bu egzersiz modelini öne çıkarmaktadır. Ayrıca KAH yanıtlarının en büyük düzeyde sağlandığı ikinci model değişken yüklü HIT modelidir. 25 dakika süren bu modelin 20 dakikası KAH_{maks} şiddetine oldukça yakın güç çıktılarında (266 W) yapılması bu modelin KAH yanıtlarının artmasına neden olmuş olabilir. Ayrıca egzersiz sırasındaki KÇ yanıtları ve egzersizin sonundaki KAH yanıtı açısından yükselen trendle egzersizlerin sonlanması, merkezi gelişim açısından potansiyelinin oldukça yüksek olmasını göstermektedir. Ayrıca katılımcı grubunun iyi antrene grup olmasından dolayı egzersiz şiddetinin de şiddetli (severe) alanda olmasını sağlamış (177) ve VO_{2maks} düzeyinde alınan VO_2 yanıtlarla birlikte en yüksek KÇ yanıtlarına bu egzersiz modellerinde ulaşılmıştır. Benzer bir çalışmada, KAH_{maks} yükü ve bu yüke karşılık gelen sabit KAS yanıtıyla, antrene sporculara tükeninceye kadar egzersiz yapmışlardır. Bu iki egzersiz için tükenme süreleri 10 ve 21 dakikadır. Ortalama güç çıktısı KAS odaklı KAH şiddetindeki egzersizde daha düşük rapor edilmiştir. Laktat ve VO_2 yanıtlarında fark bulunmazken, $KÇ_{maks}$ ve KAH_{maks} değerleri KAS odaklı KAH şiddetinde daha yüksek olduğunu rapor etmişlerdir (37). Dolayısıyla KAH_{maks} düzeyinde yapılacak egzersizlerin kardiyak fonksiyonları daha iyi geliştirebileceğini doğrular niteliktedir. Leprate ve ark. (2004), $\Delta 50$ ($T_{maks}=756$ sn) ve VO_{2maks} yüküyle ($T_{maks}=312$) yapılan egzersizlerde $a-vO_{2fark}$ 'ının $\Delta 50$ ve VO_{2maks} şiddetindeki

egzersizler için sırasıyla 7. ve 3. dakikasından itibaren düşüşe geçtiğini rapor etmişlerdir. Ayrıca $a-vO_{2\text{farkı}}$ 'nın maksimal değerine her iki egzersiz şiddetinde de ulaştığını ve $\Delta 50$ yükünde daha geç düşüşe geçtiğini rapor etmişlerdir (51). Bu tez çalışmasında sabit yüklü kesintisiz HIT'de $a-vO_{2\text{farkı}}$ zirve yanıtına ulaşamadı, fakat değişken yüklü HIT modelinde, egzersize $VO_{2\text{maks}}$ yüküyle başlaması ve her 4 dakikada bir tekrardan uygulanmasından dolayı $a-vO_{2\text{farkı}}$ başlangıçta zirve yanıtına ulaşırken daha sonrasında azalan trende sahipti. Kesintisiz HIT'ler 25 dakikada katılımcıların tükeneceği yük olarak ayarlanmasından dolayı Lepretre ve ark.'nın çalışmasından daha düşük egzersiz şiddetiyle yapıldı (anaerobik eşik ve $VO_{2\text{maks}}$ 'ın yaklaşık $\Delta 25$ 'i). Bu nedenle kesintisiz HIT'lerde yüksek $a-vO_{2\text{farkı}}$ yanıtına ulaşılmamış olabilir. Ancak $VO_{2\text{maks}}$ şiddeti civarında uygulanan kesintili HIT modelleri maksimal $a-vO_{2\text{farkı}}$ yanıtları sağlamıştır. Dolayısıyla %90 - 100 $VO_{2\text{maks}}$ şiddeti kullanılarak yapılacak HIT uygulamalarının her yüklenme fazında, KAH ile birlikte yüksek değerlerini koruyabilen $a-vO_{2\text{farkı}}$ yanıtı da önemli antrenman adaptasyonlarını tetikleyebilir. Ancak bu konu özellikle interval tipi kesintili antrenman modelleri için yeterince sorgulanmamıştır. Dolayısıyla $VO_{2\text{maks}}$ şiddeti altındaki yükler antrene sporcularda $a-vO_{2\text{farkı}}$ 'nı geliştirmede yetersiz kalabilir. Buchheit ve Laursen 2013 yılında yayımladıkları önemli bir derlemelerinde, antrenman boyunca sporcuların bireysel KAH_{maks} ve $KÇ_{\text{maks}}$ düzeylerine yakın KAH ve $KÇ$ yanıtları almanın, $VO_{2\text{maks}}$ gelişimi için en önemli faktörlerden biri olduğunun altını çizmişlerdir (178). Ancak bu çalışmalarda sonuçlar hem $a-vO_{2\text{farkı}}$ düzeyleri için tartışılmamış, hem de ilgili parametrelerin toparlanma periyodu göz ardı edilmiştir. Bu tez çalışması $a-vO_{2\text{farkı_maks}}$ düzeyinde geçirilen sürelerin analiz edilerek incelendiği ilk çalışma olma iddiasındadır. Bu tez çalışmasında kesintili HIT modelleri $VO_{2\text{maks}}$ şiddetine yakın yüklerle yapılmasından dolayı ulaşılan $a-vO_{2\text{farkı}}$ ve $a-vO_{2\text{farkı_maks}}$ düzeyinden geçirilen süreler açısından en büyük sonuçları sağlamışlardır. Bu nedenle ilgili parametrelerin orta ve iyi düzey antrene sporculardaki gelişimi $VO_{2\text{maks}}$ civarındaki yükleri kullanılarak tükenmeyle sonlanacak olan kısa ve uzun yüklenme süreli kesintili modellerle olabileceği önerilebilir.

5.3. HIT'lerde Yüklenme Toparlanma İlişkilerinin Etkileri

Kesintili egzersizlerde pasif toparlanmaya oranla aktif toparlanma araları, VO_2 kinetiklerini hızlandırarak daha yüksek VO_2 düzeylerine ulaşmaya yardımcı olmaktadır (179,180). Aktif toparlanma kullanımının, $KÇ$ 'yi arttırdığı, venöz

göllenmeyi engelleyerek miyokardın perfüzyonunu azaltabileceği, bunun da iskelet kasları için daha uygun dinlenme olabileceği önerilmektedir (181). Dupont ve ark. (2004), VO_{2maks} 'ın %120'sine denk gelen yükler kullanılarak 15 saniyelik yüklenmeleri aktif (%50 VO_{2maks}) ve pasif toparlanma periyodundan oluşan iki farklı kesintili egzersiz modelini karşılaştırmışlardır. Çalışma sonunda her iki egzersiz modelinde, VO_{2maks} 'ın %90'ı ve %95'i üzerindeki geçirilen zamanda fark bulunmadığı rapor edilmiştir (182). Bu sonuç %50 VO_{2maks} şiddetinde kurgulanacak toparlanma yükünün ekstra geliştirici potansiyeli taşımadığı ve aerobik güç gelişimi hedefliyle planlanan bir antrenman seansı için yüksek şiddet olduğunu işaret etmektedir. Benzer diğer bir çalışmada Stanley ve Buchheit (2014), HIT egzersizi (3×3-dk r:2-dk, p@%90 VO_{2maks} yüküyle) sırasında düşük %30 p@ VO_{2maks} ve orta %60 p@ VO_{2maks} düzeyinde yüklerle yapılacak toparlanma periyodunun VO_2 , KÇ ve KAH üzerine etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada orta yüklerle toparlanma yapılan HIT'in VO_2 ve KÇ düzeylerini arttırmasına rağmen, KAH düzeyinde diğerine oranla fark olmadığını ortaya koymuşlardır (11). Dolayısıyla yüksek şiddetli toparlanma aralarının doğrudan KAS artışıyla KÇ'yi arttırdığı, fakat yine de merkezi bileşene katkısının olabileceği speküle edilebilir. Ayrıca egzersiz seansının süresini uzatabilmek için daha düşük yüklerle yapılacak toparlanma fazı daha doğru yaklaşım olabilir (183). Ayrıca bu yaklaşım laktat birikimini yavaşlatarak yorgunluğun ertelenip, daha uzun süre egzersiz yapılmasına olanak sağlayabilir (129). Nitekim toparlanma araları yüksek şiddette yapılırsa egzersiz süresini ciddi miktarda azalttığı gösteren önemli çalışmalar vardır. Bu çalışmaların birinde %50 VO_{2maks} şiddetinde yapılan aktif toparlanmanın pasif toparlanmaya oranla, egzersiz süresini yaklaşık 3 dakika kadar kısalttığı rapor edilmiştir (89,159). Ayrıca bu yükler civarında uygulanacak toparlanma şiddetinin VO_{2maks} dolaylarında geçirilen süreyi etkilemediği rapor edilmiştir (184). Bu durum toparlanma fazı için kullanılacak %50 VO_{2maks} yükünün, laktat eliminasyonunu pasif dinlenmeye oranla yavaşlattığı şeklinde yorumlanabilir. Bu nedenle optimal şiddeti belirlemek için kesintili modeller için farklı şiddetler denenebilir. Dodd ve ark. %35 VO_{2maks} şiddetinin HIT'ler için laktat eliminasyonu açısından daha uygun bir şiddet olduğunu göstermişlerdir (185). Bu çalışmalardan elde edilen bulgular neticesinde bu tez çalışmasında kullanılan HIT'lerin toparlanma fazında, laktat eliminasyonu için en uygun yük olarak gösterilen %35 VO_{2maks} şiddeti kullanıldı.

Literatürdeki aerobik gücü geliştirmeye odaklanan çalışmalarda genellikle 1:1, 1:0,5 ve 1:2 oranında y/t oranı tercih edilmektedir. (186). Burada önemli olan toparlanmayı, VO_{2maks} 'ta geçirilecek süreyi kısaltmayacak kadar kısa, egzersizdeki oksihemoglobin toparlanmasına ve laktat eliminasyonuna olanak sağlayacak kadar da uzun bir toparlanma arasının tercih edilmesidir (129). Bu önemli çalışmaların birinde, Laursen ve ark. (2002), üç farklı HIT modelinin 7 haftalık antrenman dönemi sonrasındaki, VO_{2maks} düzeyi ve 40 km koşu performansı üzerine etkilerini incelemişlerdir. HIT-1: $8 \times \%60 T_{maks}$ 'ı (gerçekleşen yüklenme süresi: 2:25) 1:2 y/t oranıyla; HIT-2: $8 \times \%60 T_{maks}$ (gerçekleşen yüklenme süresi: 2:30) 1:1,2 y/t oranıyla ve HIT-3: $10 \times \%175 p@VO_{2maks}$ 1:7 y/t oranıyla egzersiz modellerini uygulamışlardır. Çalışmanın sonuçlarına göre HIT-1 ve HIT-2'deki VO_{2maks} ve 40 km performans gelişim düzeyleri, sprint interval özellikli HIT'lere oranla daha yüksek düzeyde bulunmuştur. Ayrıca 1:1,2 y/t oranıyla gerçekleşen intervalde VO_{2maks} gelişimi 1:2 oranıyla gerçekleşen intervale göre daha fazla bulunmuştur (144). Bu sonuç VO_{2maks} civarındaki yüklerle uygulanacak intervallerde 1:1 y/t oranının daha uygun olabileceğini göstermektedir.

Ronnestad ve ark. (2016), kısa yüklenme süreli HIT (30-sn), uzun yüklenme süreli HIT ($\%50 T_{maks}$: 3-dk yüklenme) ve uzun yüklenme süreli HIT₂ ($\%80 T_{maks}$: 4,5-dk yüklenme) olarak 1:0,5 y/t oranıyla, toplamda sırasıyla, ~23 - 14 - 10 dk sürdürdükleri egzersizleri tükenene kadar uygulamışlardır. Egzersiz yükü olarak $\%90 VO_{2maks}$ şiddeti tercih edilmiştir. Egzersiz sonu laktat düzeyleri sırasıyla, 13 - 14,9 - 14,3 mmol·lt⁻¹, $\%90 VO_{2maks}$ üzerinde geçirilen süreyle sırasıyla 306 - 120 - 127-sn olarak rapor edilmiştir. (41). Bu sonuçlar her ne kadar 30 saniyelik intervali avantajlı olarak gösterse de, uzun intervallerde uygulanan 1:0,5 yüklenme dinlenme oranı nedeniyle egzersizler potansiyeline oranla kısa sürdürülmüş olabilir ve bu da VO_{2maks} düzeyinde geçirilen süreyi etkiliyor olabilir. Yüklenme dinlenme oranı olarak 1:1 yaklaşımın kullanıldığı bu tez çalışmasında $\%90 VO_{2maks}$ üzerinde geçirilen süre kısa yüklenme süreli HIT modelinde ~400-sn, uzun yüklenme süreli HIT modelinde ~550-sn olarak saptandı ve bu süre Ronnestad ve ark.'nın ulaştığından çok daha yüksekti. HIT'lerde 1:0,5 y/t oranının kısa yüklenme süreli HIT'lerdeki avantajını ortaya koyan bir çalışmada, kısa (3×13×30-sn yüklenme 15-sn dinlenme) ve uzun yüklenme süreli HIT (4×5-dk yüklenme, 2,5-dk dinlenme) antrenmanlarını 20 dakika ve 10 hafta boyunca antrene bisikletçilerde maksimal efor ve sabit egzersiz süresi metoduyla

uygulamışlardır. Egzersiz yükü olarak her seansta çıkabildikleri maksimum güç çıktısı kullanılmış ve egzersiz sonundaki AZD değerlerinde katılımcılar arasında fark bulunmamıştır (~18,2/20). Benzer şekilde laktat yanıtlarında da eşit durum rapor edilmiştir (sırasıyla; 11,4 -10,5 mmol·lt⁻¹). VO_{2maks} düzeyleri gelişimi, kısa ve uzun yüklenme süreli HIT'ler için sırasıyla %8,7 ve %2,6 olarak saptanmıştır (187). Bu tez çalışmasında benzer şekilde maksimal efor yöntemi kullanıldı fakat bahsedilen çalışmada, tez çalışmasının aksine kısa yüklenme süreli HIT modeli uzun olana göre daha avantajlı gösterilmiştir. Bu sonuçlar 5 dakikalık uzun yüklenme süresiyle ve 2:1 y/t oranıyla uygulanmasının, aslında yüklenme fazı yüksek şiddetle kurgulanabilecekken (eğer y/t oranın 1:1 ve daha üstü tercih edilseydi) daha düşük güç çıktılarında yapılmasına ve bunun VO_{2maks} düzeyinde geçirilen süreyi azaltarak VO_{2maks} gelişimini olumsuz etkilenmesine neden olmuş olabilir. Bu tez çalışmasında kesintili uzun HIT modellerinde 1:1 y/t oranı tercih edilerek ortalama p@%93VO_{2maks} şiddetinde gerçekleştirildi. Pilot çalışmalardan elde ettiğimiz verilere dayanarak, eğer aynı toplam seans süresi (24-25 dakika) 1:0,5 y/t oranı kullanılarak uygulansaydı, uzun yüklenme süreli HIT'de (HIT₂) ulaşılan güç çıktısı çok daha düşük olacak ve VO_{2maks} düzeyinde geçirilecek süre oldukça azalacaktı. Dolayısıyla özellikle aerobik güç gelişimi hedefli uygulanacak uzun yüklenme süreli intervaller için 1:1 y/t oranının kullanılması daha uygun olduğu söylenebilir. Bu tez çalışmasında kısa yüklenme süreli HIT modelinde (HIT₁), 24-25 dakikalık toplam egzersiz seans süresi hedefiyle 45-sn'lik yüklenme süresini takiben 1:1 y/t oranı uygulandı. Seans süresince maksimum efor, sonunda bitkinliğe ulaşarak tükendiği seanstaki yüklenme fazlarında ulaşılan güç çıktısı VO_{2maks} yükünün ortalama ~%10 fazlasına denk geldi. Eğer 1:0,5 y/t oranı kullanılsaydı bu ulaşılan güç çıktısı VO_{2maks} şiddetine yaklaşabilirdi ve bu durum VO_{2maks} düzeyinde geçirilecek süreye olumlu etki oluşturabilirdi. Ancak bu tez çalışmasında hem toplam seansın hem de kesintili ilk 2 modelin yüklenme sürelerinin eşitlenmeye çalışıldığı için 1:1 y/t oranı kullanılması gerekti. Diğer yandan, VO_{2maks} şiddeti civarında uygulanan HIT egzersizleri için 1:1 y/t oranı uygun olarak gösterilse de sprint interval özellikli HIT modellerinin uygulanmasındaki yapı gereği daha uzun y/t oranları gerekmektedir. Genellikle 1:8 y/t oranı genel kabul gören orandır. Önemli bir çalışmada kısa yüklenme süreli (10-sn × 6 set), all-out (%7,5 vücut kütlesi) ve farklı dinlenme aralıklı (30-80-120-sn) uygulanan 2 haftalık (haftada 3 kez) egzersizlerin koşu performansına etkilerini incelemiştirlerdir. VO_{2maks} gelişiminde gruplar arasında anlamlı fark olmasa da 30 saniye dinlenme arası uygulayan grup daha büyük gelişim

sağlamıştır (sırasıyla %6,9 – 4,7 – 03). 3 km zamana karşı performanslarında da benzer şekilde fark anlamlı olmasa da, en büyük gelişim 30 saniye grubunda olduğu rapor edilmiştir (188). Bu sonuç 10 saniye gibi kısa sürede uygulanacak all-out tarzı sprint interval özellikli HIT’lerde bile y/t oranı olarak 1:3’ün yetersiz olabileceğini göstermektedir. Bu nedenle bu tip uygulamalar sıklıkla 1:6-8 y/t oranı kullanılarak kurgulanmaktadır (8). Bu tez çalışmasındaki SIT modelinde (HIT₅) 1:7 y/t oranı kullanıldı.

5.4. Sprint İnterval Özellikli HIT Antrenman Modeli

Supramaksimal sprint tarzındaki antrenmanların, geleneksel aerobik egzersizler gibi kassal, metabolik ve kardiyovasküler adaptasyonlar sağladığı bilinmektedir (57,189,190). 8 haftalık sprint interval özellikli HIT (6×30-s all-out 1:6 y/t oranıyla) antrenmanın %8 oranında VO_{2maks}’ı arttırdığı (191), ayrıca kasta glikolitik kapasitesinin yanında oksidatif kapasiteye de olumlu etkisi olabileceği gösterilmiştir (31). Son yıllarda sedanter bireylerde kullanımı yaygınlaşan bu tip antrenmanların sadece 2 haftalık periyotta uygulanmasının VO_{2maks} düzeyinde %7,5 artış sağladığı gösterilmiştir (29). Kesintili HIT ve sprint interval özellikli HIT’ler için akut fizyolojik yanıtları karşılaştıran ilk çalışma iddiasındaki Wood ve ark. tarafından 2016 yılında yapılmıştır. Bu çalışmada rekreasyonel aktif bireylerle, 1-dk × 8 set p@%85 VO_{2maks} yüküyle yüklenme, 1-dk dinlenme (p@%25 VO_{2maks}) ve 30-sn × 8 set %130 p@VO_{2maks} yüküyle yüklenme, 1,5-dk dinlenme (%25 p@VO_{2maks}) egzersizler yapılmıştır. Laktat ve AZD düzeyleri sprint interval seansında daha büyükken, ulaşılan VO₂ düzeyi 1 dakika yüklenme süreli HIT seansında daha yüksek olarak saptanmıştır. Yazarlar 1 dakika yüklenme süreli HIT’de ulaşılan VO₂ yanıtlarının yüksek olmasının Tip I ve IIa kas fibrillerinin katılımının fazla olmasından kaynaklandığını speküle etmektedir (192). Anaerobik metabolizmaya sprint interval özellikli HIT’lerin katkısının daha yüksek olduğunu gösteren çalışma, bu tez çalışmasıyla benzer sonuçlar içermektedir. Tez çalışmasındaki sprint interval özellikli HIT seansında (HIT₅) diğer kesintili HIT modellerine oranla daha düşük VO₂ yanıtları saptandı fakat laktat yanıtları diğer tüm seanslardan daha büyüktü.

VO_{2maks}’ı oluşturan bileşenlerin incelendiği çalışmalarda, sprint interval özellikli HIT’lerin merkezi bileşene önemli oranda katkı yapabileceği gösterilmiştir. Bu çalışmaların birisinde, sedanter bireylerde 3 hafta boyunca haftada ortalama 3 adet 5×30-s modeli uygulanmıştır. KÇ_{maks} ve KAH_{maks} değerleri sırasıyla; %10,2 ve %12

arttırdığı, $a-vO_{2\text{farkı_maks}}$ düzeyinde anlamlı farklılık olmadığı rapor edilmiştir (165). Sprint interval özellikli HIT egzersizlerinin KAH düzeyine olumlu etkisini gösteren başka bir çalışmada, Trilk ve ark. (2011), haftada 3 gün ortalama 6×30 -s y/t oranı: 1:8 kullanılarak %5 vücut kütlesiyle uygulanan sprint interval özellikli HIT antrenmanları $VO_{2\text{maks}}$ 'ın %12, submaksimal yüklerdeki $a-vO_{2\text{ farkı}}$ ve KÇ'de gelişim olmadığını fakat KAH'ın %11 oranında arttığı rapor edilmiştir. (43). Ortalama değerlere ait KAH ve VO_2 yanıtlarının, sporcuların bireysel KAH_{maks} ve $VO_{2\text{maks}}$ düzeylerine yakınlıkları incelendiği başka bir çalışmada, toplam kapsamları 15 dakika olan uzun yüklenme süreli HIT ($p@VO_{2\text{maks}}$ yükünün %90'ı ile 3×3 dk) ve sprint interval özellikli HIT ($p@VO_{2\text{maks}}$ yükünün %150'siyle, 6×30 saniye modelinde ve yüklenmeler arasında 2 dakika aktif toparlanma) uygulamaları analiz edilmiştir. KAH_{maks} ve $VO_{2\text{maks}}$ düzeylerinde geçirilen toplam zamanın uzun yüklenme süreli HIT ve sprint interval özellikli HIT için sırasıyla 9 ve 3 dakika bulunmuştur (178). Bu sonuçlar sprint interval özellikli HIT'lerin merkezi adaptasyonlara katkı sağlayarak aerobik güç gelişimine katkıda bulunacağını işaret etmektedir. Fakat VO_2 ve KÇ yanıtları açısından $VO_{2\text{maks}}$ civarındaki şiddetlerle yapılan HIT'lere oranla daha düşük yanıt sağlamalarından dolayı maksimal kardiyak ve metabolik gelişiminin hedeflendiği bir antrenman için sprint interval özellikli HIT modelinin yetersiz kalabileceğini işaret etmektedir. Sprint interval özellikli HIT tarzı egzersizlerde KÇ'nin klasik HIT'lerle benzer fakat VO_2 'nin düşük olmasını, oksijen iletimi ve kullanımının uyumlu olmadığını, oksijenin kasa fazla perfüze olarak var olan oksijenin kullanımını sınırladığına bağlamaktadırlar (28). Bu tez çalışmasındaki sprint interval özellikli HIT modeli KAH yanıtları bakımından diğer kesintili HIT seanslarına oranla daha büyük yanıtlar sağladı. Ancak KÇ düzeyinin bireysel %90 $KÇ_{\text{maks}}$ düzeyinin hemen altında kaldı. Ayrıca KAH düzeyleri yüklenme fazlarından ziyade, toparlanma fazında %95 KAH_{maks} seviyesine ve hatta bazı katılımcılarda bireysel ölçülen KAH_{maks} düzeyinin de üstünde sonuçlara ulaşıldı. Bu sonuçlar toparlanma fazında zirve düzeylerinde ölçülen KAH yanıtları açısından oldukça ilginçtir. Sprint özellikli yüksek şiddetli HIT'ler sonrası aktif toparlanma sırasında iskelet kaslarının kasılmaya düşük oranda devam etmesiyle periferik direncin etkilenmesi, venöz dönüşü iyileştirerek KAH düzeyinin yüksek kalmasını sağlamış olabilir (27). Literatürde toparlanma fazlarındaki KAH yanıtlarına sınırlı sayıda çalışma odaklanmıştır. Cummings 1972 yılındaki çalışmasında, yatar pozisyondaki egzersizde KAH düzeyinin yüklenmeden ziyade toparlanma fazında daha yüksek düzeye çıktığını rapor etmişlerdir (193). Benzer şekilde Takashi ve ark. (2000) oturur

ve dikey pozisyonda dinlenme periyodundaki KAH yanıtlarını incelemiş ve yatar pozisyonda toparlanma fazındaki KAH düzeyini daha yüksek rapor etmiştir (194). Dikey pozisyondaki egzersizde KAH yanıtlarını toparlanma fazında tek yüksek bulan çalışmaysa Goldberg ve Shephard'ın 1980 yılında yayınladıkları çalışmadır. Bu çalışmada %70 VO_{2maks} düzeyindeki kesintisiz egzersiz sonrası toparlanma fazının 216.'cı saniyesindeki KAH düzeyinin yüklenme fazındaki seviyesinden hala daha yüksek olduğu rapor edilmiştir (195). Bucheit ve Laursen'in yayımlanmamış bulgularına göre (derlemede ulaşılan veriler) KAH düzeyinin iyi düzeyde antrene sporcularda toparlanma periyodunda, yüklenmeye oranla daha yüksek değerlere çıktığını speküle etmişlerdir (178). Ancak sprint özellikli HIT egzersizlerinde KAH düzeyinin toparlanma fazında yüklenmeye oranla daha yüksek olduğunu gösteren yayınlanmış çalışma bulgusu bilginiz dahilinde bulunmamaktadır. Sprint özellikli HIT modeliyle yüklenme ve toparlanma fazlarında KAH yanıtlarını inceleyen bilginiz dahilinde tek çalışma vardır. Horn ve ark. (2016), sedanter bireylerle gerçekleştirdiği çalışmada, %130 VO_{2maks} şiddetiyle all-out 30 saniyelik 6 set sprint interval özellikli HIT egzersizinde (2 dakika aktif dinlenmeyle) ve kademeli olarak artan VO_{2maks} testinde elde edilen $K\dot{C}_{maks}$ ve $a-vO_{2fark1_maks}$ düzeylerinin benzer olduğu fakat KAH_{maks} parametresinin sprint interval antrenmanlarında daha büyük yanıtlara ulaştığını göstermişlerdir. Ayrıca KAH'daki toparlanma fazında anlamlı düzeyde azalmadığını da rapor etmişlerdir (27). Yine de çalışmamızın aksine KAH_{maks} yanıtları toparlanma fazında zirve değerlere ulaşmamıştır. Horn ve ark.'nın %130 VO_{2maks} şiddetiyle birlikte 2 dakikalık toparlanma arasının, yeterli dinlenmeyi sağlamayıp devam eden setlerde egzersiz şiddetini düşürmesine neden olmuş ve bu durum KAH yanıtlarını azalmış olabilir. Bizim çalışmamızda sprint interval özellikli HIT'lerde yüklenme fazlarındaki güç çıktıkları ortalama \sim %160 VO_{2maks} şiddetinde olması ve iyi düzeyde antrene sporcuların katılımcı olması bu yönde avantaj sağlamış olabilir. Sprint interval özellikli HIT'lerde toparlanma fazına ait önemli bir bilgi Hazell ve ark. (2014) tarafından paylaşılmıştır. İlgili çalışmada sprint interval özellikli HIT seansında VO_2 'nin yüklenmeden ziyade toparlanmanın 10-30.'cu saniye aralığında zirve değerlerine ulaştığını göstermiştir. VO_2 düzeyinin toparlanmanın 2. dakikasından itibaren azalmasının yavaşlaması nedeniyle, 4 dakikalık toparlanma yerine daha kısa dinlenme süresinin uygulanabileceğini tartışmışlardır (30). Özellikle VO_2 'de görülen bu sağa kayan trend nedeniyle, bu tez çalışmasında HIT₅ seanslarında $K\dot{C}$ ölçümlerini 30 saniyelik yüklenme fazının son 3 saniyesinde başlatarak hem sprintlerin uygulama

teknikini bozmamış hem de yüklenmeye ait gecikmeli gelen kardiyovasküler yanıtları elde etmiş olduk. Bunların yanı sıra sprint interval özellikli HIT'lerin periferik bileşene katkısı olduğunu gösteren çalışmalar da vardır (46,196). Bu konuyla ilgili önemli bir çalışmada, 6 hafta süresince uygulanan sprint interval özellikli HIT'lerin $K\dot{C}_{maks}$ düzeyinde gelişim saptanamazken VO_{2maks} : %11,5, $a-vO_{2fark1_maks}$ düzeyiyse %7,1 gelişim rapor edilmiştir (46). Diğer bir çalışmada, rekreasyonel olarak aktif bireylerle 6 hafta boyunca haftada 2 gün, ortalama 5×30 saniye all-out yüklenme 1:8 y/t oranıyla sprint interval özellikli HIT egzersizlerinin $a-vO_{2fark1_maks}$ düzeyinin %7,1 gelişim saptanmıştır (196). Bu tez çalışmasında, $a-vO_{2fark1}$ düzeyleri sprint interval özellikli HIT modelinde ortalama olarak %90'luk maksimal düzeyine ulaşamadı fakat 4 katılımcı bu düzeyde yanıtlar sağladığından ortalama maksimal düzeylere yakın sonuçlar elde edildi (ortalama: %87 $a-vO_{2fark1_maks}$). KAH seviyesinin merkezi bileşene katkısının önemli düzeyde olduğu düşünülen bu tez çalışmasının sonuçlarına göre, $a-vO_{2fark1}$ üzerinden periferik bileşene de katkı sağlayabilir.

Özellikle sprint interval özellikli HIT antrenmanlarının egzersiz sonrası toparlanma döneminde enerji tüketimi ve yağ oksidasyonuna olumlu katkıları bilinmektedir (197–199) Bu bilgiyi doğrulayan önemli bir çalışmada, sprint interval özellikli HIT antrenmanlarının uzun süreli aerobik egzersiz modeliyle karşılaştırmış ve sprint interval özellikli HIT egzersiz sonrasında, diğer modele oranla daha yüksek enerji tüketimi sağlandığı ortaya konmuştur (200). Yine aynı yıl içerisinde başka bir araştırma grubunun, uzun süreli aerobik egzersiz modelinin sprint interval özellikli HIT'e karşı yağ oksidasyon miktarını karşılaştırdıkları çalışmada, sprint interval özellikli HIT'lerin egzersiz sonunda diğer HIT modellerine oranla daha yüksek yağ oksidasyonu sağladığı rapor edilmiştir (201). Bu tez çalışmasında, sprint interval özellikli HIT antrenmanları egzersiz sonu 2 saatlik toparlanma periyotları incelendiğinde, diğer HIT seanslarına oranla daha büyük enerji tüketimi ve yağ oksidasyonu sağladığı saptandı. Bu anlamda en azından egzersiz sonundaki periyotta sprint özellikli yüklenmeler eklemek, egzersiz sonu enerji tüketimini ve yağ oksidasyonunu arttırmasından dolayı kilo kontrolü açısından faydalı bir yöntem olabilir.

Ayrıca günümüzdeki güncel yayınlar, tek yüklenme şiddeti kullanılarak antrenman yapmaktansa, antrenman haftasında tüm hızları içeren (2 ve 4 $mmol \cdot l^{-1}$ laktat şiddetleri, Anaerobik eşik şiddeti, VO_{2maks} şiddeti) bir yöntemin kullanılmasının aerobik güç ve kapasite gelişiminde daha optimal bir strateji olacağını göstermişlerdir (202). Dahası farklı şiddetlerde uygulanacak HIT modelleriyle birlikte planlanacak

antrenman programının, rastgele şekilde, eşit olarak ya da farklı planlı sıralamayla yapılmasında bile aerobik dayanıklılık gelişimini etkilemediği, önemli olanın farklı hızlardaki intervali antrenmanının antrenman dönemi içerisinde kullanılması olduğuna vurgu yapılmıştır (203,204). Çalışmamızın sonuçlarında bu bilgileri doğrular niteliktedir. Kesintili HIT seansları (HIT₁₋₂) daha büyük KAS ve a-vO₂farkı'na, kesintisiz HIT seansları (HIT₃₋₄) daha büyük KAH ve KÇ yanıtına neden olmaktadır. Sprint interval özellikli HIT'se (HIT₅) anaerobik metabolizma katkının yanı sıra düşük yüklenme süresine rağmen KAH yanıtları açısından olumlu düzeyde merkezi adaptasyonlara neden olabilir. Bu sebeple antrenman planlamasında her bir egzersiz modelinin yaratacağı optimal fayda nedeniyle, her bir modele yer verilebilir.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında aerobik güç geliştirmede kullanılan beş farklı yüksek yoğunluklu antrenman modelinin, fizyolojik ve hemodinamik etkileri analiz edildi. İlgili parametrelerin bireysel olarak belirlenen maksimum düzeylerini değerlendirilerek yapılan analizlerle, antrenman modellerinin kardiyovasküler sistemin merkezi ve periferik düzeydeki gelişim potansiyelleri incelendi. Çalışma sonuçlarına göre VO_{2maks} düzeyinde en uzun süre kalınmasını sağlayan modelin 3 dakikalık yüklenme süresiyle yapılan kesintili HIT (HIT_2) uygulaması olduğu saptandı. Böylece VO_{2maks} düzeyini arttıracak en etkili antrenman yönteminin uzun yüklenme süresine sahip HIT uygulamaları olduğu söylenebilir. Bu antrenman modellerinin VO_{2maks} 'ı oluşturan bileşenlere potansiyel etkileri incelendiğinde, $KÇ_{maks}$ düzeyinde geçirilen süre kesintisiz HIT modellerinde (HIT_{3-4}), kesintili HIT modellerine göre (HIT_{1-2-5}) anlamlı düzeyde yüksek sonuçlar sağladı. Özellikle KAH_{maks} yanıtları açısından, kesintisiz HIT modelleri (HIT_{3-4}), sprint özellikli HIT modeli (HIT_5) hariç diğer kesintili modellere (HIT_{1-2}) oranla anlamlı düzeyde daha büyük yanıtlar sağladı. Bu nedenle orta ve ileri düzey antrene sporcularda, VO_{2maks} 'ı oluşturan merkezi bileşenin gelişimi için, şiddetli (severe) alan olarak ifade edilen anaerobik eşik üstündeki yükler kullanılarak 20 - 25 dakika süreler civarında maksimal eforlu kesintisiz HIT'ler önerilebilir. VO_{2maks} düzeyinin periferik bileşeni incelendiğinde, $a-vO_{2farkı_maks}$ düzeyinde geçen süre kesintili HIT modellerinde (HIT_{1-2}) kesintisiz modellere oranla (HIT_{3-4}) daha yüksek bulundu. Dolayısıyla orta ve iyi düzey antrene sporcularda, VO_{2maks} 'ı oluşturan periferik bileşenin gelişimi için VO_{2maks} şiddeti civarındaki yükler kullanılarak yapılacak kesintili HIT'ler önerilebilir. Sprint interval özellikli HIT modelinin de yüksek laktat yanıtı ve maksimum düzeyde KAH yanıtı sağlaması nedeniyle, hem anaerobik dayanıklılığa hem de VO_{2maks} 'ın merkezi bileşenine katkı potansiyeli olmasından dolayı, antrenman programlarında yer almalıdır. Sonuç olarak yüksek şiddetli kesintisiz HIT ve VO_{2maks} şiddeti civarındaki kesintili HIT'lere antrenman programında yeterli düzeyde yer verilmesi gerekmektedir. Dahası sporcularının VO_{2maks} bileşenlerini açığa çıkaracak performans testlerinin yapılması durumunda, gelişim düzeyi düşük seviyede olan bileşenin gelişimini sağlamak için çalışmamızın sonuçlarından elde edilecek bilgiler kullanılabilir.

Gelecek çalışmalarda öncelikle bu çalışma sonucunda elde edilen sonuçların kronik etkilerine odaklanılabilir. Özellikle merkezi bileşene ait yüksek yanıtı sahip sabit yüklü kesintisiz HIT modeli, kısa dinlenme araları kullanılarak $K\dot{C}_{maks}$ ve KAH_{maks} düzeyinde geçirilecek sürenin arttırılmasına odaklanılabilir. Ayrıca VO_{2maks} ve üzerindeki şiddetler kullanılarak farklı y/t orana odaklanarak ya da farklı tükenme sürelerinde kurgulanacak maksimal eforlu kesintili ve kesintisiz HIT modellerinin akut etkileri incelenebilir.



7. KAYNAKLAR

1. Coyle EF. Physical activity as a metabolic stressor. *Am J Clin Nutr* [Internet]. 2000 Aug 1 [cited 2018 Jan 26];72(2 SUPPL.):512S-20S. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10919953>
2. Doddamani S, Kaleemulla M. Experimental investigation on fracture toughness of Al6061–graphite by using circumferential notched tensile specimens. *Frat ed Integrita Strutt*. 2017;11(39):274–81.
3. Ekelund LG. Circulatory and Respiratory Adaptation during Prolonged Exercise in the Supine Position. *Acta Physiol Scand* [Internet]. 1966 Apr [cited 2016 Oct 5];68(3–4):382–96. Available from: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1748-1716.1967.tb03529.x/abstract>
4. Hill A V, Long CNH. Muscular exercise, lactic acid and the supply and utilisation of oxygen.— {Parts} {VII}–{VIII}. *Proc R Soc Lond B* [Internet]. 1924 Dec 1 [cited 2017 Dec 11];97(682):155–76. Available from: <http://rspb.royalsocietypublishing.org/content/97/682/155>
5. Saltin B, Rowell LB. Functional adaptations to physical activity and inactivity. *Fed Proc* [Internet]. 1980 Apr [cited 2018 Jan 22];39(5):1506–13. Available from: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=7364045
6. González-Alonso J, Calbet JAL. Reductions in systemic and skeletal muscle blood flow and oxygen delivery limit maximal aerobic capacity in humans. *Circulation* [Internet]. 2003 [cited 2017 Jul 11];107(6):824–30. Available from: <http://jap.physiology.org/content/98/5/1660.short>
7. González-Alonso J, Dalsgaard MK, Osada T, Volianitis S, Dawson EA, Yoshiga CC, et al. Brain and central haemodynamics and oxygenation during maximal exercise in humans. *J Physiol*. 2004;557(1):331–42.
8. Buchheit M, Laursen PB. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: Cardiopulmonary emphasis. *Sport Med*

- [Internet]. 2013 May 29 [cited 2017 Apr 3];43(5):313–38. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23539308>
9. Vella CA, Robergs RA. A review of the stroke volume response to upright exercise in healthy subjects. *Br J Sports Med* [Internet]. 2005 Apr 1 [cited 2016 Oct 5];39(4):190–5. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15793084>
 10. Saltin B, Blomqvist G, Mitchell JH, Johnson RL, Wildenthal K, Chapman CB. Response to exercise after bed rest and after training. *Am Heart J* [Internet]. 1969 Nov [cited 2018 Jan 26];78(3):430. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0002870369900581>
 11. Stanley J, Buchheit M. Moderate recovery unnecessary to sustain high stroke volume during interval training. A brief report. *J Sport Sci Med* [Internet]. 2014 May [cited 2016 Oct 5];13(2):393–6. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24790495>
 12. GREEN HJ, JONES LL, PAINTER DC. Effects of short-term training on cardiac function during prolonged exercise. *Med Sci Sport Exerc* [Internet]. 1990 Aug [cited 2018 Jan 30];22(4):488–493. Available from: <https://insights.ovid.com/crossref?an=00005768-199008000-00012>
 13. Coyle EF. Physiological determinants of endurance exercise performance. *J Sci Med Sport* [Internet]. 1999 Oct [cited 2018 Jan 30];2(3):181–9. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10668757>
 14. Gelman AE, Okazaki M, Sugimoto S, Li W, Kornfeld CG, Lai J, et al. CCR2 regulates monocyte recruitment as well as CD4+Th1 allorecognition after lung transplantation. *Am J Transplant* [Internet]. 2010 Feb [cited 2018 Jan 30];10(5):1189–99. Available from: <http://jap.physiology.org/content/88/2/738>
 15. Hickson RC, Bomze H a, Holloszy JO. Linear increase in aerobic power induced by a strenuous program of endurance exercise. *J Appl Physiol*. 1977;42(3):372–6.
 16. Hawley JA, Myburgh KH, Noakes TD, Dennis SC. Training techniques to improve fatigue resistance and enhance endurance performance. *J Sports Sci*.

1997;15(3):325–33.

17. Daniels J, Scardina N. Interval Training and Performance. *Sport Med An Int J Appl Med Sci Sport Exerc* [Internet]. 1984 [cited 2018 Jan 22];1(4):327–34. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/6390607>
18. Londeree B. Effect of training on lactate/ventilatory thresholds: a meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc*. 1997;29(6):837.
19. Japp KP. Gefährdungshaftung und die idee ökologischer prävention. *Soc Ekol* [Internet]. 1996;5(4):477–88. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cmet.2017.04.030>
20. Tschakert G, Hofmann P. High-intensity intermittent exercise: Methodological and physiological aspects. *Int J Sports Physiol Perform*. 2013;8(6):600–10.
21. Colakoglu M, Ozkaya O, Balci G. Moderate Intensity Intermittent Exercise Modality May Prevent Cardiovascular Drift. *Sports* [Internet]. 2018 Sep 15 [cited 2019 Apr 6];6(3):98. Available from: <http://www.mdpi.com/2075-4663/6/3/98>
22. Billat LV. Interval training for performance: A scientific and empirical practice. Special recommendations for middle- and long-distance running. Part I: Aerobic interval training. *Sport Med* [Internet]. 2001;31(1):13–31. Available from: <http://link.springer.com/10.2165/00007256-200131020-00001>
23. Seiler S, Jøranson K, Olesen B V., Hetlelid KJ. Adaptations to aerobic interval training: Interactive effects of exercise intensity and total work duration. *Scand J Med Sci Sport*. 2013;23(1):74–83.
24. Billat VL, Slawinski J, Bocquet V, Demarle A, Lafitte L, Chassaing P, et al. Intermittent runs at the velocity associated with maximal oxygen uptake enables subjects to remain at maximal oxygen uptake for a longer time than intense but submaximal runs. *Eur J Appl Physiol* [Internet]. 2000;81(3):188–96. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s004210050029>
25. Midgley AW, McNaughton LR, Wilkinson M. Is there an optimal training intensity for enhancing the maximal oxygen uptake of distance runners? Empirical research findings, current opinions, physiological rationale and

- practical recommendations. Vol. 36, Sports Medicine. 2006. p. 117–32.
26. Buchheit M, Laursen PB. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: Cardiopulmonary emphasis. *Sport Med*. 2013;43(5):313–38.
 27. Horn T, Roverud G, Sutzko K, Browne M, Parra C, Astorino TA. Single session of sprint interval training elicits similar cardiac output but lower oxygen uptake versus ramp exercise to exhaustion in men and women. *Int J Physiol Pathophysiol Pharmacol*. 2016;8(3):87–94.
 28. Calbet JAL, Losa-Reyna J, Torres-Peralta R, Rasmussen P, Ponce-González JG, Sheel AW, et al. Limitations to oxygen transport and utilization during sprint exercise in humans: Evidence for a functional reserve in muscle O₂ diffusing capacity. *J Physiol* [Internet]. 2015 Oct 15 [cited 2018 Feb 7];593(20):4649–64. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1113/JP270408>
 29. Bringard A, Perrey S. Influence of repeated isometric contractions on muscle deoxygenation and pulmonary oxygen uptake kinetics in humans. *Clin Physiol Funct Imaging* [Internet]. 2004 Jun [cited 2018 Feb 2];24(4):229–36. Available from: <http://jap.physiology.org/cgi/doi/10.1152/jappphysiol.00144.2009>
 30. Hazell TJ, Olver TD, Macpherson RE, Hamilton CD, Lemon PW. Sprint interval exercise elicits near maximal peak VO₂ during repeated bouts with a rapid recovery within 2 minutes. *J Sports Med Phys Fitness*. 2014;54(6):750–6.
 31. Burgomaster KA. Six sessions of sprint interval training increases muscle oxidative potential and cycle endurance capacity in humans. *J Appl Physiol* [Internet]. 2005 Jun [cited 2018 Feb 1];98(6):1985–90. Available from: <http://jap.physiology.org/cgi/doi/10.1152/jappphysiol.01095.2004>
 32. Königsrainer I, Löffler M, Bühler S, Walter M, Schafbuch L, Beckert S, et al. Impact of endotoxin exposure after exhausting exercise on the immune system in solid organ transplant recipients. *Exerc Immunol Rev* [Internet]. 2012 Jan 1 [cited 2018 Feb 1];18(1):176–82. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17991697>

33. Colakoglu M, Ozkaya O, Balci GA, Yapicioglu B. Shorter intervals at peak SV vs. $\dot{V}O_2$ max may yield high SV with less physiological stress. *Eur J Sport Sci* [Internet]. 2015 [cited 2017 Apr 3];15(7):623–30. Available from: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/17461391.2014.966762>
34. Laursen PB, Jenkins DG. The scientific basis for high-intensity interval training: Optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes. *Sport Med* [Internet]. 2002;32(1):53–73. Available from: <http://link.springer.com/10.2165/00007256-200232010-00003>
35. Nicolò A, Bazzucchi I, Lenti M, Haxhi J, Scotto di Palumbo A, Sacchetti M. 414 8. *Int J Sport Physiol Perform*. 2015;9(1):414–414.
36. Zafeiridis A, Kounoupis A, Dipla K, Kyparos A, Nikolaidis MG, Smilios I, et al. Oxygen Delivery and Muscle Deoxygenation during Continuous, Long- and Short-Interval Exercise. *Int J Sports Med* [Internet]. 2015 Jul 3 [cited 2018 Feb 10];36(11):872–80. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26140688>
37. Leprêtre PM, Lopes P, Koralzstein JP, Billat V. Implication de la réponse du volume d'éjection systolique à l'effort dans l'atteinte des valeurs maximales de consommation d'oxygène lors d'exercice épuisant réalisé à état stable de fréquence cardiaque. *Sci Sport* [Internet]. 2017;32(1):e29–35. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0765159716300910>
38. Zafeiridis A, Rizos S, Sarivasiliou H, Kazias A, Dipla K, Vrabas IS. The extent of aerobic system activation during continuous and interval exercise protocols in young adolescents and men. *Appl Physiol Nutr Metab* [Internet]. 2011 Jan [cited 2018 Feb 10];36(1):128–36. Available from: <http://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.1139/H10-096>
39. Zuniga JM, Berg K, Noble J, Harder J, Chaffin ME, Hanumanthu VS. Physiological responses during interval training with different intensities and duration of exercise. *J Strength Cond Res* [Internet]. 2011 May [cited 2018 Feb 3];25(5):1279–84. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21522072>
40. Franch J, Madsen K, Djurhuus MS, Pedersen PK. Improved running economy

following intensified training correlates with reduced ventilatory demands. *Med Sci Sports Exerc* [Internet]. 1998 Aug [cited 2018 Jan 31];30(8):1250–6. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9710865>

41. Rønnestad BR, Hansen J. Optimizing Interval Training at Power Output Associated with Peak Oxygen Uptake in Well-Trained Cyclists. *J Strength Cond Res* [Internet]. 2016 Apr 1 [cited 2018 Feb 6];30(4):999–1006. Available from: <https://insights.ovid.com/crossref?an=00124278-201604000-00013>
42. Sternberg CN. Neo-adjuvant and adjuvant chemotherapy of bladder cancer: Is there a role? *Ann Oncol*. 2002;13(SUPPL. 4):273–9.
43. Trilk JL, Singhal A, Bigelman KA, Cureton KJ. Effect of sprint interval training on circulatory function during exercise in sedentary, overweight/obese women. *Eur J Appl Physiol*. 2011;111(8):1591–7.
44. Daussin FN, Zoll J, Dufour SP, Ponsot E, Lonsdorfer-Wolf E, Doutreleau S, et al. Effect of interval versus continuous training on cardiorespiratory and mitochondrial functions: relationship to aerobic performance improvements in sedentary subjects. *AJP Regul Integr Comp Physiol* [Internet]. 2008 Jul [cited 2018 Feb 3];295(1):R264–72. Available from: <http://ajpregu.physiology.org/cgi/doi/10.1152/ajpregu.00875.2007>
45. Daussin FN, Ponsot E, Dufour SP, Lonsdorfer-Wolf E, Doutreleau S, Geny B, et al. Improvement of $\dot{V}O_2\text{max}$ by cardiac output and oxygen extraction adaptation during intermittent versus continuous endurance training. *Eur J Appl Physiol* [Internet]. 2007 Oct 28 [cited 2018 Feb 18];101(3):377–83. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s00421-007-0499-3>
46. MacPherson REK, Hazell TJ, Olver TD, Paterson DH, Lemon PWR. Run sprint interval training improves aerobic performance but not maximal cardiac output. *Med Sci Sports Exerc*. 2011;43(1):115–22.
47. Esfandiari S, Sasson Z, Goodman JM. Short-term high-intensity interval and continuous moderate-intensity training improve maximal aerobic power and diastolic filling during exercise. *Eur J Appl Physiol* [Internet]. 2014 Feb 27 [cited 2018 Feb 9];114(2):331–43. Available from:

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24281825>

48. Pratt D, O'Brien BJ, Clark B. Oxygen uptake in maximal effort constant rate and interval running. *Sci World J* [Internet]. 2013 [cited 2018 Feb 10];2013:1–4. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24288501>
49. Zafeiridis A, Sarivasiliou H, Dipla K, Vrabas IS. The effects of heavy continuous versus long and short intermittent aerobic exercise protocols on oxygen consumption, heart rate, and lactate responses in adolescents. *Eur J Appl Physiol* [Internet]. 2010 Sep 11 [cited 2018 Feb 10];110(1):17–26. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20383773>
50. Billat VL, Blondel N, Berthoin S. Determination of the velocity associated with the longest time to exhaustion at maximal oxygen uptake. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1999;80(2):159–61.
51. Lepretre PM, Koralsztein JP, Billat VL. Effect of exercise intensity on relationship between $\dot{V}O_{2max}$ and cardiac output. *Med Sci Sports Exerc* [Internet]. 2004 Aug [cited 2017 Apr 3];36(8):1357–63. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15292744>
52. Pescatello LS, Arena R, Riebe D, Thompson PD. ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription. Vol. 27, American College of Sports Medicine. Lippincott Williams & Wilkins; 2014. 1–715 p.
53. Saltin B, Essén B, Pedersen PK. Intermittent Exercise: its Physiology and some Practical Applications. In: *Medicine and sport* [Internet]. Karger Publishers; 1976 [cited 2018 Jan 26]. p. 23–51. Available from: <https://www.karger.com/Article/FullText/398950>
54. Fox EL, Mathews DK. *Interval Training: Conditioning for Sports and General Fitness* [Internet]. Saunders; 1974. 281 p. Available from: <http://www.amazon.com/Interval-Training-Conditioning-General-Fitness/dp/0721638287>
55. Meyer K. Ventilatory and lactate threshold determinations in healthy normals and cardiac patients: Methodological problems. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* [Internet]. 1996 [cited 2017 Dec 7];72(5–6):387–93. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8925807>

56. Tschakert G, Kroepfl J, Mueller A, Moser O, Groeschl W, Hofmann P. How to regulate the acute physiological response to “aerobic” high-intensity interval exercise. *J Sport Sci Med* [Internet]. 2014;14(1):29–36. Available from:
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25729286>
<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC4306779>
57. Freese EC, Gist NH, Cureton KJ. Physiological responses to an acute bout of sprint interval cycling. *J Strength Cond Res* [Internet]. 2013 Oct [cited 2018 Feb 3];27(10):2768–73. Available from:
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23302749>
58. MacInnis MJ, Gibala MJ. Physiological adaptations to interval training and the role of exercise intensity. *J Physiol* [Internet]. 2017;595(9):2915–30. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1113/JP273196>
59. Pollock ML. Submaximal and Maximal Working Capacity of Elite Distance Runners. Part I: Cardiorespiratory Aspects. *Ann N Y Acad Sci* [Internet]. 1977 [cited 2018 Feb 1];301(1):310–22. Available from:
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/270924>
60. Brooks GA. Lactate production under fully aerobic conditions: the lactate shuttle during rest and exercise [Internet]. Vol. 45, *Fed Proc*. 1986 [cited 2018 Feb 1]. p. 2924–9. Available from:
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3536591>
61. Helgerud J, Engen LC, Wisløff U, Hoff J. Aerobic endurance training improves soccer performance. *Med Sci Sports Exerc* [Internet]. 2001 Nov [cited 2018 Feb 1];33(11):1925–31. Available from:
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11689745>
62. McMillan K, Helgerud J, Macdonald R, Hoff J. Physiological adaptations to soccer specific endurance training in professional youth soccer players. *Br J Sports Med* [Internet]. 2005 May [cited 2018 Feb 1];39(5):273–7. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15849290>
63. Pate RR, Kriska A. Physiological Basis of the Sex Difference in Cardiorespiratory Endurance. *Sport Med An Int J Appl Med Sci Sport Exerc*

- [Internet]. 1984 [cited 2018 Feb 1];1(2):87–9. Available from:
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/6567230>
64. Esfarjani F, Laursen PB. Manipulating high-intensity interval training: Effects on over(V,) O₂ max, the lactate threshold and 3000 m running performance in moderately trained males. *J Sci Med Sport*. 2007;10(1):27–35.
 65. Demarie S, Koralsztein JP, Billat V. Time limit and time at $\dot{V}O_{2max}$, during a continuous and an intermittent run. *J Sports Med Phys Fitness* [Internet]. 2000;40(2):96–102. Available from:
<http://proxy.lib.sfu.ca/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=sph&AN=SPHS-660795&site=ehost-live>
 66. Gullstrand L. Physiological Responses to Short-Duration High-Intensity Intermittent Rowing. *Can J Appl Physiol* [Internet]. 1996 Jun [cited 2018 Jan 21];21(3):197–208. Available from:
<http://www.nrcresearchpress.com/doi/10.1139/h96-016>
 67. Demarle AP, Heugas AM, Slawinski JJ, Tricot VM, Koralsztein JP, Billat VL. Whichever the Initial Training Status, any Increase in Velocity at Lactate Threshold Appears as a Major Factor in Improved Time to Exhaustion at the Same Severe Velocity After Training. *Arch Physiol Biochem* [Internet]. 2003 Jan 3 [cited 2018 Jan 31];111(2):167–76. Available from:
<http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1076/apab.111.2.167.14003>
 68. Messonnier L, Freund H, Denis C, Dormois D, Dufour AB, Lacour JR. Time to exhaustion at VO_{2max} is related to the lactate exchange and removal abilities. *Int J Sports Med* [Internet]. 2002 Aug [cited 2018 Jan 31];23(6):433–8. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12215963>
 69. Holloszy JO, Coyle EF. Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. *J Appl Physiol* [Internet]. 1984 Apr [cited 2018 Jan 31];56(4):831–8. Available from:
<http://www.physiology.org/doi/10.1152/jappl.1984.56.4.831>
 70. Seiler S, Tønnessen E. [SEILER & TONNESSEN, 2013] Intervals, Thresholds, and Long Slow Distance - the Role of Intensity and Duration in Endurance Training. *Training* [Internet]. 2009;13(13):32–53. Available from:

<http://sportsci.org/2009/ss.htm>

71. Seiler S, Hetlelid KJ. The impact of rest duration on work intensity and RPE during interval training. *Med Sci Sports Exerc.* 2005;37(9):1601–7.
72. Helgerud J, Høydal K, Wang E, Karlsen T, Berg P, Bjerkaas M, et al. Aerobic high-intensity intervals improve $\dot{V}O_2\text{max}$ more than moderate training. *Med Sci Sports Exerc.* 2007;39(4):665–71.
73. Billat LV, Koralsztein JP. Significance of the velocity at $\dot{V}O_2\text{max}$ and time to exhaustion at this velocity. *Sport Med [Internet].* 1996 Aug [cited 2018 Mar 13];22(2):90–108. Available from:
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8857705>
74. Dias JC, Armstrong LE. Textbook of Work Physiology: Physiological Bases of Exercise. Astrand P-O, Rodahl K, Dahl HA, Stromme SB, editors. *Physiother Theory Pract [Internet].* 2004 [cited 2018 Feb 1];20(1):73. Available from:
[http://journals.bcdecker.com/CrossRef/showText.aspx?path=PTC/volume 56%2C 2004/issue 04%2C August/ptc_2004_00030/ptc_2004_00030.xml](http://journals.bcdecker.com/CrossRef/showText.aspx?path=PTC/volume%202004/issue%20August/ptc_2004_00030/ptc_2004_00030.xml)
75. Branch JD, Pate RR, Bourque SP. Moderate Intensity Exercise Training Improves Cardiorespiratory Fitness in Women. *J Womens Health Gen Based Med [Internet].* 2000 Jan [cited 2018 Jan 22];9(1):65–73. Available from:
<http://www.liebertonline.com/doi/abs/10.1089/152460900318984>
76. Poole DC, Gaesser GA. Response of ventilatory and lactate thresholds to continuous and interval training. *J Appl Physiol [Internet].* 1985 Apr [cited 2018 Jan 22];58(4):1115–21. Available from:
<http://www.physiology.org/doi/10.1152/jappl.1985.58.4.1115>
77. Green HJ, Jones L, Hughson R, Painter D, Farrance B. Training-induced hypervolemia: lack of an effect on oxygen utilization during exercise. *Med Sci Sports Exerc [Internet].* 1987 Jun [cited 2018 Jan 30];19(3):202–6. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3600233>
78. Green HJ, Coates G, Sutton JR, Jones S. Early adaptations in gas exchange, cardiac function and haematology to prolonged exercise training in man. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol [Internet].* 1991 [cited 2018 Jan 30];63(1):17–23.

Available from: <http://link.springer.com/10.1007/BF00760795>

79. Green HJ, Jones LL, Houston ME, Ball-Burnett ME, Farrance BW. Muscle energetics during prolonged cycling after exercise hypervolemia. *J Appl Physiol* [Internet]. 1989 Feb [cited 2018 Jan 30];66(2):622–31. Available from: <http://www.physiology.org/doi/10.1152/jappl.1989.66.2.622>
80. Viéville T. An unbiased implementation of regularization mechanisms. *Image Vis Comput* [Internet]. 2005 [cited 2018 Jan 30];23(11):981–98. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7219130>
81. Costill DL, Flynn MG, Kirwan JP, Houmard JA, Mitchell JB, Thomas R, et al. Effects of repeated days of intensified training on muscle glycogen and swimming performance. *Med Sci Sports Exerc* [Internet]. 1988 Jun [cited 2018 Jan 31];20(3):249–54. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3386503>
82. Denis C, Fouquet R, Poty P, Geysant A, Lacour JR. Effect of 40 weeks of endurance training on the anaerobic threshold. *Int J Sports Med* [Internet]. 1982 Aug 14 [cited 2018 Jan 31];3(4):208–14. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7152767>
83. Lindell MK, Whitney DJ. Effects of Organizational Environment, Internal Structure, and Team Climate on the Effectiveness of Local Emergency Planning Committees. *Risk Anal* [Internet]. 1995 Jan [cited 2018 Jan 22];15(4):439–47. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11782661>
84. MacDougall D, Sale D. Continuous vs. interval training a review for the athlete and the coach. *Can J Appl Sport Sci* [Internet]. 1981 Jun [cited 2018 Jan 22];6(2):93–7. Available from: <http://articles.sirc.ca/search.cfm?id=93697%5Cnhttp://ezproxy.library.yorku.ca/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=sph&AN=SPH93697&site=ehost-live>
85. Mader A. Evaluation of the endurance performance of marathon runners and theoretical analysis of test results. *J Sports Med Phys Fitness* [Internet]. 1991 Mar [cited 2018 Jan 22];31(1):1–19. Available from:

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1861473>

86. Stone NM, Kilding AE. Aerobic Conditioning for Team Sport Athletes. *Sport Med* [Internet]. 2009 Aug [cited 2018 Feb 6];39(8):615–42. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19769413>
87. Seiler S, Sjursen JE. Effect of work duration on physiological and rating scale of perceived exertion responses during self-paced interval training. *Scand J Med Sci Sport*. 2004;14(5):318–25.
88. McCole SD, Davis AM, Fueger PT. Is there a disassociation of maximal oxygen consumption and maximal cardiac output? *Med Sci Sports Exerc* [Internet]. 2001;33(8):1265–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1186/s40798-015-0026-8>
89. Billat VL, Slawinski J, Bocquet V, Chassaing P, Demarle A, Koralsztein JP. Very short (15s - 15s) interval-training around the critical velocity allows middle-aged runners to maintain $\dot{V}O_2$ max for 14 minutes. *Int J Sports Med*. 2001;22(3):201–8.
90. Jones AM, Vanhatalo A, Burnley M, Morton RH, Poole DC. Critical power: Implications for determination of $\dot{V}O_{2max}$ and exercise tolerance. *Med Sci Sports Exerc* [Internet]. 2010 [cited 2018 Mar 11];42(10):1876–90. Available from: https://www.researchgate.net/profile/David_Poole4/publication/41657261_Critical_Power_Implications_for_Determination_of_VO2max_and_Exercise_Tolerance/links/59d8ff14aca272e60966cb19/Critical-Power-Implications-for-Determination-of-VO2max-and-Exercise-Toler
91. Weston KS, Wisløff U, Coombes JS. High-intensity interval training in patients with lifestyle-induced cardiometabolic disease: A systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med* [Internet]. 2014 Aug [cited 2018 Feb 11];48(16):1227–34. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24144531>
92. Tabata I, Nishimura K, Kouzaki M, Hirai Y, Ogita F, Miyachi M, et al. Effects of moderate-intensity endurance and high-intensity intermittent training on anaerobic capacity and $\dot{V}O_{2max}$. *Med Sci Sports Exerc* [Internet]. 1996 Oct

[cited 2018 Feb 11];28(10):1327–30. Available from:
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8897392>

93. Gillen JB, Martin BJ, MacInnis MJ, Skelly LE, Tarnopolsky MA, Gibala MJ. Twelve weeks of sprint interval training improves indices of cardiometabolic health similar to traditional endurance training despite a five-fold lower exercise volume and time commitment. Sandbakk Ø, editor. PLoS One [Internet]. 2016 Apr 26 [cited 2018 Feb 11];11(4):e0154075. Available from: <http://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0154075>
94. Mortensen SP, Dawson EA, Yoshiga CC, Dalsgaard MK, Damsgaard R, Secher NH, et al. Limitations to systemic and locomotor limb muscle oxygen delivery and uptake during maximal exercise in humans. *J Physiol*. 2005;566(1):273–85.
95. Frøyd C, Madsen Ø, Sæterdal R, Tønnessen E, Wisnes A, Aasen S. Utholdenhet - Trening som gir resultater. Akilles Forl Oslo, Norw. 2008;
96. Vella CA, Robergs RA. Non-linear relationships between central cardiovascular variables and $\dot{V}O_2$ during incremental cycling exercise in endurance-trained individuals. *J Sports Med Phys Fitness* [Internet]. 2005 [cited 2017 Jul 11];45(4):452–9. Available from: <http://search.proquest.com/openview/3731d22baa8dbf54be829aca7036fccd/1?pq-origsite=gscholar&cbl=4718>
97. Cattermole GN, Leung PYM, Mak PSK, Chan SSW, Graham CA, Rainer TH. The normal ranges of cardiovascular parameters in children measured using the Ultrasonic Cardiac Output Monitor. *Crit Care Med* [Internet]. 2010 Mar 20 [cited 2018 Mar 11];38(9):1875–81. Available from: <http://physreports.physiology.org/lookup/doi/10.14814/phy2.13195>
98. Rowland T. Endurance athletes stroke volume response to progressive exercise: A critical review [Internet]. Vol. 39, *Sports Medicine*. 2009 [cited 2018 Mar 11]. p. 687–95. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19769416>
99. Warburton DER, Haykowsky MJ, Quinney HA, Blackmore D, Teo KK, Taylor DA, et al. Blood volume expansion and cardiorespiratory function:

- Effects of training modality. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36(6):991–1000.
100. Gledhill N, Warburton D, Jamnik V. Haemoglobin, Blood Volume, Cardiac Function, and Aerobic Power. *Can J Appl Physiol [Internet]*. 1999 Feb [cited 2018 Jan 25];24(1):54–65. Available from:
<http://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.1139/h99-006>
 101. Gledhill N, Cox D, Jamnik R. Endurance athletes' stroke volume does not plateau: Major advantage is diastolic function [Internet]. Vol. 26, *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 1994 [cited 2017 Jul 11]. p. 1116–21. Available from: <https://insights.ovid.com/crossref?an=00005768-199409000-00008>
 102. Gillen CM, Lee R, Mack GW, Tomaselli CM, Nishiyasu T, Nadel ER. Plasma volume expansion in humans after a single intense exercise protocol. *J Appl Physiol [Internet]*. 1991 Nov [cited 2018 Feb 2];71(5):1914–20. Available from: <http://www.physiology.org/doi/10.1152/jappl.1991.71.5.1914>
 103. Gillen CM, Nishiyasu T, Langhans G, Weseman C, Mack GW, Nadel ER. Cardiovascular and renal function during exercise-induced blood volume expansion in men. *J Appl Physiol [Internet]*. 1994 Jun [cited 2018 Feb 2];76(6):2602–10. Available from:
<http://www.physiology.org/doi/10.1152/jappl.1994.76.6.2602>
 104. Clausen JP. Effect of physical training on cardiovascular adjustments to exercise in man. *Physiol Rev [Internet]*. 1977 Oct [cited 2018 Jan 23];57(4):779–815. Available from:
<http://www.physiology.org/doi/10.1152/physrev.1977.57.4.779>
 105. George KP, Gates PE, Birch KM, Campbell IG. Left ventricular morphology and function in endurance-trained female athletes. *J Sports Sci [Internet]*. 1999 Jan 26 [cited 2018 Jan 26];17(8):633–42. Available from:
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10487464>
 106. Richey PA, Brown SP. Pathological versus physiological left ventricular hypertrophy: A review [Internet]. Vol. 16, *Journal of Sports Sciences*. 1998 [cited 2018 Jan 26]. p. 129–41. Available from:
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9531002>

107. Moesch K, Elbe AM, Hauge MLT, Wikman JM. Late specialization: the key to success in centimeters, grams, or seconds (cgs) sports. *Scand J Med Sci Sport* [Internet]. 2011;21(6):3225–34. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11581338>
108. Stringer WW, Whipp BJ, Wasserman K, Pórszász J, Christenson P, French WJ. Non-linear cardiac output dynamics during ramp-incremental cycle ergometry. *Eur J Appl Physiol* [Internet]. 2005 [cited 2017 Jul 11];93(5–6):634–9. Available from: <http://link.springer.com/article/10.1007/s00421-004-1258-3>
109. Stringer WW, Hansen JE, Wasserman K. Cardiac output estimated noninvasively from oxygen uptake during exercise. *J Appl Physiol* [Internet]. 1997 Mar [cited 2018 Feb 10];82(3):908–12. Available from: <http://www.physiology.org/doi/10.1152/jappl.1997.82.3.908>
110. Andersen P, Henriksson J. Capillary supply of the quadriceps femoris muscle of man: adaptive response to exercise. *J Physiol* [Internet]. 1977 Sep [cited 2018 Jan 25];270(3):677–90. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/198532>
111. Weber J-M, Brichon G, Zwingelstein G, McClelland G, Saucedo C, Weibel ER, et al. Design of the oxygen and substrate pathways iv. Partitioning energy provision from fatty acids. *J Exp Biol*. 1996;199(8):1667–74.
112. Hoppeler H, Weibel ER. Structural and functional limits for oxygen supply to muscle. *Acta Physiol Scand* [Internet]. 2000 Apr [cited 2018 Jan 30];168(4):445–56. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10759581>
113. Hudlicka O, Brown M, Egginton S. Angiogenesis in skeletal and cardiac muscle. *Physiol Rev* [Internet]. 1992 Apr [cited 2018 Jan 25];72(2):369–417. Available from: <http://www.physiology.org/doi/10.1152/physrev.1992.72.2.369>
114. Wittenberg JB. Myoglobin function reassessed. *J Exp Biol* [Internet]. 2003 Jun [cited 2018 Jan 25];206(12):2011–20. Available from: <http://jeb.biologists.org/cgi/doi/10.1242/jeb.00243>

115. Harms SJ, Hickson RC. Skeletal muscle mitochondria and myoglobin, endurance, and intensity of training. *J Appl Physiol* [Internet]. 1983 Mar [cited 2018 Jan 25];54(3):798–802. Available from: <http://www.physiology.org/doi/10.1152/jappl.1983.54.3.798>
116. Chertow GM, Normand SLT, Silva LR, McNeil BJ. Endurance training under 2500-m hypoxia does not increase myoglobin content in human skeletal muscle. *Eur J Appl Physiol* [Internet]. 2001 Sep 1 [cited 2018 Jan 25];85(5):486–90. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11606019>
117. Vogt M, Puntschart A, Geiser J, Zuleger C, Billeter R, Hoppeler H. Molecular adaptations in human skeletal muscle to endurance training under simulated hypoxic conditions. *J Appl Physiol* [Internet]. 2001 Jul [cited 2018 Jan 25];91(1):173–82. Available from: <http://www.physiology.org/doi/10.1152/jappl.2001.91.1.173>
118. Mol?? PA, Chung Y, Tran TK, Sailasuta N, Hurd R, Jue T. Myoglobin Desaturation with Exercise Intensity in Human Gastrocnemius Muscle. *Med Sci Sport Exerc* [Internet]. 1999 Jul [cited 2018 Jan 25];31(Supplement):S275. Available from: <https://insights.ovid.com/crossref?an=00005768-199905001-01341>
119. JANSSON E, SYLVÉN C, NORDEVANG E. Myoglobin in the quadriceps femoris muscle of competitive cyclists and untrained men. *Acta Physiol Scand* [Internet]. 1982 Apr [cited 2018 Jan 25];114(4):627–9. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7136792>
120. Thayer R, Collins J, Noble EG, Taylor AW. A decade of aerobic endurance training: Histological evidence for fibre type transformation. *J Sports Med Phys Fitness* [Internet]. 2000 Dec [cited 2018 Jan 25];40(4):284–9. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11296997>
121. Gollnick PD, Piehl K, Saltin B. Selective glycogen depletion pattern in human muscle fibres after exercise of varying intensity and at varying pedalling rates. *J Physiol* [Internet]. 1974 Aug [cited 2018 Jan 25];241(1):45–57. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/4278539>

122. Blatny JM. Detecting and responding to bioterrorism. *NATO Secur through Sci Ser A Chem Biol* [Internet]. 2007 [cited 2018 Jan 25];17 Suppl 1:77–92. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11812905>
123. Ekblom B, Wilson G, Astrand PO. Central circulation during exercise after venesection and reinfusion of red blood cells. *J Appl Physiol* [Internet]. 1976 Mar [cited 2018 Jan 25];40(3):379–83. Available from: <http://www.physiology.org/doi/10.1152/jappl.1976.40.3.379>
124. Sawka MN, Convertino VA, Eichner ER, Schnieder SM, Young AJ. Blood volume: Importance and adaptations to exercise training, environmental stresses, and trauma/sickness. *Med Sci Sports Exerc* [Internet]. 2000 Feb [cited 2018 Jan 25];32(2):332–48. Available from: <http://content.wkhealth.com/linkback/openurl?sid=WKPTLP:landingpage&an=00005768-200002000-00012>
125. Belfry GR, Paterson DH, Murias JM, Thomas SG. The effects of short recovery duration on VO₂ and muscle deoxygenation during intermittent exercise. *Eur J Appl Physiol* [Internet]. 2012 May 17 [cited 2018 Feb 10];112(5):1907–15. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21927832>
126. Essén B, Hagenfeldt L, Kaijser L. Utilization of blood-borne and intramuscular substrates during continuous and intermittent exercise in man. *J Physiol* [Internet]. 1977 Feb 1 [cited 2020 Apr 1];265(2):489–506. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/850204>
127. Schaun GZ. The Maximal Oxygen Uptake Verification Phase: a Light at the End of the Tunnel? *Sport Med - Open* [Internet]. 2017;3(1):44. Available from: <https://sportsmedicine-open.springeropen.com/articles/10.1186/s40798-017-0112-1>
128. Colakoglu M, Ozkaya O, Balci GA, Yapicioglu B. Stroke volume responses may be related to the gap between peak and maximal O₂ consumption. *Isokinet Exerc Sci* [Internet]. 2016 [cited 2017 Jul 11];24(2):133–9. Available from: <http://content.iospress.com/articles/isokinetics-and-exercise-science/ies610>

129. Midgley AW, Mc Naughton LR. Time at or near $\dot{V}O_{2max}$ during continuous and intermittent running: A review with special reference to considerations for the optimisation of training protocols to elicit the longest time at or near $\dot{V}O_{2max}$. *J Sports Med Phys Fitness*. 2006;46(1):1–14.
130. Midgley AW, Carroll S. Emergence of the verification phase procedure for confirming “true” $\dot{V}O_{2max}$. *Scand J Med Sci Sport* [Internet]. 2009 Jun [cited 2015 Mar 2];19(3):313–22. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19422662>
131. Buchfuhrer MJ, Hansen JE, Robinson TE, Sue DY, Wasserman K, Whipp BJ. Optimizing the exercise protocol for cardiopulmonary assessment. *J Appl Physiol* [Internet]. 1983 [cited 2017 Jul 11];55(5):1558–64. Available from: <http://www.physiology.org/doi/10.1152/jappl.1983.55.5.1558>
132. Hawley JA, Hargreaves M, Joyner MJ, Zierath JR. Integrative biology of exercise. *Cell* [Internet]. 2014 Nov 6 [cited 2018 Feb 11];159(4):738–49. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25417152>
133. Viru AA. Adaptation in sports training [Internet]. CRC Press; 1995 [cited 2018 Feb 1]. 321 p. Available from: https://books.google.co.in/books?id=yNNBDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=%22sports+training%22&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwj9n7WjzZ_eAhUKN48KHZnwD-kQ6AEIKTAA#v=onepage&q=%22sports+training%22&f=false
134. Viru A, Smirnova T, ICKarels V, Viru M. Invited paper DETERMINANTS AND MODULATORS OF HORMONAL RESPONSES TO EXERCISE. *Biol Sport* [Internet]. 1996;13(3):169. Available from: https://books.google.es/books?hl=en&lr=&id=UPIEiV-sHNMC&oi=fnd&pg=PA169&dq=related:_Co9uG11QQ8J:scholar.google.com/&ots=0Yi7x3zsiY&sig=br0wr9zYuY8ydjp811rYJ9XiNcE
135. Skovgaard C, Brandt N, Pilegaard H, Bangsbo J. Combined speed endurance and endurance exercise amplify the exercise-induced PGC-1 α and PDK4 mRNA response in trained human muscle. *Physiol Rep* [Internet]. 2016 Jul [cited 2018 Feb 1];4(14). Available from:

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27456910>

136. Hofmann P, Tschakert G. Intensity- and duration-based options to regulate endurance training. *Front Physiol.* 2017;8(MAY):1–9.
137. Cipryan L, Tschakert G, Hofmann P. Acute and post-exercise physiological responses to high-intensity interval training in endurance and sprint athletes. *J Sport Sci Med.* 2017;16(2):219–29.
138. Foster C, Meyer K, Georgakopoulos N, Ellestad AJ, Fitzgerald DJ, Tilman K, et al. Left ventricular function during interval and steady state exercise. *Med Sci Sports Exerc [Internet].* 1999 Aug [cited 2018 Feb 10];31(8):1157–62. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10449018>
139. Trapp EG, Chisholm DJ, Freund J, Boutcher SH. The effects of high-intensity intermittent exercise training on fat loss and fasting insulin levels of young women. *Int J Obes [Internet].* 2008 Apr 15 [cited 2018 Feb 13];32(4):684–91. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18197184>
140. Colakoglu M, Ozkaya O, Balci GA, Yapicioglu B. Re-Evaluation of Old Findings on Stroke Volume Responses to Exercise and Recovery by Nitrous-Oxide Rebreathin. *J Hum Kinet.* 2016;53(1):73–9.
141. Laforgia J, Withers RT, Shipp NJ, Gore CJ. Comparison of energy expenditure elevations after submaximal and supramaximal running. *J Appl Physiol [Internet].* 1997 Feb [cited 2018 Mar 7];82(2):661–6. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9049750>
142. Péronnet F, Massicotte D. Table of Nonprotein Respiratory Quotient: An Update. *Can J Sport Sci [Internet].* 1991 Mar [cited 2018 Mar 7];16(1):23–9. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1645211>
143. WHO. Global recommendations on physical activity for health. *J Chem Inf Model [Internet].* 2010;53(9):1689–99. Available from: http://whqlibdoc.who.int/publications/2010/9789241599979_eng.pdf.
144. Laursen PB, Jenkins DG. The scientific basis for high-intensity interval training: Optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes. *Sport Med [Internet].* 2002;32(1):53–73.

Available from: <http://link.springer.com/10.2165/00007256-200232010-00003>

145. Sharkey BJ. Intensity and duration of training and the development of cardiorespiratory endurance. *Med Sci Sports* [Internet]. 1970 [cited 2018 Jan 26];2(4):197–202. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/5521276>
146. Shephard RJ. Intensity, duration and frequency of exercise as determinants of the response to a training regime. *Int Zeitschrift f??r Angew Physiol Einschl Arbeitsphysiologie* [Internet]. 1968 [cited 2018 Jan 26];26(3):272–8. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/BF00695115>
147. Moffatt RJ, Stamford BA, Weltman A, Cuddihee R. Effects of high intensity aerobic training on maximal oxygen uptake capacity and field test performance. *J Sports Med Phys Fitness* [Internet]. 1977 Dec [cited 2018 Jan 26];17(4):351–9. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/611324>
148. Daniels J, Scardina N, Hayes J, Foley P. Elite and subelite female middle-and long-distance runners. *Sport Elit performers*. 1984;3:57–72.
149. Hill DW, Williams CS, Burt SE. Responses to exercise at 92% and 100% of the velocity associated with VO₂max. *Int J Sports Med* [Internet]. 1997 Jul 9 [cited 2018 Jan 27];18(5):325–9. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9298771>
150. Billat VL, Flechet B, Petit B, Muriaux G, Koralsztein JP. Interval training at $\dot{V}O_2$ (2max): Effects on aerobic performance and overtraining markers. *Med Sci Sports Exerc* [Internet]. 1999 Jan [cited 2018 Feb 6];31(1):156–63. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9927024>
151. Hill DW, Ferguson CS. A physiological description of critical velocity. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* [Internet]. 1999 Jan 1 [cited 2018 Jan 27];79(3):290–3. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10048636>
152. Daniels. Interval training and performance.pdf. *Sport Med*. 1984;1(4):327–34.
153. Tabata I, Irisawa K, Kouzaki M, Nishimura K, Ogita F, Miyachi M. Metabolic

profile of high intensity intermittent exercises. *Med Sci Sports Exerc* [Internet]. 1997 Mar [cited 2018 Jan 22];29(3):390–5. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9139179>

154. Hill DW, Rowell AL. Responses to exercise at the velocity associated with VO₂max. / Reponses physiologiques a un exercice physique effectue a une velocite associee a la VO₂ max. *Med Sci Sport Exerc* [Internet]. 1997 Jan [cited 2018 Jan 22];29(1):113–6. Available from: <http://articles.sirc.ca/search.cfm?id=412231%5Cnhttp://ezproxy.library.yorku.ca/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=sph&AN=SPH412231&site=ehost-live>
155. Billat V, Renoux JC, Pinoteau J, Petit B, Koralsztein JP. Times to exhaustion at 90,100 and 105% of velocity at v_l o₂max (maximal aerobic speed) and critical speed in elite longdistance runners. *Arch Physiol Biochem*. 1995;103(2):129–35.
156. Vuorimaa T, Karvonen J. Recovery time in interval training for increasing aerobic capacity. *Ann Sport Med* [Internet]. 1988;3(4):215–9. Available from: https://scholar.google.es/scholar?hl=en&q=Vuorimaa+T%2C+Karvonen+J.+Recovery+time+in+interval+training&btnG=&as_sdt=1%2C5&as_sdtp=
157. you OA-H is what they mean to, 1999 U. Things were so simple until vVO₂max and now tlim vVO₂max had to come along. *Peak Perform* [Internet]. 1999 [cited 2018 Jan 26];118:1–6. Available from: https://scholar.google.com.tr/scholar?hl=tr&as_sdt=0%2C5&q=1999+anderson+o.+things+were+so+simple+until+vvo2max&btnG=
158. Wakefield BR, Glaister M. Influence of Work-Interval Intensity and Duration on Time Spent at a High Percentage of &OV0312;O₂max During Intermittent Supramaximal Exercise. *J Strength Cond Res* [Internet]. 2009;23(9):2548–54. Available from: <http://content.wkhealth.com/linkback/openurl?sid=WKPTLP:landingpage&an=00124278-200912000-00017>
159. Dupont G, Blondel N, Linsel G, Berthoin S. Critical Velocity and Time Spent at a High Level of for Short Intermittent Runs at Supramaximal Velocities

- [Internet]. Vol. 27, Canadian Journal of Applied Physiology. 2002. p. 103–15.
Available from: <http://www.nrcresearchpress.com/doi/10.1139/h02-008>
160. Millet GP, Libicz S, Borrani F, Fattori P, Bignet F, Candau R. Effects of increased intensity of intermittent training in runners with differing $\dot{V}O_2$ kinetics. *Eur J Appl Physiol* [Internet]. 2003;90(1–2):50–7. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s00421-003-0844-0>
161. Åstrand I, Åstrand P -O, Christensen EH, Hedman R. Intermittent Muscular Work. *Acta Physiol Scand* [Internet]. 1960 Aug 25 [cited 2018 Feb 10];48(3–4):448–53. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/13794890>
162. Combes A, Dekerle J, Bougault V, Daussin FN. Effect of work:rest cycle duration on fluctuations during intermittent exercise. *J Sports Sci*. 2017;35(1):7–13.
163. Smith TP, McNaughton LR, Marshall KJ. Effects of 4-wk training using $V(\max)/T(\max)$ on $\dot{V}O_{2\max}$ and performance in athletes. *Med Sci Sports Exerc* [Internet]. 1999 Jun [cited 2018 Feb 6];31(6):892–6. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10378918>
164. Millet GP, Candau R, Fattori P, Bignet F, Varray A. $\dot{V}O_2$ responses to different intermittent runs at velocity associated with $\dot{V}O_{2\max}$. *Can J Appl Physiol* [Internet]. 2003 Jun [cited 2018 Jan 22];28(3):410–23. Available from: <http://www.nrcresearchpress.com/doi/10.1139/h03-030>
165. Fontana PW. Cardiac output and stroke volume dynamics during exercise and their adaptations to different exercise paradigms in healthy subjects. 2010;d(18955).
166. Beere PA, Russell SD, Morey MC, Kitzman DW, Higginbotham MB. Aerobic exercise training can reverse age-related peripheral circulatory changes in healthy older men. *Circulation* [Internet]. 1999 Sep 7 [cited 2018 Feb 1];100(10):1085–94. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10477534>
167. McGuire DK, Levine BD, Williamson JW, Snell PG, Blomqvist CG, Saltin B, et al. A 30-year follow-up of the dallas bed rest and training study: II. Effect of age on cardiovascular adaptation to exercise training. *Circulation* [Internet].

- 2001 Sep 18 [cited 2018 Feb 1];104(12):1358–66. Available from:
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11560850>
168. Weibel ER, Taylor CR, Hoppeler H. The concept of symmorphosis: A testable hypothesis of structure-function relationship. *Proc Natl Acad Sci U S A* [Internet]. 1991 Nov 15 [cited 2018 Feb 2];88(22):10357–61. Available from:
<http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.88.22.10357>
169. Coyle EF, González-Alonso J. Cardiovascular Drift during Prolonged Exercise: New Perspectives. *Exerc Sport Sci Rev* [Internet]. 2001 Apr [cited 2016 Oct 5];29(2):88–92. Available from:
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11337829>
170. Fritzsche RG, Switzer TW, Hodgkinson BJ, Coyle EF. Stroke volume decline during prolonged exercise is influenced by the increase in heart rate. *J Appl Physiol* [Internet]. 1999 Mar [cited 2016 Oct 5];86(3):799–805. Available from: <http://www.physiology.org/doi/10.1152/jappl.1999.86.3.799>
171. Nicolás A, Bazzucchi I, Haxhi J, Felici F, Sacchetti M. Comparing continuous and intermittent exercise: An “isoeffort” and “isotime” approach. *PLoS One*. 2014;9(4).
172. Leclair E, Mucci P, Borel B, Baquet G, Carter H, Berthoin S. Time to exhaustion and time spent at a high percentage of $\dot{V}O_{2max}$ in severe intensity domain in children and adults. *J Strength Cond Res*. 2011;25(4):1151–8.
173. Levine BD. $\dot{V}O_2$: What do we know, and what do we still need to know? *J Physiol* [Internet]. 2008 Jan 1 [cited 2018 Feb 1];586(1):25–34. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1113/jphysiol.2007.147629>
174. Vanfraechem JH. Stroke volume and systolic time interval adjustments during bicycle exercise. *J Appl Physiol* [Internet]. 1979 Mar [cited 2018 Jan 27];46(3):588–92. Available from:
<http://www.physiology.org/doi/10.1152/jappl.1979.46.3.588>
175. Zhou B, Conlee RK, Jensen R, Fellingham GW, George JD, Fisher AG. Stroke volume does not plateau during graded exercise in elite male distance runners. *Med Sci Sports Exerc* [Internet]. 2001 Nov [cited 2018 Jan 23];33(11):1849–54. Available from:

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11689734>

176. Karjalainen J, Mäntysaari M, Viitasalo M, Kujala U. Left ventricular mass, geometry, and filling in endurance athletes: association with exercise blood pressure. *J Appl Physiol* [Internet]. 1997 Feb [cited 2018 Jan 23];82(2):531–7. Available from: <http://www.physiology.org/doi/10.1152/jappl.1997.82.2.531>
177. Poole DC, Jones AM. Oxygen uptake kinetics. In: *Comprehensive Physiology* [Internet]. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc.; 2012 [cited 2017 Dec 6]. p. 933–96. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1002/cphy.c100072>
178. Buchheit M, Laursen PB. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part II: Anaerobic energy, neuromuscular load and practical applications. *Sport Med*. 2013;43(10):927–54.
179. Bangsbo J. Physiology of intermittent exercise. *Exerc Sport Sci*. 2000;17:53–65.
180. Billat VL, Bocquet V, Slawinski J, Laffite L, Demarle A, Chassaing P, et al. Effect of a prior intermittent run at $vVO_2\text{max}$ on oxygen kinetics during an all-out severe run in humans. / Effet d ' un effort intermittent prealable de course a pied, a la vitesse associee a $VO_2\text{ max}$ ($vVO_2\text{ max}$), sur la cinetique de l ' oxygene au cours d . *J Sport Med Phys Fit* [Internet]. 2000;40(3):185–94. Available from: <http://proxy.lib.sfu.ca/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=sph&AN=SPHS-667815&site=ehost-live>
181. Burr JF, Slysz JT, Boulter MS, Warburton DER. Influence of Active Recovery on Cardiovascular Function During Ice Hockey. *Sport Med - Open* [Internet]. 2015;1(1):27. Available from: <http://www.sportsmedicine-open.com/content/1/1/27>
182. Dupont G, Berthoin S. Time Spent at a High Percentage of max for Short Intermittent Runs: Active Versus Passive Recovery. *Can J Appl Physiol* [Internet]. 2004;29(S1):S3–16. Available from: <http://www.nrcresearchpress.com/doi/10.1139/h2004-054>
183. Dupont G, Moalla W, Guinhouya C, Ahmaidi S, Berthoin S. Passive versus Active Recovery during High-Intensity Intermittent Exercises. *Med Sci Sports*

- Exerc [Internet]. 2004 Feb [cited 2018 Feb 10];36(2):302–8. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14767255>
184. Thevenet D, Leclair E, Tardieu-Berger M, Berthoin S, Regueme S, Prioux J. Influence of recovery intensity on time spent at maximal oxygen uptake during an intermittent session in young, endurance-trained athletes. *J Sports Sci*. 2008;26(12):1313–21.
 185. Dodd S, Powers SK, Callender T, Brooks E. Blood lactate disappearance at various intensities of recovery exercise. *J Appl Physiol* [Internet]. 1984 Nov [cited 2018 Jan 27];57(5):1462–5. Available from: <http://www.physiology.org/doi/10.1152/jappl.1984.57.5.1462>
 186. Edge J, Eynon N, Mckenna MJ, Goodman CA, Harris RC, Bishop DJ. Altering the rest interval during high-intensity interval training does not affect muscle or performance adaptations. *Exp Physiol*. 2013;98(2):481–90.
 187. Rønnestad BR, Hansen J, Vegge G, Tønnessen E, Slettaløkken G. Short intervals induce superior training adaptations compared with long intervals in cyclists - An effort-matched approach. *Scand J Med Sci Sport*. 2015;25(2):143–51.
 188. Kavaliauskas M, Aspe RR, Babraj J. High-Intensity Cycling Training: The Effect of Work-to-Rest Intervals on Running Performance Measures. *J Strength Cond Res* [Internet]. 2015 Aug [cited 2018 Feb 6];29(8):2229–36. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26203737>
 189. Königsrainer I, Löffler M, Bühler S, Walter M, Schafbuch L, Beckert S, et al. Impact of endotoxin exposure after exhausting exercise on the immune system in solid organ transplant recipients. *Exerc Immunol Rev* [Internet]. 2012 Jan 1 [cited 2018 Feb 17];18(1):176–82. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17991697>
 190. Turner AP, Cathcart AJ, Parker ME, Butterworth C, Wilson J, Ward SA. Oxygen uptake and muscle desaturation kinetics during intermittent cycling. *Med Sci Sports Exerc*. 2006;38(3):492–503.
 191. Barnett C, Carey M, Proietto J, Cerin E, Febbraio MA, Jenkins D. Muscle metabolism during sprint exercise in man: Influence of sprint training. *J Sci*

- Med Sport [Internet]. 2004 Sep [cited 2018 Feb 1];7(3):314–22. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15518296>
192. Wood KM, Olive B, LaValle K, Thompson H, Greer K, Astorino TA. Dissimilar Physiological and Perceptual Responses Between Sprint Interval Training and High-Intensity Interval Training. *J Strength Cond Res* [Internet]. 2016 Jan [cited 2018 Feb 17];30(1):244–50. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26691413>
193. Goldberg DI, Shephard RJ. Stroke volume during recovery from upright bicycle exercise. *J Appl Physiol* [Internet]. 1980;48(5):833–7. Available from: <http://www.physiology.org/doi/10.1152/jappl.1980.48.5.833>
194. Takahashi T, Okada A, Saitoh T, Hayano J, Miyamoto Y. Difference in human cardiovascular response between upright and supine recovery from upright cycle exercise. *Eur J Appl Physiol* [Internet]. 2000;81(3):233–9. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s004210050036>
195. Goldberg DI, Shephard RJ. Stroke volume during recovery from upright bicycle exercise. *J Appl Physiol* [Internet]. 1980 May [cited 2018 Feb 8];48(5):833–7. Available from: <http://www.physiology.org/doi/10.1152/jappl.1980.48.5.833>
196. Jones B, Hamilton DK, Cooper CE. Muscle oxygen changes following sprint interval cycling training in elite field hockey players. *PLoS One*. 2015;10(3):1–17.
197. Tucker WJ, Angadi SS, Gaesser GA. Excess Postexercise Oxygen Consumption after High-Intensity and Sprint Interval Exercise, and Continuous Steady-State Exercise. *J Strength Cond Res* [Internet]. 2016 [cited 2018 Mar 15];30(11):3090–7. Available from: https://journals.lww.com/nsca-jscr/Abstract/2016/11000/Excess_Postexercise_Oxygen_Consumption_After.16.aspx
198. Hazell TJ, Olver TD, Hamilton CD, Lemon PWR. Two minutes of sprint-interval exercise elicits 24-hr oxygen consumption similar to that of 30 min of continuous endurance exercise. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* [Internet]. 2012 Aug [cited 2018 Mar 15];22(4):276–83. Available from:

<http://journals.humankinetics.com/doi/10.1123/ijsem.22.4.276>

199. Gibala MJ. Hiit. pdfs.semanticscholar.org [Internet]. [cited 2018 Mar 15]; Available from:
<https://pdfs.semanticscholar.org/7962/9e607a6cf0ddc63f2b7a552a54173bbec404.pdf>
200. Townsend JR, Stout JR, Morton AB, Jajtner AR, Gonzalez AM, Wells AJ, et al. Excess post-exercise oxygen consumption (EPOC) following multiple effort sprint and moderate aerobic exercise. *Kinesiology* [Internet]. 2013 [cited 2018 Mar 15];16–21. Available from:
<http://www.academia.edu/download/34195701/92606077.pdf>
201. Sevits KJ, Melanson EL, Swibas T, Binns SE, Klochak AL, Lonac MC, et al. Total daily energy expenditure is increased following a single bout of sprint interval training. *Physiol Rep* [Internet]. 2013 [cited 2018 Mar 15];1(5):e00131. Available from:
<http://dx.doi.org/10.1002/phy2.131>
<http://physreports.physiology.org/content/1/5/e00131.abstract>
202. St??ggl T, Sperlich B. Polarized training has greater impact on key endurance variables than threshold, high intensity, or high volume training. *Front Physiol*. 2014;5 FEB(February):1–9.
203. Sylta Ø, Tønnessen E, Hammarström D, Danielsen J, Skovereng K, Ravn T, et al. The effect of different high-intensity periodization models on endurance adaptations. *Med Sci Sports Exerc*. 2016;48(11):2165–74.
204. Astorino TA, Edmunds RM, Clark A, King L, Gallant RA, Namm S, et al. High-Intensity Interval Training Increases Cardiac Output and V-O₂max. *Med Sci Sports Exerc*. 2017;49(2):265–73.

8. EKLER

8.1. EK 1: BİLGİLENDİRİLMİŞ GÖNÜLLÜ OLUR FORMU

LÜTFEN DİKKATLİCE OKUYUNUZ !!!

Bu çalışmaya katılmak üzere davet edilmiş bulunmaktasınız. Bu çalışmada yer almayı kabul etmeden önce çalışmanın ne amaçla yapılmak istendiğini anlamanız ve kararınızı bu bilgilendirme sonrası özgürce vermeniz gerekmektedir. Size özel hazırlanmış bu bilgilendirmeyi lütfen dikkatlice okuyunuz, sorularınıza açık yanıtlar isteyiniz.

ÇALIŞMANIN AMACI NEDİR?

Bu çalışmanın amacı, dayanıklılık gelişimi açısından çok önemli olan dokuların oksijen kullanabilme yetisini arttırmada kullanılan farklı interval (kesintili egzersizler) antrenmanlarının yüklenme ve toparlanma periyotlarındaki, oksijen kullanımı, kalbin bir dakikada pompaladığı kan miktarı (kardiyak çıktı), kalbin bir seferde pompaladığı kan miktarı (kalp atım hacmi) ve dokuya giren ve çıkan kandaki oksijen miktarı (arterio-venöz O₂ farkı) parametrelerini incelemektir.

KATILMA KOŞULLARI NEDİR?

Gönüllülerin, düzenli sigara, alkol, herhangi bir ilaç ve antioksidan maddeyi düzenli olarak kullanmayan, anemi, enfeksiyon, obezite ya da herhangi bir kronik hastalığı ya da sakatlığı bulunmayan, 18–35 yaş arası sağlıklı erkek olan ve kullanılabilen maksimum oksijen seviyesi 55 ml/kg/dk'dan fazla olan bireyler olması gerekmektedir.

NASIL BİR UYGULAMA YAPILACAKTIR?

Uyum Seansı:

Laboratuvar testleri başlamadan önce 2-7 gün içinde katılımcılara ikişer seanstan 20 dakikalık laboratuvar kullanıma özgü bisikletlere alışmaları ve ortam koşulları görmeleri için uyum seanslarıyla geçirilecektir. Bu seanslar esnasında katılımcıların vücut kütleleri ve boyları da ölçülecektir.

1. ve 2. Test Günü:

Uyum seanslarından sonra yapılan ilk test gününde ise 5' er dakikadan 4 kademedan oluşan maksimal nabız yedeğinin %80' ni geçmeyen submaksimal test (bitkinlik oluşturmayacak) uygulanacaktır. Bu testin sonun sporcuya 30 dakika dinlenme verilecektir. Dinlenmenin ardından submaksimal testin sonuçları kullanılarak bir kullanılabilen maksimum oksijen seviyesi belirleme testi uygulanacaktır.

Bu test 3., 6. ve 9'uncu dakikalarda yük artışı yapılarak bitkinliğe kadar devam edecektir. Diğer test seansında 25 watt yüküyle başlayarak kademeli olarak artan yükler kullanılarak sporcuyu bitkinliğe götüren testler uygulanacaktır. Bu testin sonuçları da kullanılabilen maksimum oksijen seviyesi belirlemede kullanılacaktır.

2.. Test Günü:

Önceki test seansından hesaplanan, ulaşılan kullanılabilen maksimum oksijen seviyesine denk gelen şiddet ile sporcuyu bitkinliğe götüren doğrulama testi uygulanacaktır. Bunun amacı ise kullanılabilen maksimum oksijen seviyesini kesin olarak tespit edilmesinin sağlanmasıdır. Bu doğrulama testi esnasında termal kamera aracılığıyla deri yüzeyinde oluşan sıcaklık ölçümleri alınacaktır.

3.- 4.- 5. ve 6. Test Günü:

Uygulanılan bu seanslardan sonra üç ayrı seans düzenlenecek ve katılımcının bireysel kalp atım hacmi zirvesi bu seanslarda belirlenip, hangi sporcunun hangi güç seviyesinde hangi kalp atım hacimlerinde zirve değerlerine ulaştıkları tespit edilecektir.

7.- 8.- 9.- 10.ve 11. Test Günü:

Aşağıdaki testlerin sırası karış olacak şekilde her biri en az 24 saat aralarla uygulanacaktır.

İlk test günü: Maksimal aerobik gücün ($p@VO_{2maks}$) %110'ına denk gelen yükü kullanılarak 45 saniye yüklenme süresi olan 16 tekrar, 1:1 yüklenme-dinlenme oranıyla egzersiz uygulaması yapılacaktır.

İkinci test günü: $p@%90 VO_{2maks}$ yükü ile 3' yüklenme süresi olan 4 tekrar, 1:1 yüklenme-dinlenme oranıyla egzersiz uygulaması yapılacaktır.

Üçüncü test günü: 1 dakika $p@VO_{2maks}$ + 4 dakika Anaerobik eşik yükü (AnE) kullanılarak 4 setlik egzersiz uygulaması yapılacaktır.

Dördüncü test günü: Anaerobik eşikle VO_{2maks} arasındaki farkın %25'ine denk gelen güç çıktısı kullanılarak 25 dakikalık kesintisiz egzersiz seansı yapılacaktır.

Beşinci test günü: Vücut ağırlığının %7,5'ine denk gelen yükü 30 saniye süresince baştan sona maksimum eforun sağlandığı 6 set egzersiz yapılacaktır. Bu seansta dinlenme araları 3'30'' olacaktır.

12.-13.-14.-15.- 16. Test Günü: 7., 8., 9. 10. ve 11. test gününde uygulanan testler aynı sırayla tekrar uygulanacaktır.

Tüm testler sırasında ilgili analizlerin yapılabilmesi için bir adet gaz analizörü kullanılarak oksijen tüketimi ve karbondioksit üretimleri sürekli kayıt altına alınacaktır ve bu yapılan tüm seanslar arasında en az 24 saat ile en fazla 48 saatlik aralar verilecektir. Ortam koşullarının kontrol altına alınabildiği özel bir iklimlendirme odasında gerçekleştirilecek çalışmada ortam sıcaklığı 20 °C ve %50 nem koşullarında tutulacaktır. Çalışma sırasında kalp atım sayısı ölçümleri göğsünüzü saracak şekilde göğüs bandı takılarak yapılacaktır. Çalışma sonunda sizlere performans durumunuz hakkında detaylı bilgi verilecek, antrenman planlamanıza yardımcı olacak tavsiyelerde bulunulacaktır.

Sonuç olarak bir katılımcı 1 aylık süreç içerisinde deneysel izleğin gerektirdiği şekilde toplamda 16-20 gün içerisinde 16 seans uygulamaya katılacaktır. Testler iklimlendirme laboratuvarında gerçekleşecek olup, katılımcılar laboratuvarında koşu ayakkabısı, kısa çorap ve koşucu şortu ile egzersiz testlerini tamamlayacaklardır. Çalışmada kullanılacak olan kalp atım hacmi ve kardiyak çıktı ölçümleri nitröz oksit soluma yöntemi ile gerçekleştirilecektir. Bu yöntem nitröz oksit soluma torbası vasıtasıyla, gönüllülere kanda tepkimeye girmeyen asal bir gaz olan nitröz oksitin (%0,5) ve sülfür hekzaflorid'in (%0,1) egzersizin istenilen bölümünde 6 defa solutulmasıyla yapılacaktır. Belirlenen gaz miktarlarının sağlığa herhangi bir zararı yoktur.

Çalışmadaki interval seanslarının hemen başında, bitimindeki ilk 5 dakika ve devam eden toparlanma periyodunun 30. ve 60. dakikasında olmak üzere 8 kez laktat ölçümü yapılacaktır. Bu ölçümler yetkili kişi tarafından parmak ucunuzun alkollü pamukla temizlenmesiyle başlayacaktır. Bu temizleme işleminden sonra özel ekipman yardımıyla parmağınıza lanset yardımıyla (ufak iğne ucu) ufak bir delik açılacak ve fazla sıkmadan kanınızın muhafaza amaçlı ince tüpe aktarılacaktır. Son olarak ölçüm olarak alınan kanınız özel ekipmanlar aracılığıyla analiz edilip kan laktat ölçümünüz yerine getirilmiş olacaktır. Bu ölçümler egzersiz başlamadan, egzersiz esnasında ve egzersiz bitiminde olmak üzere toplamda 18 kere yapılacaktır. Ölçümler sırasında parmağınızda kan alımı için açılacak olan deliğin

boyutları çok küçük olacağı için çok az miktarda vücudunuzdan kan çıkmış olacaktır. Bu miktar her kan alımında yaklaşık olarak 0,02 ml olarak tahmin edilmektedir. Fakat kan alımı sırasında bazı küçük komplikasyon yaşanabilmektedir. Bunların başında ise delik açma işlemi sırasında bazı özel durumlara bağlı olarak normalden daha fazla kan akışı oluşabilmektedir. Böyle durumlarda yetkili kişiler gerekli işlemleri uygulayarak kan akışını kontrol altına alacaklardır. Bu gibi nadir karşılaşılabilecek bir durumda bile vücudunuzdan çıkacak olan kan miktarı kan tahlili sırasında alınan kan miktarının çok daha az olacaktır. Ayrıca 8 sefer kan alımına bağlı olarak nadirde olsa zorlanmaya bağlı ufak morluklar veya oluşan kan pıhtılaşmasına bağlı deformasyonlar oluşabilmektedir. Fakat yetkili kişiler gözetimi altında yapılacak olan 18 kan alımı sırasında bu durumlarla karşılaşılması için her türlü hijyen ve güvenlik tedbiri alınacaktır.

SORUMLULUKLARIM NEDİR?

Araştırma ile ilgili olarak deneysel test seanslarına katılım öncesi son 24 saat içerisinde yorucu bir egzersiz seansına katılmamak, alkol almamak, test seanslarından en az 2 saat önce kahvaltıyı veya 3 saat önce öğle yemeğini tamamlamış olmak. Bu koşullara uymadığınız durumlarda araştırmacı sizi uygulama dışı bırakabilme yetkisine sahiptir.

KATILIMCI SAYISI NEDİR?

Araştırmada yer alacak gönüllülerin sayısı 10 'dur.

KATILIMIM NE KADAR SÜRECEKTİR?

Bu araştırmada yer almanız için her bir seans için öngörülen süre 60 dakikadır.

ÇALIŞMAYA KATILMA İLE BEKLENEN OLASI YARAR NEDİR?

Bu araştırmada sizin için beklenen yararlar fiziksel performansınızı geliştirici bir katkısı olmasının yanında, yüksek test sayısı sonucunda oluşacak antrenman etkisidir. Ancak asıl faydası size fiziksel performansınız hakkında oldukça önemli bilgiler sağlayacak olmasıdır. Bu bilgiler sayesinde ilerleyen dönemde yapacağınız antrenmanların yükleriyle ilgili gerekli bilgiler tarafınıza araştırma ekibi tarafından sağlanacaktır. Bu bilimsel araştırmaya katılarak, bu araştırmanın sonuçlarından faydalanacak spor bilimcilere, antrenörlere ve sporculara önemli katkılar sağlamış olacaksınız.

ÇALIŞMAYA KATILMA İLE BEKLENEN OLASI RİSKLER NEDİR?

Sağlık açısından hiçbir riski yoktur.

ARAŞTIRMA SÜRECİNDE BİRLİKTE KULLANILMASININ SAKINCALI OLDUĞU BİLİLEN İLAÇLAR/BESİNLER NELERDİR?

Çalışma süresince birlikte kullanımının sakıncalı olduğu ilaç ve besinlerin yanında fiziksel performansı ve enerji metabolizmasını etkileyebilecek yasal ya da yasal olmayan gıda katkıları veya ilaçlar kullanmamanız gerekmektedir.

HANGİ KOŞULLARDA ARAŞTIRMA DIŞI BIRAKILABİLİRİM?

Sizinle belirlenecek olan test seansı takvimine mazeretsiz ve önceden bildirmeksizin iki kez uymama koşulunda araştırma dışı bırakılabilirsiniz.

ARAŞTIRMA SÜRESİNCE ÇIKABİLECEK SORUNLAR İÇİN KİMİ ARAMALIYIM?

Katılımcı herhangi bir soru için Doç.Dr.Özgür ÖZKAYA'ya 3505503002 veya Arş. Gör. Görkem Aybars BALCI 0507 021 0031 nolu telefondan ulaşabilirsiniz.

ÇALIŞMA KAPSAMINDAKİ GİDERLER KARŞILANACAK MIDIR?

Yapılacak her tür tetkik, fizik muayene ve diğer araştırma masrafları size veya güvencesi altında bulunduğunuz resmi ya da özel hiçbir kurum veya kuruluşa ödetilmeyecektir.

ÇALIŞMAYI DESTEKLEYEN KURUM VAR MIDİR ?

Araştırma bütçesi için Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumuna (TÜBİTAK-1002 nolu destek programı) başvurulmuştur. Ayrıca Ege Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Proje Fonu tarafından desteklenmiştir.

ÇALIŞMAYA KATILMAM NEDENİYLE HERHANGİ BİR ÖDEME YAPILACAK MIDİR?

Bu araştırmada yer almanız nedeniyle size hiçbir ödeme yapılmayacaktır.

ARAŞTIRMAYA KATILMAYI KABUL ETMEMEM VEYA ARAŞTIRMADAN AYRILMAM DURUMUNDA NE YAPMAM GEREKİR?

Bu araştırmada yer almak tamamen sizin isteğinize bağlıdır. Araştırmada yer almayı reddedebilirsiniz ya da herhangi bir aşamada araştırmadan ayrılabilirsiniz. Araştırmanın sonuçları bilimsel amaçla kullanılacaktır; çalışmadan çekilmeniz ya da araştırmacı tarafından çıkarılmanız durumunda, sizle ilgili bilimsel verilerde gerekirse bilimsel amaçla kullanılabilir.

KATILMAMA İLİŞKİN BİLGİLER KONUSUNDA GİZLİLİK SAĞLANABİLECEK MİDİR?

Size ait tüm tıbbi ve kimlik bilgileriniz gizli tutulacaktır ve araştırma yayınlansa bile kimlik bilgileriniz verilmeyecektir, ancak araştırmanın izleyicileri, yoklama yapanlar, etik kurullar ve resmi makamlar gerektiğinde tıbbi bilgilerinize ulaşabilir. Siz de istediğinizde kendinize ait tıbbi bilgilere ulaşabilirsiniz

Çalışmaya Katılma Onayı:

Yukarıda yer alan ve araştırmaya başlanmadan önce gönüllüye verilmesi gereken bilgileri gösteren 3 sayfalık metni okudum ve sözlü olarak dinledim. Aklıma gelen tüm soruları araştırmacıya sordum, yazılı ve sözlü olarak bana yapılan tüm açıklamaları ayrıntılarıyla anlamış bulunmaktayım. Çalışmaya katılmayı isteyip istemediğime karar vermem için bana yeterli zaman tanındı. Bu koşullar altında, bana ait tıbbi bilgilerin gözden geçirilmesi, transfer edilmesi ve işlenmesi konusunda araştırma yürütücüsüne yetki veriyorum ve söz konusu araştırmaya ilişkin bana yapılan katılım davetini hiçbir zorlama ve baskı olmaksızın büyük bir gönüllülük içerisinde kabul ediyorum. Bu formu imzalamakla yerel yasaların bana sağladığı hakları kaybetmeyeceğimi biliyorum.

Bu formun imzalı ve tarihli bir kopyası bana verildi.

GÖNÜLLÜNÜN		İMZASI
ADI & SOYADI		
ADRESİ		
TEL. & FAKS		
TARİH		

VELAYET VEYA VESAYET ALTINDA BULUNANLAR İÇİN VELİ VEYA VASİNİN		İMZASI
ADI & SOYADI		

ADRESİ		
TEL. & FAKS		
TARİH		

ARAŞTIRMA EKİBİNDE YER ALAN VE YETKİN BİR ARAŞTIRMACININ		İMZASI
ADI & SOYADI		
TARİH		

GEREKİĞİ DURUMLARDA TANIK		İMZASI
ADI & SOYADI		
GÖREVİ		
TARİH		

8.2. EK 2: ETİK KURUL ONAY FORMU



EGE ÜNİVERSİTESİ TIP FAKÜLTESİ KLİNİK ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU
Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Dekanlığı 2.Kat. Erzene Ankara Cad. 35100 Bornova / İZMİR
Tel:0 232 390 4219 - 373 78 81 Fax: 0232 390 21 34
e-mail: aetikk@mail.ege.edu.tr www.aek.med.ege.edu.tr



ARAŞTIRMA BAŞVURUSU ONAY BELGESİ

BAŞVURU BİLGİLERİ	ARAŞTIRMANIN AÇIK ADI	Dayanıklılık Gelişiminde Kullanılan Güncel Kesintili ve Kesintisiz Antrenman Modellerinin Kardiyovasküler Yanıtlar Üzerine Etkileri		
	ARAŞTIRMA PROTOKOL KODU	-		
	KOORDİNATÖR/SORUMLU ARAŞTIRMACI UNVANI/ADI/SOYADI	Prof. Dr. B. Muzaffer ÇOLAKOĞLU		
	KOORDİNATÖR/SORUMLU ARAŞTIRMACI UZMANLIK ALANI	-		
	KOORDİNATÖR/SORUMLU ARAŞTIRMACININ BULUNDUĞU MERKEZ	Ege Üniversitesi Beden Eğitimi Spor Yüksek Okulu		
	VARSA İDARİ SORUMLU UNVANI/ADI/SOYADI	-		
	DESTEKLEYİCİ	TÜBİTAK-1002		
	PROJE YÜRÜTÜCÜSÜ UNVANI/ADI/SOYADI (TÜBİTAK vb. kaynaklardan destek alanlar için)	-		
	DESTEKLEYİCİNİN YASAL TEMSİLCİSİ	-		
	ARAŞTIRMANIN FAZİ VE TÜRÜ	FAZ 1 <input type="checkbox"/>	FAZ 2 <input type="checkbox"/>	FAZ 3 <input type="checkbox"/>
	Gözlemsel İlaç Çalışması <input type="checkbox"/>	Tıbbi Cihaz Klinik Araştırması <input type="checkbox"/>		
	İn Vitro Tıbbi Tanı Cihazları İle Yapılan Performans Değerlendirme Çalışmaları <input type="checkbox"/>	İlaç Dışı Klinik Araştırma <input checked="" type="checkbox"/>		
	Diğer ise belirtiniz			
ARAŞTIRMAYA KATILAN MERKEZLER	TEK MERKEZ <input checked="" type="checkbox"/>	ÇOK MERKEZLİ <input type="checkbox"/>	ULUSAL <input checked="" type="checkbox"/>	ULUSLARARASI <input type="checkbox"/>
DEĞERLENDİRİLEN BELGELER	Belge Adı	Tarihi	Versiyon Numarası	Dili
	ARAŞTIRMA PROTOKOLÜ	07.03.2016	-	Türkçe <input checked="" type="checkbox"/> İngilizce <input type="checkbox"/> Diğer <input type="checkbox"/>
	BİLGİLENDİRİLMİŞ GÖNÜLLÜ OLUR FORMU	07.03.2016	-	Türkçe <input checked="" type="checkbox"/> İngilizce <input type="checkbox"/> Diğer <input type="checkbox"/>
	OLGU RAPOR FORMU	-	-	Türkçe <input checked="" type="checkbox"/> İngilizce <input type="checkbox"/> Diğer <input type="checkbox"/>
	SİGORTA	<input type="checkbox"/>		
ARAŞTIRMA BÜTÇESİ	<input checked="" type="checkbox"/>	14.04.2016		
KARAR BİLGİLERİ	Karar Nu: 16-3.2/11	Tarih: 18.04.2016		
	Yukarıda başvuru bilgileri verilen klinik araştırma başvuru dosyası ve ilgili belgeler araştırmanın gerekçe, amaç, yaklaşım ve yöntemleri dikkate alınarak Kurulumuzca incelenmiş, araştırma giderlerinin gönüllüye ve/veya bağlı bulunduğu sosyal güvenlik kurumuna ödenmediği koşullarda araştırmaya başlanmasının etik açıdan uygun bulunduğuna oy birliği ile karar verilmiştir.			

EGE ÜNİVERSİTESİ TIP FAKÜLTESİ KLİNİK ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU

ÇALIŞMA ESASI	İlaç ve Biyolojik Ürünlerin Klinik Araştırmaları Hakkında Yönetmelik, İyi Klinik Uygulamaları Kılavuzu, Tıbbi Cihaz Klinik Araştırmaları Yönetmeliği					
BAŞKANIN UNVANI / ADI / SOYADI:	Prof. Dr. Ayşenur OKTAY					
Unvanı / Adı / Soyadı EK Üyeliği	Uzmanlık Dalı	Kurumu	Cinsiyeti	İlişki (*)	Katılım (**)	İmza
Prof. Dr. Ayşenur OKTAY Başkan	Radyodiagnostik	EÜ. Tıp Fakültesi Radyoloji AD	K	<input type="checkbox"/> E <input checked="" type="checkbox"/> H	<input checked="" type="checkbox"/> E <input type="checkbox"/> H	
Prof. Dr. Aytül ÖNAL Başkan Yardımcısı	Tıbbi Farmakoloji	E.Ü. Tıp Fakültesi Tıbbi Farmakoloji AD.	K	<input type="checkbox"/> E <input checked="" type="checkbox"/> H	<input type="checkbox"/> E <input checked="" type="checkbox"/> H	
Prof. Dr. Suna TOKSAVUL Üye	Protetik Diş Tedavisi	E.Ü. Diş Hek. Fakültesi Protetik Diş Tedavisi AD.	K	<input type="checkbox"/> E <input checked="" type="checkbox"/> H	<input checked="" type="checkbox"/> E <input type="checkbox"/> H	
Prof. Dr. Sarenur GÖKBEN Üye	Çocuk Nörolojisi	EÜ. Tıp Fakültesi Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları AD	K	<input type="checkbox"/> E <input checked="" type="checkbox"/> H	<input checked="" type="checkbox"/> E <input type="checkbox"/> H	

Etik Kurul Başkanının Unvanı/Adı/Soyadı: Prof. Dr. Ayşenur OKTAY	Araştırma Başvurusu Onay Belgesi	Belge Kodu 22	Rev. Tarihi / No.su: 28.09.2011/05	Sayfa 1/2
---	----------------------------------	------------------	---------------------------------------	--------------

9. ÖZGEÇMİŞ

İlköğretim ve lise eğitimini İstanbul'da tamamlamıştır. Lisans eğitimime 2005 yılında Ege Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulunda başlayıp 2010 yılında bölüm ve okul birinciliğiyle mezun olmuştur. Aynı yıl Ege Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Spor Sağlık Bilimleri Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimime başlayıp 2013 yılında tamamlamıştır. Kasım 2012'den beri Ege Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi'nde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.

Email:

