

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

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

Ekrem YILMAZ

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

ANKARA

2021

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

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

Ekrem YILMAZ

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

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

ANKARA

2021

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FUTBOLCULARDA OKSİJEN TÜKETİMİ ve ENERJİ HARCAMASININ KALP ATIM HIZI
İNDEKS YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ
EKREM YILMAZ
PROF. Dr. TAHİR HAZIR

Bu tez çalışması 28.07.2021 tarihinde jürimiz tarafından “Spor Bilimleri ve Teknolojisi Programı” nda yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

- Jüri Başkanı:** *Prof. Dr. Alper ASLAN*
Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu
- Tez Danışmanı:** *Prof. Dr. Tahir HAZIR*
Hacettepe Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi
- Üye:** *Doç. Dr. Ş. Nazan KOŞAR*
Hacettepe Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi
- Üye:** *Dr. Öğr. Üyesi Şenay AKIN*
Hacettepe Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi
- Üye:** *Dr. Öğr. Üyesi Sadi ÖN*
Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu

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

16 Ağustos 2021

Prof. Dr. Diclehan Orhan
Enstitü Müdürü

YAYINLAMA VE FİKRİ MÜLKÜYET 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⁾

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

Ekrem YILMAZ

“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 **danışmanın** 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 internette paylaşılması durumunda 3. şahıslara veya kurumlara haksız kazanç imkanı oluşturabilecek bilgi ve bulguları içeren tezler hakkında tez **danışmanın** 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 **danışmanın** 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 özgün olduğunu, Prof. Dr. Tahir HAZIR danışmanlığında tarafımdan üretildiğini ve Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Yönergesine göre yazıldığımı beyan ederim.

Arş. Gör. Ekrem YILMAZ

TEŞEKKÜR

Danışmanlığında çalışmak benim için büyük bir şans ve fırsat olan, değerli akademik bilgilerini benimle paylaşarak bana yol gösteren, kıymetli vaktini bana ayırarak emek veren değerli danışman hocam Prof. Dr. Tahir HAZIR'a çok teşekkür ederim.

Bu çalışmanın verilerinin toplanmasında, kendi işlerinden ve cumartesi pazarından feragat ederek haftalarca bana yardımcı olan Yunus Emre Ekinci'ye teşekkür ederim.

Çalışmaya katılan tüm sporcu arkadaşlara, kritik maç haftasında bile olsalar bana güvenerek oyuncularını gönderen klüplere ve değerli hocalara,

Lisansüstü eğitimim boyunca yardımlaştığım, dostluğunu hep hissettiğim Caner MAVİLİ'ye,

Her zaman yanımda olan canım aileme,

En içten dileklerle teşekkür ederim.

ÖZET

Yılmaz, E, Futbolcularda 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, Ankara, 2021. Bu çalışma futbolcularda maksimal oksijen tüketimi (VO_{2maks}) ve farklı egzersiz şiddetlerinde enerji harcamasının hesaplanmasında kalp atım hızı indeks (KAH_{indeks}) yönteminin geçerliğini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Çalışmaya en az 3 yıldır müsabakalara katılan 54 erkek futbolcu gönüllü olarak katılmıştır. Dinlenik kalp atım hızı (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_{indeks} değeri, $KAH_{egzersiz}/KAH_{din}$ oranından hesaplanmıştır. KAH_{indeks} değerleri kullanılarak VO_{2maks} ve rezerv KAH 'ın (KAH_R) $< \%75$, $\%75-90$ ve $> \%90$ 'na 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 ($< \%75 KAH_R$, $\%75-90 KAH_R$ ve $> \%90 KAH_R$) enerji harcaması değerleri arasındaki farklar Eşleştirilmiş t-testi ile belirlenmiştir. Ölçülen ve hesaplanan VO_{2maks} ve enerji harcaması arasındaki fark ortalaması (hata) ve tutarlılık alt ve üst sınırları Bland-Altman grafikleme yöntemi ile belirlenmiştir. Aynı zamanda ölçülen ve hesaplanan değişkenler arasındaki uyum düzeyi Lin'in uyumluluk (Concordance) korelasyon katsayısı (ρ_c) ile belirlenmiştir. MET (VO_2) ve KAH_{indeks} değerleri arasında yüksek düzeyde anlamlı bir ilişki saptanmıştır ($r = 0,721$; $p = 0,000$). KAH_{indeks} yöntemi ile tahmin edilen VO_{2maks} anlamlı derecede düşüktür ($\%11,1$) ($p = 0,000$). Benzer şekilde her bir şiddette KAH_{indeks} yöntemi ile hesaplanan enerji harcaması İK'dan anlamlı derecede düşüktür ($< \%75 KAH_R$ için $t = 10,17$; $p = 0,000$, $\%75-90 KAH_R$ için $t = 6,37$; $p = 0,04$ ve $> \%90 KAH_R$ için $t = 3,52$; $p = 0,001$). Bland-Altman grafikleme VO_{2maks} için tutarlık sınırları arasındaki mutlak farkın büyük olduğunu göstermiştir. Tüm şiddetlerde hesaplanan ve ölçülen enerji harcaması değerlerinin ortalaması ve farkları arasında ilişki (trend) anlamlıdır ($< \%75 KAH_R$ için $r = -0,36$; $p = 0,000$, $\%75-90 KAH_R$ için $r = -0,44$; $p = 0,000$ ve $> \%90 KAH_R$ için $r = -0,33$; $p = 0,000$). İK ve KAH_{indeks} yöntemi arasındaki Lin'in uyumluluk (Concordance) korelasyon katsayısı VO_{2maks} için $\rho_c = 0,05$, $< \%75 KAH_R$ için $\rho_c = 0,48$, $\%75-90 KAH_R$ için $\rho_c = 0,26$, $> \%90 KAH_R$ için $\rho_c = 0,42$ ve tüm şiddetler için zayıftır. Bu çalışmanın bulguları futbolcularda KAH_{indeks} yönteminin VO_{2maks} 'ın tahmin edilmesinde kullanılamayacağını ancak farklı şiddetlerde enerji harcamasının değerlendirilmesinde kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Futbol, kalp atım hızı indeksi, enerji harcaması, maksimal oksijen tüketimi

ABSTRACT

Yılmaz, E, Evaluation of Oxygen Consumption and Energy Expenditure in Soccer Players by Heart Rate Index Method, Hacettepe University, Graduate School of Health Sciences, M.Sc. Thesis in Sport Sciences and Technology, 2021, Ankara. This study was carried out to determine the validity of the heart rate index (HR_{index}) method in calculating the maximal oxygen consumption (VO_{2max}) and energy expenditure of different intensity in soccer players. 54 male soccer players who took part in the competitions for at least 3 years participated in the study voluntarily. After the Resting Heart Rate (HR_{res}) measurement, submaximal and maximal oxygen consumption was measured in the treadmill with the indirect calorimetric method (IC) in an increasingly intense exercise protocol. During the test, oxygen consumption (VO_2) and HR values were recorded at each workload of the participants. The HR_{index} value was calculated from the $HR_{exercise}/HR_{res}$. Using HR_{index} values, energy expenditure was estimated at intensities corresponding to VO_{2max} and reserve HR (HR_r) < 75%, 75-90%, and > 90%. Regression analysis was performed for the relationship between HR_{index} and VO_2 as MET, calculated for each participant at each rate. Differences between measured and estimated VO_{2max} and energy expenditure values at 3 different intensities (<75% HR_r , 75-90% HR_r , and >90% HR_r) were determined by Paired t-test. The mean difference (bias) between measured and calculated VO_{2max} and energy expenditure and the lower and upper limits of consistency was determined by the Bland-Altman plotting method. At the same time, the level of agreement between the measured and calculated variables was determined by Lin's Concordance correlation coefficient (ρ_c). A highly significant correlation was found between MET (VO_2) and HR_{index} values ($r = 0.721$; $p = 0.000$). The VO_{2max} estimated by the HR_{index} method was significantly lower (11.1%) ($p = 0.000$). Similarly, the energy expenditure calculated by the HR_{index} method at each severity was significantly lower than the IC (for <75% HR_r $t = 10.17$; $p = 0.000$, for 75-90% HR_r $t = 6.37$; $p = 0.04$ and for >90% HR_r $t = 3.52$; $p = 0.001$). Bland-Altman plotting showed that the absolute difference between the limits of consistency for VO_{2max} was large. The relationship (trend) between the mean and differences of the calculated and measured energy expenditure values at all intensities is significant (for < 75% HR_r $r = -0.36$; $p = 0.000$, for 75-90% HR_r $r = -0.44$; $p = 0.000$ and for > 90% HR_r $r = -0.33$ for; $p = 0.000$). Lin's Concordance correlation coefficient between IC and HR_{index} method $\rho_c = 0.05$ for VO_{2max} , $\rho_c = 0.48$ for <75% HR_r , $\rho_c = 0.26$ for 75-90% HR_r , $\rho_c = 0.42$ for >90% HR_r and weak for all intensities. The finding of this study showed that the HR_{index} method can not be used to estimate VO_{2max} in soccer players, but it can be used to evaluate energy expenditure at different intensities.

Keywords: Soccer, heart rate index, energy expenditure, maximal oxygen consumption

İÇİNDEKİLER

ONAY SAYFASI	iii
YAYINLAMA VE FİKRİ MÜLKÜYET HAKLARI BEYANI	iv
ETİK BEYAN	v
TEŞEKKÜR	vi
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
ŞEKİLLER	xiii
TABLolar	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı	4
1.2. Problem	4
1.3. Alt Problemler	4
1.4. Denenceler	4
1.5. Sınırlılıklar	4
1.6. Sayıtlılar	5
1.7. Araştırmanın Önemi	5
2. GENEL BİLGİLER	6
2.1. Futbolun Fizyolojisi	6
2.1.1. Vücut Yapı ve Kompozisyonu	7
2.1.2. Futbolda Enerji Sistemleri	8
2.1.3. Kalp Atım Hızı	9
2.1.4. Maksimal Oksijen Tüketimi	11
2.2. Futbolda Maç Analizi	12
2.2.1. Kinematik Analiz	12
2.2.2. Metabolik Güç (Power)	14
2.3. Maksimal Oksijen Tüketimi Ölçüm Yöntemleri	16
2.3.1. İndirekt Kalorimetri	16

2.3.2. Kestirim (Tahmin) Yöntemleri	17
2.4. Enerji Harcaması Ölçüm Yöntemleri	21
2.4.1. Direkt Yöntemler	21
2.4.2. İndirekt Yöntemler	22
3. YÖNTEM	26
3.1. Araştırma Grubu	26
3.2. Veri Toplama Araçları	26
3.2.1. Antropometrik Ölçümler	26
3.2.2. Kalp Atım Hızı	26
3.2.3. Koşu Bandı Testi	26
3.2.4. Oksijen Tüketimi	26
3.2.5. Algılanan Zorluk Derecesi	26
3.3. Verilerin Toplanması	27
3.3.1. Antropometrik Ölçümler	27
3.3.2. Dinlenik Kalp Atım Hızı Ölçümü	27
3.3.3. Koşu Bandı (Treadmill) Testi	28
3.3.4. Maksimum Oksijen Tüketiminin (VO_{2maks}) ve Maksimum Kalp Atım Hızının (KAH_{maks}) Belirlenmesi	28
3.3.5. Kalp Atım Hızı İndeksi (KAH_{indeks}) Ölçümleri	29
3.3.6. VO_{2maks} ve Enerji Harcamasının Kestirilmesi	29
3.4. Verilerin Analizi	30
4. BULGULAR	32
4.1. Tanımlayıcı Bulgular	32
4.2. MET- KAH_{indeks} İlişkisi	33
4.3. KAH_{indeks} ve VO_{2maks}	33
4.4. Submaksimal Enerji Harcaması	36
5. TARTIŞMA	40
5.1. Futbolcuların Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi	40
5.2. KAH_{indeks} – MET İlişkisi	42
5.3. KAH_{indeks} Yöntemi ile VO_{2maks} 'ın Kestirilmesi	43
5.4. KAH_{indeks} ve Enerji Harcaması	45
6. SONUÇ ve ÖNERİLER	49
6.1. Sonuçlar	49

6.2. Öneriler	51
7. KAYNAKLAR	52
8. EKLER	
EK-1: Tez Çalışması Etik Kurul İzni	
EK-2: Aydınlatılmış Onam Formu	
EK-3: Katılımcı Formu	
EK-4: Orjinallik Ekran Çıktısı	
EK-5: Dijital Makbuz	
9. ÖZGEÇMİŞ	72

SİMGELER ve KISALTMALAR

Atım.dk⁻¹	Bir Dakikadaki Atım Sayısı
AZD	Algılanan Zorluk Derecesi
BKİ	Beden Kütle İndeksi
İK	İndirekt Kalorimetri
KAH	Kalp Atım Hızı
KAH_{din}	Dinlenik Kalp Atım Hızı
KAH_{indeks}	Egzersiz Kalp Atım Hızı / Dinlenik Kalp Atım Hızı
KAH_{maks}	Maksimal Kalp Atım Hızı
KAH_R	Rezerv Kalp Atım Hızı
Kcal.kg⁻¹.dk⁻¹	Kilogram Başına Dakikadaki Kalori Miktarı
ml.kg⁻¹.dk⁻¹	Kilogram Başına Dakikadaki Mililitre Miktarı
Mmol.L⁻¹	Bir Litredeki Milimol Miktarı
η²	Eta Kare
SDO	Solunum Değişim Oranı
VA	Vücut Ağırlığı
VO₂	Oksijen Tüketimi
VO_{2maks}	Maksimal Oksijen Tüketimi
VYY	Vücut Yağ Yüzdesi
YVK	Yağsız Vücut Kütlesi
ρ_c	Korelasyon katsayısı (Concordance)

ŞEKİLLER

Şekil	Sayfa
2.1. Metabolik güç teorisi	15
2.2. Yo-Yo testi parkuru	18
3.1. Biyoelektrik empedans analizörü	27
3.2. Stadiyometre	27
3.3. KAH monitörü	28
3.4. Quark CPET, Cosmed metabolik kart	29
4.1. Futbolcularda giderek artan iş yükünde MET-KAH _{indeks} arasındaki ilişki	33
4.2. İndirekt kalorimetrik yöntemle ölçülen ve KAH _{indeks} yöntemiyle hesaplanan VO _{2maks} değerleri için Bland-Altman grafikleme.	34
4.3. KAH _{indeks} 'den hesaplanan ve koşu bandında ölçülen VO _{2maks} arasındaki Lin'in uyumluluk düzeyi	35
4.4. Enerji harcaması değerleri için Bland-Altman grafikleme	38
4.5. Enerji harcaması değerleri arasındaki Lin'in uyumluluk düzeyi	39

TABLULAR

Tablo	Sayfa
2.1. Mevkilere göre, farklı hızlarda kat edilen mesafe değerleri.	7
2.2. Bruce Protokolü.	19
2.3. Modifiye Bruce Protokolü.	20
2.4. Balke Protokolü.	20
4.1. Futbolcuların fiziksel, fizyolojik özellikleri ve antrenman yaşı ve sıklığı.	32
4.2. İndirekt kalorimetrik yöntemle ölçülen ve KAH _{indeks} yöntemiyle hesaplanan VO ₂ maks değerleri.	34
4.3. Koşu bandında KAHR'nin < % 75, % 75-90 ve > %90'ına karşılık gelen üç farklı şiddette egzersiz sırasında indirekt kalorimetrik yöntemle ölçülen ve KAH _{indeks} 'den hesaplanan enerji harcaması.	36

1. GİRİŞ

Futbol erkek, kadın ve çocuklar tarafından, farklı seviyelerde yapılan dünyanın en popüler spor branşıdır ve hem aerobik hem de anaerobik enerji üretimine gereksinim duyan yüksek şiddette, kesintili bir oyundur (1). Bu oyunda performans; teknik, taktik, zihinsel ve fiziksel birçok beceriye bağlıdır (2). Genç elit ve elit olmayan futbolcularda maç ve antrenman analizi sonuçları, oyuncuların maç veya antrenman süresinin büyük bir bölümünü düşük şiddette aerobik aktivitelerle geçirdiklerini göstermiştir (3-5). Doksan dakikalık bir maç sırasında elit seviyedeki oyuncuların, maksimal kalp atım hızlarının %80-90'ı seviyesinde, 8-12 km mesafe kat ettikleri rapor edilmiştir Reilly, Atkinson (1) . Performansın %70'ten fazlası düşük ve orta şiddetli aktivitelerden (ayakta durma, yürüme ve düşük tempo koşular) oluşurken, kalan kısmı (sprint, dönüşler, ikili mücadele, sıçrama, ile hızlanma ve yavaşlama) 150–250 adet yüksek şiddetli aktivitelerden oluşmaktadır (6-8). Üst düzey bir futbolcuda performansın devamlılığı için, antrenman ve maçlar arasındaki toparlanmanın sağlanması, sakatlıkların önüne geçilmesi, optimal bir vücut yapısı ve kompozisyonun sezon boyunca korunması, antrenman dönemlerine uygun beslenmenin programlanması için enerji harcaması ve oksijen tüketiminin belirlenmesi önemlidir (9).

Yüksek şiddetli, kesintili egzersizin fizyolojik gereksinimlerini karşılamak için üst düzey bir futbolcunun yeterli miktarda enerji sağlaması ve önemlidir. Literatüre bakıldığında, çift etiketli su yöntemi(ÇESY), kalp atış hızı(KAH), video maç analizi ve aktivite kaydı gibi yöntemler kullanarak toplam enerji harcamasını tahmin eden veya ölçen çalışmalar bulunduğu görülmektedir (8, 10, 11). Elit futbolcularda ortalama enerji harcamasının, beş antrenman günü ve iki maç dâhil olmak üzere yedi günlük bir dönemde yaklaşık ortalama 3.566 kcal olduğu rapor edilmiştir (10). Bununla birlikte oyuncunun maç ve antrenman iş yükü/enerji harcaması bireysel faktörlerin etkisinin yanı sıra (vücut boyutları ve kompozisyonu), lig seviyesine, mevkilere, haftadan haftaya, antrenmanın şiddet ve sıklığına, maç sayısına bağlı olarak değişkenlik gösterebilir (8).

Enerji harcamasına uygun miktarda enerji alımı, enerji dengesinin korunmasına hizmet eder. Enerji dengesi, vücut fonksiyonlarının optimal seviyede

çalışmasını, vücut ağırlığı ve vücut yağ yüzdesinin nispeten sabit tutulmasını, sporcunun, spor dalına uygun sürdürülebilir bir vücut kompozisyonuna sahip olmasını sağlayacaktır (11). Futbol gibi takım sporlarında, futbolcunun optimal bir vücut kompozisyonuna sahip olması, maç boyunca yüksek hızda ve önemli miktarda mesafe kat etmesine olanak sağlar (12). Bunun yanında yüksek bir kas/yağ oranı futbol gibi sürat gerektiren bir spor dalı için avantajdır (13). Bu oranın azalması bir başka deyişle fazla depolanmış yağ miktarı; sprint ve sıçrama gibi yer çekimine karşı yapılan aktivitelerde ölü ağırlık olarak daha fazla enerji harcanmasına ve erken yorgunluğa sebep olabilir (14). Bu nedenle değişken içerik ve şiddette aktiviteler içeren antrenman veya maçta çok farklı enerji gereksinimi olan farklı mevkilerdeki oyuncuların bireysel olarak enerji harcamasının belirlenmesi kritik öneme sahiptir.

Submaksimal ve maksimal egzersiz sırasındaki VO_2 'nin ölçülmesi veya bilinmesi sporcunun hem aerobik kapasitesi (VO_{2maks}) hem de indirekt kalorimetrik olarak enerji harcaması ilgili yeterli bilgiyi sağlamaktadır(15). Bir maç veya antrenmanda daha fazla oksijen kullanabilen bir başka deyişle aerobik kapasitesi yüksek olan bir futbolcu, gelişmiş bir fosfokreatin yenileme kapasitesine daha düşük kan laktatı konantrasyonuna ve daha hızlı toparlanma sürecine sahip olacaktır (2). Submaksimal ve maksimal egzersizde VO_2 hem saha hem de laboratuvar ortamında ölçülebilirken, laboratuvar ortamında yapılacak ölçümlerin, pahalı, zaman alıcı, bir futbol takımı gibi kalabalık popülasyonlara rahatça uygulanamaması, saha ortamında yapılan ölçümlere olan ilgiyi ve ihtiyacı artırmıştır.

ÇESY ve oksijen tüketimi (VO_2) ve karbondioksit üretiminin (VCO_2) ölçülmesini temel alan indirekt kalorimetrik (İK) enerji harcamasının değerlendirilmesinde altın standart yöntemlerdir (16, 17). Bu iki yöntemin, çok pahalı ve teknik, zaman alıcı, laboratuvarla sınırlı ve kalabalık popülasyonlara uygulanma olanağının kısıtlı olması pratik kullanım değerlerini düşürmektedir. Oksijen tüketimi -kalp atım hızı (VO_2 -KAH) doğrusal ilişkisini temel alan KAH yöntemi yardımıyla da VO_2 ve buna bağlı olarak enerji harcaması hesaplanabilmektedir (2, 18). Farklı aktivitelerde enerji harcamasını değerlendirmek için uygun olmasına rağmen, bireyin VO_2 -KAH ilişkisinin belirleneceği bir laboratuvar testine girmesinin zorunlu olması, bu yöntemin de verimini ve pratik

kullanım değerini düşürmektedir (18). Bir diğer ölçüm yöntemi olan giyilebilir teknolojiler (örneğin SenseWear Kol bandı) ise, kötü hava koşullarında ve temas gerektirdiği için antrenman ve maçlarda kullanılamamasına ek, çok düşük şiddetli egzersizlerde doğru sonuç vermekle beraber, genel olarak yüksek şiddetli egzersizde düşük, düşük şiddetli egzersizlerde yüksek ölçüm değerlerine sahiptir (19), (20).

2011 yılında egzersizde ölçülen KAH'ın dinlenik KAH'a oranından oluşan ve kalp atım hızı indeksi (KAH_{indeks}) adı verilen çok basit bir yaklaşımla VO_2 'nin ve buna bağlı olarak enerji harcamasının hesaplanmasında (1 L O_2 ~5 kcal (21)) kullanılan bir yöntem geliştirilmiştir (22). VO_2 -KAH ilişkisi için herhangi bir teste gereksinim duymayan ve sporcu olmayan popülasyon için geliştirilmiş olan bu yöntem dinlenik metabolik hızın katlarına göre metabolik yükü temsil eden metabolik eşdeğer – MET (**M**etabolic **E**quivalen**T**) ve KAH_{indeks} arasında var olan geçerli bir doğrusal ilişkiye dayanmaktadır. KAH_{indeks} ($KAH_{\text{egzersiz}}/KAH_{\text{din}}$), çok basit, ucuz, zaman almayan, her seviyede aktivite için sadece KAH'ın ölçülmesini temel $VO_{2\text{maks}}$ 'ın ve enerji harcamasının kestirilmesini sağlayan bir yöntemdir. KAH_{indeks} yöntemi sporcu olmayan popülasyon için geliştirilmiş olmakla beraber, yakın zamanda bir takım sporu olan Rugby'de sporcuların submaksimal ve maksimal oksijen tüketiminin ($VO_{2\text{maks}}$) ve enerji harcamasının hesaplanmasında da geçerli bir saha yöntemi olduğu gösterilmiştir (23). Bir diğer takım sporu olan futbolda da maçların ve antrenmanların hem yüksek mekanik hem de metabolik yüke neden olduğu rapor edilmiştir (5, 24). Elit futbolda antrenmanların getirdiği fizyolojik yük ile yüksek maç sayısı göz önüne alındığında, oyuncuların fizyolojik gereksinimlerini yakından izlemek önemlidir. Böylece bu türden gözlemler, futbol gibi çok farklı fizyolojik gereksinimleri olan mevkilerdeki oyuncuların performanslarını korumak, enerji dengelerini sürdürmek ve yaralanma risklerini en aza indirmek için toparlanma stratejilerinin ve antrenman içeriklerinin bireyselleştirilmesine olanak sağlar. Böylece saha şartlarında kullanımı çok basit ve her seviyede kulüp ve sporcunun kolayca ulaşabileceği bir yöntem olan KAH_{indeks} yöntemi kullanılarak çok farklı metabolik profil sergileyen futbol oyuncularının maksimal aerobik kapasiteleri ($VO_{2\text{maks}}$) ve farklı seviyedeki egzersiz şiddetlerindeki metabolik gereksinimleri bireysel seviyede nicel olarak değerlendirilebilir.

1.1. Çalışmanın Amacı

Bu çalışma, futbol oyuncularında, maksimal egzersizde oksijen tüketimi (VO_{2maks}) ve farklı şiddette egzersizler esnasında enerji harcamasının hesaplanmasında KAH_{indeks} yönteminin geçerliğini belirlemek amacıyla yapılmıştır.

1.2. Problem

1. KAH_{indeks} yöntemi, futbol oyuncularında VO_{2maks} ve farklı şiddette egzersizler esnasında enerji harcaması tahmin edilmesinde bir saha testi olarak kullanılabilir mi?

1.3. Alt Problemler

- 1- Futbol oyuncularında KAH_{indeks} yöntemi kullanılarak VO_{2maks} geçerli olarak belirlenebilir mi?
- 2- KAH_{indeks} yöntemi futbol oyuncularında:
 - a) Düşük şiddette (rezerv KAH 'ın (KAH_R) $< \%75$)
 - b) Orta şiddette ($\%75-90 KAH_R$)
 - c) Yüksek şiddetteki ($> \%90 KAH_R$) egzersizler sırasında enerji harcamasının hesaplanmasında kullanılabilir mi?

1.4. Denenceler

1. Futbol oyuncularında indirekt kalorimetrik yöntemle ölçülen VO_{2maks} ile KAH_{indeks} yöntemle tahmin edilen VO_{2maks} arasında fark yoktur.
2. Futbol oyuncularında:
 - a) düşük şiddette (rezerv KAH 'ın (KAH_R) $< \%75$)
 - b) orta şiddette ($\%75-90 KAH_R$)
 - c) yüksek şiddetteki ($> \%90 KAH_R$) egzersizler sırasında enerji harcamasının hesaplanmasında indirekt kalorimetrik yöntemle KAH_{indeks} yöntemi arasında fark yoktur.

1.5. Sınırlılıklar

Bu çalışma 18-29 yaş aralığında profesyonel, yarı profesyonel ve amatör futbol kulüplerinde forma giyen erkek futbolcular ve laboratuvar ortamında koşu bandı egzersizi ile sınırlıdır.

1.6. Sayıtlar

Çalışmaya katılan futbolcuların koşu bandı egzersizinde maksimum performans sergiledikleri kabul edilmiştir.

1.7. Araştırmanın Önemi

Yüksek aerobik kapasiteye sahip oyunculara ve VO_{2maks} 'da gelişim sağlandığında kat edilen toplam mesafe, yüksek şiddette koşu (sprint) sayısı ve topla yapılan aktivite sayısı gibi oyun performansını önemli ölçüde belirleyen özgün aktivitelerde artış olduğu gösterilmiştir (25). Bunun yanında yüksek düzeyde aerobik kapasiteye sahip futbolcular üst düzey bir maçın gereksinimlerini karşılayabilir (26) ve yüksek şiddette hareketler arasında daha hızlı toparlanabilir (27). Bu nedenle futbolcularda aerobik kapasitenin takip edilmesi kritik öneme sahiptir. Ek olarak futbolcunun antrenmanlarda ve maç esnasında enerji harcamasının değerlendirilmesi de sürdürülebilir enerji dengesi ve optimal bir vücut yapı ve kompozisyonu, sakatlıklardan korunma, toparlanma stratejilerinin belirlenmesi ve bireysel seviyede beslenme programının oluşturulması da önemlidir. Hem VO_{2maks} 'ın hem de farklı egzersiz şiddetlerinde enerji harcamasının değerlendirilmesinde kullanılan ve altın standart olarak tanımlanan yöntemlerin, pahalı ve çok teknik olması, bilgi ve beceri gerektirmesi daha basit ancak geçerli yöntemlerin geliştirilmesi ve kullanılmasını gerektirmektedir. KAH_{indeks} yönteminin profesyonelden amatöre her seviyedeki futbolcularda geçerli olarak VO_{2maks} 'ı ve enerji harcamasını kestiren bir yöntem olduğunun gösterilmesi, futbol takımında çok değişken olan aerobik gereksinimin ve enerji harcamasının kolay erişilen, kullanımı kolay, maliyeti oldukça düşük ve bilgi ve beceri gerektirmeden hesaplanmasına olanak sağlar. Bu çalışma antrenörlerin, kondisyonerlerin ve spor bilimcilerin futbolcuların aerobik kapasitesini ve değişik seviyelerde enerji harcamasını nicel olarak değerlendirmelerine olanak sağlayacaktır. Bunun yanında sporcu beslenmesi ile ilgili kişilerin futbolcularda bireysel seviyede enerji dengesini kurmasını, bireysel seviyede beslenme planlaması yapmasını sağlayacak bilgiyi de sunmuştur. Böylece futbolcunun vücut fonksiyonları optimal seviyede çalışacak, vücut ağırlığı ve vücut yağ yüzdesi nispeten sabit tutulacak, sürdürülebilir bir vücut kompozisyonu sağlanacaktır. Tüm bunların maç performansına olumlu katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Futbolun Fizyolojisi

Doksan dakikalık bir futbol müsabakası sırasında futbolcular, maksimal kalp atımlarının %80-90'ı seviyesinde, seviye ve mevkilere göre 8 ile 13 km arasında mesafe kat edip (kaleciler için bu mesafenin 4 km olduğu), bu süre içerisinde gol atmak, savunma yapmak amacıyla; sıçrama, hızlanma, yavaşlama, yön değiştirme, ikili mücadeleye girme, kafa vurma, pas verme, şut atma, düşme veya rakibi düşürme, yürüme, ayakta durma, farklı tempolarda koşular ve sprintler gibi birçok aktivite yapmaktadırlar (5, 28-30). İçerdiği tüm bu yüksek şiddetli aktiviteler, anaerobik enerji sistemi gerektiren aktiviteler olmasına rağmen, bir müsabaka en az 90 dakika oynanması yönünden futbol aerobik bir spor branşıdır (25).

İçerdiği tüm bu karışık aktivitelere rağmen bir futbol müsabakasında performansın %70'ten fazlasını ayakta durma, yürüme ve jog gibi düşük ve orta şiddetli aktiviteler oluşturmakta, geriye kalan kısmı ise sayıları 150 ile 250 arasında değişen 15-20 metre arası mesafede gerçekleşen, kan laktat seviyelerini 3 ile 8 mmol.L⁻¹ değerleri arasına çıkararak, yüksek şiddetli aktivitelerden oluşmaktadır (5-8, 31).

Maç içerisinde skora etki eden 19-25 km.s⁻¹ arası hızlarda gerçekleştirilen sprintler bir maçta kat edilen toplam mesafenin %5-10'unu oluşturmaktadır. Bu oran 90 dakikalık maç süresi düşünüldüğünde, toplam oyun süresinin %1-3 arasına denk gelmektedir. Atılan sprintlerin süresi 2-4 sn arasında değişirken, sprintlerin atılma sıklığı ise 90 saniyede bir olarak kaydedilmiştir. Oyun sırasında atılan sprintlerin 32 km.s⁻¹ kadar çıkabilmektedir ve bu hızda, 30 metre üzeri mesafelerde atılan sprint için toparlanma süresi 10-15 dakikayı bulabilmektedir. Maçın ilk yarısı kat edilen mesafenin ikinci yarıya oranla %5-10 daha fazla olduğu bilinmektedir (4-6, 32-35). Zamana bağlı olarak kat edilen toplam mesafede düşük şiddetli aktivitelerin, yüksek şiddetli aktivitelere oranının 2/5 veya 1/7 olduğu belirtilmiştir (1).

Tablo 2.1. Mevkilere göre, farklı hızlarda kat edilen mesafe değerleri.

Maç aktivitesi	0-11 km/s	11,1-14 km/s	14,1-19 km/s	19,1-23 km/s	>23 km/s
Defans	7080±420 m	1380±232 m	1257±244 m	397±114 m	215±100 m
Bek	7012±377 m	1590±257 m	1730±262 m	652±179 m	402±165 m
Orta saha	7061±272 m	1965±288 m	2116±369 m	627±184 m	248±116 m
Kanat	6960±601 m	1743±309 m	1987±412 m	738±174 m	446±161 m
Forvet	6958±438 m	1562±295 m	1683±413 m	621±161 m	404±140 m

(25)

Vücut ağırlığı 75 kg olan, ortalama VO_{2maks} değeri $60 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$ olan erkek bir futbolcunun maç sırasında harcadığı enerji ortalama 1360 kcal'dir (36). Ancak genel olarak yapılan çalışmalar incelendiğinde bir futbol maçında harcanan enerjinin ortalama 1200-1500 arasında belirtilmiştir (2, 6, 20). Bir futbol maçında, kas glikojen depolarından 150-160 gram (600 kcal), karaciğerden elde edilen kan şekerinden ise ortalama 240 kcal enerji oluşturulmaktadır (37, 38).

Tüm bulgulara ait verilen ortalama değerlerin bireyselliğe dayalı küçük oranlarda değişebileceği söylenebilirken, bu bilgiler oyuncuları üzerindeki fiziksel baskının şiddetini ve futbolun fizyolojik olarak ne kadar zorlu bir spor olduğunu gözler önüne sermektedir.

2.1.1. Vücut Yapı ve Kompozisyonu

Farklı spor dallarında maksimum performansa ulaşabilmenin farklı vücut tipleri gerektirdiği, her sporcunun uygun ve doğru morfolojik özellikler ile uygun vücut kompozisyonuna sahip olması gerektiği bilinmektedir (38, 39). Kaleci veya merkez defans pozisyonunda oynayan bir futbolcu için boy uzunluğu, diğer mevkilerde oynayan oyuncularından çok daha önemli gözükmektedir. Her sporcunun müsabaka içerisinde kendine verilen görevleri ve beklenenleri yapabilmesi için bazı morfolojik, motorik ve fonksiyonel özelliklere sahip olması gerekmektedir (39). Öte yandan bir futbolcunun normal normlardan daha fazla yağ kütesine sahip olması atletik performansını olumsuz etkilemektedir, artan yağ kütesi, sporcunun daha fazla ağırlığı taşımasına, sprint hızının düşmesine ve enerji talebinin artmasına neden

olmaktadır (40). Vücut yağ oranının, antrenman şiddetinin doğrudan bir göstergesi olduğunu ve bu yüzden sezon içerisinde üst düzey performansı sergileyen oyuncuların en düşük vücut yağı yüzdesine sahip oldukları söylenmektedir (41). Adipoz dokunun oranları sporcuların müsabıklık seviyesine göre de değişiklik göstermektedir. Özellikle profesyonel olma algıları gelişmiş ve daha yüksek seviyelerde müsabık olan sporcuların yağ oranları, daha düşük seviyelerde müsabık olan sporculara göre daha düşüktür (42).

Futbol branşının kinematik yapısı göz önünde bulundurulduğunda, yer çekimine karşı hem yatay hem dikey hareketler oldukça sık olarak yapılmaktadır. Artan yağ dokusu ile birlikte sporcunun beceriyi oluşturma süreçleri yavaşladığı, artan vücut ağırlığı sebebiyle bağ ve yumuşak doku hasarına daha açık hale geldiği belirtilmiştir (41, 43).

Kas kütlesi ve morfolojik kapasitesinin kuvvet üretiminde etkin olduğu bilinmektedir (44). Yüksek kas kuvveti ve kuvvetin performansa aktarımı performansın oluşumunda önemli bir etkidir (45). Yağ kütesinin aksine, sporcuların sahip olduğu kas kütlesi, enerji üretimine olan katkısıyla kuvvete etki eder ve performansın bir göstergesi olarak kabul edilir (46, 47). Performansın en üst seviyede icra edilmesi için ve müsabık seviyelerde performansını korumak isteyen her sporcunun ideal vücut kompozisyonunu korumasının gerekliliği bilinmektedir (48, 49). Bir sezon boyunca birçok futbolcunun vücut kompozisyonu, antrenman, beslenme ve maça bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Iga ve diğ. 2014 yılında, 45 erkek kişiden oluşan elit düzey futbolcuyla yaptıkları çalışmada sezon boyu, yağ yüzdesinin ortalama %10 altında olduğu, bu sonucun ise daha önce yapılan çalışmalarla benzerlik gösterdiğini belirtmişlerdir (41).

2.1.2. Futbolda Enerji Sistemleri

Resmi olarak, aralarında 15 dakika dinlenme bulunan 45 dakikalık 2 devreden oynanan toplamda 90 dakikalık bir futbol müsabakasında, sahadaki tüm futbolcuların patlayıcılık gerektiren veya gerektirmeyen çeşitli teknik ve taktiksel hareketleri aralıklı olarak tekrarlaması gerekmektedir (50). Bu karmaşık hareketler dizisinin

karşılığında hem anaerobik hem de aerobik enerji sistemlerinde oluşan enerji talebi yüksek oranda artmaktadır (51).

İnsan vücudunun kasları için gerekli olan enerjiyi üretme mekanizması aerobik ve anaerobik enerji sistemleri tarafınca gerçekleştirilmektedir. Aerobik sistem, karbonhidratları ve yağların oksidasyona uğrayarak parçalanması sonucunda enerjiyi yani adenosin trifosfatı (ATP) üretir. Besinlerin oksidasyonu ile birlikte, parçalanmış besine bağlı olarak yağlardan üretilen enerji, karbonhidratlardan üretilen enerjiden daha fazladır. Bu, anaerobik glikolizden daha fazla ATP üretimine neden olur ve performansın sürdürülebilmesinde önemlidir. Bu nedenle aerobik sistem, uzun süreli dayanıklılık aktivitelerinde enerjinin ana kaynağı olarak bilinmektedir (52, 53).

Anaerobik sistem ise, depolanan ATP ve Fosfokreatinin (PCr) ayrılması, karbonhidratın oksijensiz ortamda laktata parçalanmasıyla enerji üretmektedir. Aerobik sisteme nazaran daha az ATP üretimi sağlarken, kısa süreli maksimum veya tekrarlı yüksek şiddetli aktivitelerde kullanılmaktadır (52, 53). Kan laktat konsantrasyonunun, anaerobik enerji tüketiminin bir belirteci olarak kabul eden birçok araştırmacı (54) ve çalışmalarının sonuçlarına bakıldığında, bir futbol müsabakası sırasında kan laktat konsantrasyonunun 2 ila 10 mmol.L⁻¹ arasında değiştiğini göstermektedir.

Aerobik sistemin en büyük tanımlayıcısı VO_{2maks} olmakla birlikte, dolaylı yoldan tahmin edilen oksijen tüketimine bakıldığında bir maçta gereken enerjinin %90'ının aerobik enerji sistemince sağlandığı görülmektedir (25).

2.1.3. Kalp Atım Hızı

Kalp atım hızı yapılan aktiviteye bağlı olarak, dakikada atan kalp atım sayısını ifade etmektedir (55). Kalp atım hızı düşük şiddetli aktivelerde sayıca düşük iken, aktivitenin şiddeti arttıkça sayısı artmaktadır. Bunun sebebi aktivitenin şiddetine bağlı olarak, kasların ve dokuların oksijen talepleridir. Artan kan sirkülasyonu oksijen talebinin bir göstergesi olarak düşünülmektedir (56). Kalp atım hızı, elit veya amatör her seviyeden sporcuda antrenman durumunu ve fizyolojik adaptasyonları

takip etmede yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (56, 57). KAH'ın temelde invaziv olmaması, fiyat olarak laboratuvar tabanlı cihazlardan oldukça hesaplı olması, zaman olarak oldukça verimli olması, çok sayıda sporcuya eş zamanlı uygulanması gibi nedenleri, yaygınlığının ve popülerliğinin artmasını sağlamıştır (57, 58).

Yapılan araştırmalarda, resmi veya hazırlık müsabakalarında elde edilen verilere göre futbolcularda gözlemlenen KAH değerleri ortalama 160-176 atım.dk⁻¹ arasında olduğu görülmekle birlikte, müsabaka sırasında elit futbolculardan elde edilen KAH ortalamaları mevkilere göre incelendiğinde defans pozisyonunda oynayanların 166±15 atım.dk⁻¹, orta saha pozisyonunda oynayanların 176±9 atım.dk⁻¹, forvet pozisyonundakilerin ise 172±12 atım.dk⁻¹ değerlerinde oldukları gözlemlenmiştir (59).

Mevkilere göre yapılan bir başka çalışmada ise futbolcuların dakikada ölçülen maksimum kalp atım hızları (KAH_{maks}), defans oyuncularında 187 atım.dk⁻¹, orta saha oyuncularında 191 atım.dk⁻¹, forvet oyuncularında 188 atım.dk⁻¹, kalecilerde 188 atım.dk⁻¹ iken ölçülen 270 futbolcuda ise 189 atım.dk⁻¹ değerleri elde edilmiştir (60). Futbol gibi içerisinde birçok karmaşık hareket ve bileşen içeren bir oyunda şiddetin, oyuncuların maksimum kalp atım hızlarının (KAH_{maks}) %80'i ile %90'ı arasında değiştiği ifade etmektedir (5, 61).

Ortalama kalp atım hızı (KAH_{ort})'nın ise KAH_{maks}'ın %85'i civarında olduğu gözlemlenmektedir (28). Antrenmandan antrenmana, oyuncudan oyuncuya ve mevkilere göre değişen KAH'ı klasik bir maç haftası düşünüldüğünde KAH_{maks}'ın %60-80'i arasında değişkenlik göstererek başlamakta, hafta ortasına doğru artış gözlenen KAH, hafta ortasından hafta sonuna (maç günü) tekrar düşerek, maçta ise oynanan maçın hikayesi ve zorluğuna göre KAH_{maks}'ın %90'larına kadar çıkabilmektedir (62).

Antrenman yükü, antrenman şiddeti ve hacmi kavramlarının bir ürünü olarak tanımlanmakla beraber iç yük (vücutta oluşan fizyolojik streslerin tamamı) ve dış yük (fiziksel uyarılar) olarak 2 ayrı grupta değerlendirilmektedir. Antrenman iç yükünü takip etmek için kullanılan objektif yöntemlerin birçoğu kalp atım hızına dayanmaktadır (63). Takip edilecek iç ve dış yükler, antrenörlerin sporcularına

uygulayacağı optimal yüklenme şiddeti, toparlanma, yorgunluk ve kondisyon durumları gibi performansı ve başarıyı doğrudan etkileyecek bu değişkenlerin değerlendirilmesi için çok önemlidir (64).

Egzersiz şiddetini ölçmede KAH kullanılmasının nedeni, oksijen tüketimi ile aralarında doğrusal bir ilişki olmasından kaynaklanmasına ek bu ilişki egzersiz sırasında, egzersiz şiddetini ölçmek için KAH takibini kullanmayı uygun hale getirmesinden kaynaklanmaktadır (65).

2.1.4. Maksimal Oksijen Tüketimi (VO_{2maks})

Maksimal oksijen tüketimi (VO_{2maks}), şiddeti artan bir aktivite sırasında, organizmanın bir dakika içerisinde tükettiği maksimal oksijendir (66). Yapılan aktivite düzeyi ile bu tüketim değerleri değişim göstermektedir (67, 68). Sporcular ve sedanter bireylerin aynı aktivite esnasında tükettikleri miktar farklı olmakla birlikte, en yüksek tüketime erişme süreleri de farklılık göstermektedir (69). Doksan dakikalık bir maçın %90'ını aerobik metabolizma tarafından karşılanmaktadır. Aerobik performans, koşu ekonomisi, anaerobik eşik ve maksimum oksijen (VO_{2maks}) alınmasına bağlı olsa da aerobik dayanıklılığın belirlenmesinde en önemli kıstas, altın standart olarak kabul edilen, sporcuya ait VO_{2maks} değeridir. Literatüre bakıldığında, artan bir iş yüküne karşı, dakikada, litre cinsinden, vücut tarafından kilogram başına kullanılabilen maksimum oksijen miktarı VO_{2maks} olarak ifade edilmektedir (6, 25, 66, 68, 70, 71).

Hill ve Lupton'ın çalışmasıyla ortaya çıkmış bu kavram, iş yükü ile oksijen tüketimi arasında doğrusal bir ilişki olduğu, egzersiz şiddeti arttıkça artan oksijen tüketiminin, bir noktadan sonra platoya ulaşarak daha fazla oksijen tüketemediği ve bu noktanın maksimum oksijen tüketimi (VO_{2maks}) olduğu ifade edilmiştir (72). VO_{2maks} ile maç içerisinde kat edilen mesafe arasında önemli bir doğrusal ilişki olduğu, üst liglerde takımların VO_{2maks} değerlerinin alt liglerden ve aynı ligin alt sıralardaki takımlardan daha iyi olduğu ve yüksek VO_{2maks} değerine sahip oyuncuların, kat edilen mesafede %20, topla oynamada %23, daha iyi performans gösterdikleri belirtilmiştir (25, 70, 73). Yaş, cinsiyet, yükseklik değişimi, solunum

kasları etkisi, kondisyon durumu gibi pek çok etmen VO_{2maks} değerlerini değiştirebilmektedir (74).

Maç boyunca etkili oyun, sahip olunan yetenek ve özelliklerin maç bitimine kadar en üst tempoda kullanılması, oyuncunun sahip olacağı iyi VO_{2maks} değeri ile mümkündür. Erkek futbolcularda VO_{2maks} değerleri 50–75 $ml.kg^{-1}.dk^1$ arasında değişirken, kadınlarda bu sayı 45-57 $ml.kg^{-1}.dk^1$ olarak rapor edilmiştir (75). Sağlıklı erkeklerde bu sayı 35-45 $ml.kg^{-1}.dk^1$ iken, sağlıklı kadınlarda 25-30 $ml.kg^{-1}.dk^1$ olarak raporlanmıştır. Yapılan branşın türüne göre değişen VO_{2maks} , bisiklet, kürek, kır kayağı, maraton koşan sporcularda 77-96 $ml.kg^{-1}.dk^1$ arasına kadar çıkabilmektedir (76, 77).

2.2. Futbolda Maç Analizi

Popülerliğinin bir ürünü olarak her bir parametresi için yılda yüzlerce çalışma yapılan futbol branşında, maç analizi de her zaman merak konusu olmuş ve konuyla ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Yıllar boyu gelen gelişmelerle birlikte, kayıt altına alınan maçların bilgisayar programları ile analizinden, uydu üzerinden takiplerin sağlandığı GPS (Global Position System) oyuncu takip sistemine kadar gelişmiştir (7, 78-81)

2.2.1. Kinematik Analiz

Birçok takım sporunda olduğu gibi futbol branşına ait performans parametreleri arasında KAH, oksijen tüketimi, laktik asit düzeyleri önemli bir yer tutmaktadır. Profesyonel oyuncuların, bir futbol müsabakası boyunca yüksek şiddet düzeyini koruyup, performansını devam ettirmesi gerekmektedir. Bununla birlikte, yapılan çalışmalar incelendiğinde oyuncuların maçın ikinci devresinde, koşma mesafelerinde, kan şekeri ve laktik asit düzeylerinde ilk devreye göre azalma olduğu ortaya koyulmuştur (25, 82).

KAH, antrenman programlama, antrenman şiddetini belirleme, yorgunluk ve toparlanmayı göstermede kullanılan yaygın ve popüler yöntemlerin başında gelmektedir (83, 84). Ancak ortalama KAH değeri üzerinden yapılan hesaplar, analiz ve yorumlar belirli periyotların ortalamasını vereceğinden, futbolun

gereksinimlerini tam anlamıyla elde etmek için kinematik değişkenlerin de eklenmesini zorunlu kılmıştır (29). KAH'a ek olarak kullanılan sistemlerden bir tanesi Küresel Konumlama (GPS) sistemleridir. Bu sistem yörüngede bulunan uydulara, GPS alıcısı giydirilmiş katılımcıdan yayılan radyo sinyallerinin, uydular arası sinyal zamanlarını (trigonometri yardımıyla) karşılaştırarak çalışmaktadır (85). Yıllar içerisinde gelişen teknoloji ile kilolarca, ağırlıktan 100 gram altına düşen bu sistem, aynı zaman aralığında tıpkı kilosu gibi fiyatı da düşünce, kullanıldığı alanlara ek olarak, 2003 yılında da spora dünyasına girmiş (86) ve şimdilerin vazgeçilemez bir tercihi olmuştur. Sonraki zamanlarda sporun birçok branşında farklı ekipmanlarla yapılan geçerlilik çalışmalarında yüksek korelasyonlar vermesi, GPS sisteme olan talep ve geliştirilmesi için yapılan çalışmaları artırmış ve günümüz halini almasını sağlamıştır (87-89).

GPS sistemi ile maç, antrenman takibi, antrenman plan ve programlaması, antrenman veya maç şiddetleri ile oyuncuların geri dönütleri antrenörler tarafından anlık olarak, kolayca takip edilebilmektedir (89). GPS sistemi dışında kullanılan bir diğer yöntem ise Görüntü Analiz Sistemi (GAS)'tır.

GAS, geçmişte birçok alanda kullanılan video analiz sistemlerinin futbola girişi 19. Yüzyılın sonlarına dayanmaktadır. Bu sistemin Van Gool tarafından futbol sahasına alınmasıyla maç veya antrenman içerisinde ayrı ayrı bütün oyuncuların toplu veya topsuz alanda yaptığı her şeyi, bir maç esnasında futbol sahası sınırları içerisinde bulunan oyunculardan hakeme, saha çizgilerinden topa kadar takip edilebilmektedir. Kameraya bağlı olduğu için her pozisyonda net ve temiz görüntü alamamak, yetersiz ışık, yüksek maliyetli olması, kullanılan kamere sayısı gibi dezavantajları bulunan bu sistemde, yine gelişen teknoloji ile bu sorunlar minimal düzeylere indirilmiş ve oyuncuların toplam kat edilen mesafe ve koşu hızı gibi önemli kinematik verileri ölçülebilmektedir.

Hem GAS hem de GPS ile ölçülebilen özelliklerinden biri, Koşu Mesafesi olarak karşımıza çıkmaktadır. İki sistem ile hem maç hem de antrenmanlardaki koşu mesafelerinin ölçülmesi mümkündür. Bir maç için düşünülecek olursa, koşu mesafelerinin ligden lige, mevkiden mevkie, oyuncudan oyuncuya değiştiği bilinmektedir (33). Gelişen teknoloji ile doğrusal gelişen performans, sporun her

branşında olduğu gibi futbola da yansımış, geçmiş zamanlarda 90 dakikalık bir maç boyunca futbolcular, ortalama 5000 metrenin altında koşarken, günümüzde bu mesafe 10.000 metrenin üzerine çıkmıştır (90). Koşu mesafesinin önemine ek koşulan mesafenin hangi hızlarda koşulduğu bir başka merak konusudur.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde ortaya çıkan bazı koşu hızı profillerine göre, Ayakta durma $0-0.6 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, yürüme $0,7-7,1 \text{ km.s}^{-1}$, düşük şiddetli koşu $7,2-14,3 \text{ km.s}^{-1}$, orta şiddetli koşu $14,4- 19,7 \text{ km.s}^{-1}$, yüksek şiddetli koşu $18,0-20,9 \text{ km.s}^{-1}$ ve $25,1 \text{ km.s}^{-1}$ üstü sprint olarak (91) kabul edilmektedir. Koşu mesafesinde olduğu gibi, koşu hızı da lig düzeyi, oyuncu pozisyonları ve oyunculara göre farklılıklar göstermektedir. Elit sporcuların diğer sporculara oranla hem yüksek hızlarda yaptıkları koşuların hem de geri dönüş koşuların, anlamlı bir şekilde yüksek olduğu belirtilmiştir (33).

2.2.2. Metabolik Güç (Power)

İçerisinde hem aerobik hem de anaerobik enerji sistemlerini gerektiren aktiviteler bulundurmasından dolayı futbol branşına ait, maç ve antrenmandaki fizyolojik ihtiyaçlar, yıllardır araştırma konularından birisi olmayı sürdürmektedir. Bu merak, erken zamanlarda vücut ısı ölçümleriyle metabolik ihtiyaçlara cevap ararken, ulaşılan sonuçlardan bir tanesi, bir futbolcunun, ortalama metabolik yükünün $\text{VO}_{2\text{maks}}$ 'ının %70'ine yakın olduğu şeklinde olmuştur (92, 93).

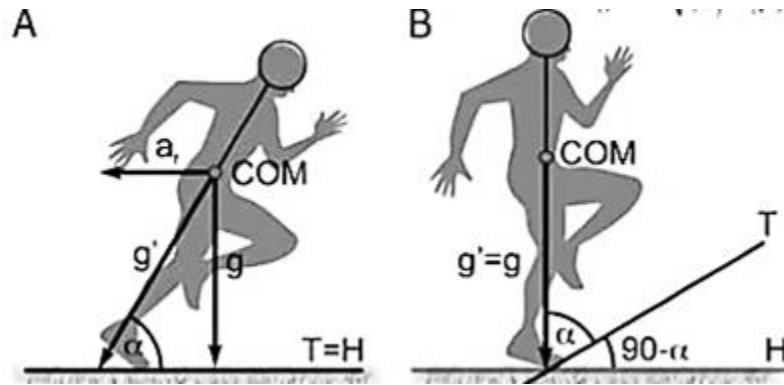
Günümüz enerji harcaması tahminleriyle kesişen vücut ısı ölçümleri, vücut sıcaklığını değiştirebilecek diğer etmenler ve pratik olmamasından dolayı yerini aerobik performansın da detaylı analizine imkân veren KAH'a bırakmıştır (59, 94).

KAH takibi, resmi müsabakalarda kullanımının zor olması, futbolun içinde bol miktarda bulunan sprint vb. yüksek şiddetli anlık veya kısa hareketlere anlık tepkiler verememesi gibi olumsuzluklara sahiptir. Benzer şekilde doğrudan oksijen alımı ölçümleri de yüksek şiddetli egzersiz veya aktiviteler hakkında doğru veri sağlayamaması ve antrenman veya maçlarda kullanılmasının imkânsız olması gibi olumsuz durumlara sahiptir (34). Geçmişten bugüne gelen, olumlu, olumsuz yönleri bulunan, günümüzde popülerliğini kaybetmiş veya etmemiş birçok yöntem aracılığı

ile enerji harcaması tahmini yapılan birçok çalışmadan çıkan ortak sonuca bakıldığında, bir futbol müsabakasında oyuncuların ortalama 1200-1500 kcal arasında olduğu sonucuna varılmıştır (2, 6, 20).

Futbolda antrenman veya maç iç ve dış yükünün doğru değerlendirilmesi, fiziksel ihtiyaçların ve aynı dış yüke verilecek cevapların farklı olması sebebiyle çok önemlidir (95). Yapılan tüm bu analizler, kestirimler ve tahminler yine de hızlanma ve yavaşlamaları hesaba katmamaktadır. Maç içerisinde, oyuncular yalnızca sprint atarken değil, çok düşük hızlarda bile hızlanma veya yavaşlama durumlarında büyük bir metabolik yüke maruz kalmaktadır.

Literatüre bakıldığında sabit hızlarda koşulara ait, enerji gereksinimlerinden, biyomekaniğine kadar neredeyse her açıdan çok sayıda çalışma bulmak mümkünken, sprinte ait mekanik özelliklerin veya enerji harcamasının dolaylı tahminlerini inceleyen birkaç çalışmanın dışında hızlanma veya yavaşlama ile ilgili çalışma sayısının kısıtlı olduğu görülmektedir (96-98). 2005 yılında ise, Prampero (99) ile video maç analiz sistemine eklenebilen, yeni, ilginç ve günümüz futboluna doğrudan etki edecek olan bir yayımla "Metabolik güç" kavramını ortaya atmıştır.



Şekil 2.1. Metabolik güç teorisi.

COM: Ağırlık merkezi, T: Arazi, H: Yatay düzlem g: Hızlanma yer çekimi, af: İleri doğru ivmelenme g' : af ve g vektörleri toplamı. Düz arazide hızlanarak yapılan koşu (A), sabit hızda yokuş yukarı koşmaya eşdeğerdir (B). α hızlanarak yapılan koşuda g' 'in araziyle yaptığı (T=H) açıdır ve bu açı yokuş yukarı yapılacak sabit hızdaki koşunun açısını belirler ($90 - \alpha$).

“Metabolik Güç=Enerji Maliyeti*Hız” formülüne dayanan bu kavram basitçe vücudun ihtiyaç duyduğu belirli bir miktar enerjiyi sınırlı bir sürede üretme olarak bilinmektedir. Bu yeni parametre, geçerli enerji harcaması hesaplama yöntemlerinde dâhil edilmeyen anlık kısa sprintleri, futbol gibi bir takım sporunda oyuncular tarafından bol miktarda yapılan hız artışı ve azalımı gibi enerji harcaması gerektiren hareketleri de dâhil eder (100, 101).

2.3. Maksimal Oksijen Tüketimi Ölçüm Yöntemleri

Hill tarafından yapılan ilk çalışmadan bu zamana gelen süreçte maksimal oksijen tüketimi VO_{2maks} en çok incelenen fizyolojik değişkenlerinden biri olmuştur (102, 103). Aerobik düzeyin en yaygın ölçüm yöntemlerinden biri olan VO_{2maks} hem sporcularda hem sedanterlerde hem de sağlıklı olmayan insanlarda uygulanmaktadır. Aerobik kapasitenin ölçümü, kondisyon durumu ve olası bazı hastalık ihtimallerinin takibi bu ölçümlerle belirlenebilmektedir (104). Ölçümün temel prensibinde, görülen plato tek başına maksimum VO_2 noktasına ulaşıldığı anlamına gelmeyebilir ve solunun değişim oranı, teorik KAH_{maks} seviyesinin %90'ına ulaşılması, artan son iki yük arasında 150 mm'den az bir artış olması gibi diğer VO_{2maks} 'a ulaşma kriterlerinin de incelenmesini gerektirir (66, 67). VO_{2maks} , içeriğinde koşma, yürüme ve adım gibi içeriklerle, direkt veya indirekt olarak, maksimal veya maksimal olmayan testler aracılığıyla belirlenebilmektedir (69).

Laboratuvar yöntemi olarak da bilinen direk ölçüm yöntemi, pulmoner ventilasyon, solunum gazları (O_2 - CO_2) analizi ile VO_{2maks} 'ı doğrudan ölçmektedir (68).

2.3.1. İndirekt Ölçüm Yöntemleri

Direkt yöntemlerin, yüksek maliyetleri, gelişmiş ve komplike ekipmanları, testlerin yapılması için gereken uzman kişiler, bir seferde sınırlı kişiye uygulanabilmesi, aşırı zaman gerektirmesi sebebiyle spor kulüpleri veya diğer kalabalık popülasyonlar tarafından tercih edilememektedir (68).

Saha içi testleri içeren indirekt yöntem, kişinin VO_{2maks} 'ını KAH , belirli bir sürede veya toplamda kat edilen mesafe ve belirli bir protokole kullanımına göre

hesaplamaktadır. Matematiksel formüller yardımıyla direkt yöntemle bir alternatif sunmaktadır. Düşük maliyetleri ve uygulama kolaylığı gibi avantajlar sağlamaktadır. Ancak bu test tiplerinde, testin uygulanacağı popülasyona uygun protokoller seçilmemesi ölçüm hatalarına sebep olabilmektedir (105).

İndirekt testlerin bir diğer avantajı uygulamak ve değerlendirmek için düşük şiddetli olmasıdır. Bu da sporcularda sakatlanma riskinin aza indirgenmesi, hasta, yaşlı ve diğer maksimal efor gösteremeyecek bütün popülasyonlar için güvenli bir test ortamı oluşturmaktadır (106, 107).

2.3.2. Kestirim (Tahmin) Yöntemleri

Direkt veya indirekt çeşitli VO_{2maks} ölçüm yöntemleri, başarılı sonuçlar verse de ölçümleri yapmak zor veya zorlayıcıdır. Bu zorluklar zaman zaman, tahmin yöntemine dayalı maksimum oksijen tüketimi testlerini çekici hale getirmektedir. Uygulaması basit ve maliyeti çok düşük olan bu testlerin, çocuklarda ve yaşlılarda kullanımı daha kolaydır. Herhangi bir egzersiz gerektirmeyen bu test protokollerinde VO_{2maks} ' ı tahmin etmek için, bol miktarda formül kullanılmaktadır. Bu formüller, popülasyona, yaş, cinsiyet ve ırklara göre farklılık gösterebilmektedir (107). Tahmine dayalı sonuç veren bu testlerden bazıları aşağıda detaylı olarak incelenmiştir.

Wasserman formülü, Kafkas ırkına ait bir popülasyondan elde edilen bu denklem, normatif verilere dayanarak elde edilmiştir. Egzersize veya laba bağlı olmayan bu formül, vücut yüzeyi, vücut kitle indeksi ve yaşı kullanarak VO_{2maks} tahmini yapmaktadır (106, 108).

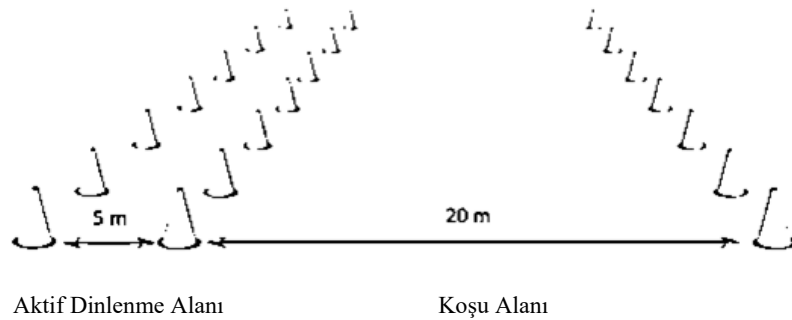
NASA'ya ait Fiziksel Aktivite Puanı (FAP), herhangi bir egzersize gerek kalmadan, cinsiyet, vücut kitle indeksi ve fiziksel aktivite düzeyiyle ilgili sorulara verilen cevaplardan (0 -7 arası puanlamaya sahip) çıkan değerleri formüle koyarak VO_{2maks} tahmini yapan bir diğer tahmin yöntemli testtir (107, 109).

Saha Testleri

Performansa dayalı olan bu testler, farklı şiddetlerde koşu, bisiklet ve yürüme aktivitelerini içeren oluşturulan testleri kapsamaktadır. Futbolda en çok kullanılan, saha testleri aşağıda sunulmuştur.

Yo-Yo Aralıklı Toparlanma Testi; iki ayrı protokolü bulunan, ilki ikincisinden daha düşük şiddette başlayan ve artış şiddetinin düşük olduğu bir VO_{2maks} testidir. Sinyaller yardımı ile kademeli bir şekilde hız artışına izin veren bu test özellikle futbol kulüplerinin sezon öncesi hazırlık dönemi uyguladıkları vazgeçilmez testlerinden biridir. Beş metrelik aktif dinlenme alanından çıkan sporcuların, çıkış noktasına 20 metre mesafede bulunan dönüş çizgisinden çıktıkları alana tekrar dönmeleri şeklinde devam etmektedir. Yani 40 metrelik bir koşuyu takip eden 10 sn'lik bir aktif dinlenme içermektedir. Katılımcının kaçıracağı 3 sinyal sesi ya da tükenmesiyle sonlanan bu saha testi her seviyeden futbolcu ve kulüpler tarafından yoğun bir şekilde kullanılmaktadır (110). Kestirim formülü ise,

$$VO_{2maks}(ml.kg^{-1}.dk^{-1}) = (X \times 0.0084) + 36,4; X= Koşu mesafesi (m).$$



Şekil 2.2. Yo-Yo Testi Parkuru.

Cooper Testi; Kenneth Cooper tarafından 1968 yılında geliştirilen, askeriyenin kullandığı bu test, günümüzde dayanıklılık sporcuları veya kulüpleri tarafından hala kullanılmaktadır. Oniki dakika boyunca koşabildiği en fazla mesafeyi koşması gereken bu test (en yakın 100 metre not alınır.), indirek testler arasında

oldukça popüler olmakla beraber, benzer varyasyonlarına literatürde sıkça rastlanmaktadır (111, 112). Oniki dk boyunca kat edilen mesafeyi metre cinsinden formüle koyarak VO_{2maks} tahminine ulaşılabilir. Hem 12 km hem de 1,5 millik geçerli sürümleri bulunan Cooper testinin 12 km’lik yürüme veya koşma sonucunda VO_{2maks} ile “ $r = 0.90$ ” düzeyinde bir ilişki verdiği raporlanmıştır (113).

$$VO_{2maks} = (\text{Kat edilen mesafe (m)} - 504,9) / 44,73$$

Laboratuvar Testleri

Labratuvar testleri genel olarak yüksek maliyetli ve zaman olarak nispeten daha vakit alan testlerdir. Ancak bu testler ve protokoller, verilerin kesinliği ve netliği için daha isabetlidir. Maksimal oksijen tükeminin ölçümlerinde ise genellikle en doğru verileri labratuvar verileri vermektedir. Bu testlerin kullanımı ise profesyonel ekiplerin imkanları dâhilinde en çok kullandığı yöntemler haline gelmektedir (68, 114). VO_{2maks} ’ın en doğru ve geçerliliği en yüksek olan pulmoner ventilasyon analizi ile artan bir şiddete karşı, farklı protokoller ile koşu bandı veya bisiklet ergometresi üzerinde gerçekleştirilmektedir (114). Popülerliğine göre en çok bilinen ve kullanılan koşu bandı protokolleri;

Bruce Protokolü; 1949’da hasta ve sporcularda kullanılan bu protokolü aşağıdaki gibidir (Tablo 2.2). Kullanılan formül ise (115),

$$\text{Erkekler: } VO_{2maks} = 14.8 - (1.379 \times T) + (0.451 \times T^2) - (0.012 \times T^3)$$

$$\text{Kadınlar: } VO_{2maks} = 4.38 \times T - 3.9.$$

Tablo 2.2. Bruce Protokolü.

Aşama	Hız (mil/sn)	Eğim (%)	Süre (dk)
1	1.7	10	3
2	2.5	12	3
3	3.4	14	3
4	4.2	16	3
5	5	18	3

6	5,5	20	3
7	6	22	3

Modifiye edilmiş Bruce Protokolü; önceki sürümünden daha düşük şiddette başlamakta olan bu protokolün 3. aşaması, önceki protokolün başlangıç şiddetine denk gelmektedir. Sporculardan çok sedanterler ve hastalar için uygulanmaktadır (Tablo 2.3) (116).

Tablo 2.3. Modifiye Bruce Protokolü.

Aşama	Hız (mil/sn)	Eğim (%)	Süre (dk)
0	1.7	0	3
0.5	1.7	5	3
1	1.7	10	3
2	2.5	12	3
3	3.4	14	3
4	4.2	16	3
5	5	18	3
6	5,5	20	3
7	6	22	3

Balke protokolü, kardiyak hastaların maksimum oksijen tüketim değerlerini bulmak amacıyla geliştirilmiştir. Hız sabit kalırken, eğim giderek artmaktadır.

$$\text{Erkekler, } VO_{2\text{maks}} = 1.444(\text{zaman})+14.99$$

$$\text{Kadınlar, } VO_{2\text{maks}} = 1.38(\text{zaman})+5.22$$

Tablo 2.4. Balke Protokolü.

Aşama	Hız (mil/sn)	Eğim (%)	Süre (dk)
1	3	0	3
2	3	2.5	3
3	3	5	3
4	3	7.5	3
5	3	10	3
6	3	12.5	3
7	3	15	3
8	3	17.5	3
9	3	20	3
10	3	22.5	3

Literatüre bakıldığında, farklı hız ve eğimlerde başlayıp, farklı hız ve eğimlere göre artıp biten, farklı popülasyonlar için optimize edilmiş (koşucular, atletler veya dayanıklılık sporcuları) 14-15 farklı protokol olduğu bilinmektedir (106).

2.4. Enerji Harcaması Ölçüm Yöntemleri

Enerji harcaması birim bir zaman içinde performansın gerçekleştirilmesinde, aktivitenin şiddetine bağlı olarak ortaya çıkan enerji talebi olarak tanımlanabilmektedir (117-119). Sportif etkinlikler ve müsabakalar esnasında harcanan enerjinin hesaplanabilmesi hem hazırlık hem de performans esnasındaki stratejilerin belirlenmesinde önemli olabilmektedir (118). Bir futbol müsabakası veya antrenmanı, profesyonel sporcuların günlük enerji harcamalarında doğrudan ve büyük miktarlarda artışa neden olmaktadır (120). Her seviyeden, pozisyondan, yaştan veya cinsiyetten futbolcunun enerji harcaması ve enerji ihtiyacı, bazal metabolik hızdan, besinlerin termik etkisinden, büyümeden, antrenman, maç veya günün geri kalanında yapılan farklı aktivitelerden dolayı değişkenlik göstermektedir (117).

Günlük enerji alımının hesaplanması, günlük gerekli olan enerji alım hedefinin belirlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Yeterli enerji alımı, antrenman ve maçlarda oluşan enerji açıklarını kapatmanın yanı sıra optimal vücut ağırlığı ve kompozisyonunun korunmasını ve sakatlanma riskini en aza indirmek açısından da oldukça önemlidir (118, 120). Bu bağlamda enerji harcamasının hesaplanması için her birinin kendince avantajı ve dezavantajı olan birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler direk ve indirek yöntemler olarak ikiye ayrılmaktadır.

2.4.1. Direkt Yöntemler

Direk kalorimetre olarak bilinen bu ölçüm yöntemi, Zuntz ve Hageman tarafından 1800'lü yıllarda geliştirilerek %1'in altında hata payıyla ölçüm yapmaktadır (119). Direkt kalorimetre ile dinlenik metabolik hız ölçümünün yanı sıra yapılacak bir aktivite veya egzersiz sırasında harcanan enerjinin hesaplanması da mümkündür (121).

Su içine koyulmuş, hava geçirmeyen, metalden oluşturulan bir odada, ısı izolasyonu sağlanarak, oluşacak ısı değişiminin doğrudan ölçümü mümkün kılınır. Ölçümü yapılacak kişinin bu odaya girerek, buharlaşma, radyasyon ve konveksiyon ile ısı kaybetmesi, oda etrafındaki suyun sıcaklığını değiştirerek üretilmiş enerji miktarının ölçülmesine olanak sağlar. Üretilen ısıyı ölçmenin en doğru ve kesin yöntemi bu sistem ile mümkündür (122, 123). Ancak bu mükemmel ölçüm yöntemi, ulaşılması zor, karışık donanımlardan oluşması, ölçüm sırasında kullanılan cihaz veya materyallerin kendi ısısının belirlenememesi, birden fazla kişiye uygulamanın hem çok zaman alması hem de pahalı olması sebebiyle tercih edilmemektedir.

2.4.2. İndirekt Yöntemler

İndirekt kalorimetre, insan vücudunda harcanan enerjiyi oksijen tüketimi ve karbondioksit üretiminin ölçümünü yaparak hesaplayan bir araçtır. Bu yöntemde, belirli koşullar altında Douglas torbaları, metabolik kartlar, vantilatörlü başlıklar ve yüz maskeleri gibi portatif cihazlar kullanılarak enerji harcamasını hesaplamaktadır (124, 125).

Direkt kalorimetreye göre oldukça kolay erişilebilmesi, klinik ortamlarda gün geçtikçe daha popüler hale gelmesi, pratik, güvenli ve noninvaziv olmasıyla ön plana çıkmaktadır. İndirekt kalorimetre ölçümünden en doğru sonucu alabilmek için oda sıcaklığı, fiziksel veya psikolojik olarak fazladan bir stresin olmadığı, ölçülecek bireyin testten yeterli süre kadar önce sigara, alkol, kafein vb. içeren yiyecek ve içecekler ile aynı etkiye sahip ilaçlar tüketmemesi gibi durumlar dikkate alınmalıdır. Ölçüm sonucunu etkileyecek etmenlerden biri de solunum gazlarında sızıntının olmamasıdır.

Weir'in 1949'da bir besinin vücuda alınıp yakılmasından sonra açığa çıkan ısı miktarı, bu besinlerin yakılması için gerekli olan oksijen miktarı (VO_2), O_2 tüketimi (L/dk) ve protein oksidasyonunun son ürünü olan, idrarda bulunan ürenin ölçümüyle kullanılarak, vücudun enerji harcanmasına denk gelecek bir denklem geliştirmiştir. Bu denklem ile harcanan enerji, VO_2 (L/dk), VCO_2 (L/dk) ve üre atımından elde edilmektedir (126). Alınan O_2 ile verilen CO_2 gazlarının hacimlerinin değişimini hesaplayan indirekt kalorimetre yönteminde piyasada bulunan bazı cihazlar ise

solunum değişim oranını (SDO) sabit alarak (0,80-0,85), O₂ veya CO₂ gaz hacimlerinden sadece bir tanesini kullanarak ölçüm yapabilecek şekilde modifiye edilmiştir (127, 128).

Weir Denklemi:

$$\text{Enerji Harcaması} = \frac{[(VO_2 * 3.941) + (VCO_2 * 1.11) + (u N_2 * 2.17)] * 1.44}{}$$

VO₂: O₂ tüketimi (L/dk), VCO₂: CO₂ tüketimi (L/dk), Vi: Solunan gaz miktarı (L), Ve: Çıkan gaz miktarı (L), FiO₂: Solunan havadaki O₂ oranı, FeO₂: Verilen havadaki O₂ oranı, FiN₂: Solunan havadaki N₂ oranı, FeN₂: Verilen havadaki N₂ oranı, Enerji harcaması (kcal/gün), uN₂: İdardaki azot miktarı (g/gün).

Douglas Bag; Gaz ölçüm yöntemlerinin en eskisi ve altın standart olarak bilinmektedir. Kişinin tek yönlü valf bulunan torbaya nefes vermesinin ardından, elektronik gaz analizörüyle toplanan hava ölçülür. Teknik uzmanlık gerektirmesi ve analizör ekibinin pahalı olması gibi dezavantajlara sahiptir (129).

Çifte etiketlenmiş su yöntemi (ÇESY), canlıların herhangi bir yapay ortam olmadan, gündelik hayatlarında harcadıkları enerji miktarını ölçme amacıyla 1900'lü yıllarda Lifson tarafından ilk kez literatüre kazandırılmıştır (130). Uygulama aşamasının başında, kişilerin, temel değerlerine ulaşmak amacıyla vücut sıvılarından örnek alınır. Ardından yine aynı kişiler tarafından, vücut ağırlıklarına göre belirlenmiş iki izotop ile işaretlenmiş suyun (2H₂¹⁸O, 2H₂O) tüketilmesi istenir. Bir hafta sonra vücut sıvı örnekleri tekrar alınır ve izotopların geçen süredeki değişiklikleri değerlendirilir. Genel olarak vücut sıvıları idrar olarak toplanmaktadır. İşaretli suda bulunan izotopların vücutta dengelenmesi sonucunda oluşan deteriyum su ve karbondioksit olarak vücut dışına atılır. Kütle spektrometresi ile idrardan elde edilen ¹⁸O ile 2H₂ miktarının farkı vücut dışına atılan CO₂'yi vermektedir (130, 131).

ÇESY kullanılarak yapılan enerji harcaması ölçümlerinde, katılımcılardan tükettikleri besinleri de kayıt altına almaları istenirken, daha doğru sonuç alınması için tüm katılımcılardan bir haftalık sürede benzer şekilde beslenmesi istenmektedir. ÇESY ile yapılan çalışmaların gözle görülür zorlukları aşılabilirse, uygulanması kolay ve oldukça objektif sonuçlar verdiği belirtilmektedir. Yine de uygulanma maliyetinin yüksek olması ve yapılan aktivitenin, antrenman, maç, rekreatif olup olmadığına dair ya da tek bir etkinliğe dair sonuç vermemesi gibi dezavantajları daha

ön plana çıkmaktadır. Bu yöntem katılan kişilerde ÇESY'nin dayandığı varsayımlara ait (CO_2 , H_2O , vücut sıvısı hacmi vb.) sağlık durumlarında, sonucu etkileyecek herhangi bir engel veya olumsuzluk olmaması gerektiği unutulmamalıdır (130, 131).

VO₂-KAH doğrusal ilişkisini temel alan KAH yöntemi yardımıyla da VO₂ ve buna bağlı olarak enerji harcaması hesaplanabilmektedir. Bir futbol maçı sırasında kurulacak olan KAH-VO₂ ilişkisi, maç boyu VO₂ 'nin dolaylı ve doğru ölçülmesini olanak tanır. Farklı aktivitelerde enerji harcamasını değerlendirmek için uygun olmasına rağmen, bireyin VO₂/KAH ilişkisinin belirleneceği bir laboratuvar testine girmesinin zorunlu olması, bu yöntemin de verimini ve pratik kullanım değerini düşürmektedir (18). Buna ek olarak, statik kasılmalar, küçük kas gruplarıyla yapılan hareketler, psikolojik ve termal stresler, KAH'ı sabit bir VO₂'ye karşı artıracığından KAH-VO₂ ilişkisini bozacaktır. Dahası bir futbol maçında veya antrenmanında atılan sprintlerden sonra KAH'ın VO₂'ye göre oransız bir şekilde artması bilinmesine karşın maçta atılan sprintlerin toplam sürenin %1'ini oluşturacağından, bu oransız artışın toplam enerji harcamasında önemli bir fark yaratmayacağı düşünülmektedir (2).

Bir diğer ölçüm yöntemi olan **SenseWear Kol bandı** ise, kötü hava koşullarında ve temas gerektirdiği için antrenman ve maçlarda takılamamasına ek, çok düşük şiddetli egzersizlerde doğru sonuç vermekle beraber, genel olarak yüksek şiddetli egzersizde düşük, düşük şiddetli egzersizlerde yüksek ölçüm değerlerine sahiptir (19, 20).

2011 yılında KAH_{indeks} adı verilen çok basit bir yaklaşımla VO₂'nin hesaplanmasında kullanılan bir yöntem geliştirilmiştir (22). VO₂/KAH ilişkisi için herhangi bir teste gereksinim duymayan ve atletik olmayan popülasyon için geliştirilmiş olan bu yöntem VO₂ ve $KAH_{indeks} = (KAH_{egzersiz}/KAH_{din})$ arasındaki ilişkiye dayanmaktadır. Çok basit, ucuz, zaman almayan, her seviyede aktivite için sadece KAH'ı ölçme şeklinde kolay bir uygulama ile VO₂'nin ve enerji harcamasının kestirilmesini sağlayan bir yöntemdir.

KAH_{indeks} yöntemi sporcu olmayan popülasyon için geliştirilmiş olmakla beraber, yakın zamanda bir takım sporu olan Rugby'de, sporcuların submaksimal ve maksimal oksijen tüketiminin (VO_{2maks}) ve enerji harcamasının hesaplanmasında geçerli bir saha yöntemi olduğu gösterilmiştir (23). 2020 yılında ise retrospektif bir metod ile futbolcularda KAH_{indeks} yöntemi ile ilgili bir çalışma yapılmış ve sonuçlar, Rugby oyuncularını üzerinde yapılan çalışma ile benzerlik göstererek, KAH_{indeks} yönteminin futbolcularda submaksimal ve maksimal oksijen tüketiminin (VO_{2maks}) ve enerji harcamasının hesaplanmasında geçerli bir saha yöntemi olduğunu göstermiştir (132). Bu çalışmaların aksine, Haller ve arkadaşları (133), aynı yöntemi 10 antrenmanlı üniversite öğrencisinde, beş farklı VO_{2maks} protokolünü karşılaştırarak denemiş ve KAH_{indeks} yönteminin farklı VO_{2maks} protokollerinde, farklı sonuçlar verdiğini rapor etmiştir. Bu çalışmada elde edilen bulgular, rugby ve futbol oyuncularını üzerinde yapılmış çalışmaların bulgularından oldukça farklı ve anlamlı derece düşük çıkmıştır. KAH_{indeks} yönteminin kullanıldığı bir başka çalışmada ise farklı etnisiteye sahip (Afrika ve beyaz) sağlıklı sedanter bireylerde KAH_{indeks} yönteminin, maksimal oksijen tüketiminin (VO_{2maks}) hesaplanmasında kullanılamayacağı rapor edilmiştir (134).

3. YÖNTEM

3.1. Araştırma Grubu

Bu çalışmanın araştırma grubu; 18 yaşını doldurmuş, en az üç yıldır antrenman yapan ve maça çıkan profesyonel, yarı profesyonel ve amatör (n = 54) lisanslı erkek futbolcudan oluşturulmuştur. Futbolculara çalışmanın amacı ve uygulamalar hakkında bilgi verilmiş ve olası risk veya rahatsızlıkları içeren bilgilendirme onam formu okutulup (EK2) imzalatılmıştır. Çalışma öncesi Hacettepe Üniversitesi Girişimsel Olmayan Klinik Çalışmalar Etik Kurulundan etik kurul izni (KOD) alınmıştır (EK1).

3.2. Veri Toplama Araçları

3.2.1. Antropometrik Ölçümler

Boy uzunluğu: $\pm 0,1$ cm hassasiyetle ölçüm yapabilen duvara monte Stadiyometre (Holtain Ltd, İngiltere) ile ölçülmüştür (Şekil 3.1.).

Vücut ağırlığı ve vücut kompozisyonu: Ayaktan ayağa Biyoelektrik Empedans Analizöründe (TBF401 A, İngiltere) belirlenmiştir (Şekil 3.2.).

3.2.2. Kalp Atım Hızı: Dinlenik ve egzersiz kalp atım hızı ölçümü için Telemetrik KAH Monitörü (Polar RS800, Finlandiya) cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.3.)

3.2.3. Koşu Bandı Testi: Koşu bandı testi Woodway marka (Ergo ELG2, Almanya) koşu bandında uygulanmıştır.

3.2.4. Oksijen Tüketimi: Oksijen tüketimi (VO_2) ve karbondioksit üretimi (VCO_2) her ekspirasyon havasından otomatik gaz analizi yapan (Quark CPET, Cosmed, İtalya) metabolik kart kullanılarak ölçülmüştür.

3.2.5. Algılanan Zorluk Derecesi: 6 - 20 ölçekli Borg Skalası gösterilerek belirlenmiştir (135).



Şekil 3.1. Biyoelektrik Empedans Analizörü.



Şekil 3.2. Stadiyometre.

3.3. Verilerin Toplanması:

Tüm veriler Hacettepe Üniversitesi Performans Laboratuvarında toplanmıştır. Katılımcılar sabah en az iki saat öncesinde kahvaltılarını yaptıktan sonra laboratuvara gelmişlerdir. Bütün ölçümler sabah 9:00 ile 11:00 arasında yapılmıştır. Katılımcıların önce antropometrik ölçümleri (boy, vücut ağırlığı, vücut kompozisyonu) gerçekleştirilmiştir. Ardından katılımcıların oturur pozisyonda dinlenik kalp atım hızları (KAH_{din}) ölçülmüştür. Son olarak katılımcılara test protokolü ile ilgili bilgi verildikten sonra şiddeti artan bir Koşu Bandı (Treadmill) testine katılmışlardır. Katılımcıların koşu bandı testini tamamladıkları (tükendikleri) anda Borg Skalası puanları not edilmiştir.

3.3.1. Antropometrik Ölçümler:

Katılımcıların boy uzunluğu, standart spor kıyafeti içerisinde (şort, atlet) çıplak ayaklı olarak anatomik duruşta cm cinsinden ölçülmüştür. Vücut ağırlığı ve vücut kompozisyonu için katılımcı standart spor kıyafeti içerisinde çıplak ayakla bioelektrik empedans analizörünün tablasına çıkmıştır. Vücut kompozisyonu ölçümleri “atlet” modunda yapılmıştır. Vücut yağ yüzdesi (VYY) ve yağsız vücut kütlesi (YVK) değerleri analizörün yazıcısından çıktı olarak alınmıştır.

3.3.2. Dinlenik Kalp Atım Hızı Ölçümü

KAH_{din} bir telemetrik KAH monitörü (Polar RS800, Finlandiya) kullanılarak 1 saniye aralıkla ölçülmüştür. Katılımcılara KAH monitörü takıldıktan sonra 20 dakika oturur pozisyonda bekletilmiş ve son 5 dakikada ölçülen en düşük değer

KAH_{din} olarak kaydedilmiştir. Oturur pozisyonda beklerken herhangi bir aktivite (cep telefonu, konuşma) yapmalarına izin verilmemiştir.



Şekil 3.3. Kalp Atım Hızı Monitörü

3.3.3. Koşu Bandı (Treadmill) Testi

Katılımcılara koşu bandında kesintisiz, sabit eğim, artan hız protokolünü içeren bir tükenme testi uygulanmıştır. Katılımcılar koşu bandında 6 km/s hızda 5-6 dakika ısındıktan sonra ara verilmeden hız, her 2 dakikada 1 km/s artırılmıştır (23). Rüzgâr direncine karşılık gelmesi için koşu bandı %1 eğimde sabit tutulmuştur (135).

3.3.4. Maksimum Oksijen Tüketiminin (VO_{2maks}) ve Maksimum Kalp Atım Hızının (KAH_{maks}) Belirlenmesi

Koşu bandında tükenme testi esnasında oksijen tüketimi (VO_2) ve karbondioksit üretimi (VCO_2) için her ekspirasyon havasından otomatik gaz analizi yapan bir metabolik kart kullanılmıştır (Quark CPET, Cosmed, İtalya). Gaz analizörü üretici firmanın yönergesine uygun olarak her test öncesinde içerisinde konsantrasyonu bilinen gaz karışımı (%16,01 O_2 , %4,91 CO_2 , N_2 Balans) ile, analizörün türbini ise 3 L'lik sertifikalı şırınga (Cosmed, Italy) ile kalibre edilmiştir. Gaz analizöründe ölçülen spirometrik değişkenlere ait geçersiz değerler analiz sisteminin yazılımı ile çıkarıldıktan sonra excel formatına çevrilmiştir. Test esnasında KAH, KAH_{din} için kullanılan telemetrik KAH monitörüyle gaz analiz sistemi ile eş zamanlı olarak kaydedilmiştir. Her iş yükünün son 10 saniyesinin VO_2 ve KAH ortalaması o yüke ait fizyolojik cevap olarak kaydedilmiştir (23). Test sonunda en yüksek VO_2 ve KAH değerleri sırasıyla VO_{2maks} ve KAH_{maks} kabul edilmiştir. VO_2 'de plato (birbirini takip eden iki iş yükünde $< 150 \text{ ml.dk}^{-1}$ 'den veya

2.1 ml.kg⁻¹.dk⁻¹'dan az artış), 1.10'dan daha yüksek solunum değişim oranı (SDO), 220-yaş formülünden hesaplanan maksimum kalp atım hızının %90'ına ulaşan KAH (67) ve ≥ 17 algılanan zorluk derecesi kriterlerinden (136) en az ikisinin gerçekleşmesi VO_{2maks}'sın belirlenmesinde fizyolojik kriter olarak kullanılmıştır.



Şekil 3.4. Quark CPET, Cosmed Metabolik Kart.

3.3.5. Kalp Atım Hızı İndeksi (KAH_{indeks}) Ölçümleri

KAH_{indeks}, değeri egzersiz KAH'ın, dinlenik KAH'a bölünmesiyle elde edilmiştir.

$$\text{KAH}_{\text{indeks}} = \text{KAH}_{\text{egzersiz}} / \text{KAH}_{\text{dinlenik}} \quad (23)$$

3.3.6. VO_{2maks} ve Enerji Harcamasının Kestirilmesi

Her katılımcının bireysel olarak her bir iş yükündeki KAH ve KAH_{maks} değerlerinden hesaplanan KAH_{indeks} değerleri kullanılarak aşağıda verilen Wick'in formülü ile MET değerleri hesaplanmıştır (22). MET hesaplandıktan sonra 3.5 katsayısı ile çarpılarak (1 MET = 3.5 ml.kg⁻¹.dk⁻¹) VO₂ ve VO_{2maks}'ları tahmin edilmiştir (23). Her bir iş yükü için enerji harcaması (kcal) 1 L VO₂ = 5.0 kcal kabul edilerek hesaplanmıştır (99). Bunun için ml.kg⁻¹.dk⁻¹ olarak tahmin edilen VO₂,

katılımcının vücut ağırlığı ile çarpıldıktan sonra 1000'e bölünerek L/dk değerine dönüştürülmüştür.

$$\text{MET} = (6 \times \text{KAH}_{\text{indeks}} - 5) \text{ veya}$$

$$\text{VO}_2 (\text{ml. kg}^{-1} \cdot \text{dk}^{-1}) = (6 \times \text{KAH}_{\text{indeks}} - 5) \times 3.5$$

$$\text{Enerji Harcaması (kcal/dk)} = ((\text{VO}_2 * 5) * \text{VA}) / 1000$$

3.4. Verilerin Analizi

Tüm değişkenlerin normal dağılıma uyumu Kolmogorov-Smirnov Testi ile kontrol edilmiştir. Tüm değişkenlerin tanımlayıcı istatistikleri (ortalama \pm standart sapma) hesaplanmıştır.

Wick'in denklemini doğrulamak için her bir iş yükünde ölçülen MET ve hesaplanan $\text{KAH}_{\text{indeks}}$ arasındaki ilişki için 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. Futbol maçında ölçülen KAH'a göre oyunda geçirilen sürenin büyük bölümü KAH_{maks} 'ın %75'inin altında olduğu için (94) kalp atım hızı rezervinin (KAH_R) < %75'ine karşılık gelen KAH değerleri "düşük", %75 – 90'ına karşılık gelen KAH değerleri "orta", > 90'ına karşılık gelen KAH değerleri "yüksek" şiddet olarak belirlenmiştir. Bunun için her bir katılımcının bireysel olarak aşağıdaki formül yardımı ile üç farklı şiddete karşılık gelen KAH_R değerleri hesaplanmıştır (137).

$$\text{KAH}_R \% = \text{KAH}_{\text{din}} + [(\text{KAH}_{\text{maks}} - \text{KAH}_{\text{din}}) * X]$$

$$X = \text{KAH}_R \%75 \text{ için: } 0.75, \%90 \text{ için: } 0.90$$

Daha sonra şiddeti giderek artan koşu bandı testinde ölçülen KAH değerleri ve karşılık gelen $\text{KAH}_{\text{indeks}}$ ' den her bir şiddete ait enerji harcaması tahmin edilmiştir. Örneğin KAH_{din} : 61 atım/dk, $\text{KAH}_{\text{maks}} = 196$ atım/dk ve tükenene kadar şiddeti

giderek artan koşu bandı egzersizinde her bir iş yükünde ölçülen KAH'lar: 140,148, 159, 160, 165, 171, 176, 182, 188, 193, 196'dır (Katılımcı No: 18). Bu katılımcı için KAH_R %75 = 162 atım/dk, KAH_R % 90 = 182 atım/dk'dir. Buna göre $KAH_R < %75$ için 140, 148, 159, 160 atım/dk KAH ve karşılık gelen değişkenler “düşük”, KAH_R % 75 – 90 için 165, 171, 176, 182 atım/dk KAH ve karşılık gelen değişkenler “orta” ve $KAH_R > % 90$ için 188, 193, 196 atım/dk KAH ve karşılık gelen değişkenler “yüksek” şiddet için kullanılmıştır. Tüm katılımcılar için KAH seviyesinde yapılan istatistik analizlerde $KAH_R < %75$ için $n = 181$, KAH_R %75 – 90 için $n = 140$, $KAH_R > %90$ için $n = 122$ 'dir. Ölçülen ve tahmin edilen VO_{2maks} ve üç ayrı şiddette ölçülen ve tahmin edilen enerji harcaması değerleri arasındaki doğruluk düzeyi Lin'in uyumluluk (Concordance) korelasyon katsayısı (ρ_c) ile belirlenmiştir (138). Lin'in korelasyon katsayısı ρ_c : <0.90 zayıf, $0.90 - 0.95$ orta, $0.95 - 0.99$ yüksek ve > 0.99 mükemmel olarak değerlendirilmiştir (139). Ölçülen ve tahmin edilen enerji harcaması değerleri ve ölçülen ve hesaplanan VO_{2maks} değerleri arasındaki farklar için “Eşleştirilmiş t-Testi” kullanılmıştır.

Ölçülen ve hesaplanan VO_{2maks} değerleri ve üç farklı enerji harcaması için bireysel seviyede tutarlılık alt ve üst sınırları Bland-Altman grafikleme yöntemi ile belirlenmiştir (140). Ölçülen ve tahmin edilen değişkenler arasındaki farklar ve ölçülen ve tahmin edilen değişkenlerin ortalamaları arasında bağlantı (trend) olup olmadığı Pearson korelasyon katsayısı ile belirlenmiştir. Veriler IBM SPSS 23 programında analiz edilmiş ve $p = 0.05$ yanılma düzeyi kullanılmıştır.

4. BULGULAR

Futbolcularda maksimal egzersizde oksijen tüketimi (VO_{2maks}) ve değişik şiddetlerde submaksimal egzersizler esnasında enerji harcamasının hesaplanmasında KAH_{indeks} yönteminin geçerliğini belirlemek amacıyla yapılan bu çalışmaya, farklı oyun seviyelerinde (profesyonel, yarı profesyonel ve amatör) ve farklı mevkilerde en az 3 yıldır resmi müsabakalara çıkan 54 erkek futbolcu katılmıştır. VO_{2maks} 'ın belirlenmesi ve submaksimal egzersiz şiddetlerinde enerji harcamasının değerlendirilmesinde uygulaması kolay ve düşük maliyetli KAH_{indeks} yönteminin futbolcularda geçerliğini belirlemek için kullanılan istatistiksel analizlere ait bulgular aşağıda verilmiştir.

4.1. Tanımlayıcı Bulgular

Futbolcuların fiziksel, fizyolojik özellikleri ve antrenman yaşı ve sıklığı Tablo 4.1'de gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Futbolcuların fiziksel ve fizyolojik özellikleri ile antrenman yaşı ve sıklığı.

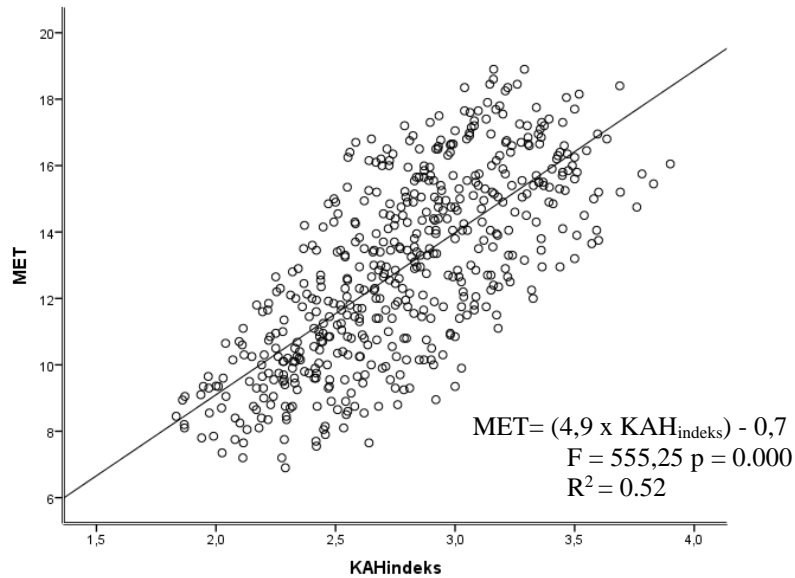
	Ortalama	SS
Yaş (yıl)	20,0	3,1
Boy (cm)	177,9	5,3
Vücut ağırlığı (kg)	69,8	6,7
YVK (kg)	62,4	4,1
BKİ ($kg.m^{-2}$)	22,1	1,7
Vücut yağ yüzdesi (%)	10,4	4,2
KAH_{din} ($atım.dk^{-1}$)	59,8	6,6
Antrenman yaşı (yıl)	8,0	3,5
Haftalık antrenman sayısı	4,5	1,0
VO_{2maks} ($ml.kg^{-1}.dk^{-1}$)	57,3	5,7
KAH_{maks} ($atım.dk^{-1}$)	193	9,0

Araştırmaya katılan futbolcuların ortalama yaşı 20,0 yıl, antrenman yaşı 8,0 yıl ve haftalık antrenman sıklığı 4,5, vücut yağ yüzdeleri %10,4 tür. Futbolcuların ortalama boyu $177,9 \pm 5,3$ cm, vücut ağırlığı $69,8 \pm 6,7$ kg'dır. Maksimal koşu bandı testinde ölçülen KAH_{maks} $192,6 \pm 8,7$ $atım.dk^{-1}$, maksimal aerobik güç (VO_{2maks}) 57,3

$\pm 5,7 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$ dir. Futbolculara ait kaydedilen KAH_{din} ise $59,8 \pm 6,6 \text{ atım.dk}^{-1}$ dir (Tablo 4.1).

4.2. MET- $\text{KAH}_{\text{indeks}}$ İlişkisi

Futbolcularda Wicks'in orijinal denklemini doğrulamak için $\text{VO}_{2\text{maks}}$ testinde her bir futbolcu için submaksimal iş yükünden (6 km.s^{-1}) maksimal iş yüküne (17 km.s^{-1}) kadar ölçülen MET ve hesaplanan $\text{KAH}_{\text{indeks}}$ arasındaki ilişkiyi temsil eden saçılım grafiği şekil 4.1'de gösterilmiştir. Giderek artan iş yükünde ölçülen MET ve $\text{KAH}_{\text{indeks}}$ arasında pozitif yönlü anlamlı doğrusal bir ilişki olduğu görülmektedir.



Şekil 4.1. Futbolcularda giderek artan iş yükünde MET- $\text{KAH}_{\text{indeks}}$ arasındaki ilişki.

Koşu bandında giderek artan iş yükünde ölçülen MET ve $\text{KAH}_{\text{indeks}}$ değerleri arasında yüksek düzeyde ($r = 0,721$; $p = 0,000$) anlamlı ilişki saptanmıştır. Buna karşılık regresyon analizinde elde edilen model anlamlı olmakla beraber ($\text{MET} = (4,9 \times \text{KAH}_{\text{indeks}}) - 0,7$; $F = 555,25$, $p = 0,000$; $R^2 = 0,52$) elde edilen katsayılar Wicks'in orijinal modelindeki ($\text{MET} = (6 \times \text{KAH}_{\text{indeks}}) - 5$) katsayılarından farklıdır.

4.3. $\text{KAH}_{\text{indeks}}$ ve $\text{VO}_{2\text{maks}}$

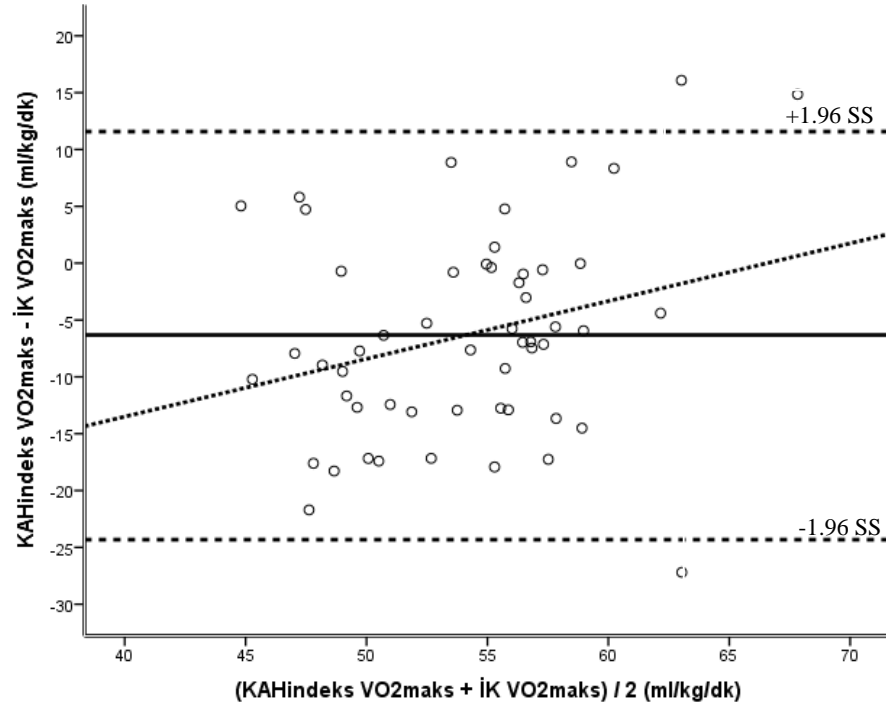
Koşu bandında indirekt kalorimetrik yöntemle ölçülen ve $\text{KAH}_{\text{indeks}}$ yöntemiyle hesaplanan $\text{VO}_{2\text{maks}}$ değerleri tablo 4.2'de gösterilmiştir. Futbolcuların

VO_{2maks} testinde ulaşıkları maksimal koşu hızı $14,6 \pm 1,2 \text{ km.h}^{-1}$, KAH_{maks} 193 ± 9 atım.dk^{-1} ölçülmüştür. İndirekt kalorimetrik yöntemle karşılaştırıldığında KAH_{indeks} 'den hesaplanan VO_{2maks} anlamlı derecede düşüktür (sırasıyla $57,3 \pm 5,7 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$, $50,9 \pm 7,6 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$) ($t_{49} = 5,04$ $p = 0,000$). KAH_{indeks} yöntemiyle hesaplanan VO_{2maks} indirekt kalorimetrik yöntemle ölçülden %11,1 daha düşüktür. Şekil 4.2'de indirekt kalorimetrik yöntemle ölçülen ve KAH_{indeks} yöntemiyle hesaplanan VO_{2maks} değerleri için Bland-Altman grafikleme gösterilmiştir. Hesaplanan ve ölçülen VO_{2maks} değerleri arasındaki farkların ortalaması $-6,3 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$, tutarlık alt sınırı $-24,3 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$, üst sınırı $11,7 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$ hesaplanmıştır. Hesaplanan ve ölçülen VO_{2maks} değerlerinin ortalaması ve farkları arasında anlamlı ilişki (trend) saptanmıştır ($r = 0,272$; $p = 0,047$) (Şekil 4.2). Bu bulgu hesaplanan ve ölçülen VO_{2maks} değerleri arasındaki farkların VO_{2maks} 'ın ölçülen değerlerinin boyutlarına bağlı olduğunu göstermektedir (Heteroscedastic data).

Tablo 4.2. İndirekt kalorimetrik yöntemle ölçülen ve KAH_{indeks} yöntemiyle hesaplanan VO_{2maks} değerleri.

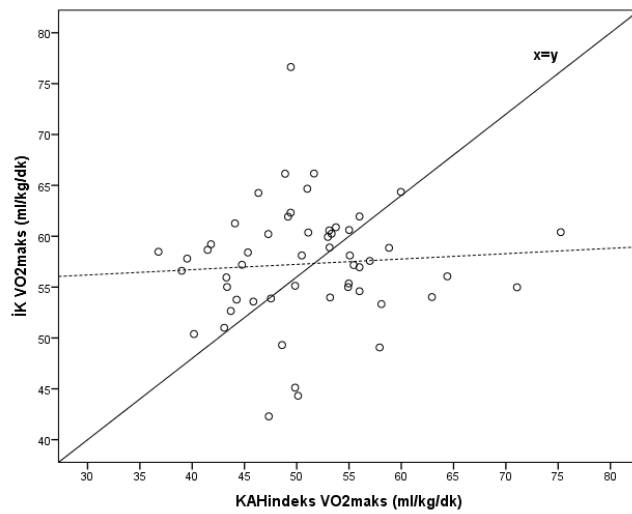
	İK	KAH_{indeks}	% fark	t	p
VO_{2maks} ($\text{ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$)	$57,3 \pm 5,7$	$50,9 \pm 7,6$	11,1	5,04	0,000

İK : indirekt kalorimetri



Şekil 4.2. İndirekt kalorimetrik yöntemle ölçülen ve KAH_{indeks} yöntemiyle hesaplanan $VO_{2\text{maks}}$ değerleri için Bland-Altman grafikleme. Sürekli çizgi: fark ortalaması, kesikli çizgi: ± 1.96 SS alt ve üst sınırlar, noktali çizgi: trend.

KAH_{indeks} 'den hesaplanan ve koşu bandında İK yöntemle ölçülen $VO_{2\text{maks}}$ arasındaki uyum derecesini gösteren Lin'in uyumluluk (Concordance) korelasyon katsayısı (ρ_c) = 0,05 "zayıf" düzeydedir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. KAH_{indeks} 'den hesaplanan ve koşu bandında ölçülen $VO_{2\text{maks}}$ arasındaki Lin'in uyumluluk düzeyi. $x = y$: Bire bir çizgisi, kesikli çizgi: iki yöntem arasındaki uyum düzeyi.

4.4. Submaksimal Enerji Harcaması

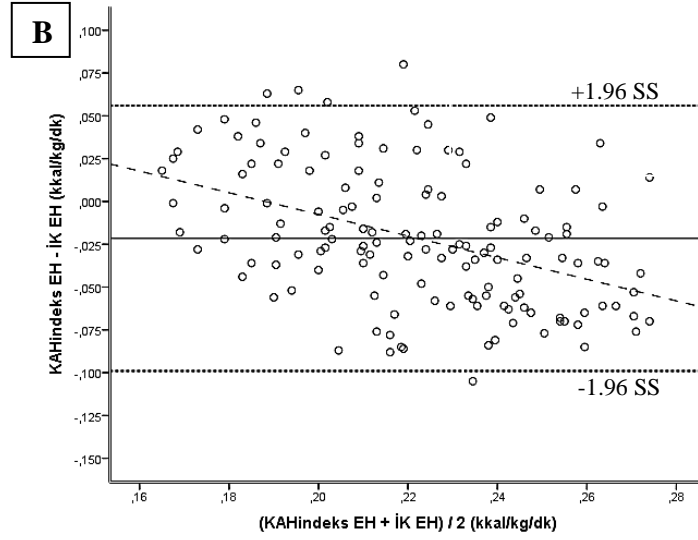
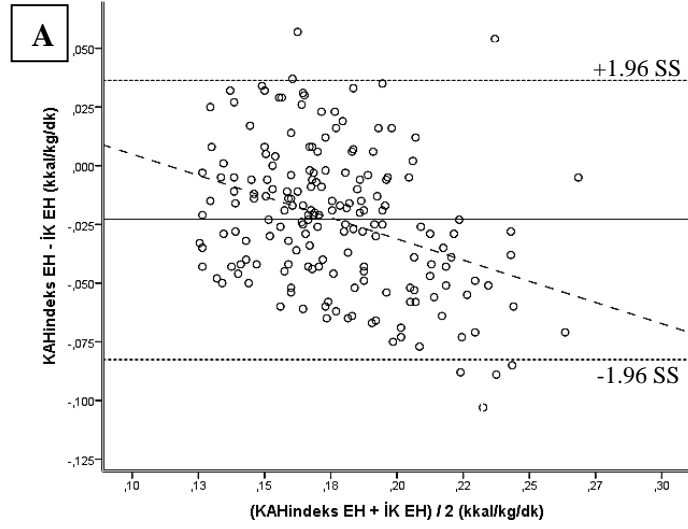
KAH_R'nin < %75, %75-90 ve > %90'ına karşılık gelen üç farklı şiddette submaksimal egzersiz sırasında İK ile ölçülen ve KAH_{indeks}' den hesaplanan enerji harcaması tablo 4.3'te gösterilmiştir. Tüm egzersiz şiddetlerinde KAH_{indeks}' den hesaplanan enerji harcaması İK yöntemle ölçülenden anlamlı derecede düşüktür (KAH_R'nin < %75'si için t = 10.17; p = 0,000, KAH_R'nin %75-90'ı için t = 6.37; p = 0,000 ve KAH_R'nin > %90'ı için t = 3.52; p = 0,001).

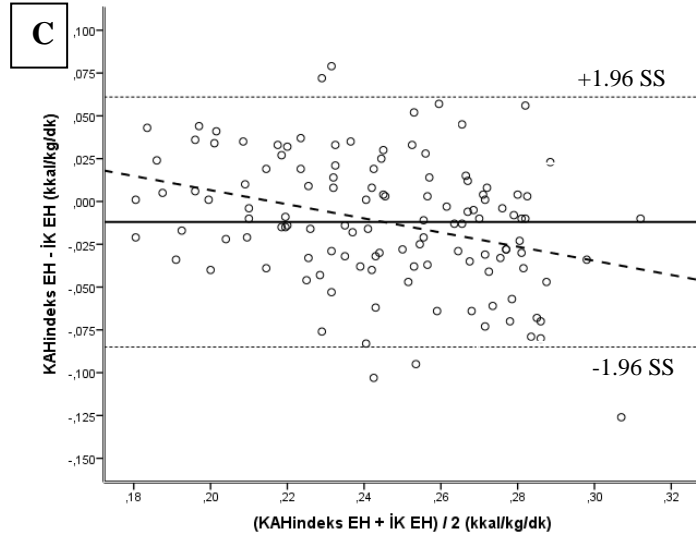
Tablo 4.3. Koşu bandında KAH_R'nin < %75, %75-90 ve > %90'ına karşılık gelen üç farklı şiddette egzersiz sırasında indirekt kalorimetrik yöntemle ölçülen ve KAH_{indeks}'den hesaplanan enerji harcaması.

	İK (kcal.kg ⁻¹ .dk ⁻¹)	KAH _{indeks} (kcal.kg ⁻¹ .dk ⁻¹)
KAH_R < %75	0,188 ± 0,037	0,165 ± 0,028
KAH_R %75 – 90	0,233 ± 0,040	0,211 ± 0,026
KAH_R > %90	0,251 ± 0,040	0,239 ± 0,027

Koşu bandında farklı egzersiz şiddetlerinde (KAH_R < %75, %75-90 ve > %90) indirekt kalorimetrik yöntemle ölçülen ve KAH_{indeks} yöntemiyle hesaplanan enerji harcaması değerleri için Bland-Altman grafikleme sırasıyla şekil 4.4 A, B ve C'de gösterilmiştir. < %75 şiddette (A) hesaplanan ve ölçülen enerji harcamalarının fark ortalaması -0,029 kcal.kg⁻¹.dk⁻¹, tutarlık alt sınırı -0,082 kcal.kg⁻¹.dk⁻¹, üst sınırı 0,036 kcal.kg⁻¹.dk⁻¹ 'dır. KAH_R < 75 için hesaplanan ve ölçülen enerji harcaması değerlerinin ortalaması ve farkları arasındaki ilişki (trend) anlamlıdır (r = -0,36; p = 0,000). KAH_R %75 – 90 için hesaplanan ve ölçülen enerji harcamalarının fark ortalaması -0,021 kcal.kg⁻¹.dk⁻¹, tutarlık alt sınırı -0,09 kcal.kg⁻¹.dk⁻¹, üst sınırı 0,056 kcal.kg⁻¹.dk⁻¹ hesaplanmıştır. KAH_R %75 – 90 için hesaplanan ve ölçülen enerji harcaması değerlerinin ortalaması ve farkları arasında anlamlı ilişki saptanmıştır (r = -0,44; p = 0,000). KAH_R > %90 için hesaplanan ve ölçülen enerji harcamalarının fark ortalaması -0,011 kcal.kg⁻¹.dk⁻¹, tutarlık alt sınırı -0,85 kcal.kg⁻¹.dk⁻¹, üst sınırı 0,061 kcal.kg⁻¹.dk⁻¹ hesaplanmıştır. KAH_R > %90 için hesaplanan ve ölçülen enerji

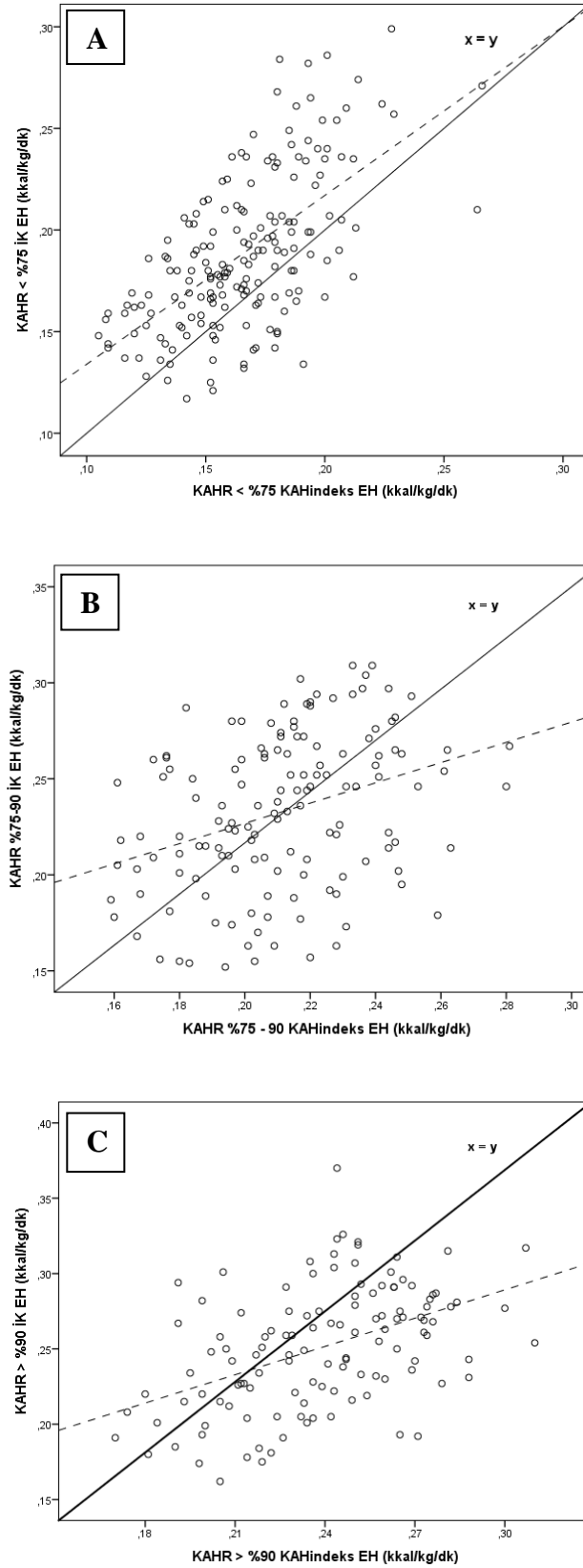
harcaması değerlerinin ortalaması ve farkları arasında anlamlı ilişki saptanmıştır ($r = -0,33$; $p = 0,000$).





Şekil 4.4. $KAH_R < 75$ (A), %75-90 (B) ve > 90 (C)'da indirekt kalorimetrik yöntemle ölçülen ve KAH_{indeks} yöntemiyle hesaplanan Enerji Harcaması değerleri için Bland-Altman grafikleme. Sürekli çizgi: fark ortalaması, noktalı çizgi: ± 1.96 SD alt ve üst sınırlar, kesikli çizgi: trend.

Koşu bandında farklı egzersiz şiddetlerinde (< 75 , %75-90 ve > 90) indirekt kalorimetrik yöntemle ölçülen ve KAH_{indeks} yöntemiyle hesaplanan enerji harcaması değerleri arasındaki uyum düzeyi şekil 4.5. A, B ve C'de gösterilmiştir. KAH_{indeks} 'den hesaplanan ve koşu bandında İK yöntemle ölçülen enerji harcaması arasındaki uyum derecesini gösteren Lin'in uyumluluk (Concordance) korelasyon katsayısı < 75 şiddet için (ρ_c) = 0,48, 75-90 şiddet için (ρ_c) = 0,26 ve > 90 şiddet için (ρ_c) = 0,42'dür. Tüm şiddet seviyelerinde hesaplanan ve İK yöntemle ölçülen enerji harcaması arasındaki uyum düzeyi zayıftır.



Şekil 4.5. KAH_R <75 (A), %75-90 (B) ve > %90 (C) 'da indirekt kalorimetrik yöntemle ölçülen ve KAH_{indeks} yöntemiyle hesaplanan Enerji Harcaması değerleri arasındaki Lin'in uyumluluk düzeyi. x = y: Bire bir çizgisi, kesikli çizgi: iki yöntem arasındaki uyum düzeyi.

5. TARTIŞMA

Futbolcularda maksimal oksijen tüketimi (VO_{2maks}) ve değişik şiddetlerde submaksimal egzersizler esnasında enerji harcamasının hesaplanmasında KAH_{indeks} yönteminin geçerliğini belirlemek amacıyla yapılan bu çalışmaya, farklı oyun seviyelerinde (profesyonel, yarı profesyonel ve amatör) ve farklı mevkilerde en az 3 yıldır resmi müsabakalara çıkan 54 futbolcu katılmıştır. VO_{2maks} 'ın belirlenmesi ve submaksimal egzersiz şiddetlerinde Enerji harcaması değerlendirilmesinde uygulaması kolay ve düşük maliyetli KAH_{indeks} yönteminin futbolcularda geçerliğini belirlemek için kullanılan istatistiksel analizlere ait bulgular, KAH_{indeks} yönteminin futbolcularda Enerji harcamasının değerlendirilmesinde kullanılabilir olduğunu ancak VO_{2maks} 'ın tahmin edilmesinde kullanılabilir olmadığını göstermiştir.

5.1. Futbolcuların Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi

Bu çalışmaya katılan futbolcuların fiziksel özellikleri daha önce ulusal ve uluslararası futbolcularda yapılan çalışmalarda elde edilen bulgulara benzerdir (141). Futbolcuların fiziksel özellikleri coğrafi konum, etnik köken, beslenme alışkanlıkları, oyun tarzı ve mevkie bağlı olarak değişkenlik göstermekle beraber, bu çalışmaya katılan oyuncuların boy uzunluğu ve VA'ları (Tablo 4.1) Avrupa, Orta Doğu ve Kuzey Amerika'da ve ülkemizde profesyonel erkek oyunculara rapor edilen ortalama boy uzunluğuna (176,0 – 183,0 cm) ve ortalama VA'ya (65,6 - 78,7 kg) benzerdir (47, 141-145). Her ne kadar yöntem farklılıkları karşılaştırma yapma olanağını sınırlasa da, bu çalışmada futbol oyuncularının vücut kompozisyonu da (VYY ve YVK) (Tablo 4.1) üst düzey futbol oyuncularına benzer, VYY amatör seviyedeki oyunculardan düşüktür (144-148).

Vücut kompozisyonu oyuncunun genel sağlık durumu, beslenme alışkanlığı, fizik yapı ve antrenman düzeyi gibi birçok kritik değerlendirme yapılmasına olanak sağlar (149). Futbolcunun fazladan taşıyacağı yağ kütlesi, sprint ve sıçrama gibi yer çekimine karşı yapılacak hareketlerde fazladan enerji harcamasına ve erken yorulmasına (14), yüksek hızlarda daha az mesafe kat etmesine (12) ve aerobik kapasitesini olumsuz etkilemesine neden olacağından (150) VYY kritik öneme sahiptir. Vücut boyutları, yapı ve kompozisyonun yanında fizyolojik kapasite ve

müsabaka tecrübesi de üst düzey oyun performansı için önemli faktörler olarak dikkate alınabilir.

Dinlenik kalp atım hızı yaş, plazma hacmi, kalp kasının morfolojisi, otonomik aktivite ve vücut pozisyonu gibi çeşitli fizyolojik faktörlerden etkilenir (57). Bunun yanında uzun süreli dayanıklılık antrenmanları kalp atım hızını kontrol eden otonom sinir sistemi üzerinde önemli etkiye sahiptir (151, 152). Araştırmalar uzun süreli dayanıklılık antrenmanlarının parasempatik aktivitede artışa, sempatik aktivitede azalmaya neden olduğunu göstermiştir (151, 152) ve bu nedenle antrenmanlı kişilerin (< 60 atım.dk⁻¹), sedanterden daha düşük KAH_{din} değerlerine sahip olması beklenir (153). KAH_{din}, aşırı yüklenme ve toparlanma durumlarının belirleyicisi olarak kullanılabilir (154).

Düşük KAH_{din} değerinin, KAH_{maks}'a ulaşma süresini uzatacağı ve bunun da yorgunluğu geciktireceği düşünüldüğünde aerobik egzersiz performansında kritik öneme sahip olduğu söylenebilir (153). Bu çalışmada genç futbolcularda ölçülen KAH_{din} dayanıklılık sporcularından yüksek, sedanterlerden düşüktür (tablo 4.1) (155). Daha önce yapılan çalışmalarda futbolcuların KAH_{din} değerlerinin 51,0 – 62,5 atım.dk⁻¹ aralığında olduğu rapor edilmiştir (156-158). Futbol oyunu kesintili yüksek şiddette aktiviteler içeren aerobik temelli bir oyun olmakla beraber (159) bu çalışmada elde edilen KAH_{din} değerlerinin yüksek olduğu söylenebilir. Bununla beraber KAH_{din} değerlerinde dikkat çekici azalma olmaksızın 20 haftalık dayanıklılık antrenmanlarının VO_{2maks}'da önemli artışa neden olduğu da rapor edilmiştir (2).

Süresi bakımından aerobik bir branş olan futbolda, gelişmiş bir VO_{2maks} (yani aerobik kapasite) maç boyu tekrarlanan yoğun şiddetli aktivitelerin sürdürülebilmesini, hızlandırılmış bir toparlanma sürecini, maç veya antrenman boyunca performansın ve fiziksel durumun en üst düzeyde tutularak korunmasını sağlar (160). Profesyonel ve amatör futbolculardan oluşan araştırma grubumuza ait VO_{2maks} değeri (tablo 4.1) genel olarak literatürde amatör ve profesyonel erkek futbolcularda rapor edilen VO_{2maks} değerlerinden düşüktür (146). Örneğin bizim çalışmamıza benzer şekilde koşu bandında yaşları 16 ile 38 arasında olan 306 profesyonel futbolcudaki VO_{2maks} 62,5±4,8 ml.kg⁻¹.dk¹ (147), yaş ortalaması 28.3 olan 270 profesyonel futbolcunun katıldığı bir başka çalışmada 60,1 ± 2,3 ml.kg⁻¹.dk¹

(60) ve yaş ortalaması 25,4 olan 289 profesyonel futbolcuda $57,7 \pm 4,7 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$ (161) olduğunu rapor edilmiştir. Araştırma bulguları lig seviyesi arttıkça ve oyuncu seviyesi amatörden profesyonele doğru değiştikçe $\text{VO}_{2\text{maks}}$ değerlerinin de arttığını göstermektedir.

5.2. $\text{KAH}_{\text{indeks}}$ – MET ilişkisi

Sedanterler veya farklı hastalıklara sahip popülasyonlarda egzersiz sırasında KAH ve VO_2 arasında doğrusal bir ilişki olduğu bilinmektedir (22, 162, 163). Wicks ve diğ. (22), bireysel seviyede KAH ile VO_2 ilişkisini belirlemek için sağlıklı ve klinik popülasyonlarda VO_2 'yi tahmin eden basit bir KAH indeks yöntemi geliştirmişlerdir. $\text{KAH}_{\text{indeks}}$ (egzersiz $\text{KAH}/\text{dinlenik KAH}$) ile dinlenik metabolik hızın katları (MET) olarak ifade edilen egzersiz VO_2 (yani $\text{KAH}_{\text{indeks}}$ ile MET) arasında yüksek bir ilişki ($R^2 = 0,952$) olduğunu göstermişlerdir (22). Benzer şekilde $\text{KAH}_{\text{indeks}}$ ile MET arasındaki yüksek ilişkinin ($R^2 = 0,93$) 15 profesyonel Rugby oyuncusunda da geçerli olduğu rapor edilmiştir (23). Ek olarak yakın zamanda 184 profesyonel futbolcu üzerinde yapılan bir çalışmada da $\text{KAH}_{\text{indeks}}$ ve MET arasında yüksek ilişki ($R^2 = 0,853$) rapor edilmiştir (132). Önceki çalışmaların aksine bizim çalışmamızda Colosio ve ark. (23) protokolüne benzer koşu bandı egzersizinde $\text{KAH}_{\text{indeks}}$ ve MET arasında orta düzey ($R^2 = 0,52$) bir ilişki saptanmıştır. Dahası, profesyonel rugby oyuncularında ve futbolcularda yapılan her iki çalışmada da $\text{KAH}_{\text{indeks}}$ ve MET arasındaki pozitif doğrusal ilişkiyi temsil eden regresyon doğrusu (Rugby'ciler için $\text{MET} = 5,89 \times \text{KAH}_{\text{indeks}} - 4,98$ (23), futbolcular için $\text{MET} = 5,95 \times \text{KAH}_{\text{indeks}} - 4,44$ (132) şaşırtıcı bir şekilde Wicks ve arkadaşlarının (22) sedanter popülasyonda elde ettiği doğruya ($\text{METs} = 6 \times \text{KAH}_{\text{indeks}} - 5$) benzer bulunurken bu çalışmada aynı doğru ($\text{MET} = 4,9 \times \text{KAH}_{\text{indeks}} - 0,7$) farklı bulunmuştur. Bu çalışmadaki futbolcuların maksimal aerobik gücü profesyonel rugby oyuncularından ($\text{VO}_{2\text{maks}} = 47,1 \pm 4,3 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$) anlamlı derecede yüksek ($t_{49} = 13,4$, $p = 0,000$), profesyonel futbolculara ise ($\text{VO}_{2\text{maks}} = 58,3 \pm 3,9 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$) benzerdir ($t_{49} = 1,95$, $p = 0,056$) (Tablo 4.1). Rugby oyuncularının maksimal aerobik gücünün düşük veya sedanter popülasyona yakın olması $\text{KAH}_{\text{indeks}}$ ve MET arasındaki ilişkinin (modelin) Wick ve arkadaşlarının (22) modeline benzer ve bu çalışmada elde edilenden farklı olmasını açıklayabilir ancak benzer aerobik güce sahip olan profesyonel

futbolculardan farklı olmasını açıklamaz. Bu çalışmada da rugby oyuncularından ve futbolculardan elde edilen regresyon denkleminde olduğu (164) gibi regresyon sabiti Wicks'in Wicks, Oldridge (22) orijinal regresyon denklemiyle uyumlu olarak negatif değerde olmakla beraber, orijine (sıfıra) yakındır (Şekil 4.1). Bu fark, egzersizde KAH_{indeks} ve VO_2 (MET) arasındaki ilişkinin popülasyona bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. Dinlenik KAH ve verili bir egzersiz şiddetinde (VO_2 değerinde) KAH yanıtları (egzersiz KAH) egzersizde VO_2 'nin tahmin edilmesinde kullanılan KAH_{indeks} yönteminin kritik bileşenleridir. Hem dinlenik hem de egzersiz KAH 'ın otonomik kontrolü kalp atım hacmine (strok volüm) bağlı olarak değişkenlik gösterir (165). Kalp atım hacmi yaş, cinsiyet ve kalıtımın yanında bireyin fiziksel uygunluk düzeyine bağlı olarak önemli ölçüde değişir ve egzersiz yapma kapasitesinin en önemli göstergelerinden birisidir (166). Bu nedenle verili bir VO_2 için KAH_{indeks} değeri bireyin fiziksel uygunluk düzeyine göre önemli ölçüde değişebilir. Belirli bir şiddette yapılan egzersizde (VO_2 düzeyinde) atım hacmi fiziksel uygunluk düzeyi yüksek olan bireylerde yüksek olması nedeniyle (166) egzersiz KAH düşüktür. Aynı zamanda dinlenik kalp debisi antrenman durumuna bağlı olmaksızın ortalama 5-6 $L \cdot dk^{-1}$ olduğu için (165) fiziksel uygunluk düzeyi yüksek olan bireylerde yüksek atım hacmi ve parasempatik aktivitede artışın bir fonksiyonu olarak dinlenik KAH 'da düşüktür. Böylece egzersiz sırasında aynı bir VO_2 değeri için egzersiz ve dinlenik KAH değerlerindeki değişkenlik nedeniyle KAH_{indeks} önemli ölçüde değişebilir. Nitekim KAH_{indeks} MET ilişkisini temsil eden şekil 4.1 incelendiğinde aynı bir KAH_{indeks} değeri için karşılık gelen MET değerlerinin y ekseninde geniş bir saçılım (farklı değerler) göstermesi KAH_{indeks} ve VO_2 (MET) ilişkisinin bireyden bireye değişkenlik gösterdiğinin bir delili olarak kabul edilebilir.

5.3. KAH_{indeks} Yöntemi ile $VO_{2\text{maks}}$ 'ın Kestirilmesi

Bu çalışmada elde edilen bulguların aksine, KAH_{indeks} yönteminin uygulaması kolay, ucuz ve teknik bilgi ve beceri gerektirmeyen mekik koşusu (69), Yo-Yo testleri (110) ve 30-15 test (167) gibi diğer saha testlerine alternatif olarak takım sporcularının $VO_{2\text{maks}}$ değerlerinin belirlenmesinde ve takip edilmesinde alternatif bir yöntem olabileceği gösterilmiştir (23, 132). Bu çalışmada KAH_{indeks} yöntemi ile tahmin edilen $VO_{2\text{maks}}$ değerleri ölçülenden anlamlı derecede ve kabul edilemez

düzeyde düşük bulunmuştur (tablo 4.2). Bu çalışmanın aksine aerobik kapasitesi ortalama düzeyde olan rugby oyuncularında bu çalışmada uygulanan protokole benzer protokolle ölçülen ($46,8 \pm 4,3 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$) ve KAH_{indeks} yöntemiyle tahmin edilen ($47,1 \pm 4,3 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$) VO_{2maks} değerleri arasında anlamlı fark saptanmamıştır. Benzer şekilde iki sezon üst üste Spor Hekimliği Merkezinde rutin tıbbi ve fizyolojik değerlendirme için başvuran kulüplerde oynayan 184 profesyonel futbolcuda yapılan retrospektif çalışmada 4 mmol sabit laktat eşiğine kadar olan hızlarda ($< 14.0 \text{ km.h}^{-1}$) ölçülen ve tahmin edilen VO₂ (MET) değerleri benzer ancak yüksek hızlara ($> 14.0 \text{ km.h}^{-1}$) ve maksimal iş yüküne (VO_{2maks}) karşılık gelen KAH_{indeks} yöntemiyle tahmin edilen VO₂ değerlerinin ölçülenden anlamlı derecede düşük olduğu saptanmıştır (132). Söz konusu çalışmada tahmin edilen VO_{2maks} bu çalışmada olduğu gibi ölçülenden anlamlı derecede düşük olmakla beraber % fark (%5,1) bu çalışmada elde edilen % farkın yaklaşık 1/2'si (% 11,1) kadardır. Ek olarak ölçülen ve KAH_{indeks} yöntemiyle tahmin edilen VO_{2maks} değerleri rugby oyuncularında $R^2 = 0,96$ (23), profesyonel futbolcularda $R^2 = 0,85$ (132), bu çalışmada elde edilenden ($R^2 = 0,05$) yüksektir. Benzer şekilde Bland-Altman grafiklemeye bireysel seviyede ölçülen ve KAH_{indeks} ile tahmin edilen VO_{2maks} değerleri arasındaki fark ortalaması ($-6,3 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$) (Şekil 4.2) daha önce rugby oyuncularında ($-0,60 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$), profesyonel futbolcularda ($-1,03 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$) sağlıklı genç yetişkinlerde ($-2,98 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$) hesaplanandan farklıdır (23, 132, 134).

Bu çalışmada ölçülen ve tahmin edilen VO_{2maks} farkı ve iki yöntemin ortalama değeri arasında anlamlı ilişki bir başka deyişle trend saptanmış olması ($r = 0,272$; $p = 0,047$) yöntemler arasındaki farkın (hatanın) VO_{2maks}'ın ölçülen değerlerine bağımlı olduğunu göstermektedir. Bir başka ifade ile VO_{2maks} arttıkça hata artacaktır (Şekil 4.2). Bunun yanında yöntemler arasında uyum derecesinin bir göstergesi olan Lin'in uyumluluk (Concordance) korelasyon katsayısı da sıfıra yakın ($\rho_c = 0,09$) zayıf düzeyde bulunmuştur. Haller ve arkadaşları (133), antrenmanlı 10 erkek üniversite öğrencisinde KAH_{indeks} yöntemiyle belirledikleri VO_{2maks}'ın 5 farklı test protokolünde İK yöntemle ölçülenden anlamlı derecede düşük olduğunu ve KAH_{indeks} yönteminin geçerliğinin protokol bağımlı olduğunu rapor etmişlerdir. Aynı çalışmada KAH_{indeks} ve 5 farklı protokole ölçülen VO_{2maks} değerleri arasındaki ilişkiler ($r = 0,27-0,53$) ve Bland Altman grafiklemeye ortalama farklar ($-2,1 / -8,3$

ml.kg⁻¹.dk⁻¹) protokole bağı olarak değişmekle beraber (133), bu çalışmanın bulgularıyla uyumludur. Buna karşılık rugby oyuncularının aerobik kapasitesine benzer (VO_{2maks} = 45,9 ± 8,1 ml.kg⁻¹.dk⁻¹) farklı etnisiteye sahip (Afrikalı ve beyaz) sağlıklı bireylerde KAH_{indeks} yöntemi ile tahmin edilen VO_{2maks} değerleri koşu bandında ölçülenden anlamlı derecede yüksek bulunmuştur (134). Bu bulgular KAH_{indeks} yöntemi ile VO_{2maks}'ın tahmin edilmesinin tüm popülasyonlara genellenebilir olmadığını ve kullanımının sınırlı olduğunu göstermektedir.

5.4. KAH_{indeks} ve Enerji Harcaması

KAH ve VO₂ arasındaki ilişki, futbol maçları sırasında bireysel seviyede VO₂'nin tahmin edilmesini ve böylece her bir oyuncunun sabit iş yükünde enerji tüketimini doğru bir şekilde hesaplanmasını sağlayabilir. Bununla beraber futbol oyunu doğası gereği kesintili yüksek şiddette aktiviteler (yüksek hızda koşu ve sprint) içerdiği için özellikle sprint türü aktiviteler sonrasında KAH-VO₂ arasındaki ilişkinin bozulduğu bilinmektedir (2). Ek olarak küçük kas gruplarının statik kasılması ve termal stres (18) ve antrenman ve müsabaka ortamının yarattığı stres (168) de KAH-VO₂ ilişkisini değiştirmektedir. Bununla beraber futbolun büyük kas gruplarının dinamik kasılmasını gerektiren aktiviteler içermesi ve yüksek şiddette koşu ve sprint aktivitelerinin toplam oyun zamanının % 1'ine karşılık gelmesi (2), dahası aerobik interval antrenman kriterlerini karşılayan top sürme ve 5 x 5 oyun içeren özel olarak tasarlanmış futbol antrenmanlarında KAH'ın laboratuvar ölçümleri ile örtüştüğü ve KAH'ın geçerli bir şiddet kriteri olduğu ve VO₂'yi yansıttığının rapor edilmiş (70) olması nedeniyle KAH-VO₂ ilişkisini temel alan indirekt yöntemler örneğin KAH_{indeks} yöntemi, futbol maçlarında ve/veya antrenmanlarında enerji harcaması hakkında geçerli bilgi verebilir. Benzer şekilde üniversite futbol oyuncularında yapılan bir çalışmada bir futbol maçında gözlenen kesintili iş yükünün uyarlandığı ve daha önce futbol maçlarında gözlenen değerlere benzer fizyolojik yanıtların oluşturulduğu (% 68 VO_{2maks} ve 168 atım/dk KAH) koşu bandı temelli egzersizde elde edilen fizyolojik yanıtların (VO₂, KAH, rektal sıcaklık ve terleme hızı) aynı ortalama iş yükünü içeren sürekli egzersiz protokolüne benzer olduğunun saptanmış olması da (169) KAH_{indeks} yönteminin submaksimal şiddetlerde enerji harcamasının değerlendirmesinde kullanılabileceğini desteklemektedir. Çok sayıda

çalışmanın maç analizi bulguları elit futbolcuların bir futbol maçı sırasında toplam 9–14 km mesafe kat ettiklerini göstermiştir (170-173). Bununla birlikte elit futbolcular oyunun çoğunu düşük şiddetli aktivitelerle (örneğin ayakta durmak, yürümek, koşmak) geçirirken, yüksek şiddetli eforlar (örneğin yüksek hızlı koşu, sprint) kat edilen toplam mesafenin yaklaşık %1-10'unu kapsar (7, 170, 174). Bu nedenle futbol oyununun fizyolojik temelini esas olarak aerobik metabolizma oluşturur (175). Futbol müsabakalarında kaydedilen KAH'lar dikkate alındığında oyunda geçirilen süre boyunca ortalama maç şiddetinin KAH_{maks} 'ın %80-90 arasında olduğu rapor edilmiştir (2, 176, 177). Müsabakalar sırasında kaydedilen KAH değerleri şiddet kriteri olarak KAH_{maks} 'a oranlandığı (154) KAH_{maks} ve KAH_{din} değerleri bireysel olduğu için KAH_R 'nin yüzdesi olarak da hesaplanmaktadır (176, 178, 179). Futbolcularda yapılan bir çalışmada, farklı egzersiz protokollerinde ortalama KAH_{maks} %90 şiddetinin ortalama KAH_R %86'ya denk geldiği hesaplanmıştır (61). Böylece futbolda müsabaka şiddetinin KAH_R 'nin %75-85'i arasında olduğu söylenebilir. Antrenman şiddetinin maç şiddetinden daha düşük olması (94) ve maç içinde ortalama şiddetin altında geçen aktivitelerin (durma, yürüme, düşük tempolu koşular) kısa süreli de olsa ortalama şiddetin üzerine çıkan aktivitelerden (sprint, sıçrama ve ikili mücadele) fazla olduğu için (2) bu çalışmada laboratuvar ortamında gerçekleştirilen giderek artan egzersizde KAH yanıtları, $KAH_R < \%75$ (düşük), $KAH_R \%75-90$ (orta), $KAH_R > \%90$ (yüksek) olacak şekilde 3 farklı şiddettedir. Bu şiddet kriterleri birçok futbol müsabakalarından elde edilen ortalama şiddet ile paralellik göstermektedir (180, 181).

Bağımlı gruplarda t-testi sonuçları KAH_{indeks} yöntemi ile her bir şiddette tahmin edilen enerji harcamasının İK yöntemi ile ölçülenden anlamlı derecede düşük olduğunu göstermiştir (Tablo 4,3). İstatistik analiz yapılmamış olmakla beraber, şiddet artışına bağlı olarak her iki yöntemle elde edilen enerji harcaması da artmış ancak ortalama değerler arasındaki farklar dikkate alındığında; $KAH_R < \%75$ için $0,023 \text{ kcal.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$, $KAH_R \%75-90$ için $0,022 \text{ kcal.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$ ve $> \%90$ için $0,012 \text{ kcal.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$ olması, şiddet arttıkça KAH_{indeks} yöntemi ve İK yöntemi arasındaki farkın küçüldüğünü göstermektedir. Hesaplanan ve ölçülen enerji harcaması arasındaki uyum derecesini gösteren Lin'in korelasyon katsayıları her şiddet için zayıf olarak hesaplanmıştır ($< \%75$) için (ρ_c) = 0,48, $\%75-90$ için (ρ_c) = 0,26 ve $>$

%90 için (p_c) = 0,42) (Grafik 4.6). En yüksek uyum katsayısının bir futbol maçının ortalama şiddetini yansıtan < %75 KAH_R'ye karşılık gelmesi bu yöntemin futbolda antrenman veya müsabaka sırasında enerji harcamasının değerlendirilmesinde umut verici olduğunu göstermektedir. Rugby oyuncularında koşu bandında 8 km.s⁻¹'den 16 km.s⁻¹'ye kadar olan egzersiz şiddetlerinde KAH_{indeks} yöntemi ile tahmin edilen enerji harcamasının İK yöntemden farklı olmadığı rapor edilmiştir (23). Buna karşılık profesyonel futbolcularda İK yöntemle ölçülen ve KAH_{indeks} yöntemi ile tahmin edilen enerji harcamasının 4 mmol laktat eşliğinin altındaki şiddetlerde (<14 km.h⁻¹) benzer ancak üstündeki metabolizmada anlamlı derecede düşük olduğu gösterilmiştir (132). Profesyonel futbolculardan elde edilen bulguların aksine bu çalışmada tahmin edilen enerji harcaması her şiddet seviyesinde İK'dan düşüktür. Bununla beraber egzersizin şiddeti yükseldikçe tahmin edilen enerji harcamasının İK'ya yaklaşması enerji harcamasının değerlendirilmesinde KAH_{indeks} yönteminin pratik kullanım değerinin egzersizin şiddeti yükseldikçe arttığını gösterir. Ancak futbol oyununda toplam oyun süresinin çok büyük bölümünde fizyolojik yükün KAH_{maks}'ın % 75'inin altında olması (2) nedeniyle bu yöntemle hesaplanan enerji harcamasında hata payının yüksek olacağı düşünülebilir. Ek olarak bu çalışmada tüm şiddetlerde bireysel seviyede hesaplanan ve ölçülen enerji harcaması değerlerinin alt ve üst tutarlık sınırları egzersiz şiddeti arttıkça genişlemekle beraber (Şekil 4.4) fark ortalamaları önceki çalışmalara benzerdir (23, 132). Ayrıca tüm şiddet seviyelerinde negatif trend saptanmış olması KAH_{indeks}'den hesaplanan enerji harcamasına ait hatanın enerji harcamasının boyutlarına bağlı olduğunu ve enerji harcaması büyüdükçe hatanın azaldığını göstermektedir. Özellikle düşük miktarda enerji harcaması durumunda bu bulgular akılda tutulmalı ve enerji harcaması dikkatli değerlendirilmelidir.

Eniseler'in (94) Türkiye Süper liginde forma giyen 10 futbolcu üzerinde yapmış olduğu çalışmada, bir futbol maçında geçirilen sürenin yarısının 160-180 atım.dk⁻¹, kalan yarısının ise 140 - 160 atım.dk⁻¹ KAH seviyelerinde olduğunu ve bir futbol maçındaki ortalama KAH'ın 157 - 175 atım.dk⁻¹ arasında değiştiğini rapor etmiştir. Ek olarak, antrenman çeşidine göre (teknik, taktik) futbolculara ait ortalama KAH'ların 120 atım.dk⁻¹ seviyelerine kadar düşebildiğini ve bir antrenmanın %70'ine yakınının bu nabız aralığında geçirilebileceğini belirtmiştir. Bu veriler göz

önüne alındığında, bir futbol maçının ve antrenmanının neredeyse tamamına yakınının $KAH_R < \%90$ 'ının altındaki şiddette gerçekleştiği söylenebilir. Bu çalışmada $KAH_R < \%90$ şiddetlerde KAH_{indeks} 'den hesaplanan ve İK yöntemle ölçülen enerji harcaması fark ortalamaları dikkate alındığında 70 kg ağırlığındaki bir futbolcunun oynayacağı 90 dakikalık bir maç ya da antrenmanın yarısını $KAH_R < \%75$ ve diğer yarısını $KAH_R \%75-90$ şiddet aralığında tamamlayacağı düşünüldüğünde KAH_{indeks} yöntemi ile tahmin edilen enerji harcamasının toplamda ortalama < 140 kcal gibi oldukça düşük bir hata payına sahip olacaktır. Aynı yolla hesaplandığında aynı oyuncunun toplam enerji harcaması İK yöntem dikkate alındığında 1326 kcal olacaktır. Böylece KAH_{indeks} yöntemi ile hesaplanan enerji harcaması oransal olarak $\%10$ hataya sahip olacaktır. Her ne kadar $\%10$ sapma yüksek olmakla beraber, 1 kutu (500 ml) light biranın 145 kcal, 100 ml çikolatalı milkshake'in 125 kcal, 75 gram vanilyalı dondurmanın 150 kcal, 50 gram kızarmış patatesin 156 ve 50 gram pilavın 176 kcal (182) enerjinin karşılığı olduğu dikkate alındığında, KAH_{indeks} yönteminin futbolcularda enerji harcamasının hesaplanmasında pratik kullanım değerinin olduğu söylenebilir.

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

Futbolcularda maksimal egzersizde oksijen tüketimi (VO_{2maks}) ve değişik şiddetlerde submaksimal egzersizler esnasında enerji harcamasının hesaplanmasında KAH_{indeks} yönteminin geçerliğini belirlemek amacıyla yapılan bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- 1- Koşu bandında giderek artan iş yükünde ölçülen MET ve KAH_{indeks} değerleri arasında orta düzeyde ($r = 0.721$; $p = 0.000$) anlamlı ilişki saptanmıştır.
- 2- İndirekt kalorimetrik yöntemle karşılaştırıldığında KAH_{indeks} ' den hesaplanan VO_{2maks} anlamlı derecede düşüktür ($t_{49} = 5,04$ $p = 0.000$).
- 3- Hesaplanan ve ölçülen VO_{2maks} değerlerinin ortalaması ve farkları arasında anlamlı ilişki (trend) saptanmıştır ($r = 0.272$; $p = 0.047$).
- 4- KAH_{indeks} 'den hesaplanan ve koşu bandında İK yöntemle ölçülen VO_{2maks} arasındaki uyum derecesini gösteren Lin'in uyumluluk (Concordance) korelasyon katsayısı zayıf düzeydedir ($\rho_c = 0.05$).
- 5- KAH_R 'nin $< \%75$ 'i (düşük) egzersiz şiddetinde KAH_{indeks} 'den hesaplanan enerji harcaması İK yöntemle ölçülenden anlamlı derecede düşüktür ($t = 10.17$; $p = 0.000$).
- 6- KAH_R 'nin $\%75-90$ 'ı (orta) egzersiz şiddetinde KAH_{indeks} 'den hesaplanan enerji harcaması İK yöntemle ölçülenden anlamlı derecede düşüktür ($t = 6.37$; $p = 0.000$).
- 7- KAH_R 'nin $> \%90$ 'ı için (yüksek) egzersiz şiddetinde KAH_{indeks} 'den hesaplanan enerji harcaması İK yöntemle ölçülenden anlamlı derecede düşüktür ($t = 3.52$; $p = 0.001$).
- 8- $KAH_R < \%75$ için hesaplanan ve ölçülen enerji harcaması değerlerinin ortalaması ve farkları arasındaki ilişki (trend) anlamlıdır ($r = -0.36$; $p = 0,000$).
- 9- $KAH_R \%75 - 90$ için hesaplanan ve ölçülen enerji harcaması değerlerinin ortalaması ve farkları arasında anlamlı ilişki (trend) saptanmıştır ($r = -0,44$; $p = 0,000$)

- 10- $KAH_R > \%90$ için hesaplanan ve ölçülen enerji harcaması değerlerinin ortalaması ve farkları arasında anlamlı ilişki (trend) saptanmıştır ($r = -0,33$; $p = 0,000$).
- 11- KAH_{indeks} 'den hesaplanan ve koşu bandında İK yöntemle ölçülen enerji harcaması arasındaki uyum derecesini gösteren Lin'in uyumluluk (Concordance) korelasyon katsayısı $< \%75$ şiddet için zayıftır ($\rho_c = 0,48$).
- 12- KAH_{indeks} 'den hesaplanan ve koşu bandında İK yöntemle ölçülen enerji harcaması arasındaki uyum derecesini gösteren Lin'in uyumluluk (Concordance) korelasyon katsayısı $\%75-90$ şiddet için zayıftır ($\rho_c = 0,26$).
- 13- KAH_{indeks} 'den hesaplanan ve koşu bandında İK yöntemle ölçülen enerji harcamasındaki uyum derecesini gösteren Lin'in uyumluluk (Concordance) korelasyon katsayısı $> \%90$ şiddet için zayıftır ($\rho_c = 0,42$).

6.2. Öneriler

Futbolcularda maksimal egzersizde oksijen tüketimi (VO_{2maks}) ve değişik şiddetlerde submaksimal egzersizler esnasında enerji harcamasının hesaplanmasında KAH_{indeks} yönteminin geçerliğini belirlemek amacıyla yapılan bu çalışmanın sınırlılıkları göz önüne alındığında ileride yapılacak çalışmalar için öneriler aşağıda sıralanmıştır.

- 1- Çalışmaya farklı liglerde ve mevkilerde oynayan (profesyonel, yarı profesyonel ve amatör) erkek futbolcular katılmıştır. KAH_{indeks} yönteminin kadın futbolcularda geçerliği üzerine bir çalışma planlanabilir.
- 2- Bu çalışma laboratuvar ortamında koşu bandında gerçekleştirilmiştir. Gelecekteki çalışmalarda saha ortamında farklı içerikteki antrenmanlarda KAH_{indeks} yöntemi ile enerji harcaması değerlendirilebilir.
- 3- KAH_{indeks} yönteminin geçerliği enerji dengesinin ve vücut kompozisyonunun sürdürülebilirliğinin önemli olduğu mücadele sporlarında ve vücut ağırlığının kategorize edildiği sıklet sporlarında ve artistik branşlarda incelenebilir.
- 4- Gelecekte yapılacak çalışmalarda KAH_{indeks} yönteminin teknikle beraber dayanıklılığın da önemli olduğu kürek veya yüzme branşı gibi dayanıklılık sporlarında geçerliği incelenebilir.

7. KAYNAKLAR

1. Reilly T, Atkinson G, Edwards B, Waterhouse J, Farrelly K, Fairhurst E. Diurnal variation in temperature, mental and physical performance, and tasks specifically related to football (soccer). *Chronobiology international*. 2007;24(3):507-19.
2. Stølen T, Chamari K, Castagna C, Wisløff U. Physiology of soccer. *Sports medicine*. 2005;35(6):501-36.
3. Abade EA, Gonçalves BV, Silva AM, Leite NM, Castagna C, Sampaio JE. Classifying young soccer players by training performances. *Perceptual and motor skills*. 2014;119(3):971-84.
4. Strøyer J, Hansen L, Klausen K. Physiological profile and activity pattern of young soccer players during match play. *Medicine and science in sports and exercise*. 2004;36(1):168-74.
5. Aslan A, Acikada C, Güvenç A, Gören H, Hazir T, Özkara A. Metabolic demands of match performance in young soccer players. *Journal of sports science & medicine*. 2012;11(1):170.
6. Bangsbo J. The physiology of soccer--with special reference to intense intermittent exercise. *Acta Physiologica Scandinavica Supplementum*. 1994;619:1-155.
7. Mohr M, Krstrup P, Bangsbo J. Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *Journal of sports sciences*. 2003;21(7):519-28.
8. Bloomfield J, Polman R, O'Donoghue P. Physical demands of different positions in FA Premier League soccer. *Journal of sports science & medicine*. 2007;6(1):63.
9. Coelho DB, Coelho LG, Mortimer LA, Condessa LA, Ferreira-Junior JB, Borba DA, et al. Energy expenditure estimation during official soccer matches. *Brazilian Journal of Biomotricity*. 2010;4(4):246-55.
10. Anderson L, Naughton RJ, Close GL, Di Michele R, Morgans R, Drust B, et al. Daily distribution of macronutrient intakes of professional soccer players from the English Premier League. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*. 2017;27(6):491-8.
11. Oliveira CC, Ferreira D, Caetano C, Granja D, Pinto R, Mendes B, et al. Nutrition and Supplementation in Soccer. *Sports (Basel)*. 2017;5(2):28.
12. Duthie G, Pyne D, Hooper S. Applied physiology and game analysis of rugby union. *Sports medicine*. 2003;33(13):973-91.
13. Rodriguez NR, Di Marco NM, Langley S. American College of Sports Medicine position stand. Nutrition and athletic performance. *Medicine and science in sports and exercise*. 2009;41(3):709-31.
14. Esco MR, Fedewa MV, Cicone ZS, Sinelnikov OA, Sekulic D, Holmes CJ. Field-based performance tests are related to body fat percentage and fat-free mass, but not body mass index, in youth soccer players. *Sports*. 2018;6(4):105.
15. Silva PR, Mainenti M, Felicio L, Ferreira A, Lopes A, Bernhoeft M, et al. Cardiorespiratory Fitness of Visually Impaired Footballers through Direct and Indirect Methods: A Pilot Study. *Journal of Exercise Physiology Online*. 2018;21(5).

16. Plasqui G, Bonomi AG, Westerterp KR. Daily physical activity assessment with accelerometers: new insights and validation studies. *obesity reviews*. 2013;14(6):451-62.
17. Koehler K, Braun H, De Mares M, Fusch G, Fusch C, Schaefer W. Assessing energy expenditure in male endurance athletes: validity of the SenseWear Armband. *Medicine and science in sports and exercise*. 2011;43(7):1328-33.
18. Åstrand P-O, Rodahl K, Dahl HA, Strømme SB. *Textbook of work physiology: physiological bases of exercise: Human kinetics*; 2003.
19. Santos-Lozano A, Hernández-Vicente A, Pérez-Isaac R, Santín-Medeiros F, Cristi-Montero C, Casajús JA, et al. Is the SenseWear Armband accurate enough to quantify and estimate energy expenditure in healthy adults? *Annals of translational medicine*. 2017;5(5).
20. Bradley WJ, Cavanagh B, Douglas W, Donovan TF, Twist C, Morton JP, et al. Energy intake and expenditure assessed 'in-season' in an elite European rugby union squad. *European Journal of Sport Science*. 2015;15(6):469-79.
21. Di Prampero P. The energy cost of human locomotion on land and in water. *International journal of sports medicine*. 1986;7(02):55-72.
22. Wicks JR, Oldridge NB, Nielsen LK, Vickers CE. HR index--a simple method for the prediction of oxygen uptake. *Medicine and science in sports and exercise*. 2011;43(10):2005-12.
23. Colosio AL, 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;17(4):633.
24. Impellizzeri FM, Rampinini E, Coutts AJ, Sassi A, Marcora SM. Use of RPE-based training load in soccer. *Medicine & Science in sports & exercise*. 2004;36(6):1042-7.
25. Helgerud J, Engen LC, Wisloff U, Hoff J. Aerobic endurance training improves soccer performance. *Medicine and science in sports and exercise*. 2001;33(11):1925-31.
26. Impellizzeri FM, Rampinini E, Marcora SM. Physiological assessment of aerobic training in soccer. *Journal of sports sciences*. 2005;23(6):583-92.
27. Aziz AR, Mukherjee S, Chia M, Teh KC. Relationship between measured maximal oxygen uptake and aerobic endurance performance with running repeated sprint ability in young elite soccer players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness, The*. 2007;47(4):401.
28. Krstrup P, Mohr M, Ellingsgaard H, Bangsbo J. Physical demands during an elite female soccer game: importance of training status. *Medicine and science in sports and exercise*. 2005;37(7):1242.
29. Bangsbo J, Mohr M, Krstrup P. Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *Journal of sports sciences*. 2006;24(07):665-74.
30. Di Mascio M, Bradley PS. Evaluation of the most intense high-intensity running period in English FA premier league soccer matches. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2013;27(4):909-15.
31. Capranica L, Tessitore A, Guidetti L, Figura F. Heart rate and match analysis in pre-pubescent soccer players. *Journal of sports sciences*. 2001;19(6):379-84.

32. Bangsbo J, Mohr M. Variations In Running Speeds And Recovery Time After A Sprint During Top-class Soccer Matches: 472: Board# 63: 2: 00 PM-3: 30 PM. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2005;37(5):S87.
33. Di Salvo V, Baron R, Tschan H, Montero FC, Bachl N, Pigozzi F. Performance characteristics according to playing position in elite soccer. *International journal of sports medicine*. 2007;28(03):222-7.
34. Kawakami Y, Nozaki D, Matsuo A, Fukunaga T. Reliability of measurement of oxygen uptake by a portable telemetric system. *European journal of applied physiology and occupational physiology*. 1992;65(5):409-14.
35. Rampinini E, Coutts AJ, Castagna C, Sassi R, Impellizzeri F. Variation in top level soccer match performance. *International journal of sports medicine*. 2007;28(12):1018-24.
36. Trolle M, Aagaard P, Simonsen E, Bangsbo J, Klausen K. Effects of strength training on kicking performance in soccer. *Science and Football II London: F & FN Spon*. 1993:95-7.
37. Shephard RJ. Biology and medicine of soccer: an update. *Journal of Sports Sciences*. 1999;17(10):757-86.
38. Bjelica D, Gardasevic J, Vasiljevic I. Differences in the morphological characteristics and body composition of football players FC Sutjeska and FC Mladost in Montenegro. *Journal of Anthropology of Sport and Physical Education*. 2018;2(2):31-5.
39. Krespi M, Sporis G, Popovic S. Exponential versus linear tapering in junior elite soccer players: effects on physical match performance according to playing positions. *Montenegrin Journal of Sports Science and Medicine*. 2019;8(1):17.
40. Masanovic B. Comparative Study of Morphological Characteristics and Body Composition between Different Team Players from Serbian Junior National League: Soccer, Handball, Basketball and Volleyball. *International Journal of Morphology*. 2019;37(2).
41. Iga J, Scott M, George K, Drust B. Seasonal changes in multiple indices of body composition in professional football players. *International journal of sports medicine*. 2014;35(12):994-8.
42. Spehnyak M, Gušić M, Molnar S, Baić M, Andrašić S, Selimi M, et al. Body Composition in Elite Soccer Players from Youth to Senior Squad. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021;18(9):4982.
43. Aziz A, Tan F, Teh K, Council SS, editors. Variation in selected fitness attributes of professional soccer players during a league season. *Science and Football V: The Proceedings of the Fifth World Congress on Sports Science and Football*; 2005: Routledge.
44. Chen L, Nelson DR, Zhao Y, Cui Z, Johnston JA. Relationship between muscle mass and muscle strength, and the impact of comorbidities: a population-based, cross-sectional study of older adults in the United States. *BMC geriatrics*. 2013;13(1):1-8.
45. Nesser TW, Lee WL. The Relationship Between Core Strength And Performance In Division I Female Soccer Players. *Journal of exercise physiology online*. 2009;12(2).
46. Trajkovic N, Sporis G, Vlahovic T, Madic D, Gusic M. Post-match changes in muscle damage markers among u-21 soccer players. *Montenegrin Journal of Sports Science and Medicine*. 2018;7(2):49.

47. Gardasevic J, Bjelica D. Body Composition Differences between Football Players of the Three Top Football Clubs. *International Journal of Morphology*. 2020;38(1).
48. Bunc V, Hráský P, Skalská M. Changes in body composition, during the season, in highly trained soccer players. *The Open Sports Sciences Journal*. 2015;8(1).
49. Corluka M, Bjelica D, Vasiljevic I, Bubanja M, Georgiev G, Zeljko I. Differences in the morphological characteristics and body composition of football players of HSC Zrinjski Mostar and FC Siroki Brijeg in Bosnia and Herzegovina. *Sport Mont*. 2018;16(2):77-81.
50. Turner AN, Stewart PF. Strength and conditioning for soccer players. *Strength & Conditioning Journal*. 2014;36(4):1-13.
51. Dolci F, Hart NH, Kilding A, Chivers P, Piggott B, Spiteri T. Movement economy in soccer: current data and limitations. *Sports*. 2018;6(4):124.
52. Kenney WL, Wilmore JH, Costill DL. *Physiology of sport and exercise: Human kinetics*; 2015.
53. Gatin PB. Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sports medicine*. 2001;31(10):725-41.
54. Krstrup P, Mohr M, Steensberg A, Bencke J, Kjær M, Bangsbo J. Muscle and blood metabolites during a soccer game: implications for sprint performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2006;38(6):1165-74.
55. Hernández-Vicente A, Hernando D, Marín-Puyalto J, Vicente-Rodríguez G, Garatachea N, Pueyo E, et al. Validity of the polar h7 heart rate sensor for heart rate variability analysis during exercise in different age, body composition and fitness level groups. *Sensors*. 2021;21(3):902.
56. Bellenger CR, Fuller JT, Thomson RL, Davison K, Robertson EY, Buckley JD. Monitoring athletic training status through autonomic heart rate regulation: a systematic review and meta-analysis. *Sports medicine*. 2016;46(10):1461-86.
57. Buchheit M. Monitoring training status with HR measures: do all roads lead to Rome? *Frontiers in physiology*. 2014;5:73.
58. Flatt AA, Esco MR, Nakamura FY. Individual heart rate variability responses to preseason training in high level female soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2017;31(2):531-8.
59. Ali A, Farrally M. Recording soccer players' heart rates during matches. *Journal of sports sciences*. 1991;9(2):183-9.
60. Sporis G, Jukic I, Ostojic SM, Milanovic D. Fitness profiling in soccer: physical and physiologic characteristics of elite players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2009;23(7):1947-53.
61. Dellal A, Chamari K, Wong dP, Ahmaidi S, Keller D, Barros R, et al. Comparison of physical and technical performance in European soccer match-play: FA Premier League and La Liga. *European journal of sport science*. 2011;11(1):51-9.
62. Malone JJ, Di Michele R, Morgans R, Burgess D, Morton JP, Drust B. Seasonal training-load quantification in elite English premier league soccer players. *International journal of sports physiology and performance*. 2015;10(4):489-97.
63. Scott BR, Lockie RG, Knight TJ, Clark AC, de Jonge XAJ. A comparison of methods to quantify the in-season training load of professional soccer players. *International journal of sports physiology and performance*. 2013;8(2):195-202.

64. Lovell TW, Sirotic AC, Impellizzeri FM, Coutts AJ. Factors affecting perception of effort (session rating of perceived exertion) during rugby league training. *International journal of sports physiology and performance*. 2013;8(1):62-9.
65. Silva P, Dos Santos E, Grishin M, Rocha JM. Validity of heart rate-based indices to measure training load and intensity in elite football players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2018;32(8):2340-7.
66. Ducharme J, Gibson A, McKenna Z, Houck J, Hallam L, Mermier C. Does heart rate response confirm the attainment of maximal oxygen uptake in adults 45 years and older? *European Journal of Applied Physiology*. 2021;121(2):445-52.
67. Howley ET, Bassett DR, Welch HG. Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Medicine and science in sports and exercise*. 1995;27:1292-.
68. GRANT JA, JOSEPH AN, CAMPAGNA PD. The prediction of VO₂max: a comparison of 7 indirect tests of aerobic power. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 1999;13(4):346-52.
69. Leger LA, Mercier D, Gadoury C, Lambert J. The multistage 20 metre shuttle run test for aerobic fitness. *Journal of sports sciences*. 1988;6(2):93-101.
70. Hoff J, Wisløff U, Engen L, Kemi O, Helgerud J. Soccer specific aerobic endurance training. *British journal of sports medicine*. 2002;36(3):218-21.
71. Pate RR, Kriska A. Physiological basis of the sex difference in cardiorespiratory endurance. *Sports Medicine*. 1984;1(2):87-9.
72. Ibikunle P, Enumah U. Maximum oxygen uptake and cardiovascular response of Professional male football and Basketball players to Chester step test. *IOSR Journal of Sports and Physical Education (IOSR-JSPE)*. 2016;3(4):01-5.
73. Wisloeff U, Helgerud J, Hoff J. Strength and endurance of elite soccer players. *Medicine and science in sports and exercise*. 1998;30(3):462-7.
74. Noakes TD, Peltonen JE, Rusko HK. Evidence that a central governor regulates exercise performance during acute hypoxia and hyperoxia. *Journal of Experimental Biology*. 2001;204(18):3225-34.
75. Haugen TA, Tønnessen E, Hem E, Leirstein S, Seiler S. VO₂max characteristics of elite female soccer players, 1989–2007. *International journal of sports physiology and performance*. 2014;9(3):515-21.
76. Bacon AP, Carter RE, Ogle EA, Joyner MJ. VO₂max trainability and high intensity interval training in humans: a meta-analysis. *PloS one*. 2013;8(9):e73182.
77. 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.
78. Rago V, Brito J, Figueiredo P, Costa J, Barreira D, Krustup P, et al. Methods to collect and interpret external training load using microtechnology incorporating GPS in professional football: a systematic review. *Research in Sports Medicine*. 2020;28(3):437-58.
79. Malone JJ, Barrett S, Barnes C, Twist C, Drust B. To infinity and beyond: the use of GPS devices within the football codes. *Science and Medicine in Football*. 2020;4(1):82-4.
80. Lemes JC, Luchesi M, Diniz LBF, Brecht SDGT, Chagas MH, Praça GM. Influence of pitch size and age category on the physical and physiological responses of young football players during small-sided games using GPS devices. *Research in sports medicine*. 2020;28(2):206-16.

81. Castellano J, Alvarez-Pastor D, Bradley PS. Evaluation of research using computerised tracking systems (Amisco® and Prozone®) to analyse physical performance in elite soccer: A systematic review. *Sports medicine*. 2014;44(5):701-12.
82. Tumilty D. Physiological characteristics of elite soccer players. *Sports medicine*. 1993;16(2):80-96.
83. Esposito F, Impellizzeri FM, Margonato V, Vanni R, Pizzini G, Veicsteinas A. Validity of heart rate as an indicator of aerobic demand during soccer activities in amateur soccer players. *European journal of applied physiology*. 2004;93(1):167-72.
84. Buchheit M, Racinais S, Bilsborough J, Bourdon P, Voss S, Hocking J, et al. Monitoring fitness, fatigue and running performance during a pre-season training camp in elite football players. *Journal of science and medicine in sport*. 2013;16(6):550-5.
85. Schutz Y, Chambaz A. Could a satellite-based navigation system (GPS) be used to assess the physical activity of individuals on earth? *European journal of clinical nutrition*. 1997;51(5):338-9.
86. Edgecomb S, Norton K. Comparison of global positioning and computer-based tracking systems for measuring player movement distance during Australian football. *Journal of science and Medicine in Sport*. 2006;9(1-2):25-32.
87. MacLeod H, Morris J, Nevill A, Sunderland C. The validity of a non-differential global positioning system for assessing player movement patterns in field hockey. *Journal of sports sciences*. 2009;27(2):121-8.
88. Coutts AJ, Duffield R. Validity and reliability of GPS devices for measuring movement demands of team sports. *Journal of science and Medicine in Sport*. 2010;13(1):133-5.
89. Aughey RJ. Applications of GPS technologies to field sports. *International journal of sports physiology and performance*. 2011;6(3):295-310.
90. Gonçalves B, Esteves P, Folgado H, Ric A, Torrents C, Sampaio J. Effects of pitch area-restrictions on tactical behavior, physical, and physiological performances in soccer large-sided games. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2017;31(9):2398-408.
91. Bradley PS, Sheldon W, Wooster B, Olsen P, Boanas P, Krstrup P. High-intensity running in English FA Premier League soccer matches. *Journal of sports sciences*. 2009;27(2):159-68.
92. Edwards A, Clark N. Thermoregulatory observations in soccer match play: professional and recreational level applications using an intestinal pill system to measure core temperature. *British journal of sports medicine*. 2006;40(2):133-8.
93. Saltin B, Hermansen L. Esophageal, rectal, and muscle temperature during exercise. *Journal of applied physiology*. 1966;21(6):1757-62.
94. Eniseler N. Heart rate and blood lactate concentrations as predictors of physiological load on elite soccer players during various soccer training activities. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2005;19(4):799.
95. Gaudino P, Iaia F, Alberti G, Strudwick A, Atkinson G, Gregson W. Monitoring training in elite soccer players: systematic bias between running speed and metabolic power data. *International journal of sports medicine*. 2013;34(11):963-8.
96. Mero A, Komi P, Gregor R. Biomechanics of sprint running. *Sports medicine*. 1992;13(6):376-92.

97. Cavagna GA, Komarek L, Mazzoleni S. The mechanics of sprint running. *The Journal of Physiology*. 1971;217(3):709-21.
98. Arzac LM. Effects of altitude on the energetics of human best performances in 100 m running: a theoretical analysis. *European journal of applied physiology*. 2002;87(1):78-84.
99. Di Prampero P, Fusi S, Sepulcri L, Morin J-B, Belli A, Antonutto G. Sprint running: a new energetic approach. *Journal of experimental Biology*. 2005;208(14):2809-16.
100. Osgnach C, Poser S, Bernardini R, Rinaldo R, Di Prampero PE. Energy cost and metabolic power in elite soccer: a new match analysis approach. *Med Sci Sports Exerc*. 2010;42(1):170-8.
101. Malone S, Solan B, Collins KD, Doran DA. Positional match running performance in elite Gaelic football. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2016;30(8):2292-8.
102. Noakes TD. Testing for maximum oxygen consumption has produced a brainless model of human exercise performance. *British journal of sports medicine*. 2008;42(7):551-5.
103. Hill AV, Long C, 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.
104. Vieira AF, Costa RR, Macedo RCO, Coconcelli L, Kruehl LFM. Effects of aerobic exercise performed in fasted v. fed state on fat and carbohydrate metabolism in adults: a systematic review and meta-analysis. *British Journal of Nutrition*. 2016;116(7):1153-64.
105. Carter JG, Brooks KA, Sparks JR, editors. Comparison of the YMCA cycle sub-maximal VO₂ max test to a treadmill Vo₂ max test. *International Journal of Exercise Science: Conference Proceedings*; 2011.
106. Buttar KK. A review: Maximal oxygen uptake (VO₂ max) and its estimation methods. *IJPESH*. 2019;6:24-32.
107. Rao AV, Phadke AV, Patil PB, Joshi AR. Comparison of non-exercise test and step test in estimation of aerobic capacity (VO₂max) in young adults. *National Journal of Physiology, Pharmacy and Pharmacology*. 2014;4(3):218-20.
108. Myers J, Kaminsky LA, Lima R, Christle JW, Ashley E, Arena R. A reference equation for normal standards for VO₂ max: analysis from the Fitness Registry and the Importance of Exercise National Database (FRIEND Registry). *Progress in cardiovascular diseases*. 2017;60(1):21-9.
109. Houston MN, Van Lunen BL, Hoch MC. Health-related quality of life in individuals with chronic ankle instability. *Journal of athletic training*. 2014;49(6):758-63.
110. Bangsbo J, Iaia FM, Krstrup P. The Yo-Yo intermittent recovery test. *Sports medicine*. 2008;38(1):37-51.
111. Cooper KH. A means of assessing maximal oxygen intake: correlation between field and treadmill testing. *Jama*. 1968;203(3):201-4.
112. Gönülateş S. Analysis of difference between the VO₂ max values in field and laboratory tests. 2018.
113. Castagna C, Abt G, D'OTTAVIO S. Competitive-level differences in Yo-Yo intermittent recovery and twelve minute run test performance in soccer referees. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2005;19(4):805-9.

114. Smith AE, Evans H, Parfitt G, Eston R, Ferrar K. Submaximal Exercise–Based Equations to Predict Maximal Oxygen Uptake in Older Adults: A Systematic Review. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 2016;97(6):1003-12.
115. Bruce RA, Lovejoy FW, Pearson R, Paul N, Brothers GB, Velasquez T. Normal respiratory and circulatory pathways of adaptation in exercise. *The Journal of clinical investigation*. 1949;28(6):1423-30.
116. Bruce RA, Kusumi F, Hosmer D. Maximal oxygen intake and nomographic assessment of functional aerobic impairment in cardiovascular disease. *American heart journal*. 1973;85(4):546-62.
117. Manore MM, Thompson JL. Energy requirements of the athlete: assessment and evidence of energy efficiency. *Clinical sports nutrition: McGraw Hill Australia*; 2006. p. 113-34.
118. Logue D, Madigan SM, Delahunt E, Heinen M, Mc Donnell S-J, Corish CA. Low energy availability in athletes: a review of prevalence, dietary patterns, physiological health, and sports performance. *Sports Medicine*. 2018;48(1):73-96.
119. Redondo RB. Resting energy expenditure; assessment methods and applications. *Nutricion hospitalaria*. 2015;31(3):245-53.
120. Burke LM, Loucks AB, Broad N. Energy and carbohydrate for training and recovery. *Journal of sports sciences*. 2006;24(07):675-85.
121. Oshima T, Berger MM, De Waele E, Guttormsen AB, Heidegger C-P, Hiesmayr M, et al. Indirect calorimetry in nutritional therapy. A position paper by the ICALIC study group. *Clinical nutrition*. 2017;36(3):651-62.
122. Notley SR, Lamarche DT, Meade RD, Flouris AD, Kenny GP. Revisiting the influence of individual factors on heat exchange during exercise in dry heat using direct calorimetry. *Experimental physiology*. 2019;104(7):1038-50.
123. Kenny GP, Notley SR, Gagnon D. Direct calorimetry: a brief historical review of its use in the study of human metabolism and thermoregulation. *European journal of applied physiology*. 2017;117(9):1765-85.
124. Haugen HA, Chan LN, Li F. Indirect calorimetry: a practical guide for clinicians. *Nutrition in Clinical Practice*. 2007;22(4):377-88.
125. Hibi M, Ando T, Tanaka S, Tokuyama K. Human calorimetry: Energy expenditure and substrate utilization easurements using a respiratory chamber. *The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine*. 2013;2(1):93-9.
126. Weir JdV. New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *The Journal of physiology*. 1949;109(1-2):1-9.
127. Mtaweh H, Taira L, Floh AA, Parshuram CS. Indirect calorimetry: history, technology, and application. *Frontiers in pediatrics*. 2018;6:257.
128. Graf S, Karsegard VL, Viatte V, Maisonneuve N, Pichard C, Genton L. Comparison of three indirect calorimetry devices and three methods of gas collection: a prospective observational study. *Clinical nutrition*. 2013;32(6):1067-72.
129. Rosdahl H, Gullstrand L, Salier-Eriksson J, Johansson P, Schantz P. Evaluation of the Oxycon Mobile metabolic system against the Douglas bag method. *European journal of applied physiology*. 2010;109(2):159-71.
130. Westerterp KR. Exercise, energy expenditure and energy balance, as measured with doubly labelled water. *Proceedings of the Nutrition Society*. 2018;77(1):4-10.

131. Westerterp KR. Doubly labelled water assessment of energy expenditure: principle, practice, and promise. *European journal of applied physiology*. 2017;117(7):1277-85.
132. Colosio AL, Lievens M, Pogliaghi S, Bourgois JG, Boone J. Heart rate-index estimates aerobic metabolism in professional soccer players. *Journal of science and medicine in sport*. 2020;23(12):1208-14.
133. Haller JM, Fehling PC, Barr DA, Storer TW, Cooper CB, Smith DL. Use of the HR index to predict maximal oxygen uptake during different exercise protocols. *Physiological reports*. 2013;1(5).
134. Esco MR, Olson MS, Williford HN, Mugu EM, Bloomquist BE, McHugh AN. Crossvalidation of Two Heart Rate-based Equations for Predicting V [Combining Dot Above] O₂max in White and Black Men. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2012;26(7):1920-7.
135. Jones AM, Doust JH. A 1% treadmill grade most accurately reflects the energetic cost of outdoor running. *Journal of sports sciences*. 1996;14(4):321-7.
136. Midgley AW, McNaughton LR, Polman R, Marchant D. Criteria for determination of maximal oxygen uptake. *Sports medicine*. 2007;37(12):1019-28.
137. Yabe H, Kono K, Onoyama A, Kiyota A, Moriyama Y, Okada K, et al. Predicting a target exercise heart rate that reflects the anaerobic threshold in nonbeta-blocked hemodialysis patients: The Karvonen and heart rate reserve formulas. *Therapeutic Apheresis and Dialysis*. 2021.
138. Lawrence I, Lin K. Assay validation using the concordance correlation coefficient. *Biometrics*. 1992;599-604.
139. McBride G. A proposal for strength-of-agreement criteria for Lin's concordance correlation coefficient. NIWA client report: HAM2005-062. 2005;62.
140. Bland JM, Altman D. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *The lancet*. 1986;327(8476):307-10.
141. Hazir T. Physical characteristics and somatotype of soccer players according to playing level and position. 2010.
142. Gardasevic J, Bjelica D, Vasiljevic I. Morphological Characteristics and Body Composition of Elite Soccer Players in Montenegro. *International Journal of Morphology*. 2019;37(1).
143. Poli R, Besson R, Ravenel L. Football Analytics. The CIES Football Observatory 2017/18 Season. CIES Football Observatory. 2018;6:95-8.
144. Cossio-Bolanos M, Portella D, Hespanhol JE, Fraser N, De Arruda M. Body size and composition of the elite Peruvian soccer player. *JEPonline*. 2012;15(3):30-8.
145. Carling C, Orhant E. Variation in body composition in professional soccer players: interseasonal and intraseasonal changes and the effects of exposure time and player position. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2010;24(5):1332-9.
146. Slimani M, Nikolaidis PT. Anthropometric and physiological characteristics of male Soccer players according to their competitive level, playing position and age group: a systematic review. *J Sports Med Phys Fitness*. 2017;59(1):141-63.
147. Arnason A, Sigurdsson SB, Gudmundsson A, Holme I, Engebretsen L, Bahr R. Physical fitness, injuries, and team performance in soccer. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2004;36(2):278-85.
148. Silvestre R, Kraemer WJ, West C, Judelson DA, Spiering BA, Vingren JL, et al. Body composition and physical performance during a National Collegiate Athletic

Association Division I men's soccer season. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2006;20(4):962.

149. Açıkada C, Hazir T, Alper A, Turnagöl H, Özkara A. Bir İkinci Lig Futbol Takiminin Sezon Öncesi Hazırlık Döneminde Fiziksel Ve Fizyolojik Profili. *Spor Bilimleri Dergisi*. 1998;9(1):3-14.

150. Gabbett TJ. Science of rugby league football: a review. *Journal of sports sciences*. 2005;23(9):961-76.

151. Shi X, Stevens G, Foresman BH, Stern SA, Raven PB. Autonomic nervous system control of the heart: endurance exercise training. *Medicine and science in sports and exercise*. 1995;27(10):1406-13.

152. Yamamoto K, MIYACHI M, Saitoh T, YOSHIOKA A, ONODERA S. Effects of endurance training on resting and post-exercise cardiac autonomic control. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2001;33(9):1496-502.

153. Penggalih MHST, Sofro ZM, Oktarini KS, Ningrum RK. The correlation between sleep quality and performance in football athlete. *Sleep and Biological Rhythms*. 2021;19(2):195-200.

154. Achten J, Jeukendrup AE. Heart rate monitoring. *Sports medicine*. 2003;33(7):517-38.

155. Fazackerley LA, Fell JW, Kitic CM. The effect of an ultra-endurance running race on heart rate variability. *European journal of applied physiology*. 2019;119(9):2001-9.

156. Worku M, Mondal S, Muthupandian S, Tadesse L. Anthropometric and Physiological Profiles of Football Players in Tigray Region, Ethiopia. *EXECUTIVE EDITOR*. 2021;12(2):521.

157. Naranjo J, De la Cruz B, Sarabia E, De Hoyo M, Domínguez-Cobo S. Heart rate variability: a follow-up in elite soccer players throughout the season. *International journal of sports medicine*. 2015;94(11):881-6.

158. Boullosa DA, Abreu L, Nakamura FY, Muñoz VE, Domínguez E, Leicht AS. Cardiac autonomic adaptations in elite Spanish soccer players during preseason. *International journal of sports physiology and performance*. 2013;8(4):400-9.

159. Hostrup M, Gunnarsson TP, Fiorenza M, Mørch K, Onslev J, Pedersen KM, et al. In-season adaptations to intense intermittent training and sprint interval training in sub-elite football players. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*. 2019;29(5):669-77.

160. Modric T, Versic S, Sekulic D. Aerobic fitness and game performance indicators in professional football players; playing position specifics and associations. *Heliyon*. 2020;6(11):e05427.

161. Boone J, Vaeyens R, Steyaert A, Bossche LV, Bourgois J. Physical fitness of elite Belgian soccer players by player position. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2012;26(8):2051-7.

162. Garber CE, Blissmer B, Deschenes MR, Franklin BA, Lamonte MJ, Lee I-M, et al. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. 2011.

163. Piepoli MF, Corra U, Benzer W, Bjarnason-Wehrens B, Dendale P, Gaita D, et al. Secondary prevention through cardiac rehabilitation: from knowledge to implementation. A position paper from the Cardiac Rehabilitation Section of the

European Association of Cardiovascular Prevention and Rehabilitation. *European Journal of Cardiovascular Prevention & Rehabilitation*. 2010;17(1):1-17.

164. Bahrainy S, Levy WC, Busey JM, Caldwell JH, Stratton JR. Exercise training bradycardia is largely explained by reduced intrinsic heart rate. *International journal of cardiology*. 2016;222:213-6.

165. Fu Q, Levine BD. Exercise and the autonomic nervous system. *Handbook of clinical neurology*. 2013;117:147-60.

166. Vella C, Robergs R. A review of the stroke volume response to upright exercise in healthy subjects. *British journal of sports medicine*. 2005;39(4):190-5.

167. Buchheit M. The 30-15 intermittent fitness test: accuracy for individualizing interval training of young intermittent sport players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2008;22(2):365-74.

168. Herd JA. Cardiovascular response to stress. *Physiological reviews*. 1991;71(1):305-30.

169. Drust B, Reilly T, Cable N. Physiological responses to laboratory-based soccer-specific intermittent and continuous exercise. *Journal of sports sciences*. 2000;18(11):885-92.

170. Modric T, Versic S, Sekulic D. Does aerobic performance define match running performance among professional soccer players? A position-specific analysis. *Research in Sports Medicine*. 2021:1-13.

171. Bekris E, Kounalakis S, Ispirlidis I, Katis A. Evaluation of ball passing and space detection skill in soccer: implementation of two new soccer tests. *Research in Sports Medicine*. 2020;28(4):518-28.

172. Merlin M, Cunha SA, Moura FA, Torres RdS, Gonçalves B, Sampaio J. Exploring the determinants of success in different clusters of ball possession sequences in soccer. *Research in Sports Medicine*. 2020;28(3):339-50.

173. Modric T, Versic S, Sekulic D. Playing position specifics of associations between running performance during the training and match in male soccer players. *Acta Gymnica*. 2020;50(2):51-60.

174. Andrzejewski M, Konefał M, Chmura P, Kowalczyk E, Chmura J. Match outcome and distances covered at various speeds in match play by elite German soccer players. *International Journal of Performance Analysis in Sport*. 2016;16(3):817-28.

175. Garcia-Tabar I, Rampinini E, Gorostiaga EM. Lactate equivalent for maximal lactate steady state determination in soccer. *Research quarterly for exercise and sport*. 2019;90(4):678-89.

176. Dellal A, Chamari K, Pintus A, Girard O, Cotte T, Keller D. Heart rate responses during small-sided games and short intermittent running training in elite soccer players: a comparative study. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2008;22(5):1449-57.

177. Bangsbo J, Nørregaard L, Thorsoe F. Activity profile of competition soccer. *Canadian journal of sport sciences= Journal canadien des sciences du sport*. 1991;16(2):110-6.

178. Dellal A, Keller D, Carling C, Chaouachi A, Wong dP, Chamari K. Physiologic effects of directional changes in intermittent exercise in soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2010;24(12):3219-26.

179. Swain DP, Leutholtz BC, King ME, Haas LA, Branch JD. Relationship between% heart rate reserve and% VO2 reserve in treadmill exercise. *Medicine and science in sports and exercise*. 1998;30(2):318-21.
180. Ohashi J, Miyagi O, Nagahama H, Ogushi T, Ohashi K. 20 application of an analysis system evaluating intermittent activity during a soccer match. *Science and football IV*. 2001:132.
181. Condessa LA, Cabido CET, Lima AM, Coelho DB, Rodrigues VM, Chagas MH, et al. Analysis and comparison of intensity in specific soccer training sessions. *Motriz: revista de educação física*. 2015;21(1):54-60.
182. 175. Kalori Cetveli Veri Tabanı: Besinlerin Kalorileri [Internet]. 2011 [Erişim Tarihi 23 Mayıs 2021]. Erişim adresi: <https://www.kaloricetveli.org/>

8. EKLER

EK-1: Tez Çalışması Etik Kurul İzni



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

Sayı : 16969557 -1666

Konu :

ARAŞTIRMA PROJESİ DEĞERLENDİRME RAPORU

Toplantı Tarihi : 03 EYLÜL 2019 SALI
Toplantı No : 2019/20
Proje No : GO 19/826(Değerlendirme Tarihi: 03.09.2019)
Karar No : 2019/20-56

Üniversitemiz Spor Bilimleri Fakültesi öğretim üyelerinden Doç. Dr. Tahir HAZIR'ın sorumlu araştırmacı olduğu, Ekrem YILMAZ'ın yüksek lisans tezi olan, GO 19/826 kayıt numaralı, **“Futbolcularda Oksijen Tüketimi ve Enerji Harcamasının Kalp Atım Hızı İndeks Yöntemi ile Değerlendirilmesi”** başlıklı proje önerisi araştırmanın gerekçe, 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. Ayşe Lale DOĞAN	(Başkan)	9. Doç. Dr. Fatma Visal OKUR	(Üye)
		İZİNLİ	
2. Prof. Dr. Sevda F. MÜFTÜOĞLU	(Üye)	10. Doç. Dr. Can Ebru KURT	(Üye)
3. Prof. Dr. M. Yıldırım SABİT	(Üye)	11. Doç. Dr. H. Hüsrev TURNAGÖL	(Üye)
4. Prof. Dr. Necla İSAGLAM	(Üye)	12. Dr. Öğr. Üyesi Özay GÖKÖZ	(Üye)
5. Prof. Dr. Mintaze Kerem GÜNEL	(Üye)	13. Dr. Öğr. Üyesi Müge DEMİR	(Üye)
İZİNLİ		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. Gözde GİRGİN	(Üye)		

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 Ekrem YILMAZ beraber kalp atım hızı üzerinden maksimal ve submaksimal oksijen tüketimi ile enerji harcamasını kestiren bir formülün, futbolcularda geçerliğini belirlemek üzere bir çalışma yapmaktayız. Araştırmanın adı, ‘‘Futbolcularda 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 futbolcularda geçerliği bilinmemektedir. Bu çalışma sonucunda, kalp atım hızı indeks yönteminin futbolcularda oksijen tüketimini ve enerji harcamasını kestirmede kullanılabilecek 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 9.00-11.00 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, 6 km/saat hızda 5-6 km.s ısındıktan sonra her 2 dakikada 1 km/s hız artışı ile maksimal oksijen tüketimi belirlenene kadar test devam edecek. Testin 15 dk civarında tamamlanmasını bekliyoruz.

Bu çalışmada karşılaşacağınız 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 katıldığımız için size ek bir ödeme de yapılmayacaktır. Sizinle ilgili tıbbi bilgiler gizli tutulacak. 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 Dallarının 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 ihtimamla 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 olacağını 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 sorununun ortaya çıkması halinde her türlü tıbbi müdahalenin sağlanacağı konusunda gerekli güvence verildi. (Bu tıbbi müdahalelerle ilgili olarak da parasal bir yük altına girmeyeceğim).

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

ADI

SOYADI

DOĞUM TARİHİ

BOY

KİLO

VÜCUT YAĞ YÜZDESİ

DİNLENİK KALP ATIM HIZI

MAKSİMUM KALP ATIM HIZI

ANTRENMAN YAŞI

HAFTALIK ANTRENMAN SAYISI

AZD

EK-4: Orjinallik Ekran Çıktısı

FUTBOLCULARDA OKSİJEN TÜKETİMİ VE ENERJİ HARCAMASININ KALP ATIM HIZI İNDEKS YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

ORJİNALLİK RAPORU

%6	%4	%2	%2
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	openaccess.hacettepe.edu.tr:8080 İnternet Kaynağı	%2
2	burkonturizm.com İnternet Kaynağı	%1
3	Submitted to Anadolu University Öğrenci Ödevi	%1
4	Submitted to Nottingham Trent University Öğrenci Ödevi	%1
5	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
6	HAZIR, Tahir, İŞLER, Ayşe KİN, KÖSE, Mehmet Gören, ATABEY, Ceren Işıl, COŞKUN, Betül and ESATBEYOĞLU, Ferhat. "MET Sistemi ve	<%1

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: Ekrem Yılmaz
Assignment title: YÜKSEK LİSANS TEZİ
Submission title: FUTBOLCULARDA OKSİJEN TÜKETİMİ VE ENERJİ HARCAMASIN...
File name: Ekrem_Y_İlmaZ_TEZ_TURNITIN09_08_2021.pdf
File size: 936.46K
Page count: 52
Word count: 12,235
Character count: 79,125
Submission date: 09-Aug-2021 08:28AM (UTC+0300)
Submission ID: 1629428202



