

**HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DAYANIKLILIK SPORCULARINDA OKSİJEN TÜKETİMİ VE
ENERJİ HARCAMASININ KALP ATIM HIZI İNDEKS
YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ**

Yunus Emre EKİNCİ

**Spor Bilimleri ve Teknolojisi Programı
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

ANKARA

2021

**T.C.
HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DAYANIKLILIK SPORCULARINDA OKSİJEN TÜKETİMİ VE
ENERJİ HARCAMASININ KALP ATIM HIZI İNDEKS
YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ**

Yunus Emre EKİNCİ

**Spor Bilimleri ve Teknolojisi Programı
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TEZ DANIŞMANI
Prof. Dr. Tahir HAZIR**

ANKARA

2021

ONAY SAYFASI

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
DAYANIKLILIK SPORCULARINDA OKSİJEN TÜKETİMİ ve ENERJİ HARCAMASININ
KALP ATIM HIZI İNDEKS YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ
YUNUS EMRE EKİNCİ
PROF. DR. TAHİR HAZİR

Bu tez çalışması 09.07.2021 tarihinde jürimiz tarafından “ Spor Bilimleri ve Teknolojisi Programı” nda yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı: *Prof. Dr. A. Haydar DEMİREL*
Hacettepe Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi

Tez Danışmanı: *Prof. Dr. Tahir HAZİR*
Hacettepe Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi

Üye: *Prof. Dr. Ayşe KİN İŞLER*
Hacettepe Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi

Üye: *Doç. Dr. Fırat AKÇA*
Ankara Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi

Üye: *Prof. Dr. Özgür ÖZKAYA*
Ege Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi

Bu tez Hacettepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca yukarıdaki jüri tarafından uygun bulunmuştur.

04 Ağustos 2021

Prof. Dr. Diclehan Orhan
Enstitü Müdürü

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe Üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “*Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge*” kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricince YÖK Ulusal Tez Merkezi / H.Ü. Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- Enstitü / Fakülte yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir. ⁽¹⁾
- Enstitü / Fakülte yönetim kurulunun gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren ... ay ertelenmiştir. ⁽²⁾
- Tezimle ilgili gizlilik kararı verilmiştir. ⁽³⁾

...../...../.....

Yunus Emre EKİNCİ

¹“*Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge*”

- (1) *Madde 6. 1. Lisansüstü teze ilgili patent başvurusu yapılması veya patent alma sürecinin devam etmesi durumunda, tez danışmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının uygun görüşü üzerine enstitü veya fakülte yönetim kurulu iki yıl süre ile tezin erişime açılmasının ertelenmesine karar verebilir.*
- (2) *Madde 6. 2. Yeni teknik, materyal ve metotların kullanıldığı, henüz makaleye dönüşmemiş veya patent gibi yöntemlerle korunmamış ve internetten paylaşılması durumunda 3. şahıslara veya kurumlara haksız kazanç imkanı oluşturabilecek bilgi ve bulguları içeren tezler hakkında tez danışmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının uygun görüşü üzerine enstitü veya fakülte yönetim kurulunun gerekçeli kararı ile altı ayı aşmamak üzere tezin erişime açılması engellenebilir.*
- (3) *Madde 7. 1. Ulusal çıkarları veya güvenliği ilgilendiren, emniyet, istihbarat, savunma ve güvenlik, sağlık vb. konulara ilişkin lisansüstü tezlerle ilgili gizlilik kararı, tezin yapıldığı kurum tarafından verilir *. Kurum ve kuruluşlarla yapılan işbirliği protokolü çerçevesinde hazırlanan lisansüstü tezlere ilişkin gizlilik kararı ise, ilgili kurum ve kuruluşun önerisi ile enstitü veya fakültenin uygun görüşü üzerine üniversite yönetim kurulu tarafından verilir. Gizlilik kararı verilen tezler Yükseköğretim Kuruluna bildirilir.*
Madde 7.2. Gizlilik kararı verilen tezler gizlilik süresince enstitü veya fakülte tarafından gizlilik kuralları çerçevesinde muhafaza edilir, gizlilik kararının kaldırılması halinde Tez Otomasyon Sistemine yüklenir

** Tez danışmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının uygun görüşü üzerine enstitü veya fakülte yönetim kurulu tarafından karar verilir.*

ETİK BEYAN

Bu çalışmadaki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, yararlandığım kaynaklara bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu, tezimin kaynak gösterilen durumlar dışında zgn olduğunu, Tez Danışmanının Prof. Dr. Tahir HAZIR danışmanlığında tarafımdan üretildiğini ve Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Yönergesine göre yazıldığını beyan ederim.

Yunus Emre EKİNCİ

TEŞEKKÜR

”Eğitimdir ki bir milleti ya hür, bağımsız, şanlı, yüksek bir topluluk halinde yaşatır; ya da milleti esaret ve sefaletle terk eder.”

”Dünyada her şey için, uygarlık için, yaşam için, başarı için en hakiki mürşit ilimdir, fendir. İlim ve fen haricinde mürşit aramak gaflettir, cehalettir, dalalettir.”

”Bir tek şeye ihtiyacımız var, O da çok çalışmaktır.”

Mustafa Kemal ATATÜRK

Saygıyla

Bu çalışmanın planlanmasında, yürütülmesinde ve tamamlanmasında ihtiyaç duyduğum her zaman yanımda olan, sorduğum soruları üşenmeden sıkılmadan aynı heyecanla cevaplandıran, her zaman beni önemseddiğini ve bana güvendiğini hissettiren değerli danışman hocam Prof. Dr. Tahir HAZIR’a,

Çalışmaya katılmaya gönüllü olan ve çalışma sırasında kendilerini sonuna kadar zorlayan sporcu arkadaşlarıma,

İlkokuldan başlayarak üniversiteye kadar, işini hakkıyla yapan, benim bugüne kadar gelmememde üzerimde emeği olan değerli hocalarıma,

Hayatımın çok kritik bir noktasında hayatıma dokunan ve benim Spor Bilimleri alanına yönelmemi sağlayan değerli hocam Prof. Dr. Mustafa Levent İNCE’ye,

Bugünlere gelmemde en önemli pay sahibi olan, fedakârca kendi hayatlarından çalarak beni ve kardeşlerimi büyüten, okutan, destekleyen, canımdan çok sevdiğim annem Feride ve babam Zülfikar EKİNCİ’ye ve bu hayatta beni hiçbir zaman yalnız hissettirmeyen canımın parçası kardeşlerim Zülfiye, Meral, Ender ve Engin Ekinci’ye,

Teşekkürü bir borç bilirim.

ÖZET

Ekinci, Y.E., Dayanıklılık Sporcularında Oksijen Tüketimi ve Enerji Harcamasının Kalp Atım Hızı İndeks Yöntemi ile Değerlendirilmesi, Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Spor Bilimleri ve Teknolojisi Programı Yüksek Lisans Tezi, 2021, Ankara. Bu çalışmanın amacı, dayanıklılık sporcularında VO_{2maks} ve her farklı şiddette enerji harcamasının hesaplanmasında kalp atım hızı indeks (KAH_{indeks}) yönteminin geçerliğini belirlemektir. Orta ve uzun mesafe koşusu ve oryantiring sporu ile uğraşan ve en az 3 yıldır müsabakalara katılan, 22 erkek sporcu gönüllü olarak katılmıştır. Dinlenik KAH (KAH_{din}) ölçümünden sonra koşu bandında indirekt kalorimetrik yöntem (İK) ile giderek artan şiddette egzersiz protokolünde submaksimal ve maksimal oksijen tüketimi ölçülmüştür. Test sırasında katılımcıların her iş yükünde oksijen tüketimi (VO_2) ve KAH değerleri kaydedilmiştir. $KAH_{egzersiz}/KAH_{din}$ oranından KAH_{indeks} hesaplanmıştır. KAH_{indeks} değerleri kullanılarak maksimal oksijen tüketimi (VO_{2maks}) ve rezerv KAH 'ın (KAH_R) $< \%72$, $\%72-88$ ve $> \%88$ 'ine karşılık gelen şiddetlerde enerji harcaması tahmin edilmiştir. Her katılımcı için her bir hızda hesaplanan KAH_{indeks} ve MET olarak VO_2 değerleri arasındaki ilişki için regresyon analizi yapılmıştır. Ölçülen ve tahmin edilen VO_{2maks} ve 3 farklı şiddette ($< \%72$ KAH_R , $\%72-88$ KAH_R ve $> \%88$ KAH_R) enerji harcaması değerleri arasındaki farklar Paired t testi ile belirlenmiştir. Ölçülen ve hesaplanan VO_{2maks} ve enerji harcaması arasındaki fark ortalaması (bias) ve tutarlılık alt ve üst sınırları Bland-Altman grafikleme yöntemi ile belirlenmiştir. Aynı zamanda ölçülen ve hesaplanan değişkenler arasındaki uyum Bilgi Temelli Tutarsızlık Ölçüsü (BTTÖ) yöntemi ile belirlenmiştir. MET (VO_2) ve KAH_{indeks} değerleri arasında orta düzeyde pozitif bir ilişki vardır ($r = 0,601$; $p = 0,000$). KAH_{indeks} yöntemi ile tahmin edilen VO_{2maks} anlamlı derecede düşüktür ($\%11,3$) ($p = 0,013$). Benzer şekilde her bir şiddette KAH_{indeks} yöntemi ile hesaplanan enerji harcaması İK'dan anlamlı derecede düşüktür ($< \%72$ KAH_R için $t = 0,326$; $p = 0,002$, $\%72-88$ KAH_R için $t = 2,09$; $p = 0,04$ ve $> \%88$ KAH_R için $t = 5,01$; $p = 0,000$). Bland-Altman grafikleme VO_{2maks} için tutarlılık sınırları arasındaki mutlak farkın büyük olduğunu göstermiştir. İK ve KAH_{indeks} yöntemi arasındaki uyum için BTTÖ değerleri istatistiksel olarak sıfırdan farklıdır (VO_{2maks} için $t = 8,992$; $p = 0,000$, $< \%72$ KAH_R için $t = 18,578$; $p = 0,000$, $\%72-88$ KAH_R için $t = 18,342$; $p = 0,000$, $> \%88$ KAH_R için $t = 19,769$; $p = 0,000$) Bu çalışmanın bulguları dayanıklılık sporcularında KAH_{indeks} yönteminin VO_{2maks} 'ın tahmin edilmesinde kullanılamayacağını ancak farklı şiddetlerde enerji harcamasının değerlendirilmesinde kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Dayanıklılık, Maksimal oksijen tüketimi, Enerji harcaması, Kalp atım hızı indeksi

ABSTRACT

Ekinci, Y.E., Assessment of Oxygen Consumption and Energy Expenditure in Endurance Athletes by Heart Rate Index Method, Hacettepe University, Graduate School of Health Sciences, M.Sc. Thesis in Sport Sciences and Technology, 2021, Ankara.

The purpose of this study is to validate heart rate index method (HR_{index}) in assessment of VO_{2max} and energy expenditure at diverse intensities in endurance athletes. 22 male athletes, who were involved in middle and long distance running and orienteering and participated in the competitions for at least 3 years, voluntarily participated in the study. After the measurement of resting HR (HR_{rest}), submaximal and maximal oxygen consumption was measured on a treadmill with indirect calorimetric method (IC) with a graded exercises test protocol. During the test, oxygen consumption (VO_2) and HR values of participants were recorded at each workload. HR_{index} was calculated from $HR_{exercise}/HR_{rest}$ ratio. By using HR_{index} values, maximal oxygen consumption and energy expenditure at intensities corresponding to <72%, 72-88% and >88% of reserve HR (HR_R) were estimated. Regression analysis was performed to assess the relationship between HR_{index} calculated at each rate for each participant, and VO_2 values as MET. The difference between measured and estimated VO_{2max} and energy expenditure at three different intensities (< 72% HR_R , 72-88% HR_R and >88% HR_R) were determined by paired t test. The bias between measured and estimated VO_{2max} and energy expenditure and lower and upper limits of agreement were determined by Bland-Altman plot. At the same time, agreement between measured and estimated variables was determined by Information-Based Measure of Disagreement (IBMD) method. There is a moderate positive relationship between METs (VO_2) and HR_{index} values ($r = 0.601$; $p = 0.000$). VO_{2max} estimated with using HR_{index} method was significantly lower (11.3%) ($p = 0.013$). Similarly, the energy expenditure estimated with HR_{index} method at each intensity was significantly lower than IC method (at < 72% HR_R $t = 0.326$; $p = 0.002$, at 72-88% HR_R $t = 2.09$; $p = 0.04$ and at >88% HR_R $t = 5.01$; $p = 0.000$). Bland-Altman plots showed that agreement interval between lower and upper limits of agreement for VO_{2max} was wide. For the agreement between IC and HR_{index} method, IBMD values were statistically different from zero (for VO_{2max} $t = 8.992$; $p = 0.000$, for < 72% HR_R $t = 18.578$; $p = 0.000$, for 72-88% HR_R $t = 18.342$; $p = 0.000$, for >88% HR_R $t = 19.769$; $p = 0.000$). The findings of this study showed that the HR_{index} method cannot be used to estimate VO_{2max} in endurance athletes, but it can be used to assess energy expenditure at different intensities.

Keywords: Endurance, Maximal oxygen consumption, Energy expenditure, Heart rate index

İÇİNDEKİLER

ONAY SAYFASI	iii
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI	iv
ETİK BEYAN	v
TEŞEKKÜR	vi
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
ŞEKİLLER	xii
TABLolar	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Araştırmanın Amacı	4
1.2. Problem	4
1.3. Alt Problemler	4
1.4. Deneceler	4
1.5. Sınırlılıklar	5
1.6. Sayıtlılar	5
1.7. Araştırmanın Önemi	5
2. GENEL BİLGİLER	7
2.1 Dayanıklılık Fizyolojisi	7
2.1.1 VO_{2maks}	7
2.1.2 Anaerobik Eşik	11
2.1.3 Koşu Ekonomisi	14
2.2 Dayanıklılık Sporlarında Enerji Harcaması	15
2.2.1 Orta-Uzun Mesafe Atletleri ve Oryantiring Sporcularında Günlük Enerji Gereksinimi	17
2.3 VO_{2maks} Ölçüm Yöntemleri	18
2.3.1 Direk Ölçüm Yöntemleri	19
2.3.2 Tahmin Yöntemleri	21
2.4. Enerji Harcaması Ölçüm Yöntemleri	25
2.4.1. Direkt Yöntemler	25
2.4.2. İndirekt Yöntemler	28
2.5. KAH_{indeks}	29
3. GEREÇ VE YÖNTEM	31
3.1. Araştırma Grubu	31
3.2. Veri Toplama Araçları	31
3.2.1. Stadiometre	31
3.2.2. Biyoelektrik İmpedans Analizörü	31

3.2.3. Telemetrik KAH Monitörü	31
3.2.4. Koşu Bandı	32
3.2.5. Oksijen Analizörü	32
3.3. Verilerin Toplanması	32
3.3.1. Antropometrik Ölçümler	32
3.3.2. KAH _{din} Ölçümü	33
3.3.3. Egzersiz Testi	33
3.3.4. VO ₂ ve VCO ₂ Ölçümü	33
3.3.5. VO _{2maks} 'nin ve KAH _{maks} 'nin Belirlenmesi	34
3.3.6. KAH _{indeks} ve VO _{2maks} 'nin tahmini	34
3.4. Verilerin Analizi	34
4. BULGULAR	37
4.1. Katılımcıların Fiziksel ve Fizyolojik Özellikleri	37
4.2. MET-KAH _{indeks} Arasındaki İlişki	38
4.3. Ölçülen ve Tahmin Edilen VO _{2maks}	39
4.4. Farklı Egzersiz Şiddetlerinde Enerji Harcaması	40
5. TARTIŞMA	43
5.1. Fiziksel Özellikler	43
5.2. KAH _{indeks} – MET ilişkisi	44
5.3. KAH _{indeks} Yöntemi ile VO _{2maks} 'nin Kestirilmesi	45
5.4. KAH _{indeks} ve Enerji Harcaması	47
6. SONUÇ ve ÖNERİLER	51
6.1. Sonuç	51
6.2. Öneriler	51
7. KAYNAKÇA	53
8. EKLER	
EK-1: Tez Çalışması Etik Kurul İzni	
EK-2: Aydınlatılmış Onam Formu	
EK-3: Katılımcı Formu	
EK-4: Orijinallik Ekran Çıktısı	
EK-5: Dijital Makbuz	
9. ÖZGEÇMİŞ	77

SİMGELER VE KISALTMALAR

ATP	: Adenozin trifosfat
AZD	: Algısal zorluk derecesi
BKİ	: Beden kütle indeksi
BTTÖ	: Bilgi temelli tutarsızlık ölçüsü
GA	: Güven aralığı
GXT	: Artan şiddette egzersiz testi
H²	: Hidrojen izotopu
IPAQ	: Uluslararası Fiziksel Aktivite Anketi
İK	: İndirekt kalorimetri
KAH	: Kalp atım hızı
KAH_{din}	: Dinlenik kalp atım hızı
KAH_{egzersiz}	: Egzersiz kalp atım hızı
KAH_{indeks}	: Kalp atım hızı indeksi
KAH_R	: Rezerv kalp atım hızı
MET	: Metabolik eşdeğer
MLSS	: Maksimal laktat denge durumu
O¹⁸	: Oksijen izotopu
OBLA	: 4mmol laktat seviyesi
OPLA	: Kanda laktat birikiminin başladığı seviye
SDO	: Solunum değişim oranı
SEE	: Standart hata
SPV	: Katılımcının şiddeti belirlediği maksimal oksijen tüketimi testi
SPV_{eğim}	: Katılımcının eğim artışını belirlediği maksimal oksijen tüketimi testi
SPV_{hız}	: Katılımcının hızı artışını belirlediği maksimal oksijen tüketimi testi
VO₂	: Oksijen tüketimi
VO_{2maks}	: Maksimal oksijen tüketimi
VA	: Vücut ağırlığı
VYY	: Vücut yağ yüzdesi
YVK	: Yağsız vücut kitlesi

ŞEKİLLER

Şekil		Sayfa
4.1.	Dayanıklılık sporcularının iş yükü artışına bağlı olarak MET-KAH _{indeks} ilişkisi	38
4.2.	İK yöntemle ölçülen ve KAH _{indeks} yöntemiyle hesaplanan VO _{2maks} değerleri için Bland-Altman grafiği	39
4.3.	KAH _R 'nin %72'sinin altı (A), %72-88'i arası (B) ve %88'inin üstüne (C) karşılık gelen şiddetlerde İK yöntemle ölçülen ve KAH _{indeks} yöntemi ile hesaplanan enerji harcaması için Bland-Altman grafiği	41

TABLolar

Tablo		Sayfa
2.1.	Test Süresi Üzerinden VO_{2maks} Kestirim Formülleri	23
2.2.	20 m Mekik Koşusu için VO_{2maks} Kestirim Formülleri	25
4.1.	Katılımcılara Ait Tanımlayıcı İstatistikleri	37
4.2.	İK yöntemle ölçülen ve KAH_{indeks} yöntemi ile hesaplanan VO_{2maks} değerlerinin karşılaştırması	39
4.3.	KAH_R 'nin %72'sinin altı, %72-88'inin arası ve %88'inin üstüne karşılık gelen şiddetlerde İK yöntemle ölçülen ve KAH_{indeks} yöntemi ile hesaplanan enerji harcaması	40
4.4.	VO_{2maks} ve farklı şiddetlerde EH değerlendirilmesi için İK yöntem ve KAH_{indeks} yöntemi arasındaki tutarsızlık	42

1. GİRİŞ

Dayanıklılık sporlarında sporcunun performansını en üst düzeye çıkarmak, antrenmanın olumsuz etkilerini en aza indirmek ve en uygun zamanda zirve performansa ulaşmak amacıyla antrenman şiddetinin, süresinin, sıklığının ayarlanması başarılı bir antrenman periyotlaması için zorunludur (1). Dayanıklılık sporcularının tipik olarak haftada 10 – 13 birim antrenman yaptıkları, bu antrenmanların %80'inin düşük şiddette (2 mmol laktik asit) ve %20'sinin maksimal oksijen tüketiminin (VO_{2maks}) %95'ini aşan interval antrenmanları şeklinde olduğu rapor edilmiştir (1). Üst düzey dayanıklılık sporcularının antrenman yükünün, spor dalının özelliklerine bağlı olarak 500 saat/yıl ile 1000 saat/yıl arasında değiştiği belirtilmiştir (2). Geleneksel olarak yıllık antrenman periyotlaması; genel hazırlık, özel hazırlık, yarışma ve geçiş dönemi olmak üzere dört ana bölüme ayrılmaktadır ve her bir dönemin antrenman şiddeti ve hacmi birbirinden farklıdır. Bu nedenle, elit dayanıklılık sporcularının her bir dönemdeki toplam enerji harcamasında önemli dalgalanmalar gözlenmektedir. Yakın zamanda yapılan bir sistematik derlemede dayanıklılık sporcularında (cinsiyet ve branşdan bağımsız) total enerji harcamasının yarışma döneminde (9869 ± 4129 kcal/gün) hazırlık döneminden (4345 ± 1062 kcal/gün) anlamlı derecede yüksek olduğu saptanmıştır (2). Enerji harcamasına eşdeğer miktarda enerji alımı, enerji dengesinin korunmasına hizmet eder. Dayanıklılık sporcularında sürdürülebilir enerji dengesinin sağlanması, negatif enerji dengesi oluşmasını engeller. Enerji dengesi, vücut fonksiyonlarının optimal seviyede çalışmasını, vücut ağırlığı (VA) ve vücut yağ yüzdesinin nispeten sabit tutulmasını, sporcunun, spor dalına uygun sürdürülebilir bir vücut kompozisyonuna sahip olmasını sağlar (3). Enerji dengesizliği ve enerji açığındaki süreklilik sporcularda hızlı kilo kaybına, genel sağlık durumunda bozulmaya, aşırıantrenman etkisinin fiziksel ve fizyolojik belirtilerinin ortaya çıkmasına ve en önemlisi performansta düşüş gözlenmesine yol açmaktadır (4). Bunun yanında dayanıklılık sporlarında düşük VA'na ve düşük vücut yağ yüzdesine sahip olmak, sporcunun yarışma sırasında daha iyi bir koşu ekonomisi (hareket verimi) sergilemesine (5), VA/yüzey alanı oranındaki uyuma bağlı olarak daha düşük subkütanoz yağ doku nedeniyle ısı izolasyonunda azalmaya ve buna bağlı olarak termoregülatif cevapların gelişmesine katkıda bulunarak performansı olumlu etkiler.

Bu nedenle yıllık antrenman periyodunun her bir döneminde harcanan enerjinin kolay, ucuz ve doğru bir yöntemle ölçülmesi, sürdürülebilir enerji dengesinin kurulması için önemlidir.

Enerji harcamasının değerlendirilmesi yaklaşık olarak bir yüzyıldır laboratuvar ortamında, metabolik süreçler sonucunda açığa çıkan ısının ölçülmesi üzerinden direkt ve oksijen tüketimi (VO_2) ölçümü üzerinden indirekt kalorimetrik (İK) yöntemlerle gerçekleştirilmektedir (6). İkinci dünya savaşından sonra enerji harcamasının ölçülmesinde çifte etiketlenmiş su tekniği kullanılmaya başlanmıştır (7). Bu yöntemlerin tümü altın standart veya referans yöntem olarak kabul edilmekle beraber, laboratuvar ortamıyla sınırlıdır. Ayrıca bu yöntemler yüksek maliyetli ve teknik bilgi ve beceri gerektiren uygulamalardır. Bu nedenle kalabalık gruplara uygulanma olanağı kısıtlıdır ve pratik kullanım değerleri düşüktür. Bu yöntemlere ek olarak VO_2 'ni ölçen portatif telemetrik sistemler de vardır. Her ne kadar sahada uygulanabilirliği varsa da günlük ve uzun süreli kullanım için uygun bir yöntem değildir (8). Bu sebeple uygulaması kolay ve daha pratik olan, kalp atım hızı (KAH) ve VO_2 ilişkisi üzerinden, VO_{2maks} ve enerji harcaması kestirimi gerçekleştiren yöntem geliştirilmiştir (8). Bu yöntemde de kişinin, bireysel VO_2 -KAH ilişkisinin belirleneceği bir laboratuvar testine girmesinin zorunlu olması, yöntemin verimini ve pratik kullanım değerini düşürmektedir. 2011 yılında, kalp atım hızı indeksi (KAH_{indeks}) adı verilen bir yaklaşımla submaksimal ve maksimal VO_2 'nin ve enerji harcamasının tahmin edilmesinde kullanılan bir yöntem geliştirilmiştir (9). Bir teste gereksinim duymayan, kolay uygulanabilen bu yöntem VO_2 ve KAH_{indeks} arasındaki ilişkiye dayanmaktadır. KAH_{indeks} , egzersiz sırasında ulaşılan kalp atım hızının dinlenik kalp atım hızına (KAH_{din}) oranından hesaplanmaktadır (9). Bu yöntemin geliştirildiği araştırma retrospektif bir çalışmadır ve 60 çalışmadan 220 veri kümesi kullanarak ($n=11257$), sporcu olmayan, klinik bir popülasyon üzerinde gerçekleştirilmiştir (9). 2012 yılında, siyah ve beyaz ırktan insanlar üzerinde yapılan bir çalışmada KAH_{indeks} yönteminin VO_{2maks} 'ı yüksek kestirdiği ortaya konulmuştur (10). Bir diğer çalışmada 5 farklı egzersiz test protokolünde ölçülen VO_2 değerleri ve KAH_{indeks} yöntemiyle hesaplanan VO_{2maks} değerleri karşılaştırılmıştır (11). Büyük bireysel kestirim hataları olmasına rağmen KAH_{indeks} yöntemi 5 farklı protokolden 3'ünde benzer VO_{2maks} değerleri kestirmiştir. Daha yakın bir zamanda rugby oyuncularında ve futbolcularda yapılan

çalışmaların sonuçları KAH_{indeks} 'nin atletik popülasyonda da submaksimal ve maksimal VO_2 ve buna bağlı olarak enerji harcamasının tahmin edilmesinde kullanılabileceğini göstermiştir (12, 13). Bir takım sporu olan rugbide $VO_{2\text{maks}}$ ortalaması $47,1 \pm 4,3 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$ olan sporcularda submaksimal VO_2 , $VO_{2\text{maks}}$ ve enerji harcamasının tahmin edilmesinde geçerli bir saha yöntemi olduğu rapor edilmiştir (12). Benzer şekilde $VO_{2\text{maks}}$ ortalaması $58,3 \pm 3,9 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$ olan 184 futbolcuda yapılan diğer çalışmada da KAH_{indeks} yönteminin submaksimal ve maksimal egzersizde VO_2 ve enerji harcamasının değerlendirilmesinde geçerli bir yöntem olduğu rapor edilmiştir (13).

$VO_{2\text{maks}}$, anaerobik eşikteki VO_2 'nin $VO_{2\text{maks}}$ 'ne yüzde oranı ve koşu ekonomisi dayanıklılık performansını belirleyen üç temel bileşendir ve birçok çalışmada her bir bileşenin dayanıklılık performansı ile yakın ilişki içerisinde olduğu gösterilmiştir (14). Bu nedenle uzun mesafe dayanıklılık sporcularında antrenman periyodu içerisinde $VO_{2\text{maks}}$ 'nin gözlenmesi ve takip edilmesi sporcunun yarışma periyodunda optimal düzeyde bir aerobik kapasiteye ulaşmasına olanak sağlar. Bunun yanında uzun mesafe dayanıklılık sporlarında performansı belirleyen bu üç temel bileşen vücut boyutlarından ve kompozisyonundan önemli derecede etkilenmektedir. Örneğin vücut ağırlığında fazladan her 1 kg'lık artış aerobik iş yükünde %1 artışa neden olarak egzersiz ekonomisini olumsuz yönde etkilemektedir (15). Böylece uzun mesafe dayanıklılık sporcularında antrenman periyotlamasının yanında sürdürülebilir bir enerji dengesi ve vücut kompozisyonunun sağlanması için beslenmenin de (enerji alımının) periyotlandırılması önem kazanmıştır (16). Yıllık antrenman periyodu içerisinde sporcunun vücut ağırlığı veya vücut yağ yüzdesinde %3-5 oranında dalgalanma ideal kabul edilmekte ve yarışma periyoduna ideal vücut kompozisyonu ile girilmesini kolaylaştırılmaktadır (16). Ancak bu durum antrenman periyodu içerisinde harcanan enerjinin kolay uygulanabilir ve objektif yöntemlerle belirlenmesini gerektirmektedir. İK her ne kadar altın standart bir yöntemse de pahalı ve ulaşılabilirliğinin kısıtlı olması ve saha şartlarında kullanımının sınırlı olması nedeniyle pratik kullanım değeri düşüktür. Buna karşılık KAH_{indeks} yöntemi hem $VO_{2\text{maks}}$ 'nin hem de submaksimal şiddetlerde enerji harcamasının değerlendirilmesinde pratik kullanım değeri yüksek bir yöntemdir. Daha önce rugby ve futbol oyuncularında $VO_{2\text{maks}}$ ve farklı şiddetlerde enerji harcamasının

değerlendirilmesinde geçerli olduğu gösterilmiş olan bu yöntemin üst düzey aerobik kapasiteye sahip dayanıklılık sporcularında VO_{2maks} 'nin ve submaksimal ve maksimal şiddetlerde enerji harcamasının tahmin edilmesinde kullanımı ilgili bir çalışma bulunmamaktadır.

1.1.Araştırmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı, dayanıklılık sporcularında VO_{2maks} 'nin ve farklı şiddette aktivite esnasında enerji harcamasının kestiriminde KAH_{indeks} yönteminin geçerliğini belirlemektir.

1.2. Problem

KAH_{indeks} yöntemi, dayanıklılık sporcularında VO_{2maks} ve farklı şiddette aktivite esnasında enerji harcaması tahmin edilmesinde kullanılabilir mi?

1.3. Alt Problemler

1. KAH_{indeks} yöntemi dayanıklılık sporcularında VO_{2maks} 'nin tahmin edilmesinde kullanılabilir mi?
2. KAH_{indeks} yöntemi dayanıklılık sporcularında:
 - a) Rezerv KAH 'nın (KAH_R) %72'sinden düşük şiddette
 - b) KAH_R 'nın %72-88 arasındaki orta şiddette
 - c) KAH_R 'nın %88'ini aşan şiddette egzersizler sırasında enerji harcamasının hesaplanmasında kullanılabilir mi?

1.4. Deneceler

1. Dayanıklılık sporcularında İK yöntemle ölçülen VO_{2maks} ile KAH_{indeks} yöntemi ile tahmin edilen VO_{2maks} arasında fark yoktur.
2. Dayanıklılık sporcularında:
 - a) KAH_R 'nın %72'sinden düşük şiddette
 - b) KAH_R 'nın %72-88 arasındaki orta şiddette
 - c) KAH_R 'nın %88'ini aşan şiddette egzersizler sırasında enerji harcamasının hesaplanmasında İK yöntemle ile KAH_{indeks} yöntemi arasında fark yoktur.

1.5. Sınırlılıklar

Bu çalışma erkek dayanıklılık sporcuları ve laboratuvar ortamında koşu bandı egzersizi ile sınırlıdır.

1.6. Sayıtlar

Bu çalışmaya katılan gönüllülerin şiddeti giderek artan koşu bandı testinde maksimal performans sergiledikleri kabul edilmiştir.

1.7. Araştırmanın Önemi

Dayanıklılık sporcuları yüksek antrenman hacmine sahip sporculardır. Ayrıca yılın farklı dönemlerinde antrenman hacimlerinde dalgalanmalar da gözlenmektedir. Performans gelişimi için antrenman sürekliliğinin sağlanması gerekir. Antrenman sürekliliğinin sağlanması için de sporcuların harcadıkları enerjinin yerine konulması zorunludur. Bu durum antrenmanın planlanmasının yanında beslenmenin de doğru bir şekilde planlanma ihtiyacını ortaya çıkarır. Sporcunun beslenmesini doğru bir şekilde planlamak, günlük olarak harcadığı enerjiyi doğru bir şekilde değerlendirmek mümkün olabilir. Enerji harcamasını doğru bir şekilde değerlendiren yöntemler mevcuttur. Ancak bu yöntemlerin pratikte kullanımı gerek maliyet gerekse de uygulamada ortaya çıkan zorluklardan dolayı kısıtlıdır. Enerji harcamasının değerlendirilmesinde ucuz, bilgi ve beceri gerektirmeyen pratik kullanım değeri yüksek bir yöntem, sürdürülebilir enerji dengesinin kurulmasında ve buna bağlı olarak vücut kompozisyonunun sabit tutulmasında kritik öneme sahiptir. Bu durumda pratik kullanım değeri yüksek olabilecek bir yöntemin sporcuların performans gelişimini sağlamak adına, enerji dengesinin sürdürülmesine büyük katkısı olabilir. Bu çalışmada enerji harcamasının değerlendirilmesinde ucuz, basit ve kullanıcı dostu alternatif bir yöntem olan KAH_{indeks} yönteminin dayanıklılık sporcularında submaksimal ve maksimal VO_2 ve enerji harcamasının tahmin edilmesinde geçerliğinin gösterilmesi; sporcuya, spor bilimleri alanında çalışan araştırmacılara, kondisyonerlere ve sporcu beslenmesi alanında çalışan beslenme uzmanlarına sürdürülebilir bir enerji dengesinin takip edilmesi konusunda yardımcı olacak, sporcunun antrenman periyodunun farklı dönemlerinde vücut kompozisyonunda ortaya çıkacak değişimleri minimale indirecek

ve böylece vücut kompozisyonundaki dalgalanmalara bağlı olarak performansın olumsuz yönde etkilenmesinin önlenmesi konusunda aydınlatıcı bilgiler verecektir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Dayanıklılık Fizyolojisi

Dayanıklılık, kas aktivitesi sırasında yorgunluk oluşumuna karşı direnebilme becerisidir. Aktivitenin metabolik özelliklerine bağlı olarak, aerobik, anaerobik laktik ve anaerobik alaktik olmak üzere farklı kategorilere ayrılan karmaşık bir fizyolojik beceridir (17).

Aerobik dayanıklılık, belirli bir aktiviteyi uzun süreli olarak sürdürebilme becerisidir. Aerobik dayanıklılık becerisinin yüksek olması, oksidatif enzim aktivitesinin, kapiller damar ve mitokondri yoğunluğunun ve kas içi substrat miktarının yüksek olduğu anlamına gelir (18). Bu adaptasyonlar, submaksimal egzersizlerde karbonhidrat ve yağın oksidasyonunda artışa neden olur ve buna bağlı olarak daha düşük miktarda laktik asit üretimi gerçekleşir (19). Uzun süreli atletik performansın sürdürülmesi, yalnızca kas içi substrat depolarının kullanılmasına değil, aynı zamanda vücudun diğer bölümlerindeki depo edilen besinlerin harekete geçirilmesine ve çalışan kaslara taşınmasına da bağlıdır. Bunun gerçekleşmesi için gereken oksijeni kaslara taşıırken, kardiyorespiratuar sistem aynı zamanda metabolizmanın ürettiği karbondioksit, ısı ve laktik asit gibi yan ürünleri de uzaklaştırabilmelidir (20).

VO_{2maks} , anaerobik eşik (performans sırasında, VO_{2maks} 'in kullanım yüzdesi) ve koşu (egzersiz) ekonomisi dayanıklılık performansını belirleyen 3 temel kriterdir (21).

2.1.1 VO_{2maks}

Yüksek şiddetli bir egzersizin sürdürülebilmesi için vücut tarafından kullanılabilen en yüksek oksijen değeri, VO_{2maks} olarak adlandırılmaktadır (14). Bir başka deyişle, büyük oranda kalbin çalışan kaslara oksijen taşıma özelliğine bağlı olarak, en yüksek seviyede oksidatif adenozin trifosfat (ATP) üretiminin sürdürülebilmesi için, kullanılan oksijen miktarı olarak tanımlanır (22). Yapılan egzersizin şiddeti arttıkça, kişinin oksijen tüketimi de artar. Ancak bir noktaya gelindiğinde egzersizin şiddeti artsa bile oksijen ihtiyacı artmasına rağmen, oksijen kullanımı artmamaktadır (23). Büyük kas gruplarının aktif olduğu egzersizler

sırasında, vücut VO_{2maks} değerine ulaşabilir. VO_{2maks} , akciğerin kanı oksijene doyurabilme becerisi, yüksek kalp debisi, hemoglobin konsantrasyonu, kanın kasa geçiş hızı ve kasın kandan oksijeni çekebilme becerisinin bütünsel olarak ortaya koyduğu bir üründür (14, 21, 24). VO_{2maks} , aerobik metabolizmanın üst sınırıdır (21). Bu durum, solunum-dolaşım sisteminin üst sınıra ulaşması ile ilgilidir (25).

VO_{2maks} 'ni değerlendirmenin birincil kriteri, egzersiz şiddetinin artışıyla beraber oksijen alımı grafiğinin plato yapmasıdır. Ancak VO_{2maks} ölçümü sırasında her zaman plato gözlemlenmek mümkün olmamaktadır (14). Bu durumda, kişinin VO_{2maks} değerinin belirlenmesi için ikincil kriterlere başvurulmaktadır. Ölçüm sırasında son iki iş yükü arasında 150 ml.dk^{-1} ($2.1 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$) oksijen tüketimi farkının ortaya çıkması, kanda ölçülen laktik asit miktarının 8 mmol ve üstünde olması, solunum değişim oranının (SDO) $1,15$ üstüne çıkması, katılımcının 17 ve üzerinde algısal zorluk derecesi (AZD) bildirmesi ve teorik maksimal kalp atım hızının (KAH_{maks}) %90'ı aşması, kişinin VO_{2maks} 'ne ulaştığını gösteren ikincil kriterler olarak kabul edilmektedir (26).

Kişinin kardiyovasküler dayanıklılığının göstergesi olarak kabul edilen VO_{2maks} , çeşitli faktörlerden etkilenmektedir. Antrenman ile arttırılabilen bir özellik olmasına rağmen, büyük oranda genetik faktörlerden etkilendiği düşünülmektedir (27). %40-66 oranında genetik faktörlerin, VO_{2maks} 'ni belirlediği düşünülmektedir (27). Astrand ve diğerleri (28), spor okulu öğrencilerinde 21 yıl ara ile aynı grubun VO_{2maks} değerlerini ölçmüşlerdir ve birinci ölçümden ikinci ölçüme yaklaşık olarak %20 azalma gözlemlenmiştir. Adı geçen çalışmanın bulguları VO_{2maks} 'nin yaşa bağlı olarak azaldığını göstermektedir. Elit dayanıklılık sporcularında VO_{2maks} değeri yüksektir (24). Bu durum, dayanıklılık sporcularında kardiyak çıktının (kalp debisinin) daha büyük olmasından kaynaklanmaktadır (22). Sedanter bireylerle karşılaştırıldığında, elit dayanıklılık sporcularında VO_{2maks} , 2 kata kadar çıkabilir. 20-30 yaş arası sedanter bireylerde VO_{2maks} değeri $45 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$ civarındadır. Erkek elit dayanıklılık koşucuları için bu değer $70-85 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$ aralığında değişmektedir (21, 24). Bazı kros kayakçı erkek sporcularda, $90 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$ üstünde değerler de gözlemlenmiştir (24). Yerçekimine karşı performans ortaya koyulan branşlarda, düşük vücut kütlelerine bağlı olarak mutlak VO_2 miktarı (L.dk^{-1}), VA'nın desteklendiği kürek gibi veya kol ve bacağın birlikte aktif olarak yapılan işe dahil olduğu kros kayak gibi

branşlara göre daha düşük miktarda ölçülmektedir (6 L.dk⁻¹ vs 7,5 L.dk⁻¹) (24). Kadın sporcular, erkek sporcularla karşılaştırıldığında yaklaşık olarak %15 daha düşük VO_{2maks} değerine sahip oldukları gözlemlenmiştir (24). Kadınlardan VO_{2maks}'nin daha düşük olması, yağ oranının daha yüksek ve hemoglobin düzeyinin daha düşük olması ile ilişkilidir (24). Ayrıca VO_{2maks} değeri, ölçümün yapıldığı ergometreye bağlı olarak da değişkenlik göstermektedir. Bisiklet ergometresinde, koşu bandına göre %7-13 arasında daha düşük bir VO_{2maks} değeri ölçülmektedir (29, 30).

Hill ve Lupton (23), iyi bir orta ve uzun mesafe koşusunda yüksek bir VO_{2maks} değerinin ön koşul olduğunu belirtmişlerdir. VO_{2maks}, geniş bir aralıkta değiştiği durumda dayanıklılık performansı ile anlamlı bir ilişki göstermektedir (24). Costill ve diğerleri VO_{2maks} değerleri 54,8 ile 81,6 ml.kg⁻¹.dk⁻¹ arasında değişen 16 sporcuda 10 mil (yaklaşık olarak 16 km) koşu süresi ve VO_{2maks} arasında negatif yüksek (r= -0,91) bir ilişki bulmuşlardır (31). Öte yandan, Costill ve diğerleri (32), VO_{2maks} dar bir aralıkta değişen, 27 maraton koşucusunda VO_{2maks} değerleri ile en iyi maraton süresi arasında anlamlı bir ilişki (r= 0,08) olmadığını gözlemlemişlerdir. Bu bulgular VO_{2maks}'nin, homojen olduğu gruplarda dayanıklılık performansının güçlü bir belirleyicisi olmadığını göstermektedir (24).

Kişinin kardiyovasküler dayanıklılığını göstermesi, aerobik antrenman etkisinin sıklıkla VO_{2maks}'ndeki değişim ile değerlendirilmesi ve antrenman planlanmasında kullanılıyor olması, VO_{2maks}'ni egzersiz fiziolojisi alanında çok yaygın olarak kullanılan bir fizyolojik parametre haline getirmiştir (14). Bununla beraber, VO_{2maks}'ni sınırlayan etmenlerin neler olabileceği de merak konusu olmuştur (14, 33, 34). Havadan alınan oksijenin kasa taşınması sürecinde (akciğerde, kalpte ve kanda) ve kasta enerji üretmek için kullanımına kadar geçilen her aşamanın VO_{2maks}'ni sınırlayabileceği düşünülmektedir (35). Deniz seviyesinden yükseklere çıkıldıkça oksijen tüketimindeki değişimi inceleyen çalışmalar, pulmoner sistemin belirli şartlar altında kısıtlayıcı olabileceğine yönelik kanıtlar ortaya koymuştur (36, 37). Faulkner ve diğerleri (36), yaptıkları çalışmada katılımcıların 3 grupta (2300 m, 3100 m ve 4300 m) deniz seviyesindeki değerleriyle karşılaştırdıklarında VO_{2maks} değerlerinde düşüş gözlemlemişlerdir (sırasıyla %13, %20 ve %29). Benzer şekilde, Daniels ve Oldridge (37), elit sporcularda akut etki olarak, 2300 m yükseltide VO_{2maks}'nde %14 düşüş raporlamışlardır. Bu durum, yükseklerde çıkıldıkça parsiyel oksijen basıncında düşüşe

bağlı olarak, arteriyel kanın oksijenlenmesinde azalma olmasından kaynaklanmaktadır. Ancak deniz seviyesinde arteriyel kanın oksijene doygunluğu ortalama bir birey için maksimal bir egzersiz sırasında bile %95 civarındadır (14). Buna karşın, iyi antrene edilmiş dayanıklılık sporcularının neredeyse yarısında, egzersizin şiddeti VO_{2maks} 'ne yaklaştıkça arteriyel kanın oksijenlenmesinde bir düşüş gözlemlenmektedir (38). Powers ve diğerleri (39), iyi ve ortalama düzeyde antrenman durumuna sahip katılımcılarda, hiperoksik ortamın oksijen tüketimine etkisini incelemişlerdir. %21 ve %26 oksijen oranına sahip ortamlarda elit sporcularda normoksik ortama göre hiperoksik ortamda VO_{2maks} 'nde (70,1'den 74,7'ye) arteriyel oksijen saturasyonunda (90.6'dan 95.9'a) artış gözlenmiştir. Diğer grupta, her iki değişkende de anlamlı bir farklılık bulunmamıştır. Antrenmanlı bireyler ile sedanter bireylerin VO_{2maks} değerlerinde gözlemlenen farklılaşmanın, büyük oranda kalp debisindeki farklılaşmadan kaynaklandığı bilinmektedir (14). Maksimal bir egzersiz sırasında arteriyel kandaki oksijenin büyük oranda kullanıldığı, yapılan çalışmalarda gösterilmiştir (40). Oksijenin arteriyel kandan yüksek düzeyde alınması ve kullanılması kişinin antrenman durumu ile ilgili değildir (35). Yatak istirahati ve antrenman etkisi (41) ve uzun süreli antrenman etkisi (42) çalışmalarında VO_{2maks} 'ndeki değişimlerin, çoğunlukla kardiyak çıktıdaki değişimden kaynaklandığı gösterilmiştir. Basset ve Howley (14) VO_{2maks} 'ndeki sınırlılığın %70-85 oranından kardiyak çıktıdan kaynaklandığını belirtmişlerdir. Oksijenin taşınmasında, kalbin dakikada pompaladığı kan miktarı gibi, kanın içeriğindeki hemoglobin miktarı da önemlidir. Elit dayanıklılık sporcularında, sedanter bireylere kıyasla %40 daha yüksek miktarda hemoglobin bulunur ve hemoglobin miktarı ile VO_{2maks} arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır (43). Kardiyak çıktı miktarını değiştirmeden, kanın hemoglobin miktarını arttırdığımızda kanın taşıdığı oksijen miktarının arttığı, kan dopingi çalışmalarında gösterilmiştir (44). Kanın oksijen taşıma kapasitesinin VO_{2maks} 'ni sınırladığı söylenebilir (14). Dayanıklılık antrenmanlarının kasta kapiller yoğunluğu (45) ve mitokondriyel enzim aktivasyonunu arttırdığı (46) yapılan çalışmalarda gösterilmiştir. Dayanıklılık sporcularındaki kapiller damar yoğunluğundaki artış, kan akışını arttırmaktan ziyade ortalama geçiş süresini uzatarak yüksek şiddetli bir egzersiz sırasında bile kandan oksijenin alınmasını kolaylaştırır (40). Mitokondriyel enzim aktivasyonundaki artış, Holloszy ve Coyle'ye (47) göre, yağ moleküllerinin

oksidasyonunda artışa sebep olur. Buna bağlı olarak, dayanıklılık performansında bir artışa neden olduğu söylenebilir. Saltin ve diğerleri (40), quadriceps kası için tüm vücut maksimal egzersiz ile tek bacak maksimal diz ekstansiyon egzersizinde, izole kasta geręekleşen kan akış miktarını karşılaştırmışlardır. Tek bacakla yapılan egzersiz sırasında kasa gelen kan miktarı, tüm vücut egzersiz sırasındaki kan miktarından 2-3 kat daha fazladır. Bu çalışma da göstermiştir ki, maksimal kardiyak çıktı VO_{2maks} 'ni sınırlayan temel faktördür (14).

2.1.2 Anaerobik Eşik

Anaerobik eşik kavramı, egzersiz sırasında kasta üretilen laktik asit miktarının, uzaklaştırılan laktik asit miktarını geçtiği metabolik hız olarak tanımlanır (48). İlk dönemlerde, egzersiz sırasında vücudun ihtiyacı olan enerjinin tümüyle aerobik yolla karşılanamadığı için anaerobik glikoliz ile desteklendiği ve buna bağlı olarak laktat üretiminde ani artışın geręekleştięi ve birikimin başladığı oksijen tüketim düzeyini belirten nokta olarak tanımlanıyordu (49). Laktat üretiminin oksijen olmadığı ortamda geręekleştięi düşünülüyordu, ancak mutlak aerobik ortamda da hücrede laktat üretimi olduğu artık bilinmektedir (50). Anaerobik eşik noktasında, laktat üretimi ile üretilen laktatın uzaklaştırılması eşit olarak kabul edilmektedir (51, 52).

Anaerobik eşik kavramı; kavramı açıklayan mekanizma, anaerobik eşiğin fizyolojik parametre olarak belirlenmesi ve anaerobik eşiği belirleyen testlerin güvenilirlik geğerliği ve uygulamada kullanımını gibi pek çok konuda tartışmalı bir kavramdır (53). İnvaziv ve invaziv olmayan yöntemler olarak sınıflandırılmış aerobik – anaerobik geçiş noktasını tanımlayan 25'ten fazla kavram ortaya atılmıştır (54).

Wasserman ve McIlroy (55), tarafından, karbondioksit (CO_2) üretimindeki artışa bağlı olarak ortaya çıkan SDO artışındaki kırılma, anaerobik eşik olarak tanımlanmıştır. Kanda laktik asidin artması ve oksidatif fosforilasyona ek olarak, bikarbonatın laktik asidi tamponlaması ile kanda ortaya çıkan CO_2 , anaerobik metabolizmanın baskın olduğu şekilde yorumlanmıştır. 1973 yılında, Wasserman ve diğerleri (56), dakika ventilasyonundaki kırılmanın anaerobik eşiği belirlediğini gösteren bir çalışma ortaya koymuştur. Bu nokta aynı zamanda solunumsal eşik olarak da tanımlanmaktadır (57). Solunumsal eşiği değerlendirmek için, VO_2 , pulmoner

ventilasyon (V_E), SDO, karbondioksit üretimi (V_{CO_2}), ve oksijenin solunum eşdeğeri (V_E/VO_2) parametreleri farklı araştırmacılar tarafından kullanılmıştır (57). Solunumsal eşiği, etkileyen olası mekanizmalar olarak, karotid cismin CO_2/H^+ ile uyarılması, solunum mekaniği, sıcaklık etkisi ve iskelet kasının sinirsel uyarımı öne çıkmaktadır (53).

Conconi ve diğerleri, (58) anaerobik eşiği belirleyebilmek için invaziv olmayan bir saha testi geliştirmişlerdir. Koşu hızı ile kalp atım hızı arasında submaksimal hızlarda doğrusal bir ilişki olduğu ve anaerobik ATP üretimi ile bu doğrusallığın bozulduğu düşünülerek, bu nokta anaerobik eşik olarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmada, kalp atım hızındaki doğrusal artışın bozulduğu noktanın anaerobik eşik ve uzun mesafe performansı ile arasında ilişki olduğu gösterilmiştir (58). Solunum ve kalp atım hızı üzerinden değerlendirme yapmaktaki amaç kan örneği almadan, anaerobik metabolizmanın başlangıç noktasını belirlemektir. Bunların yanında, artan şiddette bir egzersiz testi sırasında parmaktan ya da kulak memesinden kan örneği alarak, kan laktat düzeyine bakılmaktadır. Test sırasında kan laktat eğrisi, üstel bir artış göstermektedir (54). Bazı araştırmacılar, kan laktat eğrisinde iki ayrı kırılma noktası üzerinden değerlendirme yapmıştır (laktat eşiği 1 ve laktat eşiği 2) (54, 59). Birinci eşik, artan şiddette bir egzersiz sırasında, laktat düzeyinin dinlenik durumun üzerine çıkmasını tanımlarken, ikinci eşik laktat miktarındaki artışta ani bir kırılmayı tanımlamaktadır. Kan laktat düzeyinde anlamlı bir artış olduğu nokta anaerobik eşik olarak değerlendirilmektedir (52). Dinlenik laktat seviyesinin 0.2 mmol, 0.5 mmol (54) ve 1 mmol (OPLA) (60) üstü plazmada laktat birikiminin başlangıç noktası olarak değerlendirilmiştir. Kan laktat miktarı, iş yüküne veya VO_2 'ye bölünerek elde edilen en düşük değer, en düşük laktat eşdeğeri (Minimum Lactate Equivalent), aerobik eşik noktası olarak değerlendirilmiştir (54). Maksimal Laktat Denge Durumu (Maximal Lactate Steady State, MLSS), laktat üretimi ile üretilen laktatın uzaklaştırılmasının dengede olduğu durumu tanımlamaktadır ve anaerobik eşiğin eşdeğeridir (52). MLSS'ye denk gelen noktayı bulabilmek için belirli şiddetlerde, en az 20 dk süren (61) çok sayıda sabit yüklü test uygulanmaktadır. Bu nedenle uygulaması zordur. Tegtbur ve diğerleri (62), laktik asidoz durumunda olan bir kişinin, artan şiddette egzersiz sırasında en düşük laktat seviyesine ulaştığı hızı (Lactate Minimum Speed), laktik asit üretimi ile

uzaklaştırılmasının dengede olduğu durum olarak değerlendirilmiştir. Bu noktanın MLSS'nu teorik olarak verdiği düşünülmektedir. Bu test, 2 kısa süreli yüksek şiddetli efor, sonrasında 8 dk'lık aktif dinlenme periyodu ve devamında artan şiddette egzersiz testi ile tamamlanmaktadır. Stegman ve diğerleri (51), tek bir test ile laktatın kana difüzyonu ile laktatın kandan uzaklaştırılmasının eşit olduğu şiddeti bulmak için Bireysel Anaerobik Eşik (Individual Anaerobic Threshold) kavramını ortaya atmışlardır. Artan şiddette bir egzersiz testi sonunda, kişinin pasif toparlanma sırasında, test sonundaki laktik asit değerine ulaştığı noktadan, test sırasında oluşan laktat konsantrasyon eğrisine teğet çizilen doğrunun eğri ile kesiştiği nokta anaerobik eşik olarak değerlendirilmiştir. Cheng ve diğerleri (63), laktat eğrisindeki ani kırılmayı nesnel bir yöntemle göstermek için, Dmax yöntemini geliştirmişlerdir. Laktat eğrisinin, başlangıç ve bitiş noktaları arasında çizilen doğruya, en uzak olduğu noktanın laktat konsantrasyonundaki ani artışı gösterdiği ortaya konmuştur. Bunun dışında, 2 mmol, 2,2 mmol (64), 2,5 mmol, 3 mmol ve 4 mmol (54, 64) sabit laktat değerleri anaerobik eşik ile ilişkilendirilmiştir. 4mmol laktat değeri, Sjodin ve Jakobs (65) tarafından kanda laktik asit seviyesindeki ani artış noktası olarak değerlendirilmiştir (OBLA). Sabit laktat değerlerine göre eşik belirlemek bireysel farklılıkların göz ardı edilmesine sebep olurken, diğer tanımlara göre eşik belirlenirken gözlemciye bağlı hataların oranının arttığı görülmektedir (59).

Anaerobik eşik ile dayanıklılık performansı arasındaki ilişkiyi gösteren birçok çalışma yapılmıştır. Kumagai ve diğerleri (66), anaerobik eşik ile 5000 m, 10000 m ve 10 mil performansı arasında yüksek ilişki olduğunu ortaya koymuştur (sırasıyla $r = -0,945$, $r = -0,839$, $r = -0,835$). Farrell ve diğerleri (60), erkek uzun mesafe koşucularında 3,2 km, 9,7 km 15 km, 19,3 km ve maraton mesafelerinde koşu performansı ile OPLA'ya karşılık gelen koşu hızı arasında $r \geq 0,91$ ve OPLA'ya karşılık gelen VO_2 arasında $r \geq 0,85$ ilişki bulmuştur. Sjodin ve Jakob (65), yaptıkları çalışmada OBLA'ya karşılık gelen hızın çoklu regresyon analizinde maraton performansının %92'sini açıkladığını ortaya koymuştur.

2.1.3 Koşu Ekonomisi

Dayanıklılık performansını belirleyen faktörlerden üçüncüsü koşu ekonomisidir. Koşu ekonomisi, sabit bir hızda koşarken, ihtiyaç duyulan enerjinin göstergesidir (67). Enerji harcamasının değerlendirilmesinde anaerobik metabolizmanın katkısını belirlemek kolay olmadığından, koşu ekonomisi, genellikle submaksimal hızlarda, oksijen tüketimi denge durumunda iken değerlendirilmektedir (68). Böylece, koşu ekonomisi, belirli bir hızda tüketilen, denge durumundaki oksijen miktarı olarak tanımlanmaktadır (69, 70).

Koşu ekonomisi, genellikle laboratuvar ortamında, koşu bandı üzerinde gerçekleştirilen sabit tempolu koşular ile belirlenir. Sporcu, vücudun fizyolojik denge durumuna gelebilmesi için yeterli uzunlukta bir süre koşturulur (3-15 dk) (15). Literatürde, 12-21 km.s⁻¹ hızlar arasında çeşitli hızlarda koşu ekonomisinin belirlendiği görülmekle birlikte, çoğunlukla 16 km.s⁻¹ hızda değerlendirilir (15). Elit sporcularda VO_{2maks}'ın %85'inden daha düşük koşularda güvenilir ölçümler alınabilmektedir (15). Dakikada VA'nın kilogramı başına düşen VO₂ (ml.kg⁻¹.dk⁻¹) veya kilometrede VA'nın kilogramı başına düşen VO₂ (ml.kg⁻¹.km⁻¹) olarak ifade edilir (71). Ancak, VO₂, VA ile orantılı olarak artmadığından, doğru bir değerlendirme yapabilmek için, farklı gruplar karşılaştırılırken, oksijen tüketimi (koşu ekonomisi) VA'nın 0.75 veya 0.66 kuvvetine oranlanmaktadır (ml.kg^{0.75/0.66}.km⁻¹) (72).

Koşu ekonomisi, verimlilik ile ilişkilidir (21). Harcanan enerji karşılığında yapılan iş, verimliliğin göstergesidir ve daha iyi koşu ekonomisine sahip sporcular aynı koşu hızında diğerlerine göre daha az enerji harcarlar (67). Benzer VO_{2maks} değerlerine sahip sporcularda, uzun mesafe performansı ile koşu ekonomisi arasında kuvvetli bir ilişki vardır (15). Conley ve Krahenbuhl (69), yaptıkları çalışmada benzer oksijen tüketim değerlerine sahip ve aerobik kapasitesi yüksek olan 12 sporcuyu incelemişlerdir. VO_{2maks} değerleri ve belirli hızlarda (241, 268 ve 295 m.dk⁻¹) tüketilen oksijen miktarları ile 10 km yarış performansının ilişkilendirildiği bu çalışmada, VO_{2maks} ile koşu performansı arasında düşük (r= -0,12, p= 0,35), koşu ekonomisi değerleri ile koşu performansı arasında yüksek (sırasıyla r= 0,83, 0,82 ve 0,79; p< 0,01) ilişki olduğu gösterilmiştir. VO_{2maks} değerleri farklı olan 20 elit ve 8 iyi antrenmanlı koşucunun (sırasıyla 79 ml.kg⁻¹.dk⁻¹, 69 ml.kg⁻¹.dk⁻¹) submaksimal

oksijen tüketimleri karşılaştırıldığında, elit sporcuların, diğerlerine göre daha iyi koşu ekonomisine sahip oldukları görülmüştür (73).

2.2 Dayanıklılık Sporlarında Enerji Harcaması

Dayanıklılık sporcularında aktivite sırasında ve günlük toplam harcanan enerjinin bilinmesi, sporcu için antrenman ve beslenmenin planlanması ve enerji dengesinin sağlanması açısından oldukça önemlidir. Vücudun ihtiyacı olan enerjinin gereğinden fazla ya da az alınması durumunda, enerji dengesi bozulmaktadır ve buna bağlı olarak vücut kütlelerinde ve vücut kompozisyonunda istenmeyen değişim ve performansta bozulma ortaya çıkabilmektedir (74). Vücut kütlelerinde artma ya da azalmanın gerekli olduğu dönemler dışında, sporcular günlük toplam harcadıkları enerjiyi karşılamalıdır (75).

Günlük toplam enerji harcaması, yaşamsal faaliyetlerin sürdürülebilmesi için ihtiyaç duyulan enerji, besinlerin termik etkisi ve gün içerisinde gerçekleştirilen fiziksel aktiviteler sırasında harcanan enerjinin toplamından oluşmaktadır (2, 75). Yaşamsal faaliyetlerin sürdürülebilmesi için gerekli olan enerji, yani bazal metabolik hız, sedanter bireylerde günlük harcanan enerjinin %60-75'ine denk gelirken, sporcularda veya fiziksel olarak aktif bir yaşam biçimine sahip bireylerde %50'sine karşılık gelmektedir (76). Besinlerin vücuda alınması ve enerjiye dönüştürülmesi için harcanan enerji günlük enerji ihtiyacının yaklaşık olarak %10'una denk gelmektedir (2). Günlük fiziksel aktivite sırasında harcanan enerji sporcularda antrenman planlamasına göre, toplam harcamanın %20-56'sına karşılık gelmektedir (74).

Toplam enerji harcamasındaki kişiler arası farklılaşmanın en önemli nedeni fiziksel aktivite sırasında harcanan enerjidir (77). Fiziksel aktivite sırasında harcanan enerji, VA'na ve aktivitenin türüne göre değişir (77). Aktivitenin türüne göre dayanıklılık sporcularının, antrenman hacmi de farklılaşmaktadır. Elit uzun mesafe koşucularının, haftalık 10-16 birim antrenman ile 200 km civarında koşu gerçekleştirdikleri bildirilmiştir (78). Bir diğer çalışmada, oryantiring sporcularının, yıllık 700 saate kadar antrenman yaptıkları belirtilmiştir (79). Öte yandan bisikletçiler yıllık 30000 km civarında ve yaklaşık 600 saat antrenman yaparken (80, 81), kürek (82) ve ultra-triathlon (83) gibi branşlarda yıllık 1200 saat antrenman hacmine

ulaşılabilir. Fraczek ve diğerleri (74) tarafından yapılan çalışmada farklı spor dallarında dayanıklılık sporcularının günlük toplam enerji harcaması kalp atım hızı-VO₂ ilişkisi üzerinden kestirilmiş ve kadın sporcularda 3201 ± 533 kcal, erkek sporcularda 4518 ± 717 kcal olarak belirtilmiştir. Sjödın ve diğerleri (84) kros kayakçılarda sezon öncesi çifte etiketli su yöntemiyle günlük toplam enerji harcamasını değerlendirmiş ve kadın sporcularda 4370 ± 525 kcal, erkek sporcularda 7215 ± 1003 kcal olarak rapor etmişlerdir. Hill ve Davies (85) çifte etiketli su yöntemiyle hafif sıklet kadın kürekçilerde 3957 ± 1219 kcal günlük enerji harcaması rapor etmişlerdir. Yine, Hagerman ve Hagerman, ağır sıklet kürekçilerde kalp atım hızı-VO₂ ilişkisi üzerinden kadınlarda günlük 3177 ± 104 kcal, erkeklerde ise 4170 ± 99 kcal enerji harcaması kestirmişlerdir (85). Antrenman hacminin yüksek olmasından kaynaklı olarak dayanıklılık sporcularında enerji harcaması da yüksektir (86).

Yıllık antrenman planlaması içinde, antrenmanın dönemlere ayrıldığı ve bununla birlikte dönemsel olarak antrenman hacminde ve şiddetinde de farklılaşmalar gözlenmektedir (79, 80). Yıllık antrenman süreci; genel hazırlık dönemi, yarışma dönemi ve geçiş dönemi olarak planlanmaktadır (87). Her dönemin antrenman hacim ve şiddetinde, antrenman döneminin hedef kazanımına göre, önemli farklılıklar gözlemlenir ve buna bağlı olarak enerji harcamasında da değişim gözlemlenir (2). Yarışma öncesi tapering döneminde (%41-60) (88) ve sonrasındaki geçiş döneminde antrenman hacminde önemli oranda azalma görülür (2, 79). Heydenreich ve diğerleri (2) dayanıklılık sporcularında enerji harcaması üzerine yaptıkları derleme çalışmasında, yarışma döneminde enerji harcamasını 9869 ± 4129 kcal ve hazırlık döneminde 4345 ± 1062 kcal olarak rapor etmişlerdir. Bulgular, dayanıklılık sporcularında enerji harcamasının antrenman dönemlerine göre önemli ölçüde değiştiğini göstermektedir.

Ultra dayanıklılık gerektiren organizasyonların artması ile beraber, bu sporcuların yarışmalar sırasındaki fizyolojik ve metabolik ihtiyaçlarının belirlenmesi de önem kazanmıştır (89). Yarışma sırasında beslenme stratejilerinin belirlenmesi bu tarz uzun süreli etkinliklerde iyi bir performans açısından oldukça önemlidir (90). Tour de France gibi haftalarca süren birçok farklı aşamadan oluşan, bir organizasyonda günlük enerji harcaması bazal metabolik hızın 3,5-5,5 katına çıkabilmektedir (86). Sporcular günlük 8000 kcal enerji harcamasını 3 haftadan fazla sürdürebilmektedir

(86). 24 saatlik bir ultra maratonda, 25 erkek koşucunun günlük enerji harcaması 13140 ± 2628 kcal olarak belirtilmiştir (89). Bu çalışmanın bulguları, Heydenreich ve diğerleri (2) tarafından yapılan derleme çalışmada, raporlanan en yüksek günlük enerji harcaması olarak değerlendirilmiştir.

2.2.1 Orta-Uzun Mesafe Atletleri ve Oryantiring Sporcularında Günlük Enerji Gereksinimi

Koşu, VA'nın yer çekimine karşı taşınımını gerektiren bir aktivitedir. VA'nın kilogramı başına VO_2 ($ml.kg^{-1}.dk^{-1}$), vücut kütesinin uzun süreli taşındığı aktivitelerde performansın tanımlayıcısıdır (91). Aktivite sırasında taşınması gereken ve mutlak VO_{2maks} değerine katkısı olmayan yağ dokunun (91), yapılan işin oksijen maliyetini arttırdığı ve dayanıklılık performansına olumsuz etki ettiği bilinmektedir (92). Bu nedenle mesafe koşucularında, genellikle, düşük VA ve düşük oranda vücut yağı gözlenmektedir (2). Fudge ve diğerleri (93), Kenyalı erkek orta ve uzun mesafe koşucularında yaptıkları bir çalışmada sporcuların ortalama 56 kg VA'na, %7,1 vücut yağ yüzdesine (VYY) ve 18,1 beden kütle indeksine (BKİ) sahip olduğunu rapor etmişlerdir. Danimarkalı erkek orta ve uzun mesafe koşucuları ile oryantiring sporcularının karşılaştırıldığı bir çalışmada, sporcuların, sırasıyla, 68 kg ve 67 kg VA %9,5 ve %10,4 VYY'ne sahip oldukları belirtilmiştir (94). Düşük VYY ve VA, koşucular için daha iyi bir hareket ekonomisi ve düşük deri altı yağ dokusuna ve VA – yüzey alanı oranına bağlı olarak daha iyi bir termoregülasyon yetisi sağlamaktadır (2). Dayanıklılık koşucularında, bu durumu sağlayabilmek için planlanan beslenme stratejisi, negatif enerji dengesinin oluşmasına sebep olabilir. Kadın sporcularda genellikle, beden algısı nedeniyle ve yüksek performansı sürdürülebilirliği amacıyla, vücut kompozisyonunu kontrol edebilmek için düşük enerji alımına yatkınlık olduğu bilinmektedir (95). Erkek sporcularda da benzer bir eğilim olduğunu gösteren çalışmalar mevcuttur (96, 97). Bu durum, performansta düşüş, fiziksel toparlanmanın gecikmesi, kemik mineral yoğunluğunda azalma, yeme bozuklukları, kadınlarda menstrual döngüde bozulma ve bozulmuş üreme fonksiyonu, erkeklerde hipogonadizm gibi sorunların ortaya çıkmasına neden olabilir (97). Bu nedenle enerji harcamasının doğru değerlendirilmesi gerekmektedir.

Kenyalı orta ve uzun mesafe koşucularında yarışma öncesi dönemde çifte etiketlenmiş su yöntemi kullanılarak yapılan bir çalışmada günlük enerji harcaması 3490 kcal olarak belirtilmiştir (93). Fiziksel aktivite oranı üzerinden günlük enerji harcamasının değerlendirildiği bir başka çalışmada, yine Kenyalı orta ve uzun mesafe koşucularında yarışma öncesi dönemde 3605 kcal günlük enerji harcaması rapor edilmiştir (96). Japon mesafe koşucularında günlük aktivitenin akselerometre, egzersiz sırasında harcanan enerjinin KAH-VO₂ ilişkisi üzerinden değerlendirildiği çalışmada günlük enerji harcaması 3927 kcal olarak kestirilmiştir (97). Oryantiring sporcularının enerji harcaması üzerine çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Bununla beraber kadın oryantiring sporcularında çifte etiketlenmiş su yöntemiyle günlük enerji harcamasının değerlendirildiği bir çalışmada bu sporcuların enerji harcamasının (2725 kcal.gün⁻¹) dayanıklılık koşucularına benzer olduğu rapor edilmiştir (98). Erkek sporcular ile ilgili günlük enerji harcamasının değerlendirildiği bir çalışma yoktur ancak Danimarkalı orta ve uzun mesafe koşucuları ile oryantiring sporcularının haftalık antrenman saati, fiziksel ve fizyolojik özelliklerinin benzerlik gösterdiği belirtilmiştir (94).

2.3 VO_{2maks} Ölçüm Yöntemleri

VO_{2maks}, kardiyorespiratuar dayanıklılığın değerlendirilmesi için en önemli parametredir. Kardiyo pulmoner sistem ile doğrudan ilişkisi olmasından dolayı sporcu popülasyonunda olduğu gibi, klinik popülasyonda da değerlendirilmektedir (99). Bu bakımdan gerek antrenörler tarafından antrenman planlaması ve antrenman etkisinin takibi, gerekse klinik ortamda belirli popülasyonlar hakkında tanısal ve prognostik bilgiler sağlanması için sıklıkla ölçüldüğü bilinmektedir (100).

VO₂, İK yöntemle (gaz analizörü) ölçülebildiği gibi, çeşitli tahmin yöntemleri kullanılarak hem laboratuvarında hem de sahada belirlenebilmektedir (101). Genç ve sağlıklı bireylerde, genellikle maksimal performans sergileme konusunda motivasyonel problemlerle karşılaşmadığından test protokolünden bağımsız olarak güvenilir VO_{2maks} değerlerine ulaşılabilir (100). Maksimal performans ortaya koymanın zor ve riskli olduğu klinik popülasyonlar için submaksimal testler üzerinden kestirim yapılmaktadır (99). Ayrıca direk ölçümler için gerekli olan ekipmanlara, eğitilmiş personele ulaşmak çok kolay olmadığı gibi, kalabalık gruplar için

uygulanabilirliği de düşüktür (102). Bu nedenle de VO_{2maks} 'ın değerlendirilmesi için geliştirilmiş çeşitli saha testleri mevcuttur (103).

2.3.1 Direk Ölçüm Yöntemleri

VO_{2maks} , farklı ergometrelerde, çeşitli protokoller kullanılarak, aşamalı artan iş yüküyle gerçekleştirilen maksimal bir test sırasında, kişinin ekspirasyon havasının doğrudan analizi yoluyla objektif ve güvenilir olarak ölçülebilir (103). İlk olarak, Hill ve Lupton (23) tarafından, kişinin ekspirasyon havasının bir torba (Douglas torbası) içine alınarak, gaz analizörü yardımıyla, egzersiz sırasında kullandığı oksijen miktarının ölçülmesi ve iş yükü artırılmasına rağmen, belli bir yükten sonra kullanılan oksijen miktarının sabit kaldığının ortaya konulması ile VO_{2maks} kavramı tanımlanmıştır. Bu yöntem, Douglas torbası yöntemi olarak adlandırılmaktadır ve oksijen tüketiminin direk olarak ölçüldüğü altın standart yöntem olarak kabul edilmektedir (104). Bu yöntemle, aşamalı olarak artan sabit iş yükleri ve her iş yükünün birkaç dakika sürdüğü ve aralarında dinlenme sürelerinin verildiği kesikli protokoller ile VO_{2maks} belirlenmektedir (100). Bu yöntem hem çok zaman alan hem de uygulaması zor bir yöntemdir. 1970'lere gelirken yarı otomatik ve otomatik sistemler geliştirilmiştir (105). Bugün artık ekspirasyon havasının doğrudan gaz analizörüne aktarıldığı her nefeste ölçüm yapabilen elektronik gaz analizörlü bilgisayarlı sistemler kullanılmaktadır (105). Dahası, laboratuvar ortamının dışında da doğrudan ölçüm yapılmasını sağlayan portatif sistemler de mevcuttur (106). Yeni teknoloji ile birlikte, iş yükleri arasında dinlenme gerektirmeyen ve daha kısa sürede tamamlanabilen sürekli test protokolleri uygulanabilmektedir (100).

VO_{2maks} 'ni belirlemek için kullanılan artan iş yüklü egzersiz testleri, araştırmacının amacına ve katılımcının özelliklerine göre, yöntemsel olarak iş yükü artışı ve süresi bakımından önemli farklılıklar göstermektedir (107). İş yükü artışı, hız artışı ya da eğim artışı ile sağlanabildiği gibi hem hız hem de eğim artışının birlikte gerçekleştirildiği protokoller de vardır (108). Belirli sürelerde belirli bir miktarda iş yükü artışının gerçekleştirildiği basamaklı artan şiddette iş yükü protokolleri veya iş yükü artışının belirli bir süre içerisinde belirli bir miktarda doğrusal olarak arttırıldığı rampa protokolleri araştırmacılar ve klinisyenler tarafından tercih edilebilmektedir (109). VO_{2maks} 'ni belirlenirken, aynı zamanda laktik asit ölçümü de yapıyorsa her iş

yükü için daha uzun süreye ihtiyaç duyulur buna karşın belirlenen tek parametre VO_{2maks} ise katılımcı lokal yorgunluğa girmeden testi sonlandırmalıdır (107). VO_{2maks} 'ni doğru bir şekilde belirlemek için ideal test sürenin 8-12 dk arasında olması gerektiği belirtilmiştir (110). VO_{2maks} ölçümü için farklı ergometrelerde testler gerçekleştirilebilmesine rağmen, yaygın olarak koşu ve bisiklet ergometreleri tercih edilmektedir (111). Koordinasyon ve ortopedik sınırlılıkları olan katılımcılar için bisiklet ergometresi tercih etmek, güvenli bir test ortamı yaratabilmektedir (111).

Pollock ve diğerleri (112) 51 sağlıklı erkek katılımcıda yaptıkları bir çalışmada (22 aktif, 29 sedanter) Balke protokolü, Bruce protokolü, Ellestad protokolü ve Uyarlanmış Astrand protokolünü içeren 4 farklı artan şiddette egzersiz testinde VO_{2maks} değerlerini benzer bulmuşlardır. Onbeş katılımcıya 9 hafta içinde, 3 haftalık periyodlarla, 3'er defa Bruce, Balke ve Taylor protokollerinin uygulandığı bir başka çalışmada da test tekrarları arasında VO_{2maks} değerlerinde fark olmadığı ama kesintili bir protokol olan Taylor protokolünün diğer protokollerden daha yüksek VO_{2maks} değeri verdiği saptanmıştır (113). Öte yandan Balke ve Taylor protokolleri, Bruce protokolüne göre daha uzun sürmektedir. Bu anlamda klinik hastalarda uygulanmaları çok kolay değildir (113). Taylor protokolünün koşucular için uygun olduğu düşünülmektedir (103).

Rampa protokolleri ile basamaklı protokollerin karşılaştırıldığı bir başka çalışmada Myers ve diğerleri (114), 40 katılımcıya bisiklet ve koşu ergometresinde 3'er farklı protokol (25 W, 50 W, Rampa – Bruce, Balke, Rampa) uygulamışlardır. Bisiklet ve koşu ergometrelerinde kendi içerisinde VO_{2maks} değerleri arasında minimal farklılıklar bulunurken, bisiklet ergometresinde gerçekleştirilen protokollerde, koşu ergometresine göre, literatüre uyumlu bir şekilde, %18 daha düşük VO_{2maks} değerlerine ulaşılmıştır. Buna karşın, oksijen kinetikleri incelendiğinde rampa protokollerinin basamaklı artan protokollere göre iş yükü – VO_2 artışının daha dengeli olduğu gözlenmiştir.

Son yıllarda, önceden tanımlanmış iş yükleri yerine katılımcının kendisi tarafından belirlenen iş yüklü testlerin (Self Paced VO_{2max} Test, SPV), standart artan şiddette iş yüklü testlere (Graded Exercise Test, GXT) alternatif olabileceği konusunda çalışmalar yapılmaktadır. Mauger ve diğerleri (115), 14 antrenmanlı koşucu ile yaptıkları çalışmada, koşuculara SPV ve GXT uygulamışlardır. SPV, 5 x 2 dakikalık

bir test olup, motorize olmayan koşu ergometresinde gerçekleştirilmiştir. Katılımcılar koşunun şiddetini AZD üzerinden, 11, 13, 15, 17 ve 20 zorluk derecelerinde olacak şekilde ayarlamışlardır. Çalışmanın sonucunda, sırasıyla $64,4 \pm 7,3 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$ ve $61,3 \pm 7,3 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$ ortalama $\text{VO}_{2\text{maks}}$ değerlerine ulaşılmış olup, anlamlı bir farklılık gözlenmiştir. Bir başka çalışmada, Hogg ve diğerleri (116), GXT, $\text{SPV}_{\text{hız}}$ ve $\text{SPV}_{\text{eğim}}$ olacak şekilde 3 ayrı protokolü iyi antrenmanlı dayanıklılık koşucularında karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda, GXT ile $\text{SPV}_{\text{hız}}$ arasında ulaşılan $\text{VO}_{2\text{maks}}$ bakımından anlamlı bir farklılık gözlenemezken, $\text{SPV}_{\text{eğim}}$ protokolünde diğer iki protokole göre anlamlı olarak yüksek $\text{VO}_{2\text{maks}}$ değerine ulaşılmıştır. İlerleyen zamanlarda yapılacak olan çalışmalar iş yükünün katılımcının kendisi tarafından belirlendiği testler ile ilgili daha kesin bilgilere ulaşmayı sağlayacaktır.

2.3.2 Tahmin Yöntemleri

İK yöntem kullanılarak $\text{VO}_{2\text{maks}}$ testleri ile, ölçümler yapılarak doğru sonuçlar alınabilir ancak çeşitli nedenler bu yöntemin uygulanabilirliğini zorlaştırmaktadır. Testler için gerekli olan ekipmanın pahalı olması ve bu ekipmanlara ulaşılabilirliğin zor olması, testi gerçekleştirecek eğitimli personele ihtiyaç duyulması, test ile bir defada yalnız bir katılımcının ölçülebilmesi ve katılımcıların maksimal zorlanma yaşamalarının gerekliliği, bu nedenlerden bazılarıdır (117). Bu zorluklar, araştırmacıları $\text{VO}_{2\text{maks}}$ 'ni kestiren yöntemler geliştirmeye yöneltmiştir. $\text{VO}_{2\text{maks}}$, submaksimal veya maksimal testlerle, saha veya laboratuvar ortamında tahmin edilmeye çalışılmaktadır (101). Bunların dışında, cinsiyet, yaş, VA, BKİ vb. değişkenlerle, kişilere herhangi bir egzersiz yaptırmadan $\text{VO}_{2\text{maks}}$ 'ni tahmin etmeye çalışan yöntemler de geliştirilmiştir (103).

$\text{VO}_{2\text{maks}}$ 'ni kestiren indirekt yöntemler, genellikle KAH ile VO_2 arasındaki doğrusal ilişkiyi ya da güç çıktısı ile VO_2 arasındaki doğrusal ilişkiyi temel almaktadır (102). Belirli bir sürede yapılan toplam iş ile VO_2 arasında veya yapılan işin şiddeti ile VO_2 arasında ilişki kurarak, $\text{VO}_{2\text{maks}}$ tahmin edilmeye çalışılmaktadır (102). Koşu ergometresi, bisiklet ergometresi veya step testleri ile $\text{VO}_{2\text{maks}}$ tahmini yapan testler vardır.

Laboratuvar Yöntemleri

VO_{2maks} 'nin direk olarak ölçülmesi için iyi donanımlı bir laboratuvara ihtiyaç olduğu ve kalp rahatsızlığı yaşayan kişiler için de aerobik kapasitenin submaksimal bir iş yükü ile değerlendirilmesi ihtiyacını göz önünde bulundurarak, Astrand ve Ryhming (118) VO_{2maks} 'ni kestiren bir nomogram geliştirmişlerdir. 20-30 yaş arası sağlıklı ve antrenmanlı bireylerden alınan verilerle yapılan çalışmada, koşu ergometresi, bisiklet ergometresi veya basamak testi ile submaksimal iş yükü ve KAH üzerinden kişinin aerobik kapasitesinin belirlenebileceği bir yöntem ortaya koymuşlardır. Bisiklet ergometresinde 6 dakika sabit iş yükünde (kadınlar için 600 kgm, erkekler için 900 kgm) gözlenen KAH değerinden, geliştirilen nomogram yardımı ile VO_{2maks} ($L.dk^{-1}$) kestirilmektedir. 1960 yılında, Astrand yaş grupları için düzeltme faktörü geliştirmiştir (119). Bu testte VO_{2maks} aşağıdaki formül üzerinden hesaplanmaktadır (103):

$$VO_{2maks} = (0,00212 \times W + 0,299) / (0,769 \times KAH_{maks} - 48,5) \times 100$$

Laboratuvar ortamında uygulanan bir diğer yöntem ise Bruce protokolüdür. Bruce ve diğerleri (120), kişinin yaşı, cinsiyeti ve sağlık durumu değişkenlerini göz önünde bulundurarak Standart Bruce protokolü uygulanırken kişinin teste devam ettiği süre üzerinden VO_{2maks} 'ini tahmin eden formüller geliştirmiştir. Kadınlar, erkekler ve kardiyak rahatsızlığı olan erkekler için farklı formüller üzerinden kestirim yapılmaktadır. Foster ve diğerleri (121), yaptıkları çalışmada aktif ve sedanter erkek katılımcılar için kübik regresyon modeli kullanarak tek bir formülle test süresi üzerinden VO_{2maks} tahmini gerçekleştirilebileceğini ortaya koymuşlardır ($r= 0,98$, $SEE= 3,35 ml.kg^{-1}.dk^{-1}$). Bir başka çalışmada Pollock ve diğerleri (122), sağlıklı (aktif ve sedanter) kadınlar için test süresi üzerinden VO_{2maks} tahmini gerçekleştiren bir formül kullanmışlardır ($r= 0,91$, $SEE=2,7 ml.kg^{-1}.dk^{-1}$).

Koşu bandında gerçekleştirilen bir diğer tahmin yöntemi de Balke protokolüdür. Balke protokolü 3,3 mph sabit hızda %0 eğim ile başlamaktadır ve birinci dakikanın sonunda %2 eğim artışı, sonraki her dakika %1 eğim artışı ile devam etmektedir. Aktif ve sedanter erkekler için ($r= 0,92$, $SEE=2,5 ml.kg^{-1}.dk^{-1}$) (112) ve aktif ve sedanter kadınlar için ($r= 0,94$, $SEE=2,2 ml.kg^{-1}.dk^{-1}$) (122) birbirinden farklı formüller kullanılmaktadır (Tablo 2.1). Froelicher ve diğerleri (123) yaptıkları

çalışmada Amerikan Hava Kuvvetlerinde çalışan 79 personele (34 sedanter, 45 aktif) Balke protokolü ve eş zamanlı olarak, Brooks hava üssünde çalışan 77 personele (32 sedanter, 45 aktif) Bruce protokolü uygulayarak VO_{2maks} ölçümü gerçekleştirmişlerdir. Her iki protokol için de koşu bandı süresi üzerinden VO_{2maks} kestirimi gerçekleştirmek için yeterli bir ilişki olmadığını düşünmektedirler (Bruce protokolü; $r=0,87$, $SEE=4,71$ $ml.kg^{-1}.dk^{-1}$, Balke protokolü; $r=0,80$, $SEE=3,95$ $ml.kg^{-1}.dk^{-1}$) (123).

Tablo 2.1. Test Süresi Üzerinden VO_{2maks} Kestirim Formülleri

Protokol	Popülasyon	VO_{2maks} Kestirim Formülü
Bruce Protokolü	Erkek (aktif ve sedanter)	$= 14,76 - (1,369xT) + (0,451xT^2) - (0,012xT^3)$ (121)
	Kadın (aktif ve sedanter)	$= 4,38 x T - 3,90$ (122)
Balke Protokolü	Erkek (aktif ve sedanter)	$= 1,444 x T + 1,99$ (112)
	Kadın (aktif ve sedanter)	$= 1,38 x T + 5,22$ (122)

T= test bitirme süresi

Basamak testleri, direk ölçüm için laboratuvar imkanlarına ulaşmanın zor olduğu durumlarda, ucuz, kolay uygulanabilir ve taşınabilir olması ile VO_{2maks} 'ni submaksimal olarak kestirmek için kullanılabilir (124). Adımlama sayısı, test süresi ve test aşama sayısı bakımından değişkenlik gösteren birçok basamak testi mevcuttur (125). Queen Koleji Basamak Testi bunlardan biridir. McArdle ve diğerleri (126) yaşları 19-23 arasında değişen 41 kolej öğrencisi kadın katılımcıda 3 dakikalık basamak çıkıp inme aktivitesi sonrasında toparlanma KAH ile VO_{2maks} 'ni tahmin etmeye çalışmışlardır. 41.3 cm'lik bir basamakta katılımcılar dakikada 22 çıkıp inme gerçekleştirmiştir. Bir metronom kullanılarak katılımcıların ritme uyması sağlanmıştır. Katılımcıların VO_{2maks} değerini belirlemek için Balke protokolü uygulanmıştır ve basamak testi sonrasında ayakta durarak 5-20 sn arasında ölçülen KAH ile VO_{2maks} 'ni kestiren bir regresyon denklemi önermişlerdir ($r=0,75$, $SEE=2,9$ $ml.kg^{-1}.dk^{-1}$):

$$VO_{2maks} = 65,81 - (0,1847 x KAH.dk^{-1})$$

Chatterjee ve diğeri (127) aynı testi erkek katılımcılarda geçerliliğini araştırmak için, dakikada 24 çıkıp inme olacak şekilde gerçekleştirmişlerdir. 30 sedanter erkek kolej öğrencisi çalışmaya dahil olmuştur. VO_{2maks} ölçümünün bisiklet ergometresinde gerçekleştirilen bir test ile belirlendiği çalışmada, ölçülen ($38,9 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$) ve kestirilen ($38,1 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$) VO_{2maks} değerleri arasında yüksek ilişki bulunmuştur ($r=0,96$). VO_{2maks} kestirimi için aşağıdaki formül kullanılmıştır:

$$VO_{2maks} = 111,33 - (0,42 \times \text{KAH}.\text{dk}^{-1})$$

Saha Yöntemleri

Balke (128), 15 dakikalık koşu performansının VO_{2maks} 'ni tahmin edebilmek için uygun bir saha testi olduğunu ortaya koymuştur. Yaşları 14 ile 18 arasında değişen 34 erkek katılımcıda oval bir koşu pistinde gerçekleştirilen 15 dakikalık koşu/yürüyüş performansı ($44,4 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$) ile koşu bandında ($43,6 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$) gerçekleştirilen VO_{2maks} ölçümü arasında yüksek ilişki bulunmuştur (128). MacNoughton ve diğeri (129) tarafından yapılan çalışmada 12-15 yaş arası çocuklarda VO_{2maks} ile 15 dakika performansı arasında yüksek ilişki bulunmuştur (sırasıyla 12, 13, 14 ve 15 yaş için, $r=0,881, 0,851, 0,671$ ve $0,881$). Öte yandan, Mitchell ve Crandall (130) yaptıkları çalışmada, 9 erkek 10 kadın yetişkin 5000 m koşucularında, 15 Dakika Balke Saha testi tahmin edilen VO_{2maks} değerleri ile koşu bandında laboratuvar ortamında ölçülen VO_{2maks} değerleri arasında anlamlı fark bulmuştur (Saha testi: $52,7 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$, Laboratuvar testi: $56,9 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$, $r=0,83$). Ancak VO_{2maks} 'ni kestirmek için kullanılan formül orijinal formülden farklıdır. Balke Saha Testi için kullanılan formül aşağıda verilmiştir (128):

$$VO_{2maks} (\text{ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}) = 6,5 + 12,5 \times \text{toplam mesafe (km)}$$

Cooper (131), daha sonra, 115 Amerikan Hava Kuvvetleri mensubunda 12 dakikalık koşu performansı ile VO_{2maks} arasında yüksek ilişki olduğunu ortaya koymuştur ($r=0,897$). Kalabalık gruplarda uygulanabilirliği kolay olan ve pahalı malzemeler gerektirmeyen bu testin sonucunun doğruluğu katılımcının motivasyonu ile ilişkilidir (131). Bandyopadhyay (132), 88 üniversite öğrencisinde, Cooper testinin Hindistan'da geçerliliğini araştırmak için yaptığı çalışmada 12 dakikada koşulan

mesafe ile ölçülen VO_{2maks} değerleri arasında yüksek ilişki bulmuştur ($r= 0,93$). Cooper Testi için kullanılan formül aşağıda verilmiştir:

$$VO_{2maks} (ml.kg^{-1}.dk^{-1})= (22,351 \times \text{koşulan mesafe (km)}) - 11,288$$

Leger ve diğerleri (133), okul çocuklarında, sağlıklı yetişkinlerde ve takım sporlarında aerobik kapasiteyi değerlendirmek için çok aşamalı, maksimal, 20 metre mekik koşusu testi geliştirmişlerdir. Hızın bir kaset yardımı ile ses sinyalleri şeklinde katılımcılara iletiildiği, 20 metrelik bir mesafede katılımcıların gidip dönerek koşular gerçekleştirdiği bir test olan mekik koşusu testi, $8,5 \text{ km.s}^{-1}$ hız ile başlayıp her dakika $0,5 \text{ km.s}^{-1}$ hız artışı ile devam etmektedir. Katılımcı üst üste 2 defa sinyal sesini duyduğunda karşı çizgiye yetişememiş olursa test sona ermektedir. VO_{2maks} değerleri ile tahmin edilen VO_{2maks} değerleri arasında çocuklarda yüksek ($r= 0,71$) ve yetişkinlerde çok yüksek ($r= 0,90$) ilişki bulunmuştur (133). Yetişkinlerde ve çocuklarda mekanik verimlilik göz önünde bulundurularak farklı formüller kullanılmaktadır (Tablo 2.2)

Tablo 2.2. 20 m Mekik Koşusu için VO_{2maks} Kestirim Formülleri

Populasyon	VO_{2maks} Kestirim Formülü
18 yaş altı	$= 31,025 + 3,238 \times (X^1) - 3,248 (X^2) + 0,1536 (X^1 \times X^2)$
Yetişkin	$= - 24,4 + 6,0 X^1$

X = hız (km.s^{-1})

2.4. Enerji Harcaması Ölçüm Yöntemleri

Sporcularda optimal performansı elde edebilmek için ya da kişilerin sağlığın korunması amacıyla VA'nın düzenlenmesi, kişinin enerji harcamasının bilinmesi ile mümkündür. Enerji harcaması, direk kalorimetre (134), çifte etiketli su yöntemi (135) ve İK (136) ile ölçülebildiği gibi, KAH monitörleri, aktivite monitörleri (pedometre ve akselerometre) ve aktivite günlükleri ile de tahmin edilebilmektedir (137).

2.4.1. Direkt Yöntemler

Enerji harcamasını değerlendiren yöntemler, direkt kalorimetre, İK ve kalorimetrik olmayan ölçümler olarak sınıflandırılabilir (6).

Lavoisier, dışında bir buz tabakası olan, çan şeklinde cam bir bölmenin içine fare yerleştirerek, ısı transferi yoluyla eriyen buz miktarından, farenin ürettiği ısı miktarını ve dolayısıyla enerji harcamasını direkt olarak ölçmüştür (6). Buradan yola çıkarak, izole bir oda içerisinde insan vücudunun ürettiği ısı miktarının ölçülmesi yoluyla kişinin harcadığı enerji miktarı direk olarak belirlenebilmektedir (138). Bu yöntem direk kalorimetre olarak adlandırılmaktadır. Enerji harcamasının ölçülmesi için doğru ve kesin sonuçlar vermesine rağmen, klinik uygulamalar ve araştırmalar için uygulanabilir değildir (139). Bu sistemi kurmak ve yönetmek hem yüksek maliyet hem de teknik bilgi gerektirmektedir (140). Ayrıca bu sistem enerji harcaması sırasında ortaya çıkan ısının vücut tarafından tutulan veya terleme ile dışa aktarımı engellenen kısmı ve kullanılan substratın miktarı ile ilgili herhangi bir bilgi vermemektedir (141).

İK, VO_2 ve VCO_2 miktarının ölçülmesi ile enerji harcamasının belirlendiği bir yöntemdir (142). Besinlerin oksijenle metabolize olması sonucunda, CO_2 , su ve ısı açığa çıkar. Bu süreçte kullanılan oksijen ve açığa çıkan CO_2 miktarı ölçülerek, Weir formülü (143) veya benzer başka formüller kullanılarak harcanan enerji hesaplanabilir (139). Bu yöntemle ölçüm yapabilmek için, Douglas torbası, yarı portatif veya portatif oksijen analizörüne ihtiyaç duyulmaktadır (144). Ekspirasyon havasının bir torbanın içine alınıp, analiz edilmesi yöntemi 1800'lerde başlamış olsa da 1900'lü yılların başında yarı portatif gaz analizörünün ortaya çıkması ile egzersiz fizyologları tarafından çeşitli aktiviteler sırasında oksijen tüketimini ve enerji harcamasını değerlendirmek için kullanılmıştır (104). Bu yöntemde, ekspirasyon havası, ağızlık ve valf yardımıyla bir torba içinde toplanır ve gaz analizörü yardımı ile içeriğindeki oksijenin ve CO_2 'in hacmi belirlenir. SDO üzerinden harcanan enerji miktarı belirlenir (145). Douglas torbası yöntemi altın standart bir yöntem olarak kabul edilir (104), ancak uygulanması sırasında havanın toplanması, toplanılan havanın gaz ölçümü yapılırken oluşan gaz kayıpları, gaz analizörü hataları ve uygulamacının valfi kapatırken yapacağı zamanlama hatası gibi yapılacak yanlışlar ölçüm sonucunu olumsuz etkileyebilir (143). Ayrıca bu yöntem, çok zaman alıcı bir yöntemdir (144). İlerleyen dönemlerde geliştirilen bilgisayarlı otomatik sistem İK'ler, laboratuvar ortamında kullanılan yarı portatif sistemlerdir. Her nefeste ölçüm yapabilen bir sistem olduğu için egzersiz sırasında enerji harcamasını anlık olarak değerlendirebilmektedir

(146). Solunan havadaki ve ekspirasyon havasındaki CO₂ kızılötesi analizör ile, O₂ ise paramanyetik sensör ile belirlenir ve aradaki farktan VO₂ ve VCO₂ değerlerine ulaşılır (147). Weir formülü kullanılarak enerji harcaması anlık olarak belirlenir. Otomatik metabolik gaz analiz sistemleri enerji harcamasının doğru, güvenilir ve daha kısa sürede değerlendirilmesini sağlamakla birlikte, ölçüm öncesinde yoğunluğu bilinen sertifikalı bir gaz karışımı ve hava gazı ile kalibre edilmelidir ve uygulaması sırasında dikkatli olunmalıdır (148). Taşınabilir sistemler 1940'lı yıllarda ortaya çıkmış olsa da hantal bir sistem olması ve 80-100 L/dk gaz hacminin üzerinde gaz akışını doğru ölçemiyor olması gibi sınırlılıkları olmuştur (144). 1960'ların sonundan itibaren geliştirilen otomatik taşınabilir sistemler ve 1990'larda bu sistemlerin de geliştirilmesi ile bugün güvenilir ve geçerli ölçümlerin yapıldığı taşınabilir otomatik sistemler mevcuttur (144). Mevcut düşük ağırlığa sahip taşınabilir sistemler aktivite sırasında vücudun metabolik gereksinimlerini ortaya koymasından laboratuvar ortamında yapılan testlere göre avantajlı olabilir.

Çift etiketli su yöntemi, canlıların günlük yaşantıları sırasında enerji harcamasını ölçen bir diğer yöntemdir (149).. Hidrojen (H²) ve Oksijen (O¹⁸) izotopu içeren bir miktar su katılımcıya içirilip, bir süre sonra vücut sıvılarından alınan örnek ile başlangıç konsantrasyonu belirlenmektedir (150). H² izotopu vücut sıvılarına eşit olarak dağılırken, O¹⁸ izotopu hem vücut sıvılarında hem de CO₂ içerisinde bulunmaktadır ve dolayısıyla vücuttan uzaklaştırılma hızları farklıdır (137). 5-14 gün sonrasında vücut sıvılarından alınan ikinci bir örnek ile izotopların vücuttaki konsantrasyonları karşılaştırılmaktadır (151). H² ve O¹⁸ izotoplarının vücuttan uzaklaştırılma hızları arasındaki farktan CO₂ üretiminin ve dolayısıyla enerji harcamasının belirlenmesi söz konusudur (150). Bu yöntem ile canlıların günlük enerji harcaması doğru bir şekilde belirlenmektedir ve altın standart yöntem olarak kabul edilir. Ancak yüksek maliyeti, uygulamak için uzmanlık gerektirmesi, yapılan aktiviteye özgü enerji harcamasının belirlenememesi ve kalabalık gruplarda uygulanabilirliğinin düşük olması gibi nedenlerden dolayı sıklıkla tercih edilen bir yöntem değildir (152).

2.4.2. İndirekt Yöntemler

Enerji harcaması direk olarak ölçülebildiği gibi, çeşitli subjektif ve objektif yöntemlerle tahmin edilmeye çalışılmaktadır (153). Aktivite günlükleri, fiziksel aktivite anketleri gibi subjektif yöntemlerin uygulaması kolay ve ucuzdur ancak kişisel beyana bağlıdır ve tutarsız sonuçlar verebilir (154). Objektif yöntemler ise, pedometre ve akselerometre gibi hareketi ölçen veya KAH'nı takip ederek KAH-VO₂ ilişkisi üzerinden enerji harcaması tahmini gerçekleştiren yöntemlerdir (155).

Büyük ölçekli yapılan çalışmalarda, katılımcı sayısının yüksek olması, araştırmacıları, kolay uygulanabilir, düşük maliyetli ve pratik yöntemlere yöneltmektedir (156). Fiziksel aktivite anketleri ve aktivite günlükleri bu yöntemlerdendir. Kişiler belirli süreler içinde gerçekleştirdikleri aktivitelerin tipi, şiddeti ve süresi hakkında sorulara cevaplar vermektedir ya da kayıt tutmaktadır (155). Anketler, genellikle 1-7 günlük süreçte gerçekleştirilen fiziksel aktivitelerin hatırlanmasını gerektirmektedir ve farklı süreler için anketlerin güvenilirliği değişmektedir (156). Aktivite günlükleri ise kişinin belirli bir süre içinde yaptığı aktiviteleri, kaydettikleri bir yöntemdir (157). Anket ve günlükler ile kişilerden toplanan bilgiler, aktivitelerin metabolik eşdeğeri (MET) ile hesaplanarak kişinin enerji harcaması tahmin edilmeye çalışılmaktadır (155). Fiziksel aktivite anketlerinde, kişilerin hatırlama süreçleri ile ilgili yaşadığı sıkıntılar ve fiziksel aktivitenin şiddetini tanımlayamamaları enerji harcamasının doğru olarak değerlendirilmesi için problem olabilmektedir (156). Uluslararası Fiziksel Aktivite Anketi (IPAQ), sıklıkla kullanılan anketlerden biridir. Craig ve diğerleri (158) WHO'nun öncülüğünde 12 ülkede 14 merkezde güvenilirlik ve geçerlilik çalışmasını gerçekleştirerek, 18-65 yaş arası kişilerin fiziksel aktivite durumunu değerlendirmek adına IPAQ kısa ve uzun formu olmak üzere fiziksel aktivite anketi geliştirmiştir. Katılımcılar son 7 gün içinde, oturarak, yürüyerek, orta şiddette fiziksel aktivite ile ve yüksek şiddette ile gerçekleştirdiği süreleri hatırlayarak anketi doldurmaktadırlar. Katılımcıların gerçekleştirdikleri aktiviteler üzerinden süre ve sıklık ile aktivitelerin MET değerleri çarpılarak kişinin enerji harcaması tahmin edilmeye çalışılmaktadır.

Kişinin hareketini veya ivmelenmesini, pedometre veya akselerometre ile ölçmek mümkündür. Bu cihazlar mekanik veya elektronik olabilmektedir.

Pedometreler, dikey ekseninde harekete duyarlı cihazlardır ve kişinin attığı adımı doğru bir şekilde hesaplayabilmektedir (153). Ancak hareketin şiddeti ile ilgili bir bilgi vermemektedir (134). Kullanışlı ve ucuz bir cihaz olmasına karşın, bu özelliğinden dolayı enerji harcamasını tahmin etme konusunda başarılı olduğunu söylemek çok kolay değildir. Akselerometre, tek ekseninde veya üç ekseninde harekete duyarlı olabilmektedir (159). Ayrıca hareket ile birlikte ivmelenmeye de duyarlıdır. İvmelenme, kas kuvveti ile ilişkili olarak ortaya çıkan bir durum olduğu için, akselerometre pedometreye kıyasla enerji harcamasını tahmin etmen konusunda daha başarılı bir cihazdır (134). Öte yandan, akselerometre hareketin ivmesini algılamasına rağmen, kişinin hareket sırasında varsa taşıdığı yükü ya da hareketin gerçekleştiği eğimi algılayamadığından, enerji harcamasını tahmin ederken büyük hataların ortaya çıkmasına da neden olabilmektedir (134).

Enerji harcamasını tahmin etmek için kullanılan bir diğer objektif yöntem ise kalp atım hızının takibidir. Bu yöntem, göreceli olarak kolay ulaşılabilir ve uygulanabilir bir yöntemdir (160). KAH ile VO_2 artışı arasındaki doğrusal ilişkiyi temel alarak KAH üzerinden enerji harcaması tahmini yapılmaktadır. Ancak, çok düşük (160) ve çok yüksek (8) iş yüklerinde bu doğrusal ilişki bozulmaktadır. Öte yandan yapılan çalışmalarda, KAH üzerinden enerji harcaması kestirimi gruplar için yüksek ilişkili olarak gerçekleştirilirken bireysel olarak değerlendirildiğinde enerji harcamasının kestiriminde yüksek sapmalar gözlenmiştir (161, 162). Bu durum, her bir birey için KAH- VO_2 ilişkisinin eğimini belirleyen kalibrasyon ihtiyacını ortaya koymuştur (163). Bu yöntemle ilgili bir diğer sorun ise, KAH'nın birçok dışsal faktörden etkilenerek ani artışlar göstermesi (164) ve buna paralel olarak VO_2 'nde herhangi bir artışın gerçekleşmemesidir (155). Bu durum enerji harcamasının tahmininde sapmalar olmasına neden olabilir.

2.5. KAH_{indeks}

KAH üzerinden $VO_{2\text{maks}}$ tahmini yapmaya çalışan yöntemlerden birisi de KAH_{indeks} yöntemidir (9). Uth ve diğerleri (165) $KAH_{\text{maks}}/KAH_{\text{din}}$ oranının $VO_{2\text{maks}}$ 'ni tahmin etmede kullanılabileceğini öne sürmüşlerdir. Antrenmanın $VO_{2\text{maks}}$ 'ni arttırıp KAH_{din} 'ni düşürmesi ve yaşa bağlı olarak $VO_{2\text{maks}}$ ve KAH_{maks} 'nda düşüş gerçekleşmesi, araştırmacıların $KAH_{\text{maks}}/KAH_{\text{din}}$ oranı ile $VO_{2\text{maks}}$ arasında ilişki

olabileceğini düşünmesine neden olmuştur (165). Fick denklemi temel alınarak yapılan hesaplamada, teorik olarak, kişinin VA'nın kilogramı başına VO_{2maks}/KAH_{indeks} oranının 15,0 olduğu gösterilmiştir (165). Antrenmanlı erkek katılımcılarda yaptıkları çalışmada KAH_{maks}/KAH_{din} oranının %4,5 SEE ile daha önce geliştirilen yöntemlere göre daha iyi bir tahmin yöntemi olduğunu belirtmişlerdir. Sonrasında, Wicks ve diğerleri (9) yaptıkları retrospektif çalışmada, 60 çalışmadan 220 veri kümesi kullanarak ($n=11257$), KAH_{indeks} ile VO_{2maks} kestirimi gerçekleştiren bir formül üretmişlerdir ($MET = 6 \times KAH_{indeks} - 5$). Bir $MET=3,5 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$ ve 1 lt O_2 'in kalorik karşılığı olarak 5 kcal baz alınarak kişinin tükettiği oksijen ve harcadığı enerjinin, KAH_{indeks} yöntemi ile tahmin edilebileceğini rapor etmişlerdir (9).

Son dönemlerde yapılan çalışmalarda, genç sağlıklı erkeklerde (10), üniversite öğrencisi sağlıklı bireylerde (11) ve sağlıklı genç yetişkinlerde (166), Wicks ve diğerlerinin (9) formülünün VO_{2maks} 'ı hatalı olarak tahmin ettiği gösterilmiştir. Ancak, Kang ve diğerleri (166) düşük şiddette aktivitelerde yöntemin kabul edilebilir bir tahmin gerçekleştirdiğini belirtmiştir. Bu çalışmaların aksine, rugby oyuncularında (12) ve futbolcularında (13) KAH_{indeks} yönteminin VO_{2maks} ve enerji harcamasını tahmin etmede kullanılabilir bir yöntem olduğu belirtilmiştir.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Araştırma Grubu

Çalışmanın araştırma grubu, 18-40 yaş arasında, orta ve uzun mesafe koşusu ve oryantiring sporu ile uğraşan ve en az 3 yıldır müsabakalara katılan, 24 gönüllü erkek sporcudan oluşturulmuştur. Koşu bandı testinde, 2 sporcunun kalp atım hızı verileri bozuk çıktığı için değerlendirme dışı bırakılmış ve çalışma 22 sporcu ile tamamlanmıştır. Bir sporcunun testinde son 4 iş yükünde gaz analizi verisi bozuk olduğu için yalnızca submaksimal oksijen tüketimi ve enerji harcaması değerlendirilmiştir. Çalışma için Hacettepe Üniversitesi Girişimsel Olmayan Etik Kuruldan bilimsel ve etik açıdan uygun bulunduğu dair etik kurul izni alınmıştır (EK-1). Sporculara çalışma öncesinde, araştırmanın kapsamı ile ilgili bilgilendirme yapılmış ve çalışma sırasında karşılaşılabilecek riskleri içeren bilgilendirme onam formu imzalatılmıştır (EK-2).

3.2. Veri Toplama Araçları

3.2.1. Stadiometre

Katılımcıların boy uzunlukları, ± 1 cm hata ile, duvara monte stadiometre (Holtain Ltd, İngiltere) ile ölçülmüştür.

3.2.2. Biyoelektrik İmpedans Analizörü

Sporcuların vücut ağırlıkları ve vücut kompozisyonları (VYY ve yağsız vücut kitlesi (YVK)), biyoelektrik impedans analizörüne entegre, ± 100 gr hatalı elektronik baskül (Tanita DC 360, ABD) ile ölçülmüştür.

3.2.3. Telemetrik KAH Monitörü

KAH_{din}, telemetrik KAH monitörü (Polar RS800, Finlandiya) ve yazılım programı (Polar Pro Trainer 5, Finlandiya) kullanılarak belirlenmiştir.

3.2.4. Koşu Bandı

İş yükü giderek artan egzersiz testleri için motorize bir koşu bandı kullanılmıştır (Ergo ELG2, Woodway, Almanya).

3.2.5. Oksijen Analizörü

Submaksimal ve maksimal egzersiz sırasında, VO_2 ve VCO_2 , her ekspirasyon havasından analiz yapan otomatik gaz analiz sistemi ile ölçülmüştür (Quark CPET, İtalya).

3.3. Verilerin Toplanması

Verilerin toplanması, Hacettepe Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi performans laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Sporcular, ölçümler için 1 defa performans laboratuvarına gelmişlerdir. Tüm testler, saat 09.00-12.30 arasında yapılmıştır. Sporculardan, laboratuvara gelmeden en az 24 saat önce yüksek şiddette fiziksel aktivitede bulunmamaları, alkol ve kafein içeren yiyecek ve içecek tüketmemeleri, en az 2 saat öncesinde hafif bir kahvaltı yapmaları istenmiştir.

Sporcular test günü laboratuvara geldiklerinde kişisel bilgi formunu doldurduktan sonra (EK-3), ilk olarak boy uzunluğu, VA ve vücut kompozisyonu ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Sonrasında sırası ile KAH_{din} belirlenmiş ve koşu bandı testine katılmışlardır. Koşu bandı testinde giderek artan iş yükü protokolü kullanılarak katılımcıların submaksimal ve maksimal VO_2 ve KAH değerleri kaydedilmiştir. Elde edilen verilerden hesaplanan KAH_{indeks} değerleri yardımıyla VO_{2maks} ve enerji harcaması tahmin edilmiştir.

3.3.1. Antropometrik Ölçümler

Sporcuların boy uzunluğu, anatomik duruşta, ayakkabısız ve ayaklar birleşik şekilde ve baş frankfort düzlemindeyken cm cinsinden ölçülmüştür (167).

VA ve vücut kompozisyonu bileşenleri (VYY, YVK) ayaktan ayağa biyoelektrik impedans yöntemi ile belirlenmiştir. Bunun için sporcular standart spor kıyafeti içerisinde (şort, atlet), üzerlerindeki tüm metal eşyaları çıkardıktan sonra, çıplak ayak ile analizörün tablasındaki paslanmaz çelikten oluşan elektrotların üzerine

basarak hareketsiz durmuşlardır. Vücut kompozisyonu bileşenleri biyoelektrik impedans analizörünün sporcu modunda gerçekleştirilmiştir. VA ve üretici firmanın kullandığı kestirim formülü aracılığıyla belirlenen VYY, YVK ve BKİ cihazın yazıcısından otomatik çıktı şeklinde kaydedilmiştir.

3.3.2. KAH_{din} Ölçümü

Antropometrik ölçümler sonrasında, sporculara KAH monitörü takılarak, 20 dakika oturur pozisyonda bekletilmişlerdir. KAH verileri 20 dakika boyunca 1 sn aralıklarla kaydedilmiş ve veriler bilgisayara aktarılmıştır. Yazılım programı yardımıyla, 20 dakikalık sürenin son 3 dakikası içerisindeki en düşük KAH değeri, KAH_{din} olarak kaydedilmiştir (11).

3.3.3. Egzersiz Testi

KAH_{din} ölçümü gerçekleştirilen sporculara, koşu bandında artan şiddette egzersiz testi uygulanmıştır. Sporcular, koşu bandında %1 sabit eğimde, 8 km/h hızda 5 dk ısındıktan sonra ara vermeden 9 km/h'ten itibaren hız, sporcu tükenene kadar her dakika 1 km/h arttırılmıştır (168). Test laboratuvar ortamında gerçekleştirildiğinden, %1 eğim rüzgar direncini karşılaması için ayarlanmıştır (169).

3.3.4. VO₂ ve VCO₂ Ölçümü

Koşu bandı testinde, sporcuların VO₂ ve VCO₂ değerlerini ölçmek için, her ekspirasyon havasından otomatik gaz analizi yapan metabolik kart kullanılmıştır. Gaz analizörü, üretici firmanın yönergesine uygun olarak, her test öncesinde içerisinde konsantrasyonu bilinen gaz karışımı (%16,01 O₂, %4,91 CO₂, N₂ Balans), türbin ise 3 L'lik sertifikalı şırınga (Cosmed, İtalya) ile kalibre edilmiştir. Gaz analizöründe ölçülen spirometrik değişkenlere (VO₂ ve VCO₂) ait değerler yazılım programında düzeltilmiştir. Ham verilere önce 3 noktalı düzeltme (smoothing) daha sonra 5 saniyelik zaman ortalaması alma (time averaging) uygulanmıştır. Düzeltilen değerler excel formatına çevrilmiştir. KAH_{egzersiz}, telemetrik KAH monitörü (Garmin HRM Dual, İsviçre) yardımıyla gaz analiz sistemi ile eş zamanlı olarak kaydedilmiştir. Her iş yükünün (koşu hızının) son 30 saniyesinin ortalama değerleri o iş yüküne ait VO₂ ve KAH olarak kaydedilmiştir.

3.3.5. VO_{2maks}'nin ve KAH_{maks}'nin Belirlenmesi

Artan şiddette egzersiz testinde elde edilen en yüksek VO₂ ve KAH değerleri VO_{2maks} ve KAH_{maks} olarak kabul edilmiştir. Birbirini takip eden son iki iş yükünde VO₂'de <150 ml.dk⁻¹'den az artış, 1,10'dan daha yüksek SDO, 220-yaş formülünden hesaplanan maksimum kalp atım hızının ± 10 atıma ulaşması (26) ve 17 ve üstü algılanan zorluk derecesi kriterlerinden en az ikisinin gerçekleşmesi, VO_{2maks} ve KAH_{maks}'in belirlenmesinde fizyolojik kriter olarak kullanılmıştır.

3.3.6. KAH_{indeks} ve VO_{2maks}'nin tahmini

KAH_{indeks} aşağıdaki formülle hesaplanmıştır (9, 165):

$$KAH_{\text{indeks}} = KAH_{\text{egzersiz}} / KAH_{\text{din}}$$

Her bir iş yükünde (koşu hızında) ölçülen KAH_{egzersiz} değerleri kullanılarak yukarıdaki formülle hesaplanan KAH_{indeks} değerlerinden o iş yüküne ait VO₂ aşağıdaki formülle tahmin edilmiştir (9). Aynı formülde KAH_{maks}'na karşılık gelen KAH_{indeks} değerlerinden ise VO_{2maks} tahmin edilmiştir:

$$MET = (6 \times KAH_{\text{indeks}} - 5)$$

$$VO_2 \text{ (ml.kg}^{-1} \cdot \text{dk}^{-1}) = (6 \times KAH_{\text{indeks}} - 5) \times 3,5$$

3.3.7. Enerji Harcamasının Hesaplanması

Koşu bandında artan şiddette egzersiz sırasında her iş yükünde ölçülen ve KAH_{indeks} yöntemi ile tahmin edilen ml.kg⁻¹.dk⁻¹ VO₂ değerleri litreye çevrilmiş ve 1L O₂= 5 kcal kabul edilerek (170) enerji harcaması kcal.kg⁻¹.dk⁻¹ cinsinden hesaplanmıştır.

3.4. Verilerin Analizi

Tüm değişkenlerin normal dağılıma uyumu Kolmogorov-Smirnov Testi ile kontrol edilmiştir. Tüm değişkenler için tanımlayıcı istatistikler (ortalama ± standart sapma) hesaplanmıştır. Wick'in denklemini doğrulamak için her bir iş yükünde

ölçülen MET ve hesaplanan KAH_{indeks} değerlerinden doğrusal regresyon analizi yapılmış ve Pearson korelasyon katsayısı hesaplanmıştır. Şiddeti giderek artan koşu bandı testinde ölçülen ve tahmin edilen enerji harcaması, düşük, orta ve yüksek olmak üzere üç farklı egzersiz şiddetine ayrılarak değerlendirilmiştir. KAH_R 'nin (Karvonen metod) (171) $< \%72$ 'ine karşılık gelen KAH değerleri “düşük”, $\%72 - 88$ 'ine karşılık gelen KAH değerleri “orta”, $> \%88$ 'ine karşılık gelen KAH değerleri “yüksek” şiddet olarak belirlenmiştir (1). Bunun için her bir katılımcının bireysel olarak aşağıdaki formül yardımı ile üç farklı şiddete karşılık gelen KAH_R değerleri hesaplanmıştır.

$$\%KAH_R = KAH_{\text{din}} + [(KAH_{\text{maks}} - KAH_{\text{din}}) * X]$$

$$X = KAH_R \text{ \%72 için: } 0,72, \text{ \%88 için: } 0,88$$

Daha sonra, şiddeti giderek artan koşu bandı testinde, her bir katılımcı için her iş yükünde ölçülen KAH değerleri KAH_R 'ne göre belirlenen şiddet kategorilerine ayrıştırılarak, karşılık gelen VO_2 ve KAH_{indeks} değerlerinden enerji harcamasının ölçülen ve tahmin edilen değerleri hesaplanmıştır. Örneğin; KAH_{din} : 41 a/dk, KAH_{maks} : 190,2 a/dk olan sporcu (Katılımcı No: 15) için $\%72$ KAH_R : 148 a/dk ve $\%88$ KAH_R : 172 a/dk'dır. Buna göre $KAH_R < \%72$ için her iş yükünün sonunda elde edilen KAH verisi 148,4 a/dk'dan daha düşük olan iş yükleri (koşu hızları) düşük şiddetli, $KAH_R \text{ \%72} - 88$ arası için 148-172 a/dk arasında kalan iş yükleri (koşu hızları) orta şiddetli ve $KAH_R > \%88$ için 172,3 a/dk'dan daha yüksek olan iş yükleri (koşu hızları) yüksek şiddetli olarak değerlendirilmiştir. $KAH_R < \%72$ için $n = 92$, $\%72-88$ arası için $n = 73$ ve $KAH_R > \%88$ için $n = 99$ 'dur. $VO_{2\text{maks}}$ ve üç farklı şiddette enerji harcaması için ölçülen ve hesaplanan değerler arasındaki farklar “Paired t Testi” ile belirlenmiştir. Ölçülen ve hesaplanan $VO_{2\text{maks}}$ değerleri ve üç farklı enerji harcaması için bireysel seviyede tutarlılık alt ve üst sınırları Bland-Altman grafikleme yöntemi ile belirlenmiştir (172). Ölçülen ve tahmin edilen değişkenler arasındaki farklar ve ölçülen ve tahmin edilen değişkenlerin ortalamaları arasında bağlantı (trend) olup olmadığı Pearson korelasyon katsayısı ile belirlenmiştir.

Ölçülen ve tahmin edilen $VO_{2\text{maks}}$ ve üç ayrı şiddette ölçülen ve tahmin edilen enerji harcaması değerleri arasındaki uyum, Bilgi Temelli Tutarsızlık Ölçüsü (BTTÖ) (Information-based measure of disagreement) yöntemi ile değerlendirilmiştir (173). BTTÖ aşağıdaki formülle hesaplanmıştır:

$$BTTÖ = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \log_2 \left(\frac{|x_{i1} - x_{i2}|}{\max(x_{i1}, x_{i2})} + 1 \right)$$

Formülde N: VO_{2maks} için denek sayısı / Enerji harcaması için her şiddet kategorisindeki iş yükü (koşu hızı) sayısı (KAH_R < %72 için n = 92, KAH_R %72–88 arası için n = 73 ve KAH_R > %88 için n = 99), *x*₁: her bir iş yükünde ölçülen enerji değeri, *x*₂: her bir iş yükünde tahmin edilen enerji değeridir. BTTÖ katsayısı 0 ile 1 arasında değişen bir değerdir. Bu katsayı, ölçüm ve kestirim yöntemlerinden elde edilen değerler benzer olduğunda veya yöntemler arasında tutarsızlık olmadığında, yani *x*₁ = *x*₂ olduğunda, 0'a eşittir. Bu durumda, yöntemler arasındaki farklar için hiçbir bilgi olmadığı (sıfır) söylenir (173). Yöntemler arasında tutarsızlık olduğunda farklar hakkında bilgi miktarı artmakta, yani BTTÖ katsayısı 1 değerine yönelmektedir. BTTÖ katsayısının sıfırdan farkını belirlemek için Tek Örneklem t Testi kullanılmıştır.

İstatistiksel analizler SPSS (Ver 23) ve Excel programları üzerinden yapılmış ve yanılma düzeyi p=0,05 olarak kabul edilmiştir.

4. BULGULAR

Bu çalışma, dayanıklılık sporcularında maksimal oksijen tüketimi ve farklı şiddetlerde gerçekleştirilen egzersiz sırasında enerji harcamasının, KAH_{indeks} yöntemi ile hesaplanmasının dayanıklılık sporcularında geçerliliğini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Çalışmaya, en az 3 yıldır yarışmacı olan, 22 erkek orta ve uzun mesafe koşucusu ve oryantiring sporcusu katılmıştır. Çalışmaya ilişkin bulgular aşağıda verilmiştir.

4.1. Katılımcıların Fiziksel ve Fizyolojik Özellikleri

Tablo 4.1’de katılımcılara ait tanımlayıcı istatistikler verilmiştir.

Tablo 4.1 Katılımcılara ait tanımlayıcı istatistikler

	Ortalama	Standart Sapma
Yaş (yıl)	25,5	6,6
Boy (cm)	174,9	4,3
VA (kg)	63,9	5,7
BKİ (kg.m⁻²)	20,9	1,6
VYY (%)	6,3	2,5
YVK (kg)	59,8	4,2
Antrenman Yaşı (yıl)	8,7	5,1
Antrenman Mesafesi (km.hafta⁻¹)	115,2	33,9
KAH_{din} (atım.dk⁻¹)	52,3	8,4
$VO_{2\text{maks}}$ (ml.kg⁻¹.dk⁻¹)	66,1	5,2
KAH_{maks} (atım.dk⁻¹)	186,2	7,9

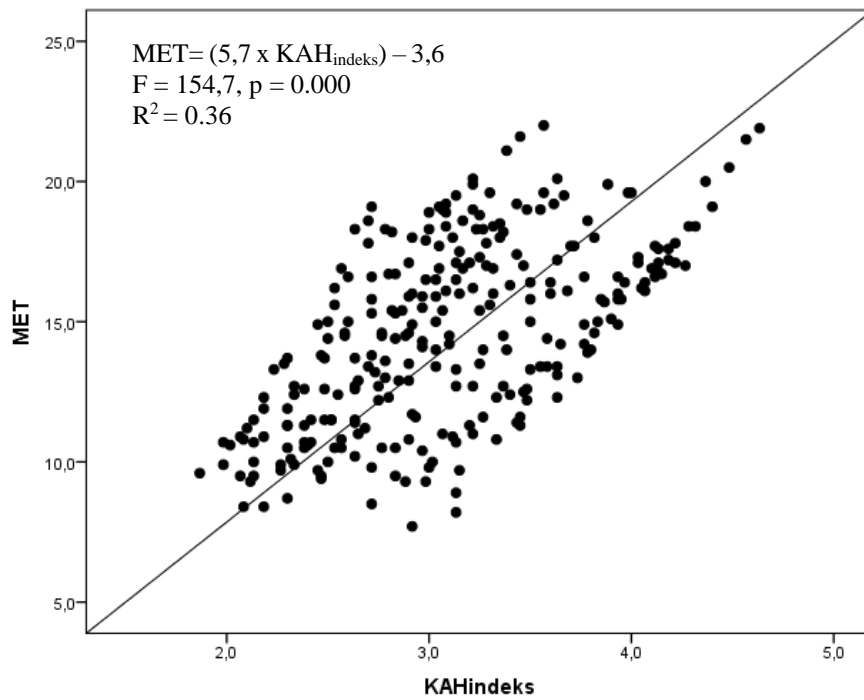
VA: Vücut Ağırlığı, BKİ: Beden Kütle İndeksi, VYY: Vücut Yağ Yüzdesi, YVK: Yağsız Vücut Kütlesi

Çalışmaya katılan atletlerin yaş ortalaması $25,5 \pm 6,6$ yıldır. Katılımcıların fiziksel özellikleri incelendiğinde, ortalama boy uzunluğu $174,9 \pm 4,3$ cm, VA $63,9 \pm 5,7$ kg, BKİ $20,9 \pm 1,6$, VYY $\%6,3 \pm 2,5$ ’tur. Sporcuların antrenman yaşı $8,7 \pm 5,1$ yıl, haftalık antrenman mesafesi $115,2 \pm 33,9$ km’dir. Sporcuların artan şiddette egzersiz

testi sırasında belirlenen ortalama KAH_{maks} değeri dakikada $186,2 \pm 7,9$ a.dk⁻¹, VO_{2maks} değeri $66,1 \pm 5,2$ ml.kg⁻¹.dk⁻¹'dir. Ortalama KAH_{din} $52,3 \pm 8,4$ a.dk⁻¹ olduğu görülmektedir (Tablo 4.1).

4.2. MET- KAH_{indeks} Arasındaki İlişki

Artan şiddette egzersiz testi sırasında, her iş yükünde (koşu hızında) İK yöntemi ile ölçülen MET ve hesaplanan KAH_{indeks} değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Dayanıklılık sporcularının iş yükü artışına bağlı olarak MET- KAH_{indeks} ilişkisi

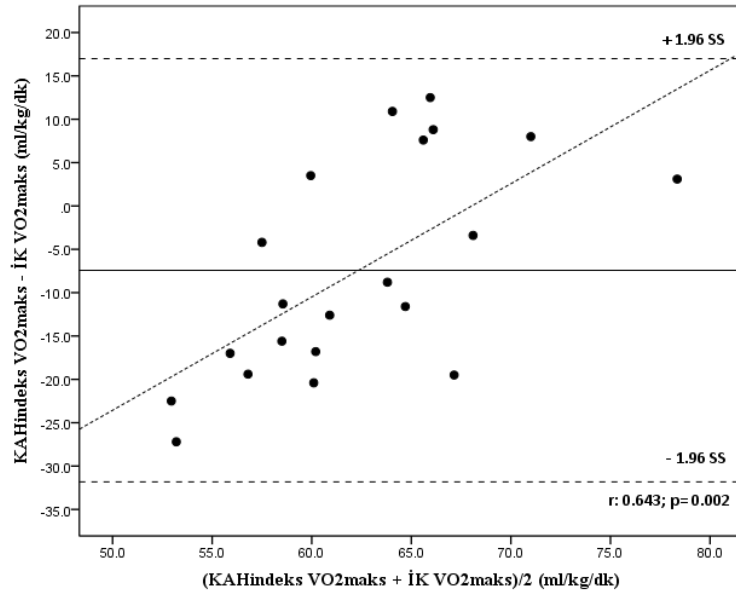
Dayanıklılık sporcularında artan şiddette egzersiz testi sırasında her iş yükünde ölçülen MET ve KAH_{indeks} değerleri arasında istatistiksel olarak orta düzeyde pozitif ($r = 0,601$; $p = 0,000$) anlamlı bir ilişki vardır. Bu ilişkiden elde edilen regresyon modeli ($MET = (5,7 \times KAH_{indeks}) - 3,6$; $F = 154,7$, $p = 0,000$; $R^2 = 0,36$) Wicks'in orijinal regresyon modeline ($MET = (6 \times KAH_{indeks}) - 5$) benzerdir.

4.3. Ölçülen ve Tahmin Edilen VO_{2maks}

İK yöntemle ölçülen ve KAH_{indeks} yöntemi ile hesaplanan VO_{2maks} değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır (t= 2,733; p = 0,013). KAH_{indeks} yöntemiyle hesaplanan VO_{2maks} İK'de ölçülenden ortalama %11,3 daha düşüktür (Tablo 4.2).

Tablo 4.2. İK yöntemle ölçülen ve KAH_{indeks} yöntemi ile hesaplanan VO_{2maks} değerlerinin karşılaştırması

	İK	KAH _{indeks}	% fark	t	P
VO _{2maks} (ml.kg ⁻¹ .dk ⁻¹)	66,1 ± 5,2	58,6 ± 11,2	11,3	2,733	0,013



Şekil 4.2. İK yöntemle ölçülen ve KAH_{indeks} yöntemiyle hesaplanan VO_{2maks} değerleri için Bland-Altman grafiği

Düz çizgi: Farkların ortalaması, Küçük kesikli çizgi: Tutarlılık alt ve üst sınırı, Noktalı çizgi: Trend

İK yöntemle ölçülen ve KAH_{indeks} yöntemi ile hesaplanan VO_{2maks} arasındaki ortalama fark, tutarlılık sınırları (alt ve üst) ve trend için Bland Altman grafiklemeye Şekil 4.2'de verilmiştir. Hem sistematik hem de rastgele hatanın görsel olarak da değerlendirmesini sağlayan Bland Altman grafiklemeye ölçülen ve tahmin edilen VO_{2maks} değerleri arasındaki farkların (hata) ortalaması $-7,4 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$, tutarlılık alt

sınırı $-31,9 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$ ve tutarlılık üst sınırı ise $17,1 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Ölçülen ve hesaplanan $\text{VO}_{2\text{maks}}$ değerlerinin ortalaması ve farkları arasındaki ilişkinin (trend) istatistiksel olarak anlamlı olması ($r = 0,643$; $p = 0,002$), farkların (hatanın) $\text{VO}_{2\text{maks}}$ 'ın ölçülen değerlerinin boyutuna bağlı olduğunu göstermektedir (Heteroscedastic veri).

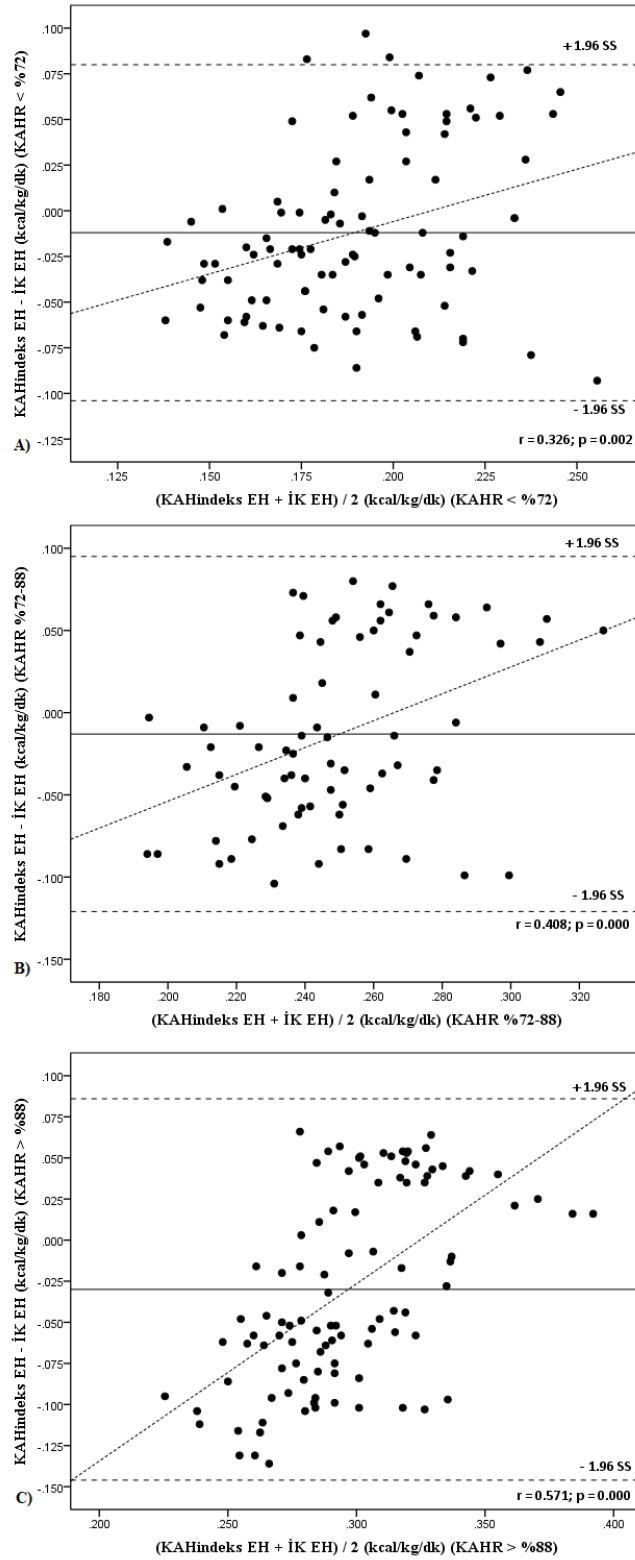
4.4. Farklı Egzersiz Şiddetlerinde Enerji Harcaması

Tablo 4.3'te farklı egzersiz şiddetlerinde (KAH_R 'nin %72'sinin altı, %72-88 arası ve %88'inin üstü) İK yöntemle ölçülen ve $\text{KAH}_{\text{indeks}}$ yöntemi ile hesaplanan enerji harcaması değerleri gösterilmiştir. İK yöntemle ölçülen enerji harcaması, $\text{KAH}_{\text{indeks}}$ yöntemi ile hesaplanan enerji harcamasından anlamlı derecede yüksektir (KAH_R 'nin $< \%72$ 'si için $t = 2,43$; $p = 0,017$, KAH_R 'nin %72-88'i için $t = 2,09$; $p = 0,04$ ve KAH_R 'nin $> \%88$ 'i için $t = 5,01$; $p = 0,000$).

Tablo 4.3. KAH_R 'nin %72'sinin altı, %72-88'inin arası ve %88'inin üstüne karşılık gelen şiddetlerde İK yöntemle ölçülen ve $\text{KAH}_{\text{indeks}}$ yöntemi ile hesaplanan enerji harcaması

% KAH_R	İK ($\text{kcal.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$)	$\text{KAH}_{\text{indeks}}$ ($\text{kcal.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$)
$\text{KAH}_R < \%72$	$0,196 \pm 0,029$	$0,184 \pm 0,041$
$\text{KAH}_R \%72-88$	$0,256 \pm 0,030$	$0,243 \pm 0,046$
$\text{KAH}_R > \%88$	$0,312 \pm 0,028$	$0,282 \pm 0,054$

Şekil 4.3, KAH_R 'nin %72'sinin altında (A), %72-88'inin arası (B) ve %88'in üstünde (C) egzersiz şiddetinde İK yöntemle ölçülen ve $\text{KAH}_{\text{indeks}}$ yöntemiyle hesaplanan enerji harcaması değerleri için Bland-Altman grafiğini göstermektedir. KAH_R 'nin %72'sinin altındaki şiddetlerde $\text{KAH}_{\text{indeks}}$ yöntemi ile hesaplanan enerji harcaması değerleri ile İK yöntemle ölçülen enerji harcaması değerleri arasındaki fark $0,012 \text{ kcal.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$, tutarlılık üst sınırı $0,080 \text{ kcal.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$ ve tutarlılık alt sınırı $-0,104 \text{ kcal.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Hesaplanan ve ölçülen enerji harcaması değerlerinin farkları ve ortalamaları arasında pozitif anlamlı ilişki (trend) saptanmıştır ($r = 0,326$; $p = 0,002$). KAH_R 'nin %72-88'i arasındaki şiddetlerde İK yöntemle ölçülen ve $\text{KAH}_{\text{indeks}}$ yöntemiyle hesaplanan enerji harcaması değerleri arasındaki fark $0,013$



Şekil 4.3. KAH_R'nin %72'sinin altı (A), %72-88'i arası (B) ve %88'inin üstüne (C) karşılık gelen şiddetlerde İK yöntemle ölçülen ve KAH_{indeks} yöntemi ile hesaplanan enerji harcaması için Bland-Altman grafiği
 Düz çizgi: Farkların ortalaması, Küçük kesikli çizgi: Tutarlılık alt ve üst sınırı, Büyük kesikli çizgi: Trend

kcal.kg⁻¹.dk⁻¹, tutarlılık üst sınırı 0,095 kcal.kg⁻¹.dk⁻¹ ve tutarlılık alt sınırı - 0,121 kcal.kg⁻¹.dk⁻¹ olarak belirlenmiştir. Hesaplanan ve ölçülen enerji harcaması değerlerinin farkları ve ortalamaları arasında pozitif anlamlı ilişki (trend) saptanmıştır (r = 0,408; p = 0,000). KAH_R'nin %88'inin üstündeki şiddetlerde İK yöntemle ölçülen ve KAH_{indeks} yöntemiyle hesaplanan enerji harcaması değerleri arasındaki fark 0,03 kcal.kg⁻¹.dk⁻¹, tutarlılık üst sınırı 0,086 kcal.kg⁻¹.dk⁻¹ ve tutarlılık alt sınırı -0,146 kcal.kg⁻¹.dk⁻¹ olarak belirlenmiştir. Hesaplanan ve ölçülen enerji harcaması değerlerinin farkları ve ortalamaları arasında pozitif anlamlı ilişki (trend) saptanmıştır (r = 0,571; p = 0,000). Tüm egzersiz şiddetlerinde yöntem farkları (hata) ve ortalamaları arasında anlamlı ilişkilerin varlığı, yöntemler arasındaki farkların enerji harcamasının ölçülen değerlerinin boyutuna bağlı olduğunu göstermektedir (Heteroscedastic veri).

Tablo 4.4'de VO_{2maks} ve farklı şiddetlerde enerji harcamasının değerlendirilmesinde İK yöntem ile KAH_{indeks} yöntemi arasındaki uyum istatistiğine ait BTTÖ katsayıları ve %95 GA'ları verilmiştir. VO_{2maks} için, İK yöntemle KAH_{indeks} yönteminin tutarsızlık ölçüsü 0,239'dur. Bu değer istatistiksel olarak sıfırdan anlamlı derecede farklıdır (t= 8,992; p= 0,000). Enerji harcaması için, İK ve KAH_{indeks} yöntemleri arasında hesaplanan BTTÖ katsayıları, düşük şiddet için 0,246, orta şiddet için 0,235 ve yüksek şiddet için 0,234'tür (Tablo 4.4). Her üç şiddet için hesaplanan BTTÖ katsayıları istatistiksel olarak sıfırdan farklıdır (sırasıyla t= 18,578; p= 0,000, t= 18,342; p= 0,000, t= 19,769; p= 0,000).

Tablo 4.4. VO_{2maks} ve farklı şiddetlerde EH değerlendirilmesi için İK yöntem ve KAH_{indeks} yöntemi arasındaki tutarsızlık

	BTTÖ	95% GA
İK VO_{2maks} ve KAH_{indeks} VO_{2maks}	0,239	[0,186; 0,292]
İK EH ve KAH_{indeks} EH (KAH < %72)	0,246	[0,221; 0,271]
İK EH ve KAH_{indeks} EH (KAH %72-88)	0,235	[0,210; 0,260]
İK EH ve KAH_{indeks} EH (KAH > %88)	0,234	[0,210; 0,258]

BTTÖ: Bilgi Temelli Tutarsızlık Ölçüsü, GA: Güven Aralığı

5. TARTIŞMA

Bu çalışma, orta ve uzun mesafe atletleri ve oryantiring sporcularında VO_{2maks} 'ın ve farklı şiddetlerde aktivite sırasında enerji harcamasının hesaplanmasında KAH_{indeks} yönteminin geçerliliğini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Bu çalışmanın ana bulguları, orta ve uzun mesafe atletleri ve oryantiring sporcularında, KAH_{indeks} yönteminin VO_{2maks} 'ın (Tablo 4.2) tahmin edilmesinde kullanılamayacağını ancak düşük, orta ve yüksek şiddetli aktiviteler sırasında enerji harcamasının (Tablo 4.3) değerlendirilmesinde kullanılabileceğini göstermiştir.

5.1. Fiziksel Özellikler

Çalışmaya katılan sporcuların BKİ ve VYY değerleri (Tablo 4.1) literatürdeki çalışmalarla benzerlik göstermektedir (78, 174-176). Her ne kadar ölçüm yöntemine bağlı olarak değişiyorsa da, genel olarak mesafe atletleri düşük yağ yüzdesine sahiptir (2, 177). Çalışmaya katılan sporcuların, VO_{2maks} değerleri ($66,1 \pm 5,2 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$) mesafe koşucularında yapılan çalışmalar ile karşılaştırıldığında iyi antrenmanlı olarak tanımlanan sporculardan (178) daha yüksek, üst düzey olarak tanımlanan sporculardan (174, 179, 180) daha düşüktür. Çalışmalarda farklı sonuçlar raporlanmış olsa da genel olarak üst düzey mesafe koşucularında $70 - 85 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$ arasında VO_{2maks} değerleri olduğu bilinmektedir (21). Oryantiring sporcularının VO_{2maks} değerleri de (181, 182) çalışmamıza katılan sporcularla benzerdir. Çalışmamıza katılan oryantiring sporcularının, mesafe koşucuları ile benzer fizyolojik özelliklere sahip olduğu söylenebilir ve aerobik kapasitesi yüksek, iyi antrenmanlı sporcular olarak tanımlanabilirler.

Çalışmaya katılan atletlerin KAH_{din} değerleri ($52,3 \pm 8,3 \text{ a.dk}^{-1}$) daha önce yapılan çalışmalarda üst düzey dayanıklılık sporcularında ölçülen KAH_{din} değerlerinden (40 a.dk^{-1}) yüksek (178, 183, 184) diğer branş sporcularından (basketbol, eskrim, judo, yüzme, masa tenisi ve voleybol) düşüktür (185). Tüm çalışmalarda gösterilmemiş olmakla beraber (186) dayanıklılık antrenmanlarının KAH_{din} hızında önemli azalmaya (sinüs bradikardi) neden olduğu bilinmektedir (187). KAH_{din} hızında önemli azalma bir başka deyişle düşük $KAH_{din} < 60 \text{ a.dk}^{-1}$ olarak tanımlanmakta ve kronik dayanıklılık antrenmanlarına verilen en yaygın iyi huylu ritim bozukluğu olarak kabul edilmektedir (188). Daha önceki birçok çalışmada

KAH_{din} hızında azalmanın kardiyak sempatik modülasyonda azalma ve artmış kardiyak parasempatik modülasyondan kaynaklanabileceği öne sürülmüştür (189-192). Bununla beraber düzenli fiziksel aktivitenin veya egzersizin KAH_{din} üzerindeki azaltıcı etkisinin ne parasempatik aktivitede artıştan ne de beta adrenerjik uyarıya yanıtta azalmadan kaynaklanmadığı, henüz tam olarak anlaşılmamış mekanizmalar üzerinden kalbin kendisinde içsel olarak meydana geldiği de savunulmaktadır (188, 193). Bunun yanında KAH ölçümü birçok fizyolojik (atım hacminde değişim ve hidrasyon durumu gibi) ve çevresel faktörden (ortam sıcaklığı ve yükselti gibi) etkilendiği gibi günlük olarak da değişebilmektedir (160). Ayrıca postürün de KAH_{din} ölçüm sonucunu etkilediği bilinmektedir (194).

5.2. KAH_{indeks} – MET ilişkisi

Submaksimal ve maksimale yakın (%82-85 VO_{2maks}) egzersizler sırasında ölçülen VO₂ ve KAH arasında yüksek ilişki olduğu, buna karşılık maksimal şiddette VO₂ ile KAH ilişkisinin bozulduğu ve bazı kişilerde VO₂'ndeki artışın KAH artışından yüksek olduğu rapor edilmiştir (160, 195). Wicks ve diğerleri (9) bireysel seviyede KAH ile VO₂ ilişkisini belirlemek için sedanter popülasyonlarda VO₂'ni tahmin eden KAH_{indeks} adı verilen bir yöntem geliştirmişlerdir. KAH_{indeks} (KAH_{egzersiz}/KAH_{dinlenik}) ile dinlenik metabolik hızın katlarını (MET) ifade eden egzersiz VO₂ (yani KAH_{indeks} ile MET) arasında yüksek bir ilişki (R² = 0,952) olduğunu göstermişlerdir (9). Yakın zamanda 15 ragbi oyuncusunda (R² = 0,93) (12) ve sezon öncesi rutin fizyolojik test yapılan 184 profesyonel futbolcuda (R² = 0,85) (13) yapılan çalışmalarda da KAH_{indeks} ve MET arasında yüksek düzeyde bir ilişki bulunmuştur. Bu çalışmada ise önceki çalışmalardan farklı olarak dayanıklılık sporcularında KAH_{indeks} ve MET arasında (R² = 0,36) (Şekil 4.1) orta düzeyde bir ilişki gözlenmiştir. Her ne kadar bu çalışmada KAH_{indeks} ve MET arasındaki pozitif doğrusal ilişki önceki çalışmalar kadar güçlü değilse de ilişkiyi temsil eden regresyon modeli (MET = (5,7 x KAH_{indeks}) - 3,7), Wicks ve diğerlerinin (9) orijinal modeline (MET = (6,0 x KAH_{indeks}) - 4,9) ve ragbi oyuncularından (MET = 5,9 x KAH_{indeks} - 5,0) (12) ve profesyonel futbolculardan elde edilen (MET = 5,9 x KAH_{indeks} - 4,4) (13) modellere benzerdir. Bu çalışmadaki dayanıklılık sporcularının maksimal aerobik gücü hem profesyonel rugby oyuncularından (VO_{2maks} = 47,1 ± 4,3 ml.kg⁻¹.dk⁻¹) hem de profesyonel futbolculardan

($VO_{2maks} = 58,3 \pm 3,9 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$) anlamlı derecede yüksektir (Sırasıyla $t = 16,701$, $p = 0,000$ ve $t = 6,837$, $p = 0,000$) (Tablo 4.1). Bu bulgular, KAH_{indeks} ve VO_2 arasındaki ilişkinin antrenman düzeyine göre değişken olduğunu göstermektedir. Bir başka deyişle antrenmanın KAH_{indeks} 'in önemli bileşenleri olan KAH_{egzersiz} ve KAH_{din} üzerindeki etkisinin bireysel olarak değiştiğini buna bağlı olarak da KAH_{indeks} 'in değiştiğini gösterir. Belirli bir VO_2 düzeyinde atım hacmi antrenmanlı bireylerde yüksek olduğu için (196) KAH_{egzersiz} düşüktür. Ek olarak antrenmanlı bireylerde sempatik modülasyonda azalma ve parasempatik modülasyonda artış nedeniyle KAH_{din} da önemli ölçüde değişebilir (189-192). Bu nedenle egzersiz sırasındaki VO_2 için KAH_{indeks} değeri bireyin antrenman durumuna göre önemli ölçüde değişebilir. Nitekim Şekil 4.1 incelendiğinde, aynı KAH_{indeks} değerine karşılık gelen MET değerlerinin y eksenini boyunca geniş bir dağılım göstermesi KAH_{indeks} ve VO_2 (MET) ilişkisinin bireysel olarak değişkenlik gösterdiğine delil olarak kabul edilebilir.

5.3. KAH_{indeks} Yöntemi ile VO_{2maks} 'nin Kestirilmesi

KAH_{indeks} yöntemi ile tahmin edilen VO_{2maks} İK yöntemle ölçülenden anlamlı derecede düşüktür ($p=0,013$) (Tablo 4.2). VO_{2maks} , klinik popülasyonda kardiyorespiratuar uygunluğun değerlendirilmesi, sporcularda antrenmanın planlanması ve antrenman etkisinin değerlendirilmesi açısından sıklıkla kullanılan fizyolojik bir parametredir. VO_{2maks} 'nin değerlendirilebilmesi için pahalı ekipmanlara ve teknik bilgiye ihtiyaç duyulması ve pratikte uygulanabilirliğinin zorluğu, araştırmacıları farklı yöntemler geliştirmeye yöneltmiştir (133, 197, 198). KAH ve VO_2 arasındaki doğrusal ilişkiye dayanarak, KAH üzerinden VO_{2maks} 'ni tahmin eden birçok yöntem geliştirilmiştir. KAH üzerinden yapılan VO_{2maks} tahminleri genellikle kişinin gerçek VO_{2maks} 'inden %10-20 arasında farklı olabilmektedir (160). Bu çalışmanın aksine profesyonel rugby ligi oyuncularında gerçekleştirilen çalışmada ölçülen ($46,8 \pm 4,3 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$) ve KAH_{indeks} yöntemi ile tahmin edilen ($47,1 \pm 4,3 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$) VO_{2maks} değerleri arasındaki fark anlamlı değildir (12). Daha yakın zamanda aerobik gücü rugby oyuncularından yüksek ancak bu çalışmadaki dayanıklılık sporcularından düşük olan profesyonel futbolcularda yapılan bir çalışmada ise bu çalışmaya benzer şekilde KAH_{indeks} yöntemiyle tahmin edilen VO_{2maks} 'nin, ölçülenden anlamlı derecede düşük olduğu rapor edilmiştir ($p<0,05$) (13). Benzer şekilde Kang ve

diğerleri (166), sağlıklı yetişkinlerde KAH_{indeks} yöntemi ile tahmin edilen $VO_{2\text{maks}}$ 'nin ölçülenden anlamlı derecede düşük olduğunu saptamıştır ($p < 0,05$). Haller ve diğerlerinin (11) sağlıklı, aktif, erkek üniversite öğrencileriyle yaptığı çalışmada da benzer şekilde KAH_{indeks} yöntemiyle tahmin edilen $VO_{2\text{maks}}$ değerleri, ölçülen değerlerden anlamlı derecede düşük çıkmıştır ($p < 0,05$). Bu çalışmada dayanıklılık sporcularında ölçülen ve tahmin edilen $VO_{2\text{maks}}$ değerleri arasındaki fark %11,3 iken, profesyonel futbolcularda yapılan çalışmada %5,1 (13), sağlıklı yetişkinlerde yapılan çalışmada %7,9'dur (166). $VO_{2\text{maks}}$ 'nin tahmin edilmesi için KAH_{indeks} değeri KAH_{maks} 'ndan hesaplanmaktadır ($KAH_{\text{indeks(maks)}} = KAH_{\text{maks}} / KAH_{\text{din}}$). KAH_{maks} yaşa bağlı olarak değişim göstermektedir (199). Buna karşılık KAH_{din} , KAH_{indeks} yöntemi ile yapılan tahminleri etkileyen en kritik faktördür. KAH_{indeks} yöntemi için KAH_{maks} 'nın antrenmandan etkilenmeyen bir parametre olması bir avantaj, KAH_{din} 'nin birçok faktörden etkilenmesi ise bir dezavantaj olarak düşünülebilir ancak KAH_{maks} değişmediği halde KAH_{din} 'nin aerobik antrenmanla önemli ölçüde azalması (188) nedeniyle dayanıklılık antrenmanlarının aerobik kapasite ($VO_{2\text{maks}}$) üzerine etkisini yansıtmaması açısından formülün pratik kullanım değerini artırabileceği söylenebilir. Bu nedenle KAH_{din} ölçümü standardize edildiğinde yöntemin kestirim gücü artabilir. Wicks ve diğerleri (9) tarafından yapılan retrospektif çalışmaya dahil edilen 60 çalışmanın, sadece 12'sinde KAH_{din} belirleme yöntemi ile ilgili bir bilgi mevcuttur. Bununla beraber maksimale yakın ve maksimal şiddette egzersizlerde VO_2 - KAH ilişkisinin zayıflaması ve bireysel olarak VO_2 kinetiğinin değişkenlik göstermesi (160) KAH_{indeks} yönteminin aerobik kapasitesi yüksek dayanıklılık sporcularında $VO_{2\text{maks}}$ 'ni kestirim gücünün (geçerliğinin) düşük olmasının nedeni olabilir.

Bu çalışmada bireysel seviyede ölçülen ve tahmin edilen $VO_{2\text{maks}}$ değerlerinin farklarının ortalaması $-7,4 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$ 'dır. Benzer şekilde aerobik kapasitesi bu çalışmadaki dayanıklılık sporcularından düşük olan sağlıklı, üniversite çağındaki yetişkin erkeklerde ölçülen ve tahmin edilen değerlerin farklarının ortalaması $-5,1 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$ olarak rapor edilmiştir (11). Bu çalışmanın aksine sağlıklı genç yetişkinlerde ($-2,98 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$) (10), rugby oyuncusu ($-0,60 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$) (12) ve profesyonel futbolcu ($-1,03 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$) (13) gibi atletik popülasyonlarda ölçülen ve tahmin edilen $VO_{2\text{maks}}$ farklarının ortalamaları belirgin miktarda düşüktür.

Dayanıklılık sporcularında ölçülen ve hesaplanan VO_{2maks} değerlerinin ortalaması ve farkları arasında anlamlı pozitif ilişki (trend) ($r = 0,643$; $p = 0,002$) olması kestirim hatasının (farkların) VO_{2maks} 'nin ölçülen değeri arttıkça büyüdüğünü göstermektedir. Wicks ve diğerlerinin (9) yaptıkları çalışmada, veriler grup ortalamaları üzerinden değerlendirdiğinden, KAH_{indeks} modelinin bireysel olarak nasıl bir sonuç verdiğini ortaya koyulmamıştır (166). Bu çalışmadaki ve benzer şekilde daha önce yapılan çalışmalardaki Bland-Altman grafiklerinde alt ve üst tutarlık sınırlarının geniş olması, KAH_{indeks} yöntemi ile hesaplanan VO_{2maks} değerlerinin bireysel seviyede yüksek hatalar verdiğini ve Wicks ve diğerlerinin (9) öne sürdüğü gibi KAH_{indeks} yönteminin bireysel $KAH-VO_2$ denklemi ihtiyacını ortadan kaldırmadığını göstermektedir. Ek olarak tahmin edilen ve ölçülen VO_{2maks} değerleri arasındaki uyumun bir göstergesi olan ve yöntemleri karşılaştırırken popülasyonun değişkenliğinden etkilenmeyen (173) BTTÖ katsayısının sıfırdan farklı olması da (Tablo 4.4) yöntemler arasında uyum konusunda sayısal bilginin varlığına (yani tutarsızlığa) işaret ettiğini gösterir. Bu bulgular KAH_{indeks} yönteminin dayanıklılık sporcularında aerobik gücün göstergesi olan VO_{2maks} 'nin tahmin edilmesinde geçerli bir yöntem olmadığını göstermektedir.

5.4. KAH_{indeks} ve Enerji Harcaması

Dayanıklılık sporcularında iyi bir performans ortaya koyabilmek için optimal vücut kompozisyonunun yıl boyunca sürdürülebilirliğinin sağlanmasında enerji dengesi kritik öneme sahiptir. Enerji dengesinin korunması, yılın farklı dönemlerinde hacim ve şiddet olarak değişen antrenmanlara uygun olarak beslenmenin doğru bir şekilde planlanması ile mümkün olabilir. Enerji dengesinin sağlanması için sporcuların günlük toplam enerji harcamasının doğru bir şekilde hesaplanması gerekmektedir. Antrenman dışında günlük enerji harcaması sporcu olmayan bireyler ile benzerlik gösterdiği düşünülürse, antrenman sırasında harcanan enerjinin doğru bir şekilde hesaplanması enerji dengesinin sağlanması açısından önemlidir.

KAH ve VO_2 arasındaki doğrusal ilişki kullanılarak VO_2 'nin yanında enerji harcaması da ölçülebilir (161, 200). KAH ve VO_2 ilişkisinden enerji harcamasının değerlendirilmesinde temel sorun, $KAH-VO_2$ ilişkisinin submaksimal egzersiz şiddetinin geniş bir aralığında doğrusal olmasına rağmen, çok düşük veya maksimale yakın şiddetlerde doğrusallıktan ayrılmasıdır (201). Seiler (1), dayanıklılık sporcuları

için antrenman şiddetini düşük (<2 mmol laktat), orta (2-4 mmol arası laktat düzeyi; laktat eşiği antrenmanı) ve yüksek şiddet (> 4 mmol laktat) olmak üzere 3 bölgede tanımlamıştır. Kan laktat ölçümü pratikte uygulanabilirliği çok kolay bir yöntem olmadığından, KAH, aktivite şiddetini belirlemek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Adı geçen antrenman bölgeleri, KAH üzerinden $KAH_R < \%72$ düşük, $\%72 < KAH_R < \%88$ orta ve $KAH_R > \%88$ yüksek şiddet olarak tanımlanmıştır (1). Bu çalışmada da, enerji harcaması, bireysel seviyede hesaplanan KAH_R 'ne göre $KAH_R < \%72$ düşük, $KAH_R \%72- 88$ orta ve $KAH_R > \%88$ yüksek olacak şekilde incelenmiştir. Her bir şiddette KAH_{indeks} yöntemi ile hesaplanan enerji harcaması, ölçülen enerji harcamasından anlamlı derecede düşüktür ($p < 0,05$) (Tablo 4.3). İstatistik analiz yapılmamış olmakla beraber, egzersizin şiddetindeki artışa bağlı olarak enerji harcaması artarken, ölçülen ve hesaplanan enerji harcaması değerleri arasındaki fark da artmıştır (Tablo 4.3). Colosio ve diğerleri (12) rugby oyuncularında yaptıkları çalışmada bu çalışmadan farklı olarak İK yöntemle KAH_{indeks} yöntemi arasında enerji harcamasının hesaplanmasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığını rapor etmişlerdir. Benzer şekilde profesyonel futbolcularda yapılan daha yeni bir çalışmada, 4 mmol laktat eşiğinin altındaki submaksimal hızlarda (<14 km.h⁻¹) iki yöntem arasında enerji harcamasının benzer, anaerobik metabolizmanın baskın olduğu >14 km.h⁻¹ hızlarda (>4 mmol laktat) İK yöntemle ölçülenin, KAH_{indeks} yöntemi ile hesaplanandan anlamlı derecede yüksek olduğu rapor edilmiştir (13). Böylece bu çalışmada $> \%88$ KAH_R şiddetlerde diğer şiddetlere göre, KAH_{indeks} yöntemi ile hesaplanan enerji harcamasının İK yöntemle ölçülenden daha yüksek fark ortaya koyması KAH-VO₂ arasındaki doğrusallığın bozulması ve anaerobik metabolizmanın baskın hale gelmesi ile açıklanabilir. Bu çalışmada Bland–Altman grafikleme, tüm şiddet seviyelerinde egzersizler için bireysel seviyede enerji harcamasının yöntem farklarının sifıra yakın olduğunu göstermektedir ancak yöntem farkları ve ortalamaları arasında bir trendin (bağıntının) olması (Şekil 4.3), enerji harcamasının tahmin edilmesinde KAH_{indeks} yönteminden kaynaklanan hatanın, enerji harcamasının boyutundan etkilendiğini göstermektedir. Ek olarak VO_{2maks}'nde olduğu gibi tüm enerji seviyeleri için hesaplanan BTTÖ katsayıları sifirdan anlamlı derecede farklı ve $\%95$ güven sınırları da sifirdan büyüktür (Tablo 4.4). Bu bulgu, tüm enerji seviyelerinde kestirilen ve ölçülen enerji harcaması arasındaki uyumla ilgili sayısal

bilginin var olduğunu (tutarsızlık bulunduğunu) göstermektedir. Dahası tüm enerji seviyelerinde BTTÖ katsayılarının sıfırdan farklı olması, KAH_{indeks} ve İK yöntemi arasındaki tutarsızlığın egzersizin şiddetine göre değişmediğini göstermektedir.

Seiler (1), dayanıklılık sporcularının antrenman şiddeti ve süresinin dağılımı ile ilgili yaptığı bir derleme çalışmada, sporcuların haftalık ortalama 10-13 birim antrenman yaptıklarını ve genel olarak haftalık antrenman miktarının %80'ini düşük (<%72 KAH_R) şiddette ve kalan %20'lik kısmını ise orta (%72-88 KAH_R) ve yüksek (>%88 KAH_R) şiddette gerçekleştirdiklerini belirtmiştir. Her ne kadar tüm şiddet seviyelerinde ölçülen ve tahmin edilen enerji harcaması arasında anlamlı fark ve uyumla ilgili sayısal bilgi (tutarsızlık) mevcutsa da KAH_{indeks} ve İK yöntemle elde edilen enerji harcaması arasındaki farklar birim zamanda vücut ağırlığının kilogramı başına kcal olarak (yani $\text{kcal.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$) ifade edildiğinde oldukça düşüktür. Örneğin; 65 kg vücut ağırlığına sahip bir atletin, <%72 KAH_R şiddette günlük olarak 2 birim (2 saat) antrenman yaptığı ve bu çalışmanın bulgularındaki ortalama değerlerde enerji harcadığı varsayıldığında İK yöntemle hesaplanan enerji harcaması saatte 764 kcal, KAH_{indeks} yöntemi ile hesaplanan enerji harcaması ise saatte 718 kcal olacaktır. Böylece günlük olarak 2 antrenman yapan bir sporcunun KAH_{indeks} yöntemi ile hesaplanan enerji harcaması İK yöntemden 92 kcal daha düşük olacaktır. Fudge ve diğerlerinin (93) yaptıkları çalışmada Kenyalı orta ve uzun mesafe koşucularında yarışma öncesi dönemde günlük enerji harcamasını 3490 kcal olarak raporladıkları göz önüne alındığında, düşük hesaplanan enerji miktarı günlük toplam enerji harcamasının yaklaşık olarak %3'üne denk gelmektedir. Hesaplama ortaya çıkan bu hata, 50 gram bulgur pilavının 108 kcal, 30 gr pirinç pilavının 105 kcal (202) enerjinin karşılığı olduğu düşünüldüğünde, enerji dengesinin sağlanması için bir risk oluşturmadığı söylenebilir. Böylece bu çalışmanın bulguları, KAH_{indeks} yönteminin orta ve uzun mesafe atletleri ile oryantiring sporcularının antrenman sırasında enerji harcamasının hesaplanmasında, İK yönteme bir alternatif yöntem olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Sonuç olarak, bu çalışmaya göre KAH_{indeks} yöntemi, dayanıklılık sporcularında $VO_{2\text{maks}}$ 'ni İK yöntemle ölçülenden anlamlı derecede farklı ve %11,3 daha düşük tahmin etmiştir. İyi planlanmış dayanıklılık antrenmanlarının $VO_{2\text{maks}}$ 'nde 3-6 aylık

antrenman sonucunda %7-16 arasında artış gösterdiği bilinmektedir (42). KAH_{indeks} yöntemi ile hesaplanan $VO_{2\text{maks}}$ değerlerinin bireysel seviyede de yüksek hatalar verdiği ortaya konulduğundan, bu yöntemin kondisyonierler, antrenörler ve spor bilimciler tarafından dayanıklılık sporcularında antrenman takibi ya da sporcunun aerobik kapasitesini belirlemede pratik kullanım değeri olmadığı söylenebilir. Diğer taraftan, antrenman yılının farklı dönemlerinde antrenmanın içeriğine bağlı olarak günlük harcanan enerji miktarında yüksek dalgalanmalar gösteren dayanıklılık sporcularında aktivite sırasında harcanan enerjinin değerlendirilmesi için KAH_{indeks} yönteminin pratik kullanım değerinin yüksek olduğu ortaya konmuştur. Böylece antrenman periyodu boyunca enerji dengesinin sağlanması, dayanıklılık performansını doğrudan etkileyen vücut yapı ve kompozisyonunun nispeten sabit tutulması ve özellikle sporcunun yarışma periyoduna ideal bir vücut kompozisyonu sahip bir şekilde girmesi için bu yöntem sporcular, antrenörler, kondisyonierler ve sporcu beslenmesi ile ilgilenen uzmanlar için beslenmenin planlanması ve periyotlamasında kullanılabilecek bir yöntem olarak önerilebilir.

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

6.1. Sonuç

Dayanıklılık sporcularında VO_{2maks} ve her seviyedeki aktivite esnasında enerji harcamasının kestiriminde KAH_{indeks} yönteminin geçerliğini belirlemek amacıyla yapılan bu çalışma ile ilgili sonuçlar aşağıdadır:

1. Dayanıklılık sporcularında artan şiddette egzersiz testi sırasında her iş yükünde ölçülen MET ve KAH_{indeks} değerleri arasında istatistiksel olarak orta düzeyde pozitif anlamlı bir ilişki vardır ($p<0,05$).

2. İK yöntemle ölçülen VO_{2maks} , KAH_{indeks} yöntemi ile hesaplanandan istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde yüksektir ($p=0,013$).

3. Farklı iş yüklerinde ($<72 KAH_R$, $p<0,05$; $72-88 KAH_R$, $p<0,05$; $>88 KAH_R$, $p<0,05$) İK yöntemle ölçülen enerji harcaması ve KAH_{indeks} yöntemiyle hesaplanandan anlamlı derecede yüksektir.

4. VO_{2maks} için İK yöntem ve KAH_{indeks} yöntemi arasındaki BTTÖ istatistiksel olarak anlamlı derecede sıfırdan farklıdır ($p<0,05$).

5. Farklı iş yüklerinin her birinde ($<72 KAH_R$; $72-88 KAH_R$; $>88 KAH_R$) enerji harcaması değerleri için, İK yöntem ve KAH_{indeks} yöntemi arasındaki BTTÖ istatistiksel olarak anlamlı derecede sıfırdan farklıdır ($p<0,05$).

6.2. Öneriler

Bu araştırmada orta ve uzun mesafe atletleri ve oryantiring sporcularında, VO_{2maks} 'nin ve farklı iş yüklerinde enerji harcamasının hesaplanmasında KAH_{indeks} yönteminin geçerliği incelenmiştir. Gelecekte yapılacak çalışmalar için öneriler aşağıda verilmiştir:

1. Bu çalışma laboratuvar ortamında koşu bandında gerçekleştirilmiştir. Gelecekteki çalışmalarda saha ortamında farklı düzeydeki antrenman şiddetleri planlanarak KAH_{indeks} yöntemi ile enerji harcaması değerlendirilebilir.

2. Bu çalışma orta ve uzun mesafe atletleri ve oryantiring sporcularında gerçekleştirilmiştir. Gelecekte yapılacak çalışmalar enerji dengesinin ve vücut kompozisyonunun sürdürülebilirliğinin önemli olduğu sıklet sporlarında veya artistik branşlarda gerçekleştirilebilir.

3. Gelecekte yapılacak çalışmalar mekanik yükün de devrede oldu kürek branşında veya hareket tekniğinin önemli olduğu yüzme branşı gibi dayanıklılık sporlarında gerçekleştirilebilir.

4. Bu çalışmada farklı iş yüklerinde enerji harcaması değerlendirilirken KAH temelli şiddet kriteri kullanılmıştır. Gelecekteki çalışmalarda laktat eşğine dayanan şiddet kriterleri kullanılabilir.

7. KAYNAKÇA

1. Seiler S. What is best practice for training intensity and duration distribution in endurance athletes? *Int J Sports Physiol Perform*. 2010;5(3):276-91.
2. Heydenreich J, Kayser B, Schutz Y, Melzer K. Total energy expenditure, energy intake, and body composition in endurance athletes across the training season: A systematic review. *Sports Med Open*. 2017;3(1):8.
3. Oliveira CC, Ferreira D, Caetano C, Granja D, Pinto R, Mendes B, et al. Nutrition and supplementation in soccer. *Sports*. 2017;5(2):28.
4. Kreider R, Wilborn C, Taylor L, Campbell B, Almada A, Collins R, et al. ISSN exercise & sport nutrition review: Research & recommendations. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. 2010;7:7.
5. Legaz-Arrese A, Serrano-Ostáriz E. Skinfold thicknesses associated with distance running performance in highly trained runners. *Journal of sports sciences*. 2006;24:69-76.
6. E Jequier, K Acheson a, Schutz Y. Assessment of energy expenditure and fuel utilization in man. *Annual Review of Nutrition*. 1987;7(1):187-208.
7. Hills AP, Mokhtar N, Byrne NM. Assessment of physical activity and energy expenditure: An overview of objective measures. *Frontiers in Nutrition*. 2014;1(5).
8. Hiilloskorpi HK, Pasanen ME, Fogelholm MG, Laukkanen RM, Mänttári AT. Use of heart rate to predict energy expenditure from low to high activity levels. *Int J Sports Med*. 2003;24(5):332-6.
9. Wicks JR, Oldridge NB, Nielsen LK, Vickers CE. HR index--a simple method for the prediction of oxygen uptake. *Med Sci Sports Exerc*. 2011;43(10):2005-12.
10. Esco MR, Olson MS, Williford HN, Mugu EM, Bloomquist BE, McHugh AN. Crossvalidation of two heart rate-based equations for predicting VO₂max in white and black men. *J Strength Cond Res*. 2012;26(7):1920-7.
11. Haller J, Fehling P, Barr D, Storer T, Cooper C, Smith D. Use of the HR index to predict maximal oxygen uptake during different exercise protocols. *Physiological reports*. 2013;1:e00124.
12. Colosio A, Pedrinolla A, Da Lozzo G, Pogliaghi S. Heart rate-index estimates oxygen uptake, energy expenditure and aerobic fitness in rugby players. *Journal of sports science & medicine*. 2018.
13. Colosio A, Lievens M, Pogliaghi S, Bourgois J, Boone J. Heart rate-index estimates aerobic metabolism in professional soccer players. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2020.
14. Bassett DR, Jr., Howley ET. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med Sci Sports Exerc*. 2000;32(1):70-84.

15. Saunders PU, Pyne DB, Telford RD, Hawley JA. Factors affecting running economy in trained distance runners. *Sports Med.* 2004;34(7):465-85.
16. Stellingwerff T, Maughan RJ, Burke LM. Nutrition for power sports: middle-distance running, track cycling, rowing, canoeing/kayaking, and swimming. *J Sports Sci.* 2011;29 Suppl 1:S79-89.
17. Radák Z. Chapter 5 - Fundamentals of endurance training. In: Radák Z, editor. *The Physiology of Physical Training*; Academic Press; 2018. p. 81-109.
18. Tanaka H, Swensen T. Impact of resistance training on endurance performance. A new form of cross-training? *Sports Med.* 1998;25(3):191-200.
19. Gibala MJ, Hawley JA. Sprinting toward fitness. *Cell Metab.* 2017;25(5):988-90.
20. Shephard RJ. Determinants of endurance performance. *Endurance in Sport.* 2000. p. 21-36.
21. Joyner MJ, Coyle EF. Endurance exercise performance: the physiology of champions. *J Physiol.* 2008;586(1):35-44.
22. Levine BD. $\dot{V}O_2$ max: what do we know, and what do we still need to know? *J Physiol.* 2008;586(1):25-34.
23. Hill AV, Lupton H. Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilization of oxygen. *QJM: An International Journal of Medicine.* 1923;os-16(62):135-71.
24. Haugen T, Paulsen G, Seiler S, Sandbakk O. New records in human power. *International Journal of Sports Physiology and Performance.* 2017;13.
25. Hill AV, Long CNH, Lupton H. Muscular exercise, lactic acid and the supply and utilisation of oxygen. Parts VII & VIII. *Proceedings of the Royal Society of London Series B, Containing Papers of a Biological Character.* 1924;97(682):155-76.
26. Howley ET, Bassett DR, Jr., Welch HG. Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Med Sci Sports Exerc.* 1995;27(9):1292-301.
27. Powers SK, Howley ET. *Exercise physiology: theory and application to fitness and performance*; McGraw-Hill; 2007.
28. Astrand I, Astrand PO, Hallböök I, Kilbom A. Reduction in maximal oxygen uptake with age. *J Appl Physiol.* 1973;35(5):649-54.
29. McArdle WD, Katch FI, Pechar GS. Comparison of continuous and discontinuous treadmill and bicycle tests for max $\dot{V}O_2$. *Med Sci Sports.* 1973;5(3):156-60.
30. Smolalaka VN. Treadmills vs bicycle ergometers. *Phys Sportsmed.* 1982;10(8):75-80.
31. Costill DL, Thomason H, Roberts E. Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running. *Med Sci Sports.* 1973;5(4):248-52.

32. Costill DL, Branam G, Eddy D, Sparks K. Determinants of marathon running success. *Internationale Zeitschrift für angewandte Physiologie einschließlich Arbeitsphysiologie*. 1971;29(3):249-54.
33. Saltin B, Strange S. Maximal oxygen uptake: "old" and "new" arguments for a cardiovascular limitation. *Med Sci Sports Exerc*. 1992;24(1):30-7.
34. Wagner PD. Determinants of maximal oxygen transport and utilization. *Annu Rev Physiol*. 1996;58:21-50.
35. Bassett DR, Jr., Howley ET. Maximal oxygen uptake: "classical" versus "contemporary" viewpoints. *Med Sci Sports Exerc*. 1997;29(5):591-603.
36. Faulkner JA, Kollias J, Favour CB, Buskirk ER, Balke B. Maximum aerobic capacity and running performance at altitude. *J Appl Physiol*. 1968;24(5):685-91.
37. Daniels J, Oldridge N. The effects of alternate exposure to altitude and sea level on world-class middle-distance runners. *Med Sci Sports*. 1970;2(3):107-12.
38. Powers S, Martin A, Dodd S. Exercise-induced hypoxaemia in elite endurance athletes. *Sports Medicine*. 1993;16.
39. Powers SK, Lawler J, Dempsey JA, Dodd S, Landry G. Effects of incomplete pulmonary gas exchange on VO₂ max. *J Appl Physiol* (1985). 1989;66(6):2491-5.
40. Saltin B. Hemodynamic adaptations to exercise. *Am J Cardiol*. 1985;55(10):42d-7d.
41. Saltin B, Blomqvist G, Mitchell JH, Johnson RL, Wildenthal K, Chapman CB, et al. A longitudinal study of adaptive changes in oxygen transport and body composition. *Circulation*. 1968;38(5s7):VII-1-VII-78.
42. Ekblom B, Astrand PO, Saltin B, Stenberg J, Wallström B. Effect of training on circulatory response to exercise. *J Appl Physiol*. 1968;24(4):518-28.
43. Steiner T, Maier T, Wehrli JP. Effect of endurance training on hemoglobin mass and VO_{2max} in male adolescent athletes. *Med Sci Sports Exerc*. 2019;51(5):912-9.
44. Gledhill N. Blood doping and related issues: a brief review. *Med Sci Sports Exerc*. 1982;14(3):183-9.
45. Andersen P, Henriksson J. Capillary supply of the quadriceps femoris muscle of man: adaptive response to exercise. *J Physiol*. 1977;270(3):677-90.
46. Morgan TE, Cobb LA, Short FA, Ross R, Gunn DR. Effects of Long-Term Exercise on Human Muscle Mitochondria. In: Pernow B, Saltin B, editors. *Muscle metabolism during exercise: Proceedings of a Karolinska Institutet Symposium held in Stockholm, Sweden, September 6-9, 1970* Honorary guest: E Hohwü Christensen. Boston, MA: Springer US; 1971. p. 87-95.

47. Holloszy JO, Coyle EF. Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*. 1984;56(4):831-8.
48. Bowen TS, Benson A, Rossiter H. The coupling of internal and external gas exchange during exercise. 2019. p. 217-49.
49. Wasserman K. The anaerobic threshold: definition, physiological significance and identification. *Adv Cardiol*. 1986;35:1-23.
50. Brooks GA. The science and translation of lactate shuttle theory. *Cell Metab*. 2018;27(4):757-85.
51. Stegmann H, Kindermann W, Schnabel A. Lactate kinetics and individual anaerobic threshold. *Int J Sports Med*. 1981;2(3):160-5.
52. Svedahl K, MacIntosh BR. Anaerobic threshold: the concept and methods of measurement. *Can J Appl Physiol*. 2003;28(2):299-323.
53. Walsh ML, Banister EW. Possible mechanisms of the anaerobic threshold. A review. *Sports Med*. 1988;5(5):269-302.
54. Faude O, Kindermann W, Meyer T. Lactate threshold concepts: how valid are they? *Sports Med*. 2009;39(6):469-90.
55. Wasserman K, McIlroy MB. Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. *Am J Cardiol*. 1964;14:844-52.
56. Wasserman K, Whipp BJ, Koysl SN, Beaver WL. Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J Appl Physiol*. 1973;35(2):236-43.
57. Ghosh AK. Anaerobic threshold: its concept and role in endurance sport. *Malays J Med Sci*. 2004;11(1):24-36.
58. Conconi F, Ferrari M, Ziglio PG, Droghetti P, Codeca L. Determination of the anaerobic threshold by a noninvasive field test in runners. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*. 1982;52(4):869-73.
59. Anderson GS, Rhodes EC. A review of blood lactate and ventilatory methods of detecting transition thresholds. *Sports Med*. 1989;8(1):43-55.
60. Farrell PA, Wilmore JH, Coyle EF, Billing JE, Costill DL. Plasma lactate accumulation and distance running performance. *Med Sci Sports*. 1979;11(4):338-44.
61. Aunola S, Rusko H. Does anaerobic threshold correlate with maximal lactate steady-state? *J Sports Sci*. 1992;10(4):309-23.
62. Tegtbur U, Busse MW, Braumann KM. Estimation of an individual equilibrium between lactate production and catabolism during exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 1993;25(5):620-7.
63. Cheng B, Kuipers H, Snyder AC, Keizer HA, Jeukendrup A, Hesselink M. A new approach for the determination of ventilatory and lactate thresholds. *Int J Sports Med*. 1992;13(7):518-22.

64. Billat LV. Use of blood lactate measurements for prediction of exercise performance and for control of training. Recommendations for long-distance running. *Sports Med.* 1996;22(3):157-75.
65. Sjödin B, Jacobs I. Onset of blood lactate accumulation and marathon running performance. *Int J Sports Med.* 1981;2(1):23-6.
66. Kumagai S, Tanaka K, Matsuura Y, Matsuzaka A, Hirakoba K, Asano K. Relationships of the anaerobic threshold with the 5 km, 10 km, and 10 mile races. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology.* 1982;49(1):13-23.
67. Barnes KR, Kilding AE. Running economy: measurement, norms, and determining factors. *Sports Med Open.* 2015;1(1):8.
68. Fletcher JR, Esau SP, Macintosh BR. Economy of running: beyond the measurement of oxygen uptake. *J Appl Physiol* (1985). 2009;107(6):1918-22.
69. Conley DL, Krahenbuhl GS. Running economy and distance running performance of highly trained athletes. *Med Sci Sports Exerc.* 1980;12(5):357-60.
70. Daniels JT. A physiologist's view of running economy. *Med Sci Sports Exerc.* 1985;17(3):332-8.
71. Foster C, Lucia A. Running economy : the forgotten factor in elite performance. *Sports Med.* 2007;37(4-5):316-9.
72. Bergh U, Sjödin B, Forsberg A, Svedenhag J. The relationship between body mass and oxygen uptake during running in humans. *Med Sci Sports Exerc.* 1991;23(2):205-11.
73. Pollock ML. Submaximal and maximal working capacity of elite distance runners. Part I: Cardiorespiratory aspects. *Ann N Y Acad Sci.* 1977;301:310-22.
74. Frączek B, Grzelak A, Klimek A. Analysis of daily energy expenditure of elite athletes in relation to their sport, the measurement method and energy requirement norms. *Journal of Human Kinetics.* 2019;70:81-92.
75. Burke LM. Energy needs of athletes. *Can J Appl Physiol.* 2001;26 Suppl:S202-19.
76. Speakman JR, Selman C. Physical activity and resting metabolic rate. *Proc Nutr Soc.* 2003;62(3):621-34.
77. Westerterp KR. Physical activity and physical activity induced energy expenditure in humans: measurement, determinants, and effects. *Front Physiol.* 2013;4:90.
78. Billat V, Lepretre PM, Heugas AM, Laurence MH, Salim D, Koralsztein JP. Training and bioenergetic characteristics in elite male and female Kenyan runners. *Med Sci Sports Exerc.* 2003;35(2):297-304; discussion 5-6.

79. Tønnessen E, Svendsen IS, Rønnestad BR, Hisdal J, Haugen TA, Seiler S. The annual training periodization of 8 world champions in orienteering. *Int J Sports Physiol Perform.* 2015;10(1):29-38.
80. Lucía A, Hoyos J, Pérez M, Chicharro JL. Heart rate and performance parameters in elite cyclists: a longitudinal study. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32(10):1777-82.
81. Zapico AG, Calderón FJ, Benito PJ, González CB, Parisi A, Pigozzi F, et al. Evolution of physiological and haematological parameters with training load in elite male road cyclists: a longitudinal study. *J Sports Med Phys Fitness.* 2007;47(2):191-6.
82. Fiskerstrand A, Seiler KS. Training and performance characteristics among Norwegian international rowers 1970-2001. *Scand J Med Sci Sports.* 2004;14(5):303-10.
83. Knechtle B, Knechtle P, Rüst CA, Rosemann T, Lepers R. Finishers and nonfinishers in the 'swiss cycling marathon' to qualify for the 'race across america'. *The Journal of Strength & Conditioning Research.* 2011;25(12):3257-63.
84. Sjödin AM, Andersson AB, Högberg JM, Westerterp KR. Energy balance in cross-country skiers: a study using doubly labeled water. *Med Sci Sports Exerc.* 1994;26(6):720-4.
85. Hill RJ, Davies PS. Energy intake and energy expenditure in elite lightweight female rowers. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34(11):1823-9.
86. Westerterp KR, Saris WH. Limits of energy turnover in relation to physical performance, achievement of energy balance on a daily basis. *J Sports Sci.* 1991;9 Spec No:1-13; discussion -5.
87. Issurin VB. New horizons for the methodology and physiology of training periodization. *Sports Med.* 2010;40(3):189-206.
88. Bosquet L, Montpetit J, Arvisais D, Mujika I. Effects of tapering on performance: a meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc.* 2007;39(8):1358-65.
89. Costa RJ, Gill SK, Hankey J, Wright A, Marczak S. Perturbed energy balance and hydration status in ultra-endurance runners during a 24 h ultra-marathon. *Br J Nutr.* 2014;112(3):428-37.
90. Bescós R, Rodríguez FA, Iglesias X, Benítez A, Marina M, Padullés JM, et al. High energy deficit in an ultraendurance athlete in a 24-hour ultracycling race. *Proc (Bayl Univ Med Cent).* 2012;25(2):124-8.
91. Cureton KJ, Sparling PB, Evans BW, Johnson SM, Kong UD, Purvis JW. Effect of experimental alterations in excess weight on aerobic capacity and distance running performance. *Med Sci Sports.* 1978;10(3):194-9.
92. Buskirk E, Taylor HL. Maximal oxygen intake and its relation to body composition, with special reference to chronic physical activity and obesity. *J Appl Physiol.* 1957;11(1):72-8.

93. Fudge B, Westerterp K, Kiplamai F, Onywera V, Boit M, Kayser B, et al. Evidence of negative energy balance using doubly labelled water in elite Kenyan endurance runners prior to competition. *The British journal of nutrition*. 2006;95:59-66.
94. Jensen K, Johansen L, Karkkainen O-P. Economy in track runners and orienteers during path and terrain running. *Journal of Sports Sciences*. 1999;17(12):945-50.
95. Richard A, Rohrmann S, Lohse T, Eichholzer M. Is body weight dissatisfaction a predictor of depression independent of body mass index, sex and age? Results of a cross-sectional study. *BMC Public Health*. 2016;16(1):863.
96. Onywera VO, Kiplamai FK, Boit MK, Pitsiladis YP. Food and macronutrient intake of elite kenyan distance runners. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2004;14(6):709-19.
97. Taguchi M, Moto K, Lee S, Torii S, Hongu N. Energy intake deficiency promotes bone resorption and energy metabolism suppression in japanese male endurance runners: A pilot study. *Am J Mens Health*. 2020;14(1):1557988320905251.
98. Creagh U, Reilly T. Physiological and biomechanical aspects of orienteering. *Sports Med*. 1997;24(6):409-18.
99. Sartor F, Vernillo G, de Morree H, Bonomi A, La Torre A, Kubis H-P, et al. Estimation of maximal oxygen uptake via submaximal exercise testing in sports, clinical, and home settings. *Sports medicine (Auckland, NZ)*. 2013;43.
100. Poole DC, Jones AM. Measurement of the maximum oxygen uptake $\dot{V}O_{2max}$: $\dot{V}O_{2peak}$ is no longer acceptable. *J Appl Physiol (1985)*. 2017;122(4):997-1002.
101. Buttar K, Saboo N, Kacker S. Maximum oxygen consumption (vo2 max) estimation using direct and indirect method in indian population: A pilot study. *Journal Of Clinical And Diagnostic Research*. 2020;14.
102. Klusiewicz A, J F. Indirect methods of estimating maximal oxygen uptake on the rowing ergometer. *Biology of Sport*. 2003;20.
103. Buttar K, Scholar, Saboo N, Kacker S. A review: Maximal oxygen uptake (VO2 max) and its estimation methods. 2019:24-32.
104. Shephard RJ. Open-circuit respirometry: a brief historical review of the use of Douglas bags and chemical analyzers. *Eur J Appl Physiol*. 2017;117(3):381-7.
105. Bassett DR, Jr., Howley ET, Thompson DL, King GA, Strath SJ, McLaughlin JE, et al. Validity of inspiratory and expiratory methods of measuring gas exchange with a computerized system. *J Appl Physiol (1985)*. 2001;91(1):218-24.
106. Duffield R, Dawson B, Pinnington HC, Wong P. Accuracy and reliability of a Cosmed K4b2 portable gas analysis system. *J Sci Med Sport*. 2004;7(1):11-22.

107. Midgley AW, Bentley DJ, Lutikholt H, McNaughton LR, Millet GP. Challenging a dogma of exercise physiology: does an incremental exercise test for valid $\text{VO}_{2\text{max}}$ determination really need to last between 8 and 12 minutes? *Sports Med.* 2008;38(6):441-7.
108. Sarma S, Levine BD. Beyond the bruce protocol: Advanced exercise testing for the sports cardiologist. *Cardiol Clin.* 2016;34(4):603-8.
109. Zuniga JM, Housh TJ, Camic CL, Bergstrom HC, Traylor DA, Schmidt RJ, et al. Metabolic parameters for ramp versus step incremental cycle ergometer tests. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2012;37(6):1110-7.
110. Buchfuhrer MJ, Hansen JE, Robinson TE, Sue DY, Wasserman K, Whipp BJ. Optimizing the exercise protocol for cardiopulmonary assessment. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol.* 1983;55(5):1558-64.
111. Beltz NM, Gibson AL, Janot JM, Kravitz L, Mermier CM, Dalleck LC. Graded exercise testing protocols for the determination of $\text{VO}_{(2)\text{max}}$: Historical perspectives, progress, and future considerations. *J Sports Med (Hindawi Publ Corp).* 2016;2016:3968393.
112. Pollock ML, Bohannon RL, Cooper KH, Ayres JJ, Ward A, White SR, et al. A comparative analysis of four protocols for maximal treadmill stress testing. *Am Heart J.* 1976;92(1):39-46.
113. Froelicher VF, Jr., Brammell H, Davis G, Noguera I, Stewart A, Lancaster MC. A comparison of three maximal treadmill exercise protocols. *J Appl Physiol.* 1974;36(6):720-5.
114. Myers J, Buchanan N, Walsh D, Kraemer M, McAuley P, Hamilton-Wessler M, et al. Comparison of the ramp versus standard exercise protocols. *J Am Coll Cardiol.* 1991;17(6):1334-42.
115. Mauger AR, Metcalfe AJ, Taylor L, Castle PC. The efficacy of the self-paced $\dot{\text{V}}\text{O}_{2\text{max}}$ test to measure maximal oxygen uptake in treadmill running. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2013;38(12):1211-6.
116. Hogg JS, Hopker JG, Mauger AR. The self-paced $\text{VO}_{2\text{max}}$ test to assess maximal oxygen uptake in highly trained runners. *Int J Sports Physiol Perform.* 2015;10(2):172-7.
117. Grant JA, Joseph AN, Campagna PD. The prediction of $\text{VO}_{2\text{max}}$: A comparison of 7 indirect tests of aerobic power. *The Journal of Strength & Conditioning Research.* 1999;13(4):346-52.
118. Astrand PO, Ryhming I. A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during sub-maximal work. *J Appl Physiol.* 1954;7(2):218-21.
119. Lennon OC, Denis RS, Grace N, Blake C. Feasibility, criterion validity and retest reliability of exercise testing using the Astrand-rhything test protocol with an adaptive ergometer in stroke patients. *Disabil Rehabil.* 2012;34(14):1149-56.

120. Bruce RA, Kusumi F, Hosmer D. Maximal oxygen intake and nomographic assessment of functional aerobic impairment in cardiovascular disease. *Am Heart J.* 1973;85(4):546-62.
121. Foster C, Jackson AS, Pollock ML, Taylor MM, Hare J, Sennett SM, et al. Generalized equations for predicting functional capacity from treadmill performance. *Am Heart J.* 1984;107(6):1229-34.
122. Pollock ML, Foster C, Schmidt D, Hellman C, Linnerud AC, Ward A. Comparative analysis of physiologic responses to three different maximal graded exercise test protocols in healthy women. *Am Heart J.* 1982;103(3):363-73.
123. Froelicher VF, Jr., Thompson AJ, Jr., Davis G, Stewart AJ, Triebwasser JH. Prediction of maximal oxygen consumption. Comparison of the Bruce and Balke treadmill protocols. *Chest.* 1975;68(3):331-6.
124. Bennett H, Parfitt G, Davison K, Eston R. Validity of submaximal step tests to estimate maximal oxygen uptake in healthy adults. *Sports Med.* 2016;46(5):737-50.
125. Hansen D, Jacobs N, Bex S, D'Haene G, Dendale P, Claes N. Are fixed-rate step tests medically safe for assessing physical fitness? *Eur J Appl Physiol.* 2011;111(10):2593-9.
126. McArdle WD, Katch FI, Pechar GS, Jacobson L, Ruck S. Reliability and interrelationships between maximal oxygen intake, physical work capacity and step-test scores in college women. *Med Sci Sports.* 1972;4(4):182-6.
127. Chatterjee S, Chatterjee P, Mukherjee PS, Bandyopadhyay A. Validity of Queen's college step test for use with young indian men. *Br J Sports Med.* 2004;38(3):289-91.
128. Balke B. A simple field test for the assessment of physical fitness. *REP 63-6. Rep Civ Aeromed Res Inst US.* 1963:1-8.
129. MacNaughton L, Croft R, Pennicott J, Long T. The 5 and 15 minute runs as predictors of aerobic capacity in high school students. *J Sports Med Phys Fitness.* 1990;30(1):24-8.
130. Mitchell R, Crandall C. Validation of the 15 minute balke field test for competitive, adult 5k runners: from treadmill vo 2max testing to enhancing performance. *American Journal of Sports Science and Medicine.* 2017;5:44-7.
131. Cooper KH. A means of assessing maximal oxygen intake. Correlation between field and treadmill testing. *Jama.* 1968;203(3):201-4.
132. Bandyopadhyay A. Validity of Cooper's 12-minute run test for estimation of maximum oxygen uptake in male university students. *Biology of sport.* 2015;32(1):59-63.
133. Leger L, Mercier D, Gadoury C, Lambert J. The multistage 20 metre Shuttle Run test for aerobic fitness. *J Sports Sci* 6 (2) 93-101 1988. *Journal of sports sciences.* 1988;6:93-101.

134. Ainslie P, Reilly T, Westerterp K. Estimating human energy expenditure: a review of techniques with particular reference to doubly labelled water. *Sports Med.* 2003;33(9):683-98.
135. Westerterp KR, Plasqui G. Physical activity and human energy expenditure. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* 2004;7(6):607-13.
136. Leonard WR. Measuring human energy expenditure and metabolic function: basic principles and methods. *J Anthropol Sci.* 2010;88:221-30.
137. Vanhees L, Lefevre J, Philippaerts R, Martens M, Huygens W, Troosters T, et al. How to assess physical activity? How to assess physical fitness? *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil.* 2005;12(2):102-14.
138. Johnson RK, Coward-McKenzie D. Energy requirement methodology. In: Coulston AM, Rock CL, Mosen ER, editors. *Nutrition in the Prevention and Treatment of Disease.* San Diego: Academic Press; 2001. p. 31-42.
139. Schoeller DA, Cook CM, Raman A. Energy expenditure: Indirect calorimetry. In: Caballero B, editor. *Encyclopedia of Human Nutrition (3rd Ed).* Waltham: Academic Press; 2013. p. 170-6.
140. Hackney AC. Measurement techniques for energy expenditure. In: Hackney AC, editor. *Exercise, Sport, and Bioanalytical Chemistry: Elsevier;* 2016. p. 33-42.
141. Simonson DC, DeFronzo RA. Indirect calorimetry: methodological and interpretative problems. *Am J Physiol.* 1990;258(3 Pt 1):E399-412.
142. Matarese LE. Indirect calorimetry: technical aspects. *J Am Diet Assoc.* 1997;97(10 Suppl 2):S154-60.
143. Weir JB. New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *J Physiol.* 1949;109(1-2):1-9.
144. Macfarlane DJ. Automated metabolic gas analysis systems: a review. *Sports Med.* 2001;31(12):841-61.
145. Booyens J, McCance RA. Individual variations in expenditure of energy. *Lancet.* 1957;272(6962):225-9.
146. Jeukendrup AE, Wallis GA. Measurement of substrate oxidation during exercise by means of gas exchange measurements. *Int J Sports Med.* 2005;26 Suppl 1:S28-37.
147. Graf S, Karsegard VL, Viatte V, Heidegger CP, Fleury Y, Pichard C, et al. Evaluation of three indirect calorimetry devices in mechanically ventilated patients: which device compares best with the Deltatrac II(®)? A prospective observational study. *Clin Nutr.* 2015;34(1):60-5.
148. Wilmore JH, Davis JA, Norton AC. An automated system for assessing metabolic and respiratory function during exercise. *J Appl Physiol.* 1976;40(4):619-24.

149. Schoeller DA, van Santen E. Measurement of energy expenditure in humans by doubly labeled water method. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*. 1982;53(4):955-9.
150. Speakman J, Speakman JR. The history and theory of the doubly labeled water technique. *Am J Clin Nutr* 68, 932S-938S. *The American journal of clinical nutrition*. 1998;68:932S-8S.
151. Schoeller DA, Ravussin E, Schutz Y, Acheson KJ, Baertschi P, Jéquier E. Energy expenditure by doubly labeled water: validation in humans and proposed calculation. *Am J Physiol*. 1986;250(5 Pt 2):R823-30.
152. Can S. Current perspectives on physical activity. 2014.
153. Can S, Fiziksel aktivite ölçümü: Objektif ve sübjektif yöntemler. 2019.
154. Yang CC, Hsu YL. A review of accelerometry-based wearable motion detectors for physical activity monitoring. *Sensors (Basel)*. 2010;10(8):7772-88.
155. Lam YY, Ravussin E. Analysis of energy metabolism in humans: A review of methodologies. *Mol Metab*. 2016;5(11):1057-71.
156. Şahin G. Yaşlılarda fiziksel aktivite değerlendirme yöntemleri. *Türk Geriatri Dergisi*. 2010.
157. Karaca A, Turnagöl H. Çalışan bireylerde üç farklı fiziksel aktivite anketinin güvenilirliği ve geçerliliği. 2007.
158. Craig CL, Marshall AL, Sjöström M, Bauman AE, Booth ML, Ainsworth BE, et al. International physical activity questionnaire: 12-country reliability and validity. *Med Sci Sports Exerc*. 2003;35(8):1381-95.
159. Chen KY, Bassett DR, Jr. The technology of accelerometry-based activity monitors: current and future. *Med Sci Sports Exerc*. 2005;37(11 Suppl):S490-500.
160. Achten J, Jeukendrup AE. Heart rate monitoring: applications and limitations. *Sports Med*. 2003;33(7):517-38.
161. Spurr GB, Prentice AM, Murgatroyd PR, Goldberg GR, Reina JC, Christman NT. Energy expenditure from minute-by-minute heart-rate recording: comparison with indirect calorimetry. *Am J Clin Nutr*. 1988;48(3):552-9.
162. Davidson L, McNeill G, Haggarty P, Smith JS, Franklin MF. Free-living energy expenditure of adult men assessed by continuous heart-rate monitoring and doubly-labelled water. *Br J Nutr*. 1997;78(5):695-708.
163. Bradfield RB. A technique for determination of usual daily energy expenditure in the field. *Am J Clin Nutr*. 1971;24(9):1148-54.
164. Keytel LR, Goedecke JH, Noakes TD, Hiiloskorpi H, Laukkanen R, van der Merwe L, et al. Prediction of energy expenditure from heart rate monitoring during submaximal exercise. *J Sports Sci*. 2005;23(3):289-97.


165. Uth N, Sørensen H, Overgaard K, Pedersen PK. Estimation of VO_{2max} from the ratio between HR_{max} and HR_{rest} --the heart rate ratio method. *Eur J Appl Physiol*. 2004;91(1):111-5.
166. Kang J, Ratamess NA, Faigenbaum AD, Bush JA, Roser C, Montemarano D, et al. Use of heart rate index to predict oxygen uptake - a validation study. *Int J Exerc Sci*. 2020;13(7):1705-17.
167. Lohman T, Roache A, Martorell R. Anthropometric standardization reference manual. 1988.
168. Midgley AW, McNaughton LR, Carroll S. Effect of the VO_2 time-averaging interval on the reproducibility of VO_{2max} in healthy athletic subjects. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2007;27(2):122-5.
169. Jones AM, Doust JH. A 1% treadmill grade most accurately reflects the energetic cost of outdoor running. *J Sports Sci*. 1996;14(4):321-7.
170. di Prampero PE. The energy cost of human locomotion on land and in water. *Int J Sports Med*. 1986;7(2):55-72.
171. Ignaszewski M, Lau B, Wong S, Isserow S. The science of exercise prescription: Martti Karvonen and his contributions. *British Columbia Medical Journal*. 2017;59:38-41.
172. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*. 1986;1(8476):307-10.
173. Costa Santos C, Antunes L, Souto A, Bernardes J. Assessment of disagreement: A new information-based approach. *Annals of epidemiology*. 2010;20:555-61.
174. Jones AM, Kirby BS, Clark IE, Rice HM, Fulkerson E, Wylie LJ, et al. Physiological demands of running at 2-hour marathon race pace. *J Appl Physiol (1985)*. 2021;130(2):369-79.
175. Boileau RA, Mayhew JL, Riner WF, Lussier L. Physiological characteristics of elite middle and long distance runners. *Can J Appl Sport Sci*. 1982;7(3):167-72.
176. Mooses M, Hackney AC. Anthropometrics and body composition in east african runners: Potential impact on performance. *Int J Sports Physiol Perform*. 2017;12(4):422-30.
177. Fleck SJ. Body composition of elite American athletes. *Am J Sports Med*. 1983;11(6):398-403.
178. McConell GK, Costill DL, Widrick JJ, Hickey MS, Tanaka H, Gustin PB. Reduced training volume and intensity maintain aerobic capacity but not performance in distance runners. *Int J Sports Med*. 1993;14(1):33-7.
179. Billat VL, Flechet B, Petit B, Muriaux G, Koralsztejn JP. Interval training at $V'O_{2max}$: effects on aerobic performance and overtraining markers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 1999;31(1):156-63.

180. Billat V, Demarle A, Paiva M, Koralsztein JP. Effect of training on the physiological factors of performance in elite marathon runners (males and females). *Int J Sports Med.* 2002;23(5):336-41.
181. Johansson C, Gerdle B, Lorentzon R, Rasmuson S, Reiz S, Fugl-Meyer AR. Fatigue and endurance of lower extremity muscles in relation to running velocity at OBLA in male orienteers. *Acta Physiol Scand.* 1987;131(2):203-9.
182. Hébert-Losier K, Mourot L, Holmberg HC. Elite and amateur orienteers' running biomechanics on three surfaces at three speeds. *Med Sci Sports Exerc.* 2015;47(2):381-9.
183. Mathias D. Endurance training and heart rate. *Staying healthy from 1 to 100: Diet and exercise current medical knowledge on how to keep healthy.* Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2016. p. 60-.
184. Tam E, Rossi H, Moia C, Berardelli C, Rosa G, Capelli C, et al. Energetics of running in top-level marathon runners from Kenya. *European journal of applied physiology.* 2012;112:3797-806.
185. Zhao K, Hohmann A, Chang Y, Zhang B, Pion J, Gao B. Physiological, anthropometric, and motor characteristics of elite chinese youth athletes from six different sports. *Frontiers in Physiology.* 2019;10(405).
186. Wilmore JH, Stanforth PR, Gagnon J, Leon AS, Rao DC, Skinner JS, et al. Endurance exercise training has a minimal effect on resting heart rate: the HERITAGE study. *Medicine & Science in Sports & Exercise.* 1996;28(7):829-35.
187. Reimers AK, Knapp G, Reimers CD. Effects of exercise on the resting heart rate: A systematic review and meta-analysis of interventional studies. *J Clin Med.* 2018;7(12).
188. D'Souza A, Bucci A, Johnsen AB, Logantha SJ, Monfredi O, Yanni J, et al. Exercise training reduces resting heart rate via downregulation of the funny channel HCN4. *Nat Commun.* 2014;5:3775.
189. Carter JB, Banister EW, Blaber AP. Effect of endurance exercise on autonomic control of heart rate. *Sports Med.* 2003;33(1):33-46.
190. Dixon EM, Kamath MV, McCartney N, Fallen EL. Neural regulation of heart rate variability in endurance athletes and sedentary controls. *Cardiovasc Res.* 1992;26(7):713-9.
191. Goldsmith RL, Bigger JT, Jr., Steinman RC, Fleiss JL. Comparison of 24-hour parasympathetic activity in endurance-trained and untrained young men. *J Am Coll Cardiol.* 1992;20(3):552-8.
192. Yamamoto K, Miyachi M, Saitoh T, Yoshioka A, Onodera S. Effects of endurance training on resting and post-exercise cardiac autonomic control. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33(9):1496-502.

193. Bahrainy S, Levy WC, Busey JM, Caldwell JH, Stratton JR. Exercise training bradycardia is largely explained by reduced intrinsic heart rate. *Int J Cardiol.* 2016;222:213-6.
194. Hazır T, Denizli G, Ulupinar S, Özgören N, Eser M, Dumankaya F, et al. Effect of postural changes on resting metabolic rate and substrate utilization. *Turkish Journal of Sports Medicine.* 2018;53.
195. Karvonen J, Vuorimaa T. Heart rate and exercise intensity during sports activities. Practical application. *Sports Med.* 1988;5(5):303-11.
196. Vella CA, Robergs RA. A review of the stroke volume response to upright exercise in healthy subjects. *British journal of sports medicine.* 2005;39(4):190-5.
197. Bangsbo J, Iaia FM, Krstrup P. The Yo-Yo intermittent recovery test : a useful tool for evaluation of physical performance in intermittent sports. *Sports Med.* 2008;38(1):37-51.
198. Buchheit M. The 30-15 intermittent fitness test: accuracy for individualizing interval training of young intermittent sport players. *J Strength Cond Res.* 2008;22(2):365-74.
199. Londeree BR, Moeschberger ML. Effect of age and other factors on maximal heart rate. *Research Quarterly for Exercise and Sport.* 1982;53(4):297-304.
200. Dauncey MJ, James WP. Assessment of the heart-rate method for determining energy expenditure in man, using a whole-body calorimeter. *Br J Nutr.* 1979;42(1):1-13.
201. Luke A, Maki KC, Barkey N, Cooper R, McGee D. Simultaneous monitoring of heart rate and motion to assess energy expenditure. *Med Sci Sports Exerc.* 1997;29(1):144-8.
202. Kalori cetveli veri tabanı: Besinlerin kalorileri 2021 [Available from: <https://www.kaloricetveli.org/>. Haziran 29, 2021.

8. EKLER

EK-1: Tez Çalışması Etik Kurul İzni



T.C.
HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu

Sayı : 16969557-1737

Konu : **ARAŞTIRMA PROJESİ DEĞERLENDİRME RAPORU**

Toplantı Tarihi : 03 EYLÜL 2019 SALI
Toplantı No : 2019/20
Proje No : GO 19/822(Değerlendirme Tarihi: 03.09.2019)
Karar No : 2019/20-72

Üniversitemiz Spor Bilimleri Fakültesi öğretim üyelerinden Doç. Dr. Tahir HAZİR'in sorumlu araştırmacı olduğu, Arş. Gör. Yunus Emre EKİNCİ'nin yüksek lisans tezi olan, GO 19/822 kayıt numaralı, "*Dayanıklılık Sporcularında Oksijen Tüketimi ve Enerji Harcamasının Kalp Atım Hızı İndeksi Yöntemi ile Değerlendirilmesi*" başlıklı proje önerisi araştırmanın gerekece, amaç, yaklaşım ve yöntemleri dikkate alınarak incelenmiş olup, 04 Eylül 2019-04 Ocak 2020 tarihleri arasında geçerli olmak üzere etik açıdan **uygun bulunmuştur**. Çalışma tamamlandığında sonuçlarını içeren bir rapor örneğinin Etik Kurulumuza gönderilmesi gerekmektedir.

1. Prof. Dr. Ayye Lale DOĞAN	(Başkan)	9. Doç. Dr. Fatma Visal OKUR	(Üye)
		İZİNLİ	
2. Prof. Dr. Sevdâ F. MÜFTÜOĞULLU	(Üye)	10. Doç. Dr. Can Ebru KURT	(Üye)
3. Prof. Dr. M. Yıldırım SAĞ	(Üye)	11. Doç. Dr. H. Hüseyin TURNAGÖL	(Üye)
4. Prof. Dr. Necdet SAĞLAM	(Üye)	12. Dr. Öğr. Üyesi Özyay GÖKÖZ	(Üye)
5. Prof. Dr. Mintaze Kerem GÜNEİÇ	(Üye)	13. Dr. Öğr. Üyesi Müge DEMİR	(Üye)
		İZİNLİ	
6. Prof. Dr. Oya Nuran EMİROĞLU	(Üye)	14. Öğr. Gör. Dr. Meltem ŞENGELEN	(Üye)
7. Prof. Dr. M. Özgür UYANIK	(Üye)	15. Av. Meltem ONURLU	(Üye)
		İZİNLİ	
8. Doç. Dr. Güzde GİRGİN	(Üye)		

Hacettepe Üniversitesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu
06100 Sıhhiye-Ankara
Telefon: 0 (312) 305 1062 • Faks: 0 (312) 330 0580 • E-posta: goetik@hacettepe.edu.tr

Ayrıntılı Bilgi için: _____

EK-2: Aydınlatılmış Onam Formu

ARAŞTIRMA AMAÇLI ÇALIŞMA İÇİN AYDINLATILMIŞ ONAM FORMU

Değerli Katılımcı,

Benim adım Prof. Dr. Tahir HAZIR. Yüksek lisans öğrencim, araştırma görevlisi Yunus Emre EKİNCİ ile beraber kalp atım hızı üzerinden maksimal ve submaksimal oksijen tüketimi ile enerji harcamasını kestiren bir formülün, dayanıklılık sporcularında geçerliğini belirlemek üzere bir çalışma yapmaktayız. Araştırmanın adı, ‘‘Dayanıklılık Sporcularında Oksijen Tüketimi ve Enerji Harcamasının Kalp Atım Hızı İndeks Yöntemi ile Değerlendirilmesi’’ dir.

Sizin de bu araştırmaya katılmanızı öneriyoruz. Ancak hemen söyleyelim ki bu araştırmaya katılıp katılmamakta serbestsiniz. Çalışmaya katılım gönüllülük esasına dayalıdır. Kararınızdan önce araştırma hakkında sizi bilgilendirmek istiyoruz. Bu bilgileri okuyup anladıktan sonra araştırmaya katılmak isterseniz formu imzalayınız.

Kalp atım hızı ve oksijen tüketimi arasındaki doğrusal ilişkiden kaynaklı olarak, oksijen tüketiminin ve enerji harcamasının kestirilmesi adına çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Kalp atım hızı indeks yöntemi de bunlardan bir tanesidir. Kalp atım hızı indeksi, aktivite kalp atım hızının, dinlenik kalp atım hızına oranından ortaya çıkan bir değerdir. 2011 yılında, Wicks ve diğ. tarafından yapılan bir çalışmada geliştirilen bir formül ile atletik olmayan bir popülasyonda kalp atım hızı indeksi üzerinden oksijen tüketimi ve enerji harcaması yüksek oranda doğru kestirilmiştir. Ancak bu yöntemin oksijen kullanım becerisi yüksek olan dayanıklılık sporcularında geçerliği bilinmemektedir. Bu çalışma sonucunda, kalp atım hızı indeks yönteminin dayanıklılık sporcularında oksijen tüketimini ve enerji harcamasını kestirmede kullanılabilir bir yöntem olup olmadığını öğreneceğiz. Hacettepe Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi Spor ve Antrenörlük ABD ile Sağlık Bilimleri Enstitüsü Spor Bilimleri ve Teknolojisi ABD'nin ortak katılımı ile gerçekleştirilecek bu çalışmaya katılımınız araştırmanın başarısı için önemlidir. Eğer araştırmaya katılmayı kabul ederseniz sizden laboratuvara gelmeden önceki gün yüksek şiddette aktivite yapmamanızı, bir gece öncesinde alkol, kahve, kafeinli içecek ve bitkisel çay tüketmemenizi ve bir kez öğleden önce 9.00-12.00 saatleri arasında laboratuvarımıza gelmenizi isteyeceğiz. Laboratuvara geldiğinizde, öncelikle boy, vücut ağırlığı ve vücut kompozisyonunuzu ölçeceğiz. Sonrasında, dinlenik kalp atım hızınızı belirlemek için 20 dk oturur pozisyonda bekleyeceksiniz. Daha sonra, oksijen tüketimi ve enerji harcamanızın belirlenmesi için, size egzersiz testi uygulanacaktır. Koşu bandında 5 dk 8 km/saat hızda ısınma gerçekleştireceksiniz. Ardından 2 dk pasif dinlenme (oturarak) olacak. Hemen ardından, 9 km/saat hızla teste başlayacaksınız ve 1 km/dk hız artışı ile maksimal oksijen tüketimi belirlenene kadar test devam edecek. Testin 12 dk civarında tamamlanmasını bekliyoruz.

Bu çalışmada karşılaştığınız muhtemel risk ve rahatsızlıklar:

1. BIA ile vücut kompozisyonu ölçümü herhangi bir risk taşımamaktadır.
2. Egzersiz testi sonrasında bir yorgunluk hissedeceksiniz. Ancak bu geçici bir durumdur.

Bu çalışmaya katılmanız için sizden herhangi bir ücret istenmeyecektir. Çalışmaya katıldığınız için size ek bir ödeme de yapılmayacaktır. Sizinle ilgili tıbbi bilgiler gizli tutulacaktır. Ancak çalışmanın kalitesini denetleyen görevliler. Etik kurullar ya da resmi makamlarca gereği halinde incelenebilecektir. Ulaşım bedeli araştırmacılar tarafından karşılanacaktır.

Bu çalışmaya katılmayı reddedebilirsiniz. Bu araştırmaya katılmak tamamen isteğe bağlıdır ve reddettiğiniz takdirde size uygulanan testlerde herhangi bir değişiklik olmayacaktır. Yine çalışmanın herhangi bir aşamasında onayınızı çekmek hakkına da sahiptir.

Katılımcının Beyanı

Sayın Prof. Dr. Tahir HAZIR tarafından Hacettepe Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi Spor ve Antrenörlük ABD ve Sağlık Bilimleri Enstitüsü Spor Bilimleri ve Teknolojisi Anabilim Dalları'nın ortaklaşa bir araştırma yapılacağı belirtilerek bu araştırma ile ilgili yukarıdaki bilgiler bana aktarıldı. Bu bilgilerden sonra böyle bir araştırmaya "katılımcı" olarak davet edildim.

Eğer bu araştırmaya katılırsam araştırmacılar ile aramda kalması gereken bana ait bilgilerin gizliliğine bu araştırma sırasında da büyük özen ve saygı ile yaklaşılacağına inanıyorum. Araştırma sonuçlarının eğitim ve bilimsel amaçlarla kullanımı sırasında kişisel bilgilerimin ihtimalla korunacağı konusunda bana yeterli güven verildi. Projenin yürütülmesi sırasında herhangi bir sebep göstermeden araştırmadan çekilebilirim. (*Ancak araştırmacıları zor durumda bırakmamak için araştırmadan çekileceğimi önceden bildirmemim uygun olacağına bilincindeyim*) Ayrıca tıbbi durumuma herhangi bir zarar verilmemesi koşuluyla araştırmacı tarafından araştırma dışı tutulabilirim. Araştırma için yapılacak harcamalarla ilgili herhangi bir parasal sorumluluk altına girmiyorum. Bana da bir ödeme yapılmayacaktır. İster doğrudan, ister dolaylı olsun araştırma uygulamasından kaynaklanan nedenlerle meydana gelebilecek herhangi bir sağlık sorunumun ortaya çıkması halinde her türlü tıbbi müdahalenin sağlanacağı konusunda gerekli güvence verildi. (Bu tıbbi müdahalelerle ilgili olarak da parasal bir yük altına girmeyeceğim).

Araştırma ile ilgili bir sorum olduğunda; herhangi bir saatte. Prof. Dr. Tahir HAZIR'ı (iş) veya (cep) no'lu telefonlardan ve HÜ Spor Bilimleri Fakültesi, Spor ve Antrenörlük Anabilim Dalı adresinden arayabileceğimi biliyorum. Bu araştırmaya katılmak zorunda değilim ve katılmayabilirim. Araştırmaya katılmam konusunda zorlayıcı bir davranışla karşılaşmış değilim. Eğer katılmayı reddedersem

bu durumun tıbbi bakımına ve hekim ile olan ilişkiye herhangi bir zarar getirmeyeceğini de biliyorum.

Bana yapılan tüm açıklamaları ayrıntılarıyla anlamış bulunmaktayım. Kendi başıma belli bir düşünme süresi sonunda adı geçen bu araştırma projesinde “katılımcı” olarak yer alma kararını aldım. Bu konuda yapılan daveti büyük bir memnuniyet ve gönüllülük içerisinde kabul ediyorum.

İmzalı bu form kâğıdının bir kopyası bana verilecektir.

Tarih:

Katılımcı

Adı, soyadı:

Adres:

Tel.

İmza

Görüşme tanığı

Adı, soyadı:

Adres:

Tel.

İmza:

Katılımcı ile görüşen araştırmacı

Adı soyadı, unvanı:

Adres:

Tel. İş:

Cep:

e-Mail:

İmza

EK-3: Katılımcı Formu

Tarih: / /

KATILIMCI FORMU

Adı / Soyadı:

Doğum Tarihi: / /

ANTROPOMETRİK ÖZELLİKLERİ

Boy (cm):

Vücut Yağ Yüzdesi:

Vücut Ağırlığı (kg):

Yağsız Vücut Kütlesi (kg):

ANTRENMAN VE YARIŞMA BİLGİLERİ

Branşı:

Mesafe (Atletizm için):

Antrenman yaşı:

En iyi süresi:

Yarışma yaşı:

Milli takım sporcusu mu?

Evet

Hayır

Haftalık antrenman (gün):

Haftalık antrenman (mesafe):

KALP ATIM HIZI DEĞERLERİ

$KAH_{dinlenik}$:

KAH_{maks} :

AZD:

EK-4: Orijinallik Ekran Çıktısı

Yüksek Lisans Tezi

ORJİNALLİK RAPORU

% 4	% 3	% 2	% 1
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	Submitted to Anadolu University Öğrenci Ödevi	% 1
2	burkonturizm.com İnternet Kaynağı	<% 1
3	openaccess.hacettepe.edu.tr:8080 İnternet Kaynağı	<% 1
4	Tahir HAZIR, Ferhat ESATBEYOĞLU, Yunus Emre EKİNCİ, Ayşe KİN İŞLER. "Validity of Formulas Used for Estimation of One Repetition Maximum Strength in Young Men", Türkiye Klinikleri Journal of Sports Sciences, 2019 Yayın	<% 1
5	www.sportsnine.com İnternet Kaynağı	<% 1
6	HAZIR, Tahir, İŞLER, Ayşe KİN, KÖSE, Mehmet Gören, ATABEY, Ceren Işıl, COŞKUN, Betül and ESATBEYOĞLU, Ferhat. "MET Sistemi ve Dinlenik Metabolik ", Hacettepe Üniversitesi, 2017. Yayın	<% 1

7	Submitted to Bozok Üniversitesi Öğrenci Ödevi	<% 1
8	www.sporhekimligidergisi.org İnternet Kaynağı	<% 1
9	KAYITKEN, Bülent, YÜCEL BERKET, Selda and DİNÇ, Nurten. "Benzer şiddet düzeyindeki egzersizlerde farklı kas katılım modellerinin fizyolojik parametrelere olan etkileri", Hacettepe Üniversitesi, 2012. Yayın	<% 1
10	docplayer.biz.tr İnternet Kaynağı	<% 1
11	Yildiz, Incilay, and M. Fatih Akay. "Prediction of maximum oxygen uptake with different machine learning methods by using submaximal data", 2015 23rd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 2015. Yayın	<% 1
12	www.sporbilimleri.org.tr İnternet Kaynağı	<% 1
13	Submitted to Chester College of Higher Education Öğrenci Ödevi	<% 1
14	"Poster Özetleri / Poster Abstracts", Turkish Journal of Biochemistry, 2015	<% 1

-
- 15 MAVİLİ, Sinem, AŞÇI, Alper, HAZIR, Tahir, CİNEMRE, Alpan, ŞAHİN, Zambak, ARSLAN, Alper and AÇIKADA, Caner. "Genç Futbolcularda Sabit Laktat Konsantrasyonlarına Verilen Fizyolojik Cevaplar: Mevkiler Arası Karşılaştırma", Hacettepe Üniversitesi, 2015.
Yayın <% 1
-
- 16 Serhat YAĞCI, Serdar Orkun PELVAN. "Investigation Effects of Different Contraction Methods on Postactivation Potential", Türkiye Klinikleri Journal of Sports Sciences, 2019
Yayın <% 1
-
- 17 repositorio.ufsc.br
İnternet Kaynağı <% 1
-
- 18 www.gecekitapligi.com
İnternet Kaynağı <% 1
-
- 19 www.tandfonline.com
İnternet Kaynağı <% 1
-
- 20 Submitted to Okan Üniversitesi
Öğrenci Ödevi <% 1
-
- 21 W. Larry Kenney, Jack H. Wilmore, David L. Costill. "Inspannings- en sportfysiologie", Springer Nature, 2016
Yayın <% 1
-

22	www.openaccess.hacettepe.edu.tr:8080 İnternet Kaynağı	<% 1
23	www.scribd.com İnternet Kaynağı	<% 1
24	dergipark.org.tr İnternet Kaynağı	<% 1

Alıntıları çıkart üzerinde
Bibliyografyayı Çıkart üzerinde

Eşleşmeleri çıkar < 5 words

EK-5: Dijital Makbuz



Digital Receipt

This receipt acknowledges that Turnitin received your paper. Below you will find the receipt information regarding your submission.

The first page of your submissions is displayed below.

Submission author: Yunus Ekinci
Assignment title: Yüksek Lisans Tezi
Submission title: Yüksek Lisans Tezi
File name: ARCAMASININ_KALP_ATIM_HIZI_NDEKS_Y_NTEM_LE_DE_ERLE...
File size: 934.33K
Page count: 53
Word count: 13,716
Character count: 92,577
Submission date: 02-Aug-2021 04:02PM (UTC+0300)
Submission ID: 1626966887

