

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

**FARKLI TEKRARLI SPRINT PROTOKOLLERİNDE ENERJİ
SİSTEMLERİNİN KATKISI:
CİNSİYETLER ARASI KARŞILAŞTIRMA**

Erkan TORTU

**Spor Bilimleri ve Teknolojisi Programı
DOKTORA TEZİ**

**ANKARA
2021**

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

**FARKLI TEKRARLI SPRINT PROTOKOLLERİNDE ENERJİ
SİSTEMLERİNİN KATKISI:
CİNSİYETLER ARASI KARŞILAŞTIRMA**

Erkan TORTU

**Spor Bilimleri ve Teknolojisi Programı
DOKTORA TEZİ**

**TEZ DANIŞMANI
Prof. Dr. Ayşe KİN İŞLER**

**ANKARA
2021**

ONAY SAYFASI

iii

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FARKLI TEKRARLI SPRINT PROTOKOLLERİNDE ENERJİ SİSTEMLERİNİN KATKISI:
CİNSİYETLER ARASI KARŞILAŞTIRMA
ERKAN TORTU
PROF. DR. AYŞE KİN İŞLER

Bu tez çalışması 22.11.2021 tarihinde jürimiz tarafından "Spor Bilimleri ve Teknolojisi Programı" nda doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı: *Prof. Dr. Tahir HAZIR*
Hacettepe Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi

Üye: *Doç. Dr. Gökhan DELİCEOĞLU*
Gazi Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi

Üye: *Doç. Dr Erşan ARSLAN*
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi

Üye: *Doç. Dr. Ş. Nazan KOŞAR*
Hacettepe Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi

Üye: *Doç. Dr. Ş. Alpan CİNEMRE*
Hacettepe Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi

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

29 Kasım 2021

Prof. Dr. Müge YEMİŞCİ ÖZKAN
Enstitü Müdürü

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

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

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

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

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

29/11/2021

Erkan TORTU

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

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

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

ETİK BEYAN

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

Erkan TORTU

TEŞEKKÜR

Hacettepe üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesine ilk adımımı attığım 2016 yılından bugüne kadar geçen süreçte hem akademik hem de insani olarak hayatımda sihirli dokunuşları olan, bana inanan, destekleyen ve bambaşka bir ben yaratan çok kıymetli danışman hocam Prof. Dr. Ayşe KİN İŞLER'e,

Bu çalışmanın başından sonuna, tecrübelerini, desteklerini ve zamanını esirgemeyen hocam Prof. Dr. Tahir HAZIR'a,

Lisans, Yüksek Lisans eğitimimde ve çalışma hayatımda bana hep destek olan bugünlere gelmemde beni destekleyen, yapamayacağım dediğimde beni motive eden sadece bir hoca değil aynı zamanda arkadaş olan hocam Doç. Dr. Gökhan DELİCEOĞLU'na

Araştırmanın veri toplama sürecinde desteklerini ve zamanını esirgemeyen değerli SESAM ekibine, Sporcu Sağlığı, Performansı ve Hizmet Kalite Standartları Daire Başkanlığına ve veri analizlerinde yardımını esirgemeyen arkadaşım Dr. Süleyman ULUPINAR'a

Her zaman yanımda olan eşim Çağrı ve bu süreçte sonradan aramıza katılan oğlum Pamir'e

Çok teşekkür ederim.

ÖZET

TORTU E. Farklı tekrarlı sprint protokollerinde enerji sistemlerinin katkısı: Cinsiyetler arası karşılaştırma. Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Spor Bilimleri ve Teknolojisi Programı Doktora Tezi, 2021, Ankara. Bu çalışmanın amacı, toplam sprint süresi (60sn) aynı olan farklı tekrarlı sprint protokollerinde enerji sistemlerinin katkısı, performans değişkenleri ve fizyolojik yanıtlar üzerine protokol ve cinsiyet etkisini incelemektir. Çalışmaya düzenli antrenman yapan ve aktif olarak salon takım sporlarıyla uğraşan 16 erkek ve 14 kadın sporcu katılmıştır. Katılımcılar rastgele sıra ile 30 saniye toparlanma aralıklarıyla 10x6sn 6x10sn bisiklette tekrarlı sprint testlerine katılmışlardır. Testler sırasında katılımcıların relatif zirve güç (ZG_{REL}), relatif ortalama güç (OG_{REL}), performans düşüş yüzdesi PD(%), oksijen tüketimi (VO_2), kan laktat değeri (LA), kalp atım hızı (KAH) ve algılanan zorluk derecesi (AZD) belirlenmiştir. Aerobik sistemin katkısı VO_2 ölçümlerinden, laktik sistemin katkısı LA değerlerinden, alaktik sistemin katkısı ise toparlanma dönemindeki VO_2 kinetiğinden mono-eksponansiyel formül ile hesaplanmıştır. Cinsiyet ve protokole göre performans değişkenleri, fizyolojik yanıtlar ve her bir enerji sisteminin katkısı, toplam enerji harcaması, relatif enerji harcaması ve oksijen tüketim değerleri arasındaki farklar Karışık Desen ANOVA ile test edilmiştir. Tekrarlı sprint protokollerinde ZG_{REL} ve OG_{REL} değerleri üzerine cinsiyet etkisi anlamlıdır ($p<0,05$), ZG_{REL} değerlerine protokol etkisi benzer ($p>0,05$), OG_{REL} değerlerinde anlamlıdır ($p<0,05$). Performans düşüş yüzdesinde ise cinsiyet etkisi benzer olup ($p>0,05$), protokol etkisi anlamlı derecede farklıdır ($p<0,05$). Protokollerin maksimum KAH ve maksimum LA üzerine etkisi benzer ($p>0,05$), AZD üzerine etkisi ise anlamlı derecede farklıdır ($p<0,05$). Tekrarlı sprint testlerinde, alaktik ve laktik sistem üzerine hem cinsiyet hemde protokol etkisi anlamlı derecede farklıdır ($p<0,05$). Aerobik sistem katkısı ise cinsiyetler arasında benzerdir ($p>0,05$) ancak protokol etkisi anlamlı derecede farklıdır ($p<0,05$). Bu çalışmanın bulguları yapılan toplam sprint süresi benzer olan farklı tekrarlı sprint protokollerinde fizyolojik yanıtların, performans çıktılarının ve enerji sistemlerinin katkısının cinsiyete ve protokole göre önemli ölçüde değiştiğini göstermiştir. Bu çalışma aynı zamanda her iki cinsiyette de alaktik sistemi geliştirmek için 10x6sn protokolünün tercih edilebilir olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Tekrarlı sprint, Cinsiyet, Alaktik enerji sistemi, Laktik enerji sistem, Aerobik enerji sistem

Bu çalışma Hacettepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon birimi tarafından Hızlı Destek projeleri kapsamında desteklenmiştir (Proje Numarası: THD-2020-18689)

ABSTRACT

TORTU E. Energy Systems Contribution in Different Repeated Sprint Protocols: Gender Comparison. Hacettepe University Graduate School of Health Sciences, PhD Thesis in Sport Sciences and Technology, 2021, Ankara. The aim of this study was to investigate the energy system contribution, performance variables and physiological responses in different repeated sprint protocols with same total sprint duration (60s) according to gender. Sixteen male and fourteen female active athletes from indoor teams sports participated in this study voluntarily. Participants performed two repeated sprint protocols (10x6s and 6x10s) in random order with standard recovery of 30 s. Relative peak power (PP_{REL}), relative mean power (MP_{REL}), performance decrement ($PD\%$), oxygen consumption (VO_2), blood lactate (LA), heart rate (HR) and ratings of perceived exertion (RPE) were measured during the tests. The contributions of the aerobic, lactic, and alactic systems were calculated from the VO_2 , LA values, and the recovery VO_2 using mono-exponential model. The differences in performance variables, physiological responses and contribution of each energy system, total energy expenditure, relative energy expenditure and oxygen consumption values by gender and protocol were analyzed with Mixed Model ANOVA. The findings indicated significant gender effect in PP_{REL} and MP_{REL} values ($p < 0.05$). The protocol effect on ZG_{REL} values was similar ($p > 0.05$), while it was significant in OG_{REL} values ($p < 0.05$). The gender effect in $PD\%$ was similar ($p > 0.05$), while the protocol effect was significant ($p < 0.05$). The effects of protocols on maximum HR and LA were similar ($p > 0.05$) however it was significant in RPE ($p < 0.05$). In repeated sprint protocols, the effect of gender and protocol on alactic and lactic system energy expenditure was significantly different ($p < 0.05$). In the aerobic system contribution, the gender effect was similar ($p > 0.05$), but the protocol effect was significantly different ($p < 0.05$). The findings of this study showed that the contribution of energy systems, physiological responses and performance variables varied significantly by gender and protocol in repeated sprint protocols. Additionally, this study suggested that the 10x6 s protocol was more suitable to improve the alactic system in both gender.

Keywords: Repeated sprint, Gender, Alactic energy system, Lactic energy system, Aerobic system

This study was funded as a Quick Support Project by the Hacettepe University Scientific Research Projects Coordination Unit (THD-2020-18689).

İÇİNDEKİLER

ONAY SAYFASI	iii
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI	iv
ETİK BEYAN	v
TEŞEKKÜR	vi
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
ŞEKİLLER	xiii
TABLolar	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı	4
1.2. Problemler	4
1.2.1. Alt Problemler	4
1.3. Hipotezler	5
1.4. Sınırlılıklar	6
1.5. Sayıtlar	6
1.6. Araştırmanın Önemi	6
2. GENEL BİLGİLER	8
2.1. Enerji Sistemleri	8
2.1.1. Alaktik Anaerobik Sistem (Fosfajen, ATP-CP)	13
2.1.2. Laktik Anaerobik Sistem (Anaerobik Glikoliz)	14
2.1.3. Aerobik (Oksidatif) Sistem	17
2.2 Egzersiz Sonrası Fazladan Oksijen Tüketimi (ESFOT)	19
2.2.1. ESFOT'un Hızlı ve Yavaş Evreleri;	20
2.2.2 Aralıklı (interval) Egzersizlerde ESFOT	23
2.2.3. Yüksek Şiddetli Egzersizlerde ESFOT	23
2.2.4. Farklı ergometreler kullanılarak yapılan egzersiz yöntemlerinde ESFOT	24
2.2.5. Antrenman Düzeyinin ESFOT üzerine etkisi	24
2.2.6. Cinsiyetin ESFOT üzerine Etkisi:	25

2.3. Tekrarlı Sprint Yeteneği	26
2.3.1. Tekrarlı Sprint protokollerini Etkileyen Faktörler ve Antrenman Yöntemleri	28
2.3.2. Tekrarlı Sprint Performansı ve Enerji Sistemleri Katkısı	31
2.4. Performansta Cinsiyetler Arası Farklılıklar	32
2.4.1. Cinsiyete Dayalı Karşılaştırmalar Nasıl Yapılır?	33
2.4.2. Kas Kuvveti Ve Yorgunluğunda Cinsiyetler Arası Farklılıklar	34
2.4.3. Egzersize Verilen Fizyolojik Tepkilerde Cinsiyetler Arası Farklılıklar	35
2.4.4. Maksimal Oksijen Tüketiminde Cinsiyetler Arası Farklılıklar	36
2.4.5. Performansta Cinsiyet Farklılıklarında Solunum Sisteminin Etkisi	37
2.4.6. Performansa hormonal faktörlerin etkisi	39
2.4.7. TST performansında cinsiyet farklılıkları	40
3. GEREÇ VE YÖNTEM	42
3.1. Araştırma Grubu	42
3.2. Veri Toplama Araçları	42
3.2.1. Antropometri	42
3.2.2. Oksijen Tüketimi	42
3.2.3. Maksimal Oksijen Tüketimi	43
3.2.4. Tekrarlı Sprint	43
3.2.5. Laktik Asit	43
3.2.6. Kalp Atım Hızı	43
3.2.7. Algılanan Zorluk Derecesi	43
3.3. Verilerin Toplanması	44
3.3.1. Antropometrik Ölçümler ve Vücut Kompozisyonunun Belirlenmesi	45
3.3.2. Maksimal Oksijen Tüketiminin Belirlenmesi	46
3.3.3. Tekrarlı Sprint Testleri	46
3.3.4. Oksijen Tüketiminin Belirlenmesi	49
3.3.5. Kalp Atım Hızının Belirlenmesi	49
3.3.6. Kan Laktat Düzeyinin Belirlenmesi	50
3.3.7. Algılanan Zorluk Derecesinin Belirlenmesi	50
3.3.8. Enerji Sistemlerinin Katkısının Hesaplanması	50
3.4. Verilerin Analizi	52

4. BULGULAR	54
4.1. Tanımlayıcı Bulgular	54
4.2. Kadın ve Erkek Katılımcıların Maksimal Oksijen Tüketimi Değerlerine Ait Bulgular	55
4.3. Kadın ve Erkek Katılımcıların Tekrarlı Sprint Protokollerine Ait Performans Bulguları	56
4.4. Kadın ve Erkek Katılımcıların Tekrarlı Sprint Protokollerine Ait Fizyolojik Yanıtları	59
4.5. Kadın ve Erkek Katılımcıların Tekrarlı Sprint Protokollerinde Enerji Sistemlerinin Katkısına İlişkin Bulgular	63
5. TARTIŞMA	71
5.1. Performans Değişkenleri	71
5.2. Fizyolojik Yanıtlar	76
5.3. Enerji Sistemlerinin Katkısı	80
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	86
6.1. Sonuçlar	86
6.2. Öneriler	88
7. KAYNAKLAR	89
8. EKLER	108
EK-1: Tez Çalışması Etik Kurul İzni	
EK-2. Aydınlatılmış Onam Formu	
EK-3. Kurum İzin Yazısı	
EK-4. Tez Orijinallik Raporu	
EK-5. Dijital Makbuz	
9.ÖZGEÇMİŞ	114

SİMGELER VE KISALTMALAR

ADP	: Adenozindifosfat
Atm.dk⁻¹	: Bir Dakikadaki Kalp Atım Sayısı
ATP	: Adenozintrifosfat
ATP-CP	: Alaktik Sistem, Fosfajen Sistem
AZD	: Algılanan Zorluk Derecesi
CO₂	: Karbondioksit
EB	: Etki Boyutu
ESFOT	: Egzersiz Sonrası Fazladan Oksijen Tüketimi (<i>EPOC</i>)
H⁺	: Hidrojen İyonu
KAHmaks	: Maksimum Kalp Atım Hızı
kJ	: Kilojule
kJ.dk⁻¹	: Bir Dakikada Kilojule Miktarı
La	: Kan Laktat Konsantrasyonu
Ladinlenik	: Dinlenik Kan Laktat Konsantrasyonu
Lamaks	: Maksimum Kan Laktat Konsantrasyonu
mmol.L⁻¹	: Bir Litredeki Milimol Değeri
O₂	: Oksijen
OG_{REL}	: Relatif Ortalama Güç
PCr	: Fosfokreatin
PD%	: Performans Düşüş Yüzdesi
Pi	: İnorganik Fosfat
REH	: Relatif Enerji Harcaması
TEH	: Toplam Enerji Harcaması
TST	: Tekrarlı Sprint Testi
TSY	: Tekrarlı Sprint Yeteneği
VO₂	: Oksijen Tüketimi
VO_{2maks}	: Maksimal Oksijen Tüketimi
ZG_{REL}	: Relatif Zirve Güç
η²	: Kısmi Eta Kare Katsayısı

ŞEKİLLER

Şekil	Sayfa
2.1. Enerji sistemlerinin egzersizin farklı sürelerdeki etkileşimi ve katkısı	12
2.2. Yüksek şiddetli bir egzersizde egzersiz sonrası fazladan O ₂ tüketimi (ESFOT)	21
2.3. TSY geliştirmek ve antrene edebilmek için gerekli özellikler.	29
3.1. Araştırma deseni	44
3.2. TST uygulama tasarımı	48
4.1. Kadın ve erkek katılımcıların farklı TST’de Z _{GREL} değerleri	58
4.2. Kadın ve erkek katılımcıların tekrarlı sprint protokollerine O _{GREL} değerleri	58
4.3. Kadın ve erkek katılımcıların tekrarlı sprint protokollerine Ait PD% değerleri	59
4.4. Kadın ve erkek katılımcıların tekrarlı sprint protokollerine LA _{maks} değerleri	62
4.5. Kadın ve erkek katılımcıların tekrarlı sprint protokollerine AZD değerleri	62
4.6. 10x6sn protokolündeki enerji sistemlerin katkısı (kJ)	65
4.7. 6x10sn protokolündeki enerji sistemlerin katkısı (kJ)	65
4.8. Kadın ve erkek katılımcıların tekrarlı sprint protokollerinde alaktik sistem katkısı	67
4.9. Kadın ve erkek katılımcıların tekrarlı sprint protokollerinde laktik sistem katkısı	67
4.10. Kadın ve erkek katılımcıların tekrarlı sprint protokollerinde aerobik sistem katkısı	68
4.11. Kadın ve erkek katılımcılarda tekrarlı sprint protokollerinde enerji sistemlerin yüzdesel katkıları	68
4.12. Kadın ve erkek katılımcıların tekrarlı sprint protokollerine TEH değerleri	70
4.13. Kadın ve Erkek katılımcıların tekrarlı sprint protokollerine REH değerleri	70

TABLOLAR

Tablo	Sayfa
4.1. Kadın ve erkek katılımcıların tanımlayıcı istatistikleri	54
4.2. Kadın ve erkek katılımcıların VO_{2maks} test sonucuna ait istatistikleri	55
4.3. Kadın ve erkek katılımcıların 10x6sn ve 6x10 sn tekrarlı sprint protokolüne ait ZG_{REL} , OG_{REL} ve PD% verileri	56
4.4. Kadın ve erkek katılımcıların 10x6sn ve 6x10sn tekrarlı sprint protokollerindeki ZG_{REL} , OG_{REL} ve PD% değerlerine ait ANOVA sonuçları	57
4.5. Kadın ve erkek katılımcılar 10x6 ve 6x10 saniye tekrarlı sprint protokollerine ait fizyolojik yanıtlar	60
4.6. Kadın ve erkek katılımcılar 10x6sn ve 6x10 sn tekrarlı sprint protokolüne ait fizyolojik yanıtlara ilişkin tekrarlı ölçümlerde ANOVA sonuçları	61
4.7. Kadın ve erkek katılımcıların 10x6sn ve 6x10 saniye tekrarlı sprint protokollerinde enerji sistemlerinin katkısı, enerji üretimi, TEH ve REH değerleri	63
4.8. Her bir protokolde cinsiyete ve enerji sistemine göre kJ olarak sağlanan enerji miktarlarına ait ANOVA sonuçları	64
4.9. Tekrarlı sprint protokollerinde cinsiyet ve protokole göre alaktik, laktik ve aerobik enerji sistemlerinin yüzde katkılarına ait ANOVA sonuçları	66
4.10. Kadın ve erkek katılımcıların 10x6 ve 6x10 saniye tekrarlı sprint protokollerinde TEH(kJ) ve REH ($kJ \cdot dk^{-1}$) değerlerine ait ANOVA sonuçları	69

1. GİRİŞ

Takım sporları hem aerobik hem de anaerobik metabolik sistemleri şiddetli şekilde zorlayan kısa süreli ve yüksek şiddetli eforlar içerir (1, 2). Oyun esnasından çok fazla tekrarlanan sprint, temas, sıçrama, blok, smaç yapma ve şut atma gibi aktiviteleri yüksek şiddette ve başarılı bir şekilde gerçekleştirmek kusursuz bir oyun performansı için geçerli bir kriter olarak kabul edilmektedir (3, 4) Bu nedenle, antrenörler ve kondisyonerler oyuncuların antrenman ve müsabaka sırasında daha iyi performans gösterebilmeleri yönünde genel kondisyon düzeylerini geliştirebilmek için sürekli olarak yeni ve verimli antrenman yöntemleri aramaktadırlar. Bu yöntemlerden biri olan ve son yıllarda özellikle takım sporlarında oldukça popüler bir antrenman ve test yöntemi olarak kullanılan tekrarlı sprint yeteneği (TSY); art arda tekrarlanan sprintler esnasında toparlanabilme ve maksimal performansı devam ettirebilme becerisi olarak tanımlanır ve önemli bir performans bileşenidir (5, 6). TSY'nin hem bir antrenman yöntemi hem de bir test protokolü olarak çok yaygın olarak tercih edilmesi, sporcuların branşlarına yönelik hareket profilini yansıtmasının yanı sıra fiziksel ve fizyolojik gelişimlerine çok yönlü katkıda bulunmasından kaynaklanmaktadır (5, 7-9).

TSY performansını geliştirmeye yönelik test protokolleri sahada ya da laboratuvar ortamında çeşitli ergometreler ve saha testleri ile farklı şekillerde uygulanmaktadır. Tekrarlı sprint protokolleri sprint sayısı, sprint süresi veya dinlenme periyotları sırasındaki toparlanma süresi bakımından farklılık göstermektedir (6, 10, 11). Tekrarlı sprint testlerindeki (TST); sprint ve toparlanma süresi arasındaki oran, performansı belirleyen kritik bir öneme sahiptir (12, 13). Çoğunlukla TSY yüksek şiddetli yüklenmeler arasına kısa süreli toparlanma süreleri (≤ 30 sn) uygulanarak test ve antrene edilir (3, 9, 14, 15). Ayrıca literatüre bakıldığında TST'nin çok farklı süre, mesafe ve tekrar sayılarında ve farklı dinlenme aralıklarıyla uygulandığı görülmektedir (3, 14, 16, 17).

TSY'ne yönelik egzersizler sırasında, metabolizmada ve kas fonksiyonlarında hızlı değişiklikler meydana gelmekte ve bu durum sporcunun egzersiz için gerekli kuvvet veya egzersiz şiddetini uzun süre sürdürememesi ile sonuçlanmaktadır. Özellikle tekrarlayan maksimum egzersizin fizyolojisi karışıktır, çünkü egzersizde çalışma ve dinlenme arasındaki uyum yeterince iyi tanımlanmamıştır (18-21). TSY

protokollerinde maksimal performansı sürdürmek için enerji ihtiyacının büyük kısmı alaktik ve laktik asit enerji sistemleri tarafından karşılanır (5, 22, 23). Sporcuların maksimum sprint hızı değerlerine ulaşması yüksek düzeyde ve en hızlı şekilde ATP-PCr tüketmelerine bağlıdır (5). Enerji sistemlerinin tekrarlı sprint protokollerinde katkısını inceleyen ilk çalışmalar 20-30 yıl öncesine ve kas biyopsisi yöntemine dayanmaktadır. Bu tekniğin bir tıbbi uzmanlık alanı olması ve uygulama şartların son derece zor olması nedeniyle tekrarlı sprint protokollerinde enerji sistemlerinin katkısına yönelik çalışmalar oldukça sınırlıdır (22, 24, 25). Bu çalışmalardan, TSY'de toparlanma aralıkları üzerine yapılan bir çalışmada; 30s toparlanma ile 5x6s'lik tekrarlı sprintlerin bitiminden 3 dakika sonra PCr depolarının başlangıç düzeyine göre %84 oranında yenilediği belirlenmiştir (24). Bir başka çalışmada ise; 30s toparlanma aralığı ile uygulanan 10x6sn'lik son sprintte PCr'nin katkısının %80 olduğu tespit edilmiştir (22). Dolayısıyla kısa süreli tekrarlı sprintler sırasındaki toparlanmanın gerçekleşmesi için 30 saniyelik toparlanma süresinin daha uygun olacağı vurgulanmaktadır (26-28).

Tek bir sprintte maksimal performans için fosfat depolarının hızlı bir şekilde enerjiye dönüştürülmesi gerekmektedir. Sprint sayısı arttıkça kastaki PCr miktarının azalması tekrarlı sprint egzersizlerinde performansta meydana gelen düşüşün fizyolojik temelini açıklamaktadır (6, 29). TSY performansında aerobik sistemin katkısı ise düşük olup katkı oranının (%10 dan daha fazla olması) ATP üretim hızını düşüreceği dolayısıyla da sprint performansını olumsuz yönde etkileyebileceği belirtilmektedir (5). Öte taraftan, literatürde gelişmiş bir aerobik sistemin tekrarlı sprint performansını olumlu etkilediğini savunan bazı çalışmalar da vardır. Bu olumlu etki, kısa toparlanma periyotlarında PCr'nin yeniden sentezi, hücre içinde biriken inorganik fosfatın uzaklaştırılması ve laktatı okside etmesi olarak ifade edilmektedir(23, 30).

Farklı TST'de; sprint tekrar sayılarına ve toparlanma sürelerine göre enerji sistemlerinin katkısının değişebileceği de çalışmalarla ortaya konmuştur. Bu çalışmalardan birinde; 3sn süren bir sprintte; enerjinin %55 alaktik, %10 laktik ve %3'nünde aerobik sistemden karşılandığı ortaya konmuştur (31). Tek sprintten farklı olarak, tekrarlanan sprint egzersizi sırasında enerji sistemi katkısını inceleyen araştırmalardan birinde; 4 dakikalık toparlanma süresi ile ayrılmış iki, 30 saniyelik

sprintte birinci sprinte göre; ikinci sprint sırasında anaerobik glikoliz enerji üretiminde yaklaşık % 41 azalma olduğu bildirilmiştir. Bu azalma ikinci sprint boyunca oksijen alımındaki %15'lik artışla açıklanmıştır (18). Bir başka çalışmada; 6 sn süren tek bir sprintte ve 30 sn dinlenme aralıkları ile yapılan 10x6 sn tekrarlı sprint egzersizinin son sprintinde ATP, CP, anaerobik glikoliz ve aerobik sistemden gelen katkılar karşılaştırıldığında her iki sprintte ATP-PC'nin katkısı benzerken (sırasıyla %55 ve %51), tekrar sayısı arttıkça anaerobik glikolizin katkısında azalma (sırasıyla %40 ve %9) aerobik sistemin katkısında ise artış (sırasıyla %8 ve %40) gözlenmiştir (31). Kısa süreli tek bir sprinte aerobik katkı nispeten küçükken, tekrarlanan sprintlere artan bir aerobik katkı olduğu görülmektedir. Yukarıdaki çalışmalardanda yola çıkarak; farklı tekrarlı sprint testi protokollerindeki; sprint süresi, sprint sayısı ve toparlanma süresi gibi önemli değişkenler enerji sisteminin katkısını açıkça etkiler.

Farklı tekrarlı sprint protokollerinde cinsiyetler arasında enerji sisteminin katkısının ve performans değişkenlerinin farklılığın ortaya konması; antrenörlerin ve araştırmacılar için önem teşkil etmektedir. Erkeklerin, çeşitli kas gruplarında ve farklı egzersiz koşullarında kadınlara oranla daha yüksek mutlak kas gücüne sahip olduğu ve kadınlardan daha yüksek güç çıktısı ürettiği literatürde kabul edilmektedir (32-35). Erkeklerde yağsız vücut kütlesi ve kas kesit alanları kadınlardan anlamlı derecede yüksek olduğu ve kadınların kas kesit alanının erkeklerin yaklaşık % 75'ine karşılık geldiği de belirlenmiştir (36). Her ne kadar erkeklerin daha fazla kas kütlesi ve kas kesit alanı olsa da, her bir cinsiyet için kas kütlesi birimi başına kuvvet gelişiminin benzer olduğu ve kasın biyolojik kalitesinde bir fark olmadığı da bilinmektedir (37). Ayrıca, hem düşük kas kesit alanı hem de kas kesit alanındaki yağ veya bağ doku gibi yüksek miktarda kontraktıl olmayan dokular, güç ve güç üretimindeki cinsiyet farklılıklarını açıklayabilir (35). Bununla birlikte kadınların erkeklere oranla daha uzun dayanıklılık süresi (yorgunluğa karşı daha büyük direnç) ve daha hızlı toparlanma yeteneğine sahip olduğu rapor edilmiştir.(38, 39). Ek olarak bazı çalışmalarda kasın glikolitik enzim aktivitesinin erkeklerde kadınlara oranla daha yüksek olduğu da belirtilmiştir (40, 41). Kas dokusunun morfolojik, metabolik ve nöromusküler özellikleri, erkekler ve kadınlar arasında farklıdır. Ağırlıklı olarak cinsiyetler arasındaki kuvvet, güç çıkışı ve yorulma direncindeki farklılıkları açıklamaktadır.

TST ile ilgili çalışmalara bakıldığında, araştırmacıların çoğunlukla sprintler sırasında performans değişkenleri, yorgunluk ve toparlanma süreçlerine odaklandığı görölmektedir (18-21). Protokollere yönelik enerji sistemlerinin katkısı ve cinsiyet farklılığı hakkında sınırlı derecede bilgiye rastlanmaktadır (17, 42). Dolayısıyla hedeflenen bir enerji sistemini geliştirmeye yönelik uygulanacak protokolün nasıl oluşturulacağı ve cinsiyet faktörünün bu protokollerin üzerine etkisine yönelik deneysel çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bilgidен yola çıkarak bu çalışmanın amacı yapılan toplam egzersiz süresi benzer olan iki farklı tekrarlı sprint protokolünde enerji sistemlerinin katkısının yanı sıra, performans ve fizyolojik yanıtları cinsiyete göre incelemektir. Çalışmanın, geliştirilmesi hedeflenen enerji sistemleri, performans değişkenleri ve fizyolojik yanıtlarda cinsiyet faktörü göz önüne alınarak etkili antrenman stratejileri ve test yöntemleri oluşturulmasına katkı sağlayacağı düşünölmektedir.

1.1. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı toplam sprint süresi (60sn) aynı olan farklı tekrarlı sprint protokollerinde (farklı sprint sayısı ve sprint süresi) enerji sistemlerinin katkısı ile, performans değişkenleri ve fizyolojik yanıtlarda cinsiyetler ve protokoller arasındaki farkı incelemektir.

1.2. Problemler

i. Farklı tekrarlı sprint protokollerinde enerji sistemlerinin katkısında, performans değişkenlerinde ve fizyolojik yanıtlarda cinsiyetler arasında fark var mıdır?

ii. Farklı tekrarlı sprint protokollerinde enerji sistemlerinin katkısında, performans değişkenlerinde ve fizyolojik yanıtlarda protokoller arasında fark var mıdır?

1.2.1. Alt Problemler

1. Farklı tekrarlı sprint protokollerinde aşağıda verilen performans değişkenlerinde protokole ve cinsiyete göre bir fark var mıdır?

a. Relatif Zirve Güç

- b. Relatif Ortalama Güç
 - c. Performans düşüş yüzdesi
2. Farklı tekrarlı sprint protokollerinde aşağıda verilen fizyolojik yanıtlarda protokole ve cinsiyete göre bir fark var mıdır?
 - a. Maksimal Kalp Atım Hızı
 - b. Maksimal Kan Laktat Konsantrasyonu
 - c. Algılanan Zorluk Derecesi
 - d. Enerji Harcaması
 3. Farklı tekrarlı sprint protokollerinde alaktik anaerobik sistemi katkısı protokole ve cinsiyete göre farklılaşmakta mıdır?
 4. Farklı tekrarlı sprint protokollerinde laktik anaerobik sistemi katkısı protokole ve cinsiyete göre farklılaşmakta mıdır?
 5. Farklı tekrarlı sprint protokollerinde aerobik sistem katkısı protokole ve cinsiyete göre farklılaşmakta mıdır?

1.3. Hipotezler

1. Farklı tekrarlı sprint protokollerinde aşağıda verilen performans değişkenleri protokole ve cinsiyete göre farklıdır.
 - a. Relatif Zirve Güç
 - b. Relatif Ortalama Güç
 - c. Performans düşüş yüzdesi
2. Farklı tekrarlı sprint protokollerinde aşağıda verilen fizyolojik yanıtlar protokole ve cinsiyete göre farklıdır.
 - a. Maksimal Kalp Atım Hızı
 - b. Maksimal Kan Laktat Konsantrasyonu
 - c. Algılanan Zorluk Derecesi
 - d. Enerji Harcaması
3. Farklı tekrarlı sprint protokollerinde alaktik anaerobik sistem katkısı protokole ve cinsiyete göre farklıdır.
4. Farklı tekrarlı sprint protokollerinde laktik anaerobik sistem katkısı protokole ve cinsiyete göre farklıdır.

5. Farklı tekrarlı sprint protokollerinde aerobik sistem katkısı protokole ve cinsiyete göre farklıdır.

1.4. Sınırlılıklar

1. Çalışma aktif olarak salon sporlarında (basketbol, voleybol, hentbol) düzenli antrenman yapan ve en az 3 yıl süresince müsabık olan kadın ve erkek katılımcı ile sınırlıdır.
2. Çalışmaya katılan erkek ve kadın katılımcıların yaşları 18-23 ile sınırlıdır.
3. Çalışma; 10 tekrar 6 saniye ve 6 tekrar 10 saniye tekrarlı sprint protokolleri ile sınırlıdır.

1.5. Sayıtlar

Çalışmaya gönüllü olarak katılan tüm katılımcıların tekrarlı sprint protokollerinde ve maksimal oksijen tüketim testlerinde maksimum efor sarf ettikleri varsayılmıştır.

1.6. Araştırmanın Önemi

TSY art arda yapılan sprintler sırasında toparlanabilme ve üst düzey performans için maksimal eforu sürdürebilme yeteneği olarak ifade edilmekte ve özellikle takım sporları için önemli bir performans bileşeni olarak kabul görmektedir (5, 7). TSY, birçok branşta da hem antrenman hem de test yöntemi olarak antrenör ve araştırmacılar tarafından çok fazla tercih edilmektedir (6, 14).

Çalışmalarda tekrarlı sprint protokolleri üzerinde en çok durulan noktalar toparlanma süresi sprint mesafesi ve tekrar sayılarıdır (43-45). Literatürde tekrarlı sprint protokollerinin büyük bir çoğunluğu saha tabanlı uygulanmış olup performans değişkenleri ve fizyolojik yanıtlar incelenmiştir (43, 46). Saha tabanlı protokollerin yanı sıra farklı hareket kalıplarında (bisiklet veya motorsuz koşu bandı) laboratuvar ortamında gerçekleştirilecek farklı tekrarlı sprint protokollerinin performans ve fizyolojik değişkenlerin yanı sıra enerji sistemlerinin katkısının cinsiyet farklılıkları üzerinden araştırılması antrenman uygulamalarına farklı bir bakış açısı getireceği ve alternatif bir yöntem olacağı düşünülmektedir.

Tekrarlı sprint protokollerinde enerji sistemlerinin katkısının incelendiği çalışmalar çok eski olmakla birlikte, kas biyopsisi yöntemi ile gerçekleştirilen analizlere dayanmaktadır (22, 24, 25). Kas biyopsisi yöntemine alternatif bir analiz yöntemi olarak kullanılan matematik modeller (47-49) için gerekli verilerin daha kolay elde edilmesine olanak sağlayan sistemler (gaz analizörü), ölçüm zorluklarının ortadan kaldırmasına olanak sağlamıştır (50). Bu sistemler üzerinden elde edilecek verilerle performans değişkenlerinin yanı sıra tekrarlı sprint protokollerinin enerji metabolizması üzerindeki etkisinin araştırılmasına da çok fazla katkı sağlayabilir.

Literatürde tekrarlı sprint performansına yönelik cinsiyet farklılığıyla ilgili çalışmalara rastlansa da performans ve yorgunluktaki cinsiyet farklılığı hakkında, sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır (17, 42). Ayrıca yine literatürde farklı tekrarlı sprint protokollerindeki enerji sistemleri katkısını cinsiyete göre inceleyen çalışmaya da rastlanmamıştır. Dolayısıyla çalışmanın geliştirilmesi hedeflenen enerji sistemleri ve fizyolojik değişkenlere yönelik antrenman stratejileri ve test yöntemlerinin yanında cinsiyet farklılığının da ne derece önemli olduğu hakkında antrenör ve araştırmacılar için bilgi sağlayacağı düşünülmektedir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Enerji Sistemleri

Tüm organizmalar, yaşamı oluşturmak ve sürdürebilmek için bir enerjiye ihtiyaç duymaktadır (51). İnsanlar da günlük yaşamsal aktivitelerini ve herhangi bir egzersize yönelik bir hareketi gerçekleştirebilmek için enerji üretmek zorundadırlar (52). Enerji, tüm hücrel işlevler için kullanılabilir bir kimyasal enerji formu olan Adenozin tri-fosfat'a (ATP) dönüştürülür. ATP olmadan, kas aktivitesi veya büyüme basit bir şekilde gerçekleşemez (53, 54). Kaslarda depolanan ATP miktarı sınırlıdır, ancak fosfajen, karbonhidratlar, yağlar ve proteinlerin enerjisi kullanılarak hızla yeniden sentezlenir. Her metabolik yolak, kimyasal reaksiyonları takip etmeye yönelik yeni substratlar üretmek için ara ürünleriyle birbirine bağlanan bir dizi biyokimyasal reaksiyon içerir (53, 55).

Egzersiz, entegre bir çoklu organ tepkisi gerektiren vücut homeostazına bir stres uygular. Kas kasılmalarını sürdürme yeteneği, çapraz köprü döngüsü ve güç üretimi için miyozin ATPaz ve sarko/endoplazmik retikulum Ca-ATPaz (SERCA; kalsiyumu sitosolden sarkoplazmik retikuluma taşımaktır) tarafından gerekli görülen bir oranda ATP sağlama yeteneğine bağlıdır (56). Egzersiz, çalışan kastaki biyoenerjetik yollar için ciddi bir zorluk teşkil eder. Örneğin, yüksek şiddetli egzersiz sırasında vücudun harcadığı toplam enerji miktarı, istirahat esnasında harcanan enerji miktarının 15 ila 25 katına çıkabilir (57). Enerji üretimindeki bu artışın çoğu, iskelet kaslarının kasılmasında gerekli olan ATP' yi sağlamak için kullanılır, bu da kullanılan enerji miktarını dinlenme halindeki kullanıma göre 200 kat artırabilir (58).

Dinlenme koşulları sırasında, sağlıklı insan vücudu homeostazdadır ve bu nedenle vücudun enerji ihtiyacı da sabittir. İstirahat halindeyken, vücut fonksiyonlarını sürdürmek için gereken enerjinin neredeyse % 100'ü aerobik metabolizma tarafından üretilir. Oksijen (O₂) tüketiminin ölçümü aerobik ATP üretiminin bir indeksi olduğundan, dinlenme sırasında O₂ tüketiminin ölçülmesi vücudun "temel" enerji gereksiniminin tahmin edilebilmesini sağlar. Dinlenme halindeyken, bir bireyin toplam enerji gereksinimi nispeten düşüktür. Örneğin, 70 kilogramlık genç bir yetişkin, dakikada yaklaşık 0,25 litre oksijen tüketmektedir ve bu da dakikada

kilogram (vücut ağırlığı) başına 3,5 ml O₂'lik nispi bir O₂ tüketimi anlamına gelmektedir (59).

Dinlenik durumdan hafif veya orta şiddetteki egzersize geçişte O₂ tüketimi hızla artar ve 1-4 dakika içinde kararlı duruma ulaşır. O₂ tüketiminin anlık olarak sabit durum değerine yükselmemesi, egzersizin başlangıcında anaerobik enerji kaynaklarının toplam ATP üretimine katkıda bulunduğu anlamına gelmektedir. Aslında, yapılan birçok araştırma egzersizin başlangıcında ATP-PC sisteminin ilk aktif biyoenerjetik yol olduğunu, bunu glikoliz ve son olarak da aerobik enerji üretiminin izlediğini göstermektedir (60, 61). Dinlenik durumdan egzersize geçişlerin biyoenerjitiği ile ilgili vurgulanması gereken en önemli nokta, birkaç enerji sisteminin aynı anda aktif olması konusudur (62). Başka bir deyişle, egzersiz için gereken enerji, sadece tek bir biyoenerjetik yolla değil, birkaç metabolik sistemin bir karışımı ile sağlanır (63).

Tüm fiziksel aktiviteler ve sporlar, anaerobik-aerobik bir süreklilik üzerinde sınıflandırmaya uygundur. Bazı aktiviteler ağırlıklı olarak tek bir enerji sistemine dayanırken, çoğu egzersiz şiddet ve süreye bağlı olarak birden fazla enerji sisteminin aktivasyonunu gerektirir. Daha yüksek bir şiddette ancak daha kısa efor süresinde performans göstermek, anaerobik enerji transferinde belirgin bir şekilde artan talebi gerektirir (52, 64, 65). Egzersize verilen metabolik yanıtlarda süre ve şiddetin etkisi incelendiğinde, 10 saniyeden kısa süren yüksek şiddetli egzersizlerde ATP üretmek için öncelikle anaerobik metabolik yollar kullanılırken maraton gibi bir uzun süreli bir yarışta gerekli ATP'yi sağlamak için aerobik metabolizma birincil enerji kaynağıdır. Bununla birlikte, 10 ila 20 saniyeden uzun ve 10 dakikadan kısa süren egzersizlerde genellikle hem anaerobik hem de aerobik yolların bir kombinasyonu yoluyla kas kasılması için gerekli ATP üretilir. Aslında çoğu spor branşında, kas aktivasyonu için gerekli olan ATP anaerobik ve aerobik enerji sistemlerinden gelen katkının kombinasyonunu kullanır.

Kısa süreli yüksek şiddetteki egzersizi gerçekleştirmek için gereken enerji, öncelikle anaerobik metabolik yollardan elde edilir. ATP üretimine alaktik (ATP-PC) sisteminin mi yoksa laktik anaerobik sistemin mi hakim olduğu, öncelikle aktivitenin süresine bağlıdır (47, 60, 66). 50 metrelik bir sprinti koşmak veya bir futbol maçında tek bir sprinti tamamlamak için gereken enerji, esas olarak ATP-PC sisteminden

gelirken sprint mesafesinin uzadığı durumlarda, örneğin 1500m yarışında olduğu gibi, laktik sistem katkısı daha baskın hale gelmektedir. Orta mesafe koşularında (1500m) anaerobik tabanlı enerji sistemlerinin (alaktik+laktik) enerji katkısı %19 olarak raporlanmıştır (67).

Genel olarak, ATP-PC sistemi, 1 ila 5 saniye süren egzersiz için gerekli olan hemen hemen tüm ATP'yi sağlayabilir. 5 saniyeden uzun süren şiddetli egzersizlerde glikoliz yoluyla üretilen ATP kullanılmaya başlanır. Egzersiz sırasında ATP-PC sisteminden glikolize geçişin ani bir değişiklik değil, bir yoldan diğerine kademeli bir geçiş olduğu vurgulanmalıdır. 45 saniyeden uzun süren bir egzersizde, üç enerji sisteminin (yani ATP-PC, glikoliz ve aerobik sistemler) kombinasyonu kullanılır. Genel olarak, yaklaşık 60 saniye süren yoğun egzersizde, % 70 anaerobik % 30 aerobik enerji üretiminden yararlanılırken, 2 ila 3 dakika süren egzersizlerde, ihtiyaç duyulan ATP'yi sağlamak için neredeyse eşit olarak anaerobik ve aerobik yollar kullanılır. Aerobik enerji üretiminin toplam enerji ihtiyacına katkısı egzersiz süresi ile birlikte artmaktadır (68, 69).

Egzersizde ihtiyaç duyulan enerji sistemlerinin katkısını incelemeye yönelik yazılı kaynaklarda birden fazla yöntem mevcuttur. Kas biyopsisi ile başlayan araştırmalar bu yöntemin zor ve ciddi bir tıbbi uzmanlık alanı olması ve sadece kastaki lokal alana yönelik bilgi vermesi araştırmacıların yeni yöntemlere yönelmesine neden olmuştur. Bu yöntemlerden ilki maksimal birikmiş oksijen açığıdır (*maximal accumulated oxygen deficit*). Maksimal birikmiş oksijen yönteminde ilk aşamada farklı submaksimal egzersizlerde vücudun kullandığı oksijen tüketimi hesaplandıktan sonra, düşük şiddetlerde ve VO_{2maks} 'taki oksijen tüketim gereksinimlerine yönelik bir regresyon modeli üzerinden hesaplamalar yapılmaktadır. Bu model üzerinden supramaksimal bir egzersizi gerçekleştirebilmek için (Örneğin VO_{2maks} 'ın %115 veya %120'sinde) ihtiyaç duyulan oksijen tüketimi hesaplanabilmektedir. Birikmiş oksijen açığı; aerobik enerji sistemi ile karşılanamayan, supramaksimal egzersiz şiddetlerinde gerekli olan enerji ihtiyacının anaerobik enerji sistemleri ile karşılanması olarak ifade edilmektedir (70-72). Özetle; supramaksimal şiddette yapılan bir egzersizde gerekli olan oksijen ihtiyacı doğrusal bir regresyon modeli ile hesaplanır. Egzersiz boyunca gerekli olan enerji katkısının aerobik sistem tarafından karşılandığı ve egzersizin sürdürülmesinde gerekli olduğu halde karşılanamayan enerji talebinin

anaerobik enerji sistemleri tarafından karşılandığı kabul edilir. Bu yöntemin dezavantajı enerji ihtiyacının karşılanmasında alaktik ve laktik sistemlerden gelen katkıyı ayırt etmeyip, anaerobik sistemleri bir bütün olarak değerlendirmesidir.

Bir diğer yöntem olan PCr-La-O₂ metodu, egzersize yönelik enerji sistemlerinin katkısını tek tek ayırt edebilmesinden dolayı son yıllarda yapılan çalışmalarda sıkça kullanılmaktadır (70, 73). Bu yöntemle egzersizin, dinlenik durumda ve egzersiz esnasında ölçülen O₂ tüketiminin yanı sıra egzersiz sonrası katılımcılardan alınan kan örneği ile elde edilen laktat verilerinden yola çıkılarak, metabolik yanıtlar arasındaki farkın belirlenmesi ve enerji sistemlerinin katkısının hesaplanabilmesi mümkün olabilmektedir (29, 74, 75).

Alaktik sistemden gelen katkının belirlenmesinde matematiksel modellemeler kullanılmaktadır. Bu modeller ile egzersiz sonrası fazladan oksijen tüketimi (ESFOT) kinetiğinde hızlı ve yavaş bölümleri ile oksijen tüketim değerleri hesaplanabilmektedir (48, 76). Egzersiz sonrası doğrusal olmayan oksijen kinetiğinin hesaplanmasında en uygun mono ya da bi-exponensiyal modelin oluşturulması gerekmektedir. Alaktik sistemden gelen katkının en doğru şekilde hesaplanabilmesi için en uygun modelin seçiminde denklemlerin açıklayıcılık katsayısının (R^2) büyük olmasına veya artık hacmin (kalan hacim, rezidüel hacim) küçük olmasına göre seçim yapılarak belirlenebilir (77).

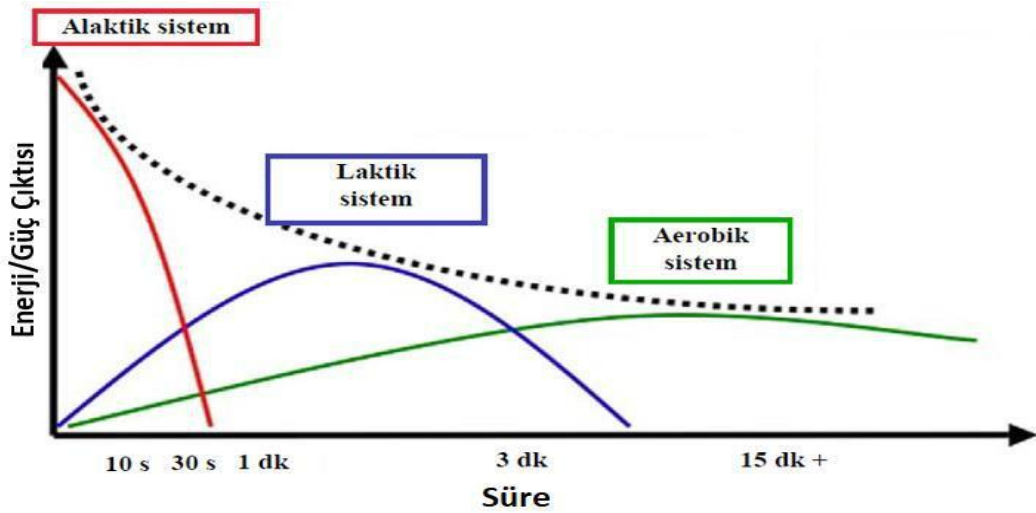
Aerobik sistemden gelen katkının hesaplanmasında, iki aşamalı bir yöntem kullanılmaktadır; dinlenik durumda ve egzersiz esnasında oksijen ölçümleri hesaplandıktan sonra egzersiz esnasındaki oksijen tüketimi kinetiği eğrisinin altında kalan yamuk alanın aerobik sistem katkısı hesaplanır (77, 78). Dinlenik durumdaki oksijen tüketim değerleri ile egzersiz esnasında elde edilen oksijen tüketim değerleri arasındaki fark, aerobik sistemin katkısı olarak kabul edilir. Laktik asit sistemin katkısı kan laktat değerleri üzerinden yapılmaktadır. Dinlenik ve egzersiz sonrası ulaşılan maksimum laktat değerleri arasındaki fark (delta laktat değeri) hesaplanır. Elde edilen her 1 mmol.L⁻¹ laktat değeri için vücut ağırlığı kilogramı başına dakikada 3 ml oksijen tüketimi denklemi kullanılarak laktik sistemin enerji katkısı elde edilir (79).

Kas hücreleri sınırlı miktarda ATP depoladığından, egzersiz sırasında hızlı bir şekilde ATP'yi yeniden üretme yeteneğine sahip metabolik enerji yolları mevcuttur (80, 81). Bu metabolik enerji yolları;

- (1) Alaktik Anaerobik Sistem (Fosfojen, ATP- PC)
- (2) Laktik Anaerobik Sistem (Glikolitik Sistem)
- (3) Aerobik (Oksidatif) Sistem

Egzersiz sırasında kullanılan baskın enerji sistemi, yapılan aktivitenin şiddetine, süresine ve kişinin kondisyon düzeyine bağlıdır ve ATP-PC sistemi, ağırlıklı olarak 10 saniyeden uzun olmayan maksimum şiddetteki aktiviteler sırasında kullanılır. Anaerobik Glikoliz sistemi, ağırlıklı olarak yaklaşık 1 dakika süren yüksek şiddetli aktiviteler için kullanılırken Aerobik sistem ise; orta ila düşük yoğunluklu aktivite sırasında kullanılır. Dinlenme sırasında kullanılan baskın enerji sistemi aerobik sistemdir (64, 65, 80).

Şekil 2.1’de Metabolik enerji yollarının egzersizin süresine göre birbirleri ile olan etkileşimleri ve egzersize yönelik katkıları sunulmuştur.



Şekil 2.1. Enerji sistemlerinin egzersizin farklı sürelerdeki etkileşimi ve katkısı (82)

Üç enerji sisteminin her biri farklı kapasitelerde güç üretir ve bu enerji üretme kapasitesi kişiler arasında farklılık gösterir. Genellikle ATP-PCr sistemde dakikada ortalama 36 kcal oranında enerji üretilirken, glikolitik sistemde bu değer 16 kcal, oksidatif sistemde ise 10 kcal'dır. Aerobik sistem en düşük güç çıkışı oranına sahiptir (4). Üç enerji sisteminin her birinin gücü üretme kapasitesi antrenmana göre değişebilir. ATP-PC ve glikolitik sistem, antrenmanla yalnızca % 10-20 oranında geliştirilebilir (83-85).

2.1.1. Alaktik Anaerobik Sistem (Fosfajen, ATP-CP)

Depolanan ATP ve PC kombinasyonuna ATP-PC sistemi veya "fosfojen sistemi" denir. Fosfat içeren herhangi bir molekülde depolanan enerji; enzimler veya su yoluyla molekülden ayrılarak inorganik fosfata (Pi) dönüşür ve ATP'nin oluşum süreci fosfokreatin yapısından kopan bir fosfatın ADP'ye (adenozin difosfat) bağlanması ile meydana gelir. Bu reaksiyon kreatin kinaz tarafından gerçekleştirilir. Literatürde bu süreç; ATP'nin en kolay ve en hızlı üretim aşaması olarak tanımlanır. ATP vücutta önemli miktarda depo edilmediğinden, fosfojenler, aerobik sistem veya laktik sistem tarafından hızlı bir şekilde sağlanamayan enerji katkısını sağlar. (80, 82, 86, 87). ATP kullanıldıktan sonra ADP+Pi, PCr ile yeniden ATP üretimi gerçekleşir ancak PCr miktarı kasta yeterli miktarda depo edilemediği için ATP'nin bu reaksiyon ile yeniden üretimi oldukça sınırlıdır (22, 57, 68).

Yüksek şiddetli egzersizler sırasında artan hücre içi ADP yoğunluğu, PCr'nin aşırı tüketilmesi ile biriken kreatinden kaynaklanmaktadır. Artan hücre içi ADP yoğunluğu da iki ADP molekülü bir ATP ve bir AMP molekülü veren miyokinaz reaksiyonunu aktifleştirir. Ayrıca bazı yüksek şiddetli egzersizlerin oluşturduğu fizyolojik stres ile Tip II kas lifleri ATP üretimine miyokinaz aktivitesi ile enerji katkısı sağlar (88, 89). ATP-PC sistemi, tamamlanması yalnızca birkaç saniye gerektiren ve bu nedenle hızlı bir ATP tedarikine ihtiyaç duyan egzersizlerde çok önemlidir. Aktivitenin birkaç saniye veya daha kısa sürdüğü güç egzersizlerinde aktif olan kas çoğunlukla bu enerji sisteminin katkısına bağlıdır. (22, 68, 90). ATP-PC sisteminin atletik performansa yönelik katkısının geliştirilmesinde kullanılan yüksek şiddetli kısa süreli antrenman yöntemleri literatürde yer almaktadır. Özellikle maksimum performansın devam ettirilmesinde harcanan bu fosfat gruplarının toparlanma sırasında yeniden depo edilmesi gerekmektedir (5). Depo edilebilen ATP ve PCr'nin kastaki miktarları yaklaşık olarak ATP için "20-25 mmol.kg kuru kas⁻¹, PCr için ise 77-82 mmol.kg kuru kas⁻¹ olmakla birlikte yine ATP için 3.5-7.5 mmol.kg⁻¹, PCr için ise 16-28 mmol.kg⁻¹ kas dokusu olarak yapılan çalışmalarda ortaya konmuştur (6, 22, 25). Aerobik antrenmanın ardından, ATP-PC ve glikolitik yolların ürettiği güç kapasitesi % 10-20 artabilmektedir. ATP-PC'nin baskın olarak kullanıldığı aktivitelere özellikle kısa mesafeli sprintlerin yanı sıra basketbol, voleybol ve hentbolda sıçrama ve şut atma performansları da örnek olarak gösterebilir (6, 62).

ATP-PC enerji katkısının araştırıldığı farklı tür ve şiddetteki egzersizlerde ortaya konan sonuçlara göre, depo halinde bulunan ATP-PC'nin kısa süreli maksimal şiddetteki aktivitelerdeki (yaklaşık 6sn) enerjinin % 50 civarındaki büyük bir oranını karşılamakta ve bu depolar bu tür egzersizlerde tamamen tükenmemektedir (5, 25). PCr depolarının maksimal bir egzersizde ne oranda düştüğüne yönelik yapılan bir kas biyopsisi çalışmasında; 30 sn süren tek bir maksimal egzersizin ardından depo oranının 90 sn sonrasında bile %70 olduğu görülmüş ve depoların tamamen dolması için 5 dakikadan daha uzun bir sürenin gerektiği bildirilmiştir (6, 24, 25). Tekrarlı sprint protokollerinde ATP-PC katkısının ne derece önemli olduğuna yönelik yapılan çalışmalarda; 30 saniye dinlenme aralıklarının uygulandığı 10x6sn sprint uygulamasında, son sprintte kasta bulunan PCr miktarının ilk sprintten önceki miktarın % 50 seviyelerinde olduğu ve alaktik sistem katkısının benzer düzeylerde olmasına rağmen PCr kullanımının mutlak olarak farklı olduğu vurgulanmıştır. Anaerobik ve aerobik yollar arasında iyi koordine edilmiş bir etkileşim, yoğun egzersiz sırasında ATP'nin yenilenmesini kolaylaştırır. Tek bir sprintte maksimal performans için fosfat depolarının hızlı bir şekilde enerjiye dönüştürülmesi gerekmektedir. Sprint sayısı arttıkça kastaki PCr miktarının azalması, tekrarlı sprint egzersizlerinde performansta meydana gelen düşüşün fizyolojik temelini açıklamaktadır (5, 6).

2.1.2. Laktik Anaerobik Sistem (Anaerobik Glikoliz)

Bir egzersize ait hareket hızlı veya yavaş hızda başladığında, kas içi yüksek enerjili fosfatlar ATP ve fosfokreatin kas hareketini güçlendirmek için anında enerji sağlar. Hareketin ilk birkaç saniyesini takiben, glikolitik yollar ATP'nin yeniden sentezi için giderek daha fazla enerji yüzdesi üretir (80). Laktik anaerobik sistem başlangıçta alaktik sistemi desteklemeye yardımcı olmak için aktive olur ve egzersiz süresi 15 saniyeden daha uzun ve 3 dakikadan daha kısa süren yüksek yoğunluklu egzersizlerde birincil ATP kaynağı haline gelir. ATP'yi yeniden sentezlemenin ikinci en hızlı yoludur (5, 23). Laktik sistem, yüksek yoğunluklu egzersizler sırasında enerji üretiminde hayati bir rol oynar. Özellikle yüksek yoğunluklu egzersizler, alt ekstremitede önemli miktarda Tip II kas lifini uyarır (91). Tip II kas lifleri büyük miktarda depolanmış glikolitik enzimler içerir, bu nedenle laktik sistemin katkısı bu kas liflerinde önemlidir (92). Laktik anaerobik sistem, karbonhidratları, kasta ve

karaciğerde depolanan glikojeni, enerji olarak kullanılmak üzere aktif kasların kan plazmasına taşınan glikoza dönüştürür (52, 93). Vücuttaki glikojenin yaklaşık % 80' i kasta depolanır ve diğer % 20'si ise karaciğerde depolanır (18, 94).

Egzersiz şiddetine bağlı olarak, glikojen tükenmesi hızlı veya yavaş kasılan kas liflerinde seçici olarak ilerler. Hızlı kasılan lifler, maksimum egzersiz için güç gereksinimlerinin büyük bir bölümünü sağlar (örneğin, yoğun bir yükte, bisiklet ergometresinde tekrarlanan 1 dakikalık sprintler). Egzersizin anaerobik yapısı nedeniyle bu liflerin glikojen içeriği neredeyse tamamen tükenirken, yüksek şiddetli olmayan ancak daha uzun süreli aerobik egzersiz sırasında, yavaş kasılan kas liflerinde glikojen tükenir (57). Laktik sistem, alaktik sisteme oranla daha uzun süreyle ATP sağlamaktadır ancak ATP üretim hızı alaktik sistemden daha yavaştır (5). Bu sistem için ATP üretim hızı saniyede “5-9 mmol.kg kuru kas⁻¹”dır (22, 95).

Toplam egzersiz birkaç saniyeden daha uzun sürdüğünde, anaerobik glikolizin ATP'nin yeniden sentezi için giderek daha fazla katkı sağladığı bilinmektedir. Bu tür egzersizler sırasında, enerji gereksinimi solunum zincirindeki hidrojen oksidasyonu tarafından üretilen enerjiyi büyük ölçüde aşar. Sonuç olarak, aktif kasta ve kanda büyük miktarlarda laktat birikmesiyle anaerobik glikoliz daha baskın hale gelir (67, 82). Kan laktat seviyesi, kısa süreli enerji sistemi aktivasyonunun en yaygın göstergesidir. Yüksek şiddetli ve tekrarlayan egzersizlerde kanda, önemli miktarda laktat birikimi olduğunu gösteren çalışmalar mevcuttur (96, 97).

Şiddetli bir egzersiz sırasında artan kan laktatının olağan açıklaması, göreceli bir doku hipoksisi veya oksijen eksikliği olduğunu varsayar. Egzersiz sırasında iskelet kasları tarafından üretilen laktatın bir kısmı kan yoluyla karaciğere taşınır (85, 98, 99). Karaciğere girdikten sonra laktat, glukoneogenez yoluyla glikoza dönüştürülür. Bu “yeni” glukoz kana glikoz olarak, salınarak ve egzersiz sırasında enerji kaynağı olarak kullanılmak üzere iskelet kaslarına geri taşınır. Kas ve karaciğer arasındaki laktat-glikoz döngüsüne cori döngüsü denir. Son kanıtlar, glikoneogenezin, egzersiz durumundan bağımsız olarak, aç kişilerde egzersiz sırasında toplam glikoz üretimini sürdürmede önemli bir rol oynadığını göstermektedir (100). Ancak bu döngünün oluşabilmesi için toparlanma aralıklarının daha uzun olması gereklidir. Piruvatın laktata dönüşümü, kas kasılmasını engelleyen bir hidrojen iyonu (H⁺) birikimi oluşturur (101). ATP'nin hidroliz yoluyla parçalanması ile H⁺ kana salınmaktadır. H⁺

birikimi hücre içi pH'ı düşürerek metabolik asidoza neden olur (92, 101). Bu metabolik asidoz yüksek şiddetli veya tekrarlayan egzersizlerde maksimal performansın düşmesine neden olmasının yanı sıra fosfofruktokinaz enzimin işlevsel etkinliğini bozarak glikoliz yoluyla enerji üretiminde azalmalara neden olur (8, 23).

Laktik asit sisteminin etkinliği yüksek şiddetli antrenman etkisi ile geliştirilerek daha fazla ATP üretimi verimliliği sağlanmaktadır. Ancak bunun sonunda laktat üretimi ve kandan uzaklaştırılma dengesi daha hızlı bozularak laktat üretimi hızını da artırmaktadır (92). Tekrarlı sprint testlerinde veya yüksek şiddetli tekrarlayan aktiviteler gerektiren egzersizlerde maksimum performansın sürdürülebilmesi için kasta ve kanda laktatın tamponlama mekanizmalarının geliştirilmesi önemlidir. Antrenmanlı sporcuların antrenmansız sporculara oranla laktat taşıyıcı proteinlerin işlevselliğinin daha yüksek olduğu ve aktif kasta laktatı daha hızlı uzaklaştırdığı bilinmektedir (102, 103).

Belirli egzersiz performansları veya hareketleri, metabolik yanıtta ani değişikliklere neden olur. En kısa sürede patlayıcı enerjiye ihtiyaç duyan 100 metrelik bir sprint gibi pist ve saha koşu etkinlikleri, acil bir enerji kaynağına ihtiyaç duyar. Bugüne kadar yapılan ilgili çalışmalara bakıldığında, submaksimal egzersize metabolik yanıtlar iyi bir şekilde belgelenirken, kısa süreli sprint performansının metabolik yanıtları hakkındaki bilgiler nispeten yetersizdir. Bu bağlamda, yüksek şiddetli, kısa süreli egzersiz sırasında insan vücudunun anaerobik enerji metabolizmasına dayandığına dair kanıtları araştırmak oldukça önemlidir. Kadın ve erkek sporcularda özellikle tekrarlayan egzersizlerde maksimum performansa ulaşmada ve performansın korunmasında anaerobik enerji sistemlerin ana rol oynamaktadır. Ancak enerji sistemlerin katkısının incelendiği çalışmalarda anaerobik sistemden gelen enerji payı ayrı ayrı ele alınmayıp bir bütün halinde sunulmuştur (49, 62, 74, 103, 104). Son dönemde yapılan çalışmalarda çok yaygın olarak kullanılan ve enerji sistemlerinin katkısını ayrı ayrı hesaplayan tek indirek yöntem olan PCr-La-O₂ yöntemi ile alaktik ve laktik sistem katkısı ayrı ayrı hesaplanarak metabolik yanıtlar arasındaki farklar belirlenebilmektedir (29, 75, 77).

Maksimal şiddetteki bir egzersizde PCr miktarında meydana gelen azalma laktik asit sisteminden gelen katkının artması ile dengelenmektedir (5). Yüksek şiddetli ve kısa süreli egzersizlerde laktik asit sistem katkısı yüksektir ve egzersizin

süresi uzadıkça ve şiddeti azaldıkça katkı kademeli olarak azalmaktadır (67, 72, 105). 6 saniye süren tek bir sprintte enerji sistemlerinin katkısının incelendiği bir çalışmada alaktik sistem katkısı % 52, laktik asit sistem katkısı %40 ve aerobik sistem katkısı %8 olarak bulunmuş ve sprint tekrarı arttıkça laktik asit sistem katkısının giderek azaldığı ortaya konmuştur (6).

2.1.3. Aerobik (Oksidatif) Sistem

Aerobik enerji sistemi; enerji substratları olarak glikoz, glikojen ve yağları kullanan, kas enerjisi için alaktik ve laktik asit enerji sistemlerine oranla en uzun süreli ancak en yavaş enerji katkısı sunan ve ATP üretiminde oksijene gereksinim duyan bir sistemdir (5, 52). Aerobik kapasite, vücudun enerji üretmek için kardiyorespiratuar sistem aracılığıyla iskelet kaslarına oksijen sağlama kabiliyeti ve etkinliğinin bir ürünüdür. Bu işlem; karbonhidratları, yağları ve oksijenin mevcut olduğu durumlarda proteinleri kullanarak büyük miktarlarda ATP sağlar (62).

Aerobik sistem tarafından üretilen enerji, kararlı durum O₂ alım ölçümleri ile hesaplanabilir ve egzersiz-enerji harcaması tahmininde altın standart olarak kabul edilir (106). Oksijen varlığında karbonhidratların ve yağların parçalanmasından açığa çıkan enerji, ATP'nin tüm vücutta aerobik üretimi ile doğrudan ilişkilidir (59). Tüketilen her litre oksijen için (standart sıcaklıklar, basınç ve yoğunluk) yaklaşık olarak 20kJ enerji üretilir (62). Anaerobik enerji sistemlerine kıyasla aerobik sistemin kısa süreli ve yüksek şiddetli egzersizlere enerji katkısı yaklaşık %10'dur. ATP üretim hızı oldukça yavaş olup saniyede yaklaşık "0.7-1.3 mmol.kg kuru kas⁻¹" üretir (5, 95, 107).

Aerobik sistemde ATP üretimi hücre içerisinde, mitokondride, 3 aşamalı bir süreçte gerçekleşir (23). Birinci aşama, iki karbonlu anahtar bir molekül olan asetil-Koenzim A'nın (Asetil-CoA) üretilmesidir. Asetil-CoA, karbonhidratların, yağların veya proteinlerin parçalanmasından oluşur. İkinci aşama, Krebs döngüsünde Asetil-CoA'nın oksidasyonudur. Krebs döngüsünün birincil görevi, döngüde yer alan çeşitli substratlardan hidrojenleri uzaklaştırmaktır. Hidrojenlerden çıkarılan enerji, NADH oluşumu için NAD ve hidrojeni birleştirmede kullanılır; bu, daha sonra ADP için elektron taşıma zincirinde ve üçüncü aşamada ATP'nin yeniden şekillendirilmesinde Pi için enerji sağlar. Bu aşamada oksijen, elektron taşıma zincirinin sonunda son

hidrojen alıcısı olarak görev yapar. ATP'nin aerobik olarak üretim süreci, oksidatif fosforilasyon olarak adlandırılır. Bir glikoz ve glikojen molekülünün aerobik metabolizması, sırasıyla 38 ve 39 ATP molekülünün üretimiyle sonuçlanır. İki dakika veya daha uzun süren aktiviteler için oksidatif mekanizmalar giderek daha önemli hale gelir (52, 80, 87).

Şiddetli egzersizler sırasında gerekli olan oksijen ihtiyacının %90'lık kısmı iskelet kası hücrelerinde bulunan mitokondrilerden sağlanmaktadır (82). Kasta bulunan mitokondri sayısı ve hacimlerinin yeterli düzeyde olması ve Krebs döngüsünden elde edilen enerji akışını sınırlandırmaması aerobik sistem verimliliğinde önemlidir (82, 88). Aerobik enerji sisteminin geliştirilmesinde genetik sınırlayıcı bir rol oynasa da antrenmanlarla sistem verimliliğini geliştirilebileceğine yönelik çok sayıda kanıt vardır (108).

Egzersize yanıt olarak metabolik ve fizyolojik adaptasyonlar, antrenman seanslarının şiddeti, süresi ve sıklığına bağlıdır. Dayanıklılık antrenmanı; pulmoner, kardiyovasküler ve nöromusküler sistemde, oksijenin mitokondriye iletilmesini iyileştiren ve sonuç olarak kas hücrelerinde aerobik metabolizmayı artıran adaptasyonlara neden olur (109). Dayanıklılık antrenmanları sonucunda elde edilen adaptasyonların başında kardiyak çıktıda meydana gelen artış yer alır (52, 80). Ayrıca iskelet kaslarında meydana gelen kılcal damar yoğunluğunun ve yüzey alanının artması, kan ve dokular arasındaki iletişim yolunun kısılması ile kasın oksijen ve karbondioksit difüzyon yeteneğinin artmasına sebep olur (110-112).

Yüksek şiddetli tekrarlı egzersizlerde gelişmiş bir aerobik enerji sistemi, özellikle toparlanma bölümlerinde, daha fazla ATP ve PCr'nin tekrardan sentezlenmesi ve H⁺ iyonlarının uzaklaştırılmasında önemli bir rol oynamaktadır (5, 15). Tekrarlı sprint egzersizlerinde maksimum performansın sürdürülmesinde, aerobik sistem katkısının en makul değerlendirilmesinin toparlanma bölümünde PCr depolarının yeniden sentezinde önemli bir katkısı olmasına rağmen anaerobik sistemlere kıyasla daha yavaş enerji üreteceğinden, toparlanma sırasında maksimum katkı, sprintler sırasında minimum katkının olumlu olacağı yönündedir (6, 24, 25, 44).

Aerobik enerji sistemin yüksek şiddetli tekrarlı egzersizlerde enerji katkısının araştırıldığı çalışmalar, tekrar sayısının artmasıyla birlikte aerobik sistem katkısının da aşamalı olarak artacağını göstermiştir (5, 6, 113). Kas biyopsisi yöntemi kullanılarak

yapılan bir çalışmada 6 saniyelik bir sprintte aerobik enerji sistem katkısının göz ardı edebileceği yönündeki görüşlerin varlığının yanı sıra (22) daha sonra yapılan bir çalışmada 3 saniyelik bir sprintte dahi aerobik sistem katkısı (%3) olduğu görülmüştür (31). Bir başka çalışmada ise 6 saniyelik tekrarlayan sprintlerde, ilk sprintte aerobik katkı % 8 iken 10. sprintteki katkının % 40'lara çıktığı görülmüştür (6).

2.2 Egzersiz Sonrası Fazladan Oksijen Tüketimi (ESFOT)

Egzersiz sırasında, artan enerji ihtiyacını karşılamak için oksijen tüketiminde (VO_2) ani bir yükseliş meydana gelir. Egzersizden sonra, VO_2 tüketimi dinlenme seviyelerine hemen geri dönmez, egzersizin şiddetine ve süresine göre bir süre dinlenme seviyelerinin üzerinde devam eder. Bu süreç egzersiz sonrası fazladan oksijen tüketimi (ESFOT-EPOC) ifadesi ile açıklanır. Özetle ESFOT; egzersiz sonrası oluşan, VO_2 tüketiminin dinlenme seviyelerinin üzerine çıktığı bir aşamadır (114, 115).

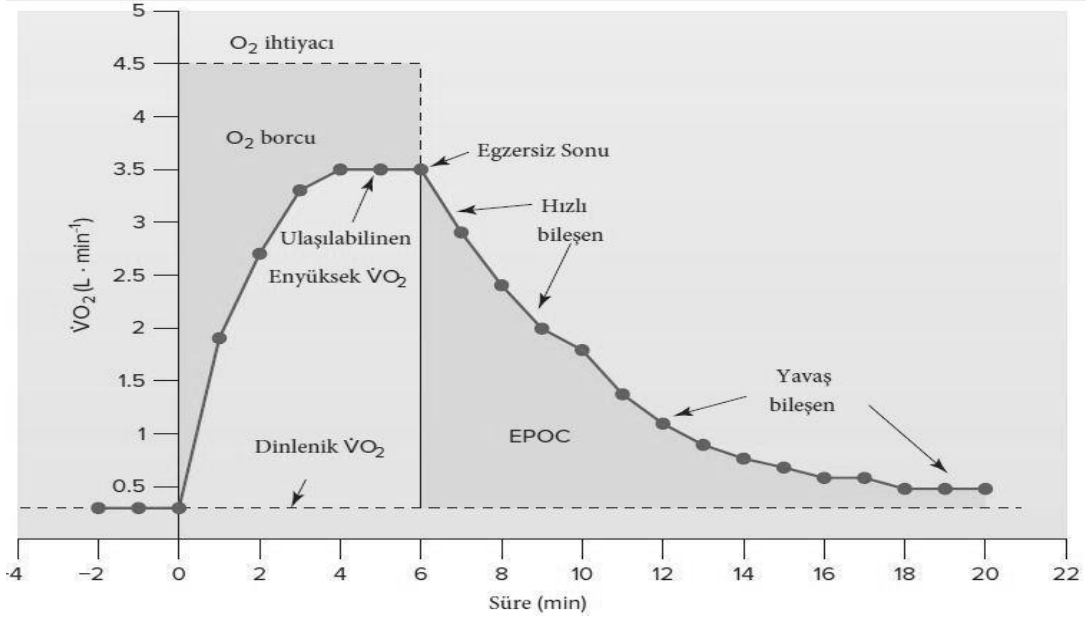
Bir egzersizin başlangıcında gerekli olan enerjiyi sağlamak için O_2 alımı, egzersizin başlangıcında hemen kararlı duruma (steady state) ulaşmaz. Bunun yerine, anaerobik enerji sistemi, kararlı duruma ulaşılan kadar oksijen açığı olarak bilinen bir gecikmenin yerini alır. Oksijen alımı egzersizin başlangıcında anında artmadığından ve kararlı duruma ulaşana kadar aerobik ATP üretimi yetersiz olduğundan, ATP' nin çoğu anaerobik olarak sağlanır. Kararlı bir duruma ulaşıldıktan sonra, vücudun ATP gereksinimi aerobik metabolizma yoluyla karşılanır (116). Egzersizin başlangıcında oksijen alımındaki bu gecikmenin sebebi olarak kaslara yetersiz oksijen iletiminden mi yoksa oksidatif fosforilasyonun egzersiz başladığında hemen artmamasından dolayı mı kaynaklandığına yönelik iki hipotez ortaya atılmıştır. Antrenmanlı bireyler kararlı durumdaki VO_2 'ye antrenmansız kişilere oranla daha hızlı ulaşır ve bu durum da daha az oksijen açığına neden olur. Bu farkın açıklaması; antrenmanlı kişilerin, dayanıklılık antrenmanlarının sonucunda kardiyovasküler veya kas adaptasyonlarından kaynaklanan daha gelişmiş bir aerobik kapasiteye sahip olmasıdır (117, 118). Özetle; aerobik sistem tarafından ATP üretiminin, egzersizin başlangıcında daha erken aktif olduğu ve antrenmansız bireylere kıyasla antrenmanlı bireylerde daha az laktat ve H^+ üretimi ile sonuçlandığı anlamına gelir.

Aerobik enerji sisteminin egzersizin hemen başlangıcında aktif olarak enerji katkısı sağlayamamasının nedeni, aktif kastaki yetersiz oksijen olması ve mitokondride elektron taşıma zincirlerinin sonunda elektronları kabul edecek oksijen molekülleri bulunmaması olabilir. Bu durum, oksidatif fosforilasyon hızının düşmesi ve dolayısıyla tüm vücut oksijen tüketiminin kısıtlanması anlamına gelmektedir. İkinci hipotez, oksidatif fosforilasyon için uyarıların belirli bir egzersiz şiddeti için nihai seviyelerine ulaşması ve tam etkilerini göstermesi için biraz zaman gerektiğinden dolayı bir gecikme olduğunu savunmaktadır.

Elektron taşıma zinciri ADP ve Pi tarafından uyarılır. Egzersizin başlamasından kısa bir süre sonra, ADP ve Pi konsantrasyonları; ATP konsantrasyonu, kreatin kinaz reaksiyonu ($PC + ADP \rightarrow ATP + C$) ve hızlandırılmış glikoliz (laktat birikimi ile) tarafından korunduğundan, dinlenme seviyelerinin hemen hemen üzerindedir. Bununla birlikte, ADP ve Pi konsantrasyonları, PC bozuldukça artmaya devam edecek ve bu aerobik yol, egzersizin enerji ihtiyacının esasen %100'ünü sağlayana kadar oksidatif fosforilasyonu aktif etmek için kademeli olarak ek uyarı sağlayacaktır. Kilit nokta, oksidatif fosforilasyon hızının bu uyarıcılarının dinlenme konsantrasyonlarından sabit durum konsantrasyon seviyelerine anında yükselmemesidir. Bu durum "metabolizmanın ataleti" olarak adlandırılır (80, 119, 120).

2.2.1. ESFOT'un Hızlı ve Yavaş Evreleri;

Yüksek Şiddetli bir egzersizde egzersiz sonrası fazladan O_2 tüketimine (EPOC) ait veriler aşağıda şekil. 2.2'de sunulmuştur.



Şekil 2.2. Yüksek şiddetli bir egzersizde egzersiz sonrası fazladan O₂ tüketimi (ESFOT) (80)

ESFOT; egzersizden hemen sonraki hızlı evre (yani, egzersizden yaklaşık 2-3 dakika sonra) ve bazı egzersiz türlerinden sonra 30 dakikadan fazla süren yavaş evre olarak iki aşamada ele alınmıştır (Şekil 2.2). Hızlı evre, egzersizden sonra oksijen alımındaki ani düşüş ile yavaş evre ise egzersizden sonraki zaman boyunca, O₂'deki yavaş düşüş ile ifade edilir. O₂ borcunun iki bölümünün mantığı; O₂ borcunun hızlı evrenin, depolanmış ATP ve PC'nin yeniden sentezlenmesi ve O₂'nin dokularda yeniden depolanması için gereken oksijeni temsil ettiği hipotezine dayanmıştır (O₂ borcunun ~% 20'si). Borcun yavaş evresi ise laktatın oksidatif olarak karaciğerde glikoza dönüşmesinden kaynaklanıyordu (O₂ borcunun ~% 80'i). Daha önceki bulgular egzersiz sırasında üretilen laktatı glikoza dönüştürmek için oksijen borcunun yalnızca yaklaşık %20'sinin kullanıldığını göstermektedir (121, 122).

ESFOT hızla dinlenik seviyelere dönmemesine yönelik birkaç olasılık mevcuttur. İlk olarak, egzersizden hemen sonra tüketilen O₂'nin en azından bir kısmı, kastaki PC'yi, kandaki ve dokulardaki O₂ depolarını eski haline getirmek için kullanılır (114). Hem PC hem de kastaki oksijen depolarının yenilenmesi, toparlanmanın 2 ila 3 dakikası içinde tamamlanır (123). Bu, oksijen borcunun hızlı kısmının klasik görüşüyle tutarlıdır. Ayrıca, egzersizden birkaç dakika sonra kalp atım hızı ve ventilasyon dinlenme seviyelerinin üzerinde kalır; bu nedenle, bu aktivitelerin her ikisi

de dinlenme seviyelerinin üzerinde ek O₂ gerektirir. ESFOT ile sonuçlanabilecek diğer faktörler, yüksek vücut sıcaklığı ve dolaşımdaki belirli hormonlardır. Vücut sıcaklığındaki artışlar, metabolik hızın artmasına neden olur (57, 124, 125). Ayrıca, yüksek seviyelerde epinefrin veya norepinefrinin egzersiz sonrası oksijen tüketiminde artışa neden olduğu rapor edilmiştir (126). Bununla birlikte, bu hormonların her ikisi de egzersizden sonra kandan hızla uzaklaştırılır ve bu nedenle ESFOT üzerinde önemli bir etkiye sahip olacak kadar uzun süre mevcut olmayabilir. Orta şiddetteki egzersizle karşılaştırıldığında ESFOT, yüksek şiddetli egzersiz sırasında daha yüksektir çünkü; Isı üretimi ve vücut ısısı daha yüksektir. PC büyük ölçüde tükenmiştir ve yeniden sentezi için daha fazla O₂ gereklidir. Daha yüksek kan laktat seviyeleri, glukoneojenezde laktatın glukoza dönüşümü için daha fazla O₂ gerektiği anlamına gelir. Epinefrin ve norepinefrin seviyeleri çok daha yüksektir (127).

Tüm bu faktörler, ESFOT 'nin yüksek şiddetli egzersizi takiben orta şiddetteki egzersizden daha fazla olmasına katkıda bulunabilir. Yüksek şiddetli egzersizde, egzersiz sonrası fazladan oksijen tüketiminin 7 nedeni (80) aşağıda sunulmuştur:

- ATP ve PCr'in yeniden sentezi
- Kan laktatının glikojene yeniden sentezi (Cori Döngüsü)
- Enerji metabolizmasında kan laktatının oksidasyonu
- Oksijenin kana, doku sıvılarına ve miyoglobine geri kazandırılması
- Yüksek iç sıcaklığın termojenik etkileri
- Hormonların özellikle epinefrin, norepinefrin ve katekolaminlerin termojenik etkisi
- Artan pulmoner ve dolaşım dinamikleri ve diğer yüksek fizyolojik fonksiyon seviyeleri

ESFOT 'nin büyüklüğü ile egzersizin hem şiddeti hem de süresi arasında yakın bir ilişki olduğunu gösteren birçok çalışma mevcuttur (128, 129); Egzersiz şiddetinin, egzersiz süresinden veya tamamlanan toplam işten 5 kat daha fazla ESFOT değerlerine sahip olduğu ortaya konmuştur (127). Egzersiz şiddeti, ESFOT 'deki varyasyonun %45,5'ini açıklamaktadır. Gore ve Withers (130), VO_{2maks}'ın %30'unda 20 dakika ile VO_{2maks}'ın %70'inde 80 dakika arasında değişen koşu bandı egzersizinden sonra ESFOT üzerindeki egzersiz şiddeti ve süresi arasındaki etkileşim etkisini analiz ettikleri çalışmalarında; egzersiz şiddeti ve süresi arasındaki etkileşimin, tek başına

egzersiz şiddetine (%45.5) kıyasla ESFOT' deki varyasyonun çok daha küçük bir kısmını (%7.7) oluşturduğunu bulmuşlardır. Bu sonuç; önemli bir ESFOT elde etmek için egzersiz şiddetinin belirli bir boyutta olması gerektiğini öne çıkarmaktadır.

2.2.2 Aralıklı (interval) Egzersizlerde ESFOT

Birkaç çalışmada, aralıksız bir egzersize kıyasla aralıklı egzersiz seanslarından sonra daha yüksek bir ESFOT görülmüştür. Kaminsky ve ark. (131) kadınlarda VO_{2maks} %70'inde 25 dakikalık iki seansa karşı tek bir 50 dakikalık sürekli bir koşu sırasında, ESFOT'u ~3.1L'ye karşılık 1.4L oksijen olarak bulmuştur. Almuzaini ve ark. (132) 30 dakikalık aralıksız bir bisiklet egzersizinden sonraki ESFOT'yi VO_{2maks} 'ın %70'inde 15 dakikalık iki seans ile gerçekleşen ESFOT değerleri ile karşılaştırmış ve ESFOT 7,4L karşın 5,3 L sonucuna ulaşmıştır.

2.2.3. Yüksek Şiddetli Egzersizlerde ESFOT

Egzersiz şiddeti ve ESFOT arasındaki ilişki göz önüne alındığında, supramaksimal egzersizin ESFOT 'yi yüksek düzeyde uyarması şaşırtıcı değildir. Kısa aralıklı supramaksimal egzersiz şiddetlerinde (1, 2 veya 3 × 2 dakikalık VO_{2maks} 'ın %108'inde 3 dakikalık dinlenme periyotlarıyla ayrılmış bisiklet sprintleri) ESFOT'un araştırıldığı bir çalışmada, 4 saat boyunca egzersiz sonrası enerji tüketimini artırdığını raporlamışlardır.(128). Laforgia ve ark. (133) supramaksimal (20x1dk, 2 dakika toparlanma) ile submaksimal (30 dakika VO_{2maks} 'ın %70'inde) iki egzersiz sonrası ESFOT değerlerini karşılaştırdıkları çalışmalarında; supramaksimal egzersizden sonra önemli ölçüde daha yüksek 9 saatlik ESFOT gözlenmiştir. İlginç bir şekilde, bu çalışmadaki ESFOT değerleri, Gore ve Withers (130) tarafından yapılan (%70 VO_{2maks} 'ta 80 dakikalık) çalışmadan sonra bulunan değerlere benzerlik göstermiş, ancak ikinci çalışmada toplam çalışmanın iki katından daha fazla performans sergilenmiştir. Çok az yazar ESFOT'yi farklı bileşenlere (hızlı-yavaş) ayırmaya çalışmıştır. Bu durum çelişkili sonuçlar ortaya çıkarabilmektedir çünkü egzersiz şiddeti ve süresi, hızlı ve yavaş süreli bileşenleri farklı ölçüde etkileyebilir. Hızlı ESFOT bileşenini, gözlemlenen 1 saatlik ESFOT ile yavaş süreli eğri bileşeni arasındaki fark olarak hesapladıkları bir çalışmada (134) submaksimal (%69-78 VO_2 VO_{2maks} 'ta 70-80 dakikalık bisiklet egzersizi) bir egzersiz ile supramaksimal (VO_{2maks}

'ın %104-117'sinde 3 x 2 dakika) egzersizlere ait çok benzer 1 saatlik ESFOT 'ler bulunmuştur. Bunlar sırasıyla, 7.6L (submaksimal egzersiz) ve 7.8 L (supramaksimal egzersiz) değerlerine karşılık gelmektedir. ESFOT verileri bileşenlere ayrıldığında ise bunun yaklaşık 4,5 L (submaksimal) ve 2,0 L (supramaksimal) yavaş süreli eğri bileşenine ve yaklaşık 3,1 L (submaksimal) ve 5,8 L (supramaksimal) hızlı bileşene atfedilebilir. Bu nedenle, yüksek şiddetli kısa süreli egzersizin esas olarak hızlı ESFOT bileşenini etkilediği, buna karşın daha uzun süreli yorucu egzersizin toparlanmanın ilk saatinden sonra da mevcut olan mekanizmaları uyardığı görülmektedir.

2.2.4. Farklı ergometreler kullanılarak yapılan egzersiz yöntemlerinde ESFOT

Egzersiz şiddeti ile ESFOT arasında eğrisel bir ilişki ve egzersiz süresi arasında doğrusal bir ilişki (yoğunluk kırılma noktasından daha yüksek olduğunda) hem bisiklet egzersizi hem de koşu bandı egzersizi için gösterilmiştir. Ancak, belirli bir egzersiz şiddeti ve süresi için mutlak ESFOT büyüklüğü, egzersiz yöntemine bağlı olarak değişebilir (130, 135, 136). Aktif kas sisteminin nispi metabolik hızının ESFOT üzerindeki etkisini araştırmak için yapılan bir çalışmada; $VO_{2\text{zirve}}$ 'in %60'ında bisiklete binme ile 20 dakikalık kol ergometresi egzersizinin etkisi karşılaştırılmıştır. Kol ergometresi egzersizi sırasındaki tüketilen oksijen miktarı, bisiklete binme sırasında tüketilen oksijen miktarının yaklaşık %72'siydi. Ancak ESFOT'de hiçbir fark bulunmamıştır, sonuç olarak ESFOT 25 dakikadan az sürdüğü ve egzersizin şiddetinin, ESFOT üzerine, egzersiz süresinden daha büyük bir etkiye sahip olduğu görülmüştür (137).

2.2.5. Antrenman Düzeyinin ESFOT üzerine etkisi

ESFOT çalışmalarında farklı antrenman düzeyine sahip bireyler kullanılmıştır ve bu da ESFOT 'nin büyüklüğü ve süresinde gözlemlenen farklılıkların bazılarını potansiyel olarak açıklayabilir. Antrenman durumunun etkisinin incelenmesi kolay değildir, çünkü farklı kondisyon seviyelerindeki grupların aynı mutlak egzersiz yoğunluğu seviyesinde karşılaştırılması, antrenmanlı kişilerin ESFOT'yi etkilediği bilinen daha düşük relatif yoğunluklarda çalıştığı anlamına gelir (129).

Antrenmanlı ve antrenmansız kadınlarda 300 kcal harcanana kadar VO_{2maks} ~%65'inde ve ~%80'inde bisiklet sürdükten sonra 1 saat boyunca VO_2 ölçüldüğü bir çalışmada; en yüksek şiddette bisiklet sürdükten sonra ESFOT büyüklüğünde hiçbir fark bulunmamış ancak ESFOT, en düşük şiddetten sonra antrenmansız (4.0L oksijen) ile antrenmanlı gruba (4.7L oksijen) kıyasla önemli ölçüde daha küçük olduğu görülmüştür. Her iki grupta da egzersiz sonrası ilk 10 dakika içinde ESFOT'un hızla azaldığı görülmüştür. Her iki şiddetin ardından, ilk ESFOT (egzersizden sonraki ilk 10 dakika), büyük olasılıkla bu grupta egzersiz sırasında daha yüksek VO_2 nedeniyle antrenmanlı olmayanlara göre daha yüksek çıkmaktadır (138).

Yine başka bir çalışmada; antrenmanlı (VO_{2maks} : 53 mL/kg/dk) ve antrenmansız (37 mL/kg/min) erkek sporcular arasında hem benzer mutlak (1.5 L oksijen/dk) hem de relatif (VO_{2zirve} 'in %70'i) şiddetlerde 30 dakika bisiklet sürdükten sonra, 1.5 L/dk'lık bir VO_2 'de, antrenmanlı grup VO_{2zirve} 'in %45'inde egzersiz yaparken, antrenmansız grup VO_{2zirve} 'in %61'inde çalışmıştır. Sonuçlar, antrenmanlı grubun, aynı mutlak veya relatif şiddetlerde karşılaştırıldığında önemli ölçüde daha kısa bir EPOC süresine sahip olduğunu, ancak tüm durumlarda ESFOT 'nin 1 saatten az sürdüğünü göstermiştir. Ayrıca, ESFOT 'nin büyüklüğü, aynı relatif yoğunlukta egzersizden sonra gruplar arasında farklı değildir (antrenmanlılarda 3.2L oksijene karşı antrenmansızlarda 3.5L oksijen). Antrenmansız grupta egzersizin sonunda hala önemli bir ESFOT varken, egzersiz sonrası VO_2 , antrenmanlı grupta sırasıyla düşük ve yüksek yoğunluktan sonra sadece 50 ve 40 dakika yükselmiştir. Böylece antrenmanlı grupta ESFOT süresi daha kısa sürmüştür (139). Özetle, antrenmanlı bireylerin, aynı relatif veya aynı mutlak çalışma hızında egzersiz yaptıklarında, egzersiz sonrası metabolizmanın dinlenme seviyelerine daha hızlı geri döndüğü görülmektedir.

2.2.6. Cinsiyetin ESFOT üzerine Etkisi:

Cinsiyet aynı zamanda ESFOT' yı potansiyel olarak etkileyebilecek bir faktördür ve ayrıca çalışma tasarımı üzerinde etkileri vardır. Dinlenme veya egzersiz sırasında enerji harcaması menstrüel faza göre değişebilir (140, 141) ve EPOC değerlendirilmesi yapılırken bu her zaman dikkate alınmamıştır. Bazal metabolizma enerji harcaması hızında ovulasyonu takip eden 14 günlük luteal faz döneminde %8-

16'lık bir artış hızı bulmuşlardır (140). Buna göre, Matsuo ve ark. (142) yedi sağlıklı kadında luteald fazda, foliküler faza kıyasla VO_{2maks} 'ın %60'ında 60 dakikalık bir bisiklet egzersizinden sonra daha yüksek bir EPOC buldular. Ancak bu çalışmaların aksine; Fukuba ve ark. (143) VO_{2maks} 'ın %70'inde 60 dakika bisiklet sürdükten sonra 5 genç kadında adet döngüsünün EPOC üzerinde önemli bir etki bulamamıştır.

ESFOT' erkekler ve kadınlar arasında karşılaştırırken, antrenmanlı ve antrenmansızlar ile aynı soru ele alınmalıdır; ESFOT, mutlak veya relatif yüklerinden sonra karşılaştırılmalıdır. Aktif erkek ve kadınlarda VO_{2maks} 'ın %40'ında 30 dakikalık egzersizden sonra 1 saat boyunca VO_2 ölçmüştür. Erkekler arasında egzersiz sonrası enerji harcamasının daha yüksek olduğu bulunmuştur. Bununla birlikte, hesaplamalar biraz belirsizdir, çünkü veriler kontrol dinlenme değerleri ile karşılaştırılmamaktadır ve bu nedenle karşılaştırılan egzersiz sonrası enerji harcamasındaki artıştan ziyade mutlak seviyelerdir (144).

Smith ve McNaughton (145), 30 dakikalık egzersizden sonra VO_{2maks} 'ın %40, %50 ve %70'inde antrenmanlı erkek ve kadınları karşılaştırdığı çalışmalarında her üç koşulda da erkeklerin kadınlardan daha uzun bir ESFOT süresine sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. Bununla birlikte, gözlemlenen en uzun süre, en azından kısmen kısa egzersiz süresi nedeniyle yalnızca 47 dakikadır. Her koşulda, mutlak anlamda ESFOT büyüklüğü de erkeklerde kadınlara göre daha yüksektir, ancak ESFOT vücut kütlesi için ayarlandığında bu fark ortadan kalkmıştır. Ayrıca, ESFOT harcanan toplam enerjinin yüzdesi olarak ifade edildiğinde cinsiyetler arasında hiçbir fark gözlemlenmemektedir. Özetle, erkeklerde ve kadınlarda ESFOT' yi karşılaştırmak için az sayıda çalışma yapılmıştır. Bu nedenle, ESFOT üzerindeki cinsiyet etkisi tam olarak açıklığa kavuşturulmamıştır, ancak kadınlarla yapılan çalışmalarda menstrual döngü sırasında enerji harcamasındaki değişikliklerin kontrol edilmesi önemli görünmektedir.

2.3. Tekrarlı Sprint Yeteneği

Takım sporları çok sayıda oyuncu içerir ve takım sporlarında başarı; taktik, teknik, fiziksel, fizyolojik ve psikolojik unsurların etkileşimine bağlıdır (146). Bu nedenle, antrenörler ve kondisyonerler oyuncuların antrenman ve müsabaka sırasında daha iyi performans gösterebilmeleri yönünde genel kondisyon düzeylerini

geliştirebilmek için sürekli olarak yeni ve verimli antrenman yöntemleri aramaktadırlar. Bu yöntemlerden biri olan ve son yıllarda özellikle saha ve takım sporlarında oldukça popüler bir antrenman ve test yöntemi olarak kullanılan Tekrarlı Sprint Yeteneği (TSY); art arda tekrarlanan sprintler esnasında toparlanabilme ve maksimal performansı devam ettirebilme becerisi olarak tanımlanır ve özellikle takım sporları için önemli bir performans bileşenidir (5, 7, 15). TSY'nin hem bir antrenman yöntemi hem de bir test protokolü olarak çok yaygın olarak tercih edilmesi sporcuların branşlarına yönelik hareket profilini yansıtmasının yanı sıra fiziksel ve fizyolojik gelişimlerine çok yönlü katkıda bulunmasından kaynaklanmaktadır (5, 7-9).

TSY yüksek şiddetli yüklenmeler arasına kısa süreli toparlanma süreleri (≤ 30 sn) uygulanarak test ve antrene edilir (3, 9, 14, 15). Tekrarlı sprint uygulamalarında; sprint ve toparlanma süresi arasındaki oran, performansı belirleyen kritik bir öneme sahiptir (12, 13). TST sahada uygulanan antrenman ve test yöntemlerinin dezavantajlarından birisi aşırı sıcak ve soğuk çevresel ortam koşullarında antrenman esnasında ısı dengesinin sağlanamamasıdır. Böyle durumlarda atletik performansın bozulabileceği, ayrıca sakatlık riskini artırabileceğinden dolayı termoregülasyonun etkisini ortadan kaldıran farklı bir yöntem olan laboratuvar veya salon ortamında bisiklet tabanlı (Cycling-based) antrenmanlar sahada uygulanan tekrarlı sprint antrenmanlarına alternatif bir yöntem olarak kullanılmaktadır (147-149). Bu bilgilerden yola çıkarak saha koşullarında farklı nedenlerden dolayı gerçekleştirilemeyecek TSY antrenmanları için, bisiklet tabanlı (Cycling-based) TSY antrenmanlarının bir alternatif olması ve bu çalışmanın sonucunda elde edilecek bulgular, her iki cinsiyet yönelik hedeflenen performans ve enerji sistemi katkısında önemli bir referans kaynağı olacaktır.

TSY yönelik hem saha hemde salon antrenmanlarda maksimum verim ve performans elde etmek için antrenörler ve kondisyonerlerin test protokollerini oluştururken dikkat etmeleri gereken bazı önemli noktalar vardır. Örneğin TSY'de toparlanma süresi, sprint sayısı, sprint mesafesi ve süresinin yanı sıra yön değiştirme gibi kombinasyonlar önemlidir (6, 29). Literatürde çok yaygın olarak çalışılan tekrarlı sprint antrenmanlarının kombinasyonu, toplam sprint mesafesi 200 ila 600 metre arasında değişirken, sprintler arası dinleme süreleri ≤ 30 saniye ve tekrar sayısı 5 ila 40 sprintten oluşmaktadır (17, 43, 46, 150). TST'de enerji sistemlerin katkısının

araştırılmasına öncülük eden çalışmalarda, sprint süresi 6 saniye ve sprintler arası 30 saniye dinleme süreleri kullanılmıştır (17, 22, 24, 151).

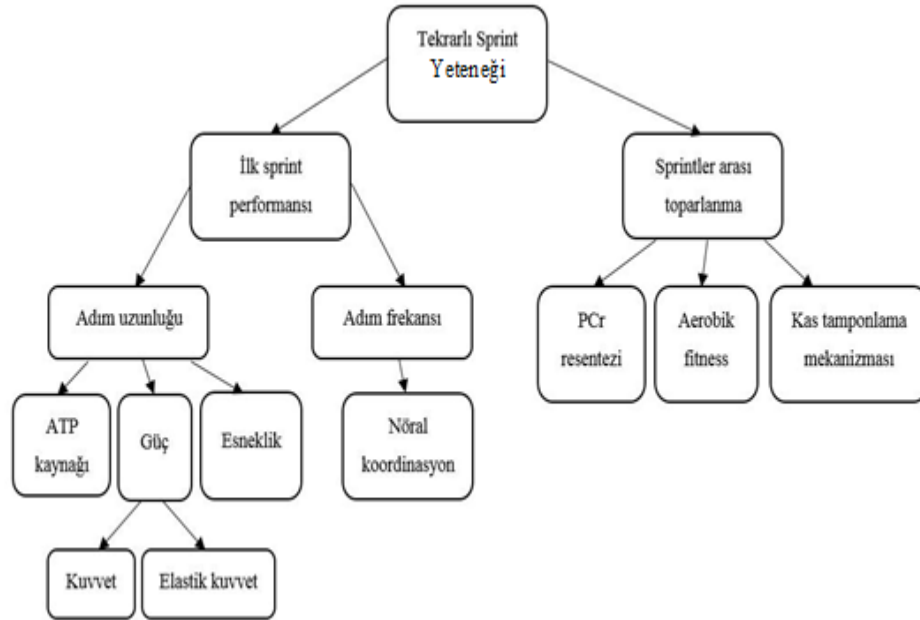
Araştırmalarda TSY protokolleri mesafe, sprint süreleri ve hareket mekaniği (Bisiklet-Koşu) çoğunlukla sporcuların branşına yönelik değişkenlik göstermektedir. Bisiklet ergometresinin kullanıldığı çalışmalarda ve enerji sistemlerinin katkısında bir çok çalışmaya referans olan araştırmada 30saniye toparlanma aralıkları ile yapılan 10x6sn testidir (22). Bisiklet ergometresinin kullanıldığı diğer çalışmalarda sprint süresi 6 ile 10 sn arasında değişirken toparlanma süresi 25-30sn arasında değişmektedir (13, 152-154). Sahada yapılan çalışmalarda çoğunlukla tercih edilen protokoller ise; 10x6sn sprint 30sn toparlanma süresi, 7x30m sprint ve 25sn dinlenme süresi, 5x6sn sprint ve 24 sn toparlanma süresi, 6x35m sprint ve 10 sn toparlanma süresi protokollerin yanı sıra yön değiştirmeli olarak 10x30m sprint 30 sn toparlanma süresi ve 12x20m sprint, 20sn toparlanma süreleri olan farklı TST tasarımlarına rastlanmaktadır (3, 6, 14, 16, 17, 155). Tekrarlı sprint protokollerinde yüklenme dinlenme oranların iyi bir şekilde oluşturulması, PCr depoların büyük oranda tekrardan yenilenmesi ve hızlı toparlanmayı sağlayacak bir adaptasyon sürecini oluşturulmasına katkı sağlayacaktır(43, 156). Bu adaptasyonu sağlayacak olan en uygun yüklenme dinlenme oranının ise 1:5 ve daha üstü olduğu çalışmalarda belirtilmiştir (5, 156)

2.3.1. Tekrarlı Sprint protokollerini Etkileyen Faktörler ve Antrenman Yöntemleri

TSY'nin takım sporlarında uygulanan antrenmanların özellikle yüksek şiddetli eforlardaki yüklenmelerde sporcunun antrenmana karşı toleransı artırdığı ve sakatlanma oranını azalttığı belirtilmiştir (157). TSY'de maksimum performansın sürdürülmesindeki kısıtlayıcı nedeni ATP ve PCr'nin kastaki depo miktarının azalmasından kaynaklanmaktadır. Sprintler esnasında alaktik sistemden gelen katkının azalmasından dolayı laktik ve aerobik sistem katkısının artması TSY performansında bir düşmeye neden olmaktadır (82). TSY'de performansı sınırlayıcı faktörlerin geliştirmesi, maksimum performansın sürdürülmesi konusunda yapılan çalışmalarda ortaya konmuştur (7, 23). Özellikle alt ekstremiteye ait reaktif kuvvet indeksinin TSY performansı ile ilişkili olduğu bulunmuştur (150). Bunların yanı sıra genetik faktörler

de, Tip II liflerindeki daha yüksek PCr içerdiğinden dolayı TSY performansı için avantaj sağlamaktadır (5).

TSY performansının geliştirilmesine yönelik fizyolojik ve fiziksel bütün parametreler Bishop ve ark. (23) tarafından aşağıdaki gibi özetlenmiştir (Şekil 2.3.).



Şekil 2.3. TSY geliştirmek ve antrene edebilmek için gerekli özellikler.

TSY performansında yorgunluk faktörü, saha ve laboratuvar tabanlı (bisiklet ergometresi) test protokollerinde performansta meydana gelen zirve güç ve yapılan toplam işteki düşüş ve sprint süresindeki uzama ile tanımlanmaktadır (6). İki farklı TSY antrenman yönteminin (koşu-bisiklet ergometresi) kullanıldığı bir çalışmada; sahada yapılan protokolde TSY performansında, bisiklet ergometresinde yapılan protokole oranla daha az performans kaybı yaşandığı görülmüştür (113).

TSY'de maksimum performansın gerçekleştirilmesinde enerji sistemlerinin katkısı sprint performansında ve sprintler arası toparlanma bölümlerinde maksimum TSY performansının temelini oluşturmaktadır. Tekrarlı sprintler esnasında artan anaerobik enerji katkısı vücutta pH seviyesini düşürür ve laktat miktarında meydana gelen artış ile de kas kontraksiyonu olumsuz etkilenerek TSY performansında bir azalma meydana gelir. Bu doğrultuda enerji sistemlerinin antrene edilmesinde başlıca dikkat edilmesi gereken nokta, vücutta artan laktat miktarının hızla düşürülmesini sağlayacak ve ATP-PCr depolarının sprint esnasında hızlı bir şekilde kullanılması ve

dinlenme periyodunda tekrardan yenilenmesine katkıda bulunacak protokoller, TSY geliştirilmesinde ana etkidir (6, 85). Bu doğrultuda alaktik ve laktik sistem katkısını geliştirecek uzun süreli sprint (10-30saniye) ve 3 ile 10 dakika arasında değişen toparlanma periyotlarından oluşan yöntemler ön plana çıkmıştır (23, 158, 159).

Yüksek şiddetli egzersizlerde alaktik enerji sisteminin maksimum katkısının, ilk 15 saniyeye kadar olduğu, 15 saniye ve üzeri yüksek şiddetlerde yapılan egzersizlerde hiçbir alaktik sistem katkısı olmadığı belirtilmiştir (82). Wingate testinde enerji sistemlerinin araştırıldığı bir çalışmada alaktik sistem katkısının sadece ilk 7,5 saniyede olduğu bulunmuştur (160). 6 saniyelik tek bir sprint esnasında alaktik sistem katkısı 60 saniye maksimum eforla yapılan bir egzersizdeki alaktik sistem katkısının yarısı kadardır (6, 78, 160, 161). Bu bilgilerden yola çıkarak TSY performansında alaktik enerji sistemin katkısını geliştirmeye yönelik antrenman metotlarının oluşturulmasında, uzun süreli yüksek şiddetli maksimal bir egzersizin alaktik sisteme katkısının süre-verim açısından yetersiz olmasından dolayı kısa süreli maksimal sprintlerin belirli toparlanma aralıklarıyla uygulanması alaktik sistemin geliştirilmesinde daha önemlidir.

TSY performansında aerobik enerji sistemin katkısına yönelik çelişkili bulgular vardır. Ancak yüksek aerobik dayanıklılığa (VO_{2maks}) sahip olan sporcularda, tekrarlı sprint protokollerin özellikle dinlenme periyotlarında sporcuların hızla toparlamasına katkı sağlar (5). Aerobik enerji sistemi ile temel yaklaşım, sprintler sırasında daha az katkı, toparlanma bölümlerinde ise maksimum katkı sağlamasıdır. Örneğin takım sporları yapan bir oyuncu grubunda aerobik enerji sistemi katkısı ile TSY arasında anlamlı bir ilişki bulunamazken (162), yine başka bir çalışmada özellikle TSY performansı ile sporcuların VO_{2maks} ($r=0,39$) ve anaerobik eşik ($r=0,54$) değerlerine ulaştıkları hız noktalarında orta düzeyde anlamlı negatif bir ilişki bulunmuştur (30).

Aerobik sistem katkısının çalışıldığı bir başka çalışmada 180 derece yön değiştirme (2x20m) ile yapılan 6x40m ve 20 saniye toparlanma aralıkları uygulanan protokolde sporcuların VO_{2maks} , ulaştıkları hız değerleri ile TSY arasındaki ilişki gözlemlenmezken aerobik eşik noktasındaki hız değerleri ile ($r=0,44$) orta düzeyde negatif bir ilişki bulunmuştur (150). TSY'de uzun sprint süreleri ile yapılan protokollerde aerobik enerji sistem katkısı artarken, performansın devam

ettirilmesinde (dinlenme periyotlarındaki hızlı toparlanmaya yaptığı katkı) önemli bir rol olsa da yapılan çalışmalarda TSY ile ilişkisi net olarak açıklanamamıştır.

2.3.2. Tekrarlı Sprint Performansı ve Enerji Sistemleri Katkısı

Son dönemlerde TSY’de enerji sistemlerin katkısının incelenmesinin, uygun antrenman stratejilerinin oluşturulmasında ve TSY protokollerinde hedeflenen enerji sistemini geliştirmeye yönelik sprint protokollerine ait dinlenme çalışma oranlarının belirlenmesinde önemli bir yeri vardır. TSY protokollerinde maksimal performansı sürdürmek için enerji ihtiyacının büyük kısmı alaktik ve laktik asit enerji sistemleri tarafından karşılanır (5, 22, 25). Sporcuların maksimum sprint hızı değerlerine ulaşması yüksek düzeyde ve en hızlı şekilde ATP-PCr tüketmelerine bağlıdır (5).

TSY’de enerji sistemlerinin katkısının araştırılmasının tarihsel süreci bisiklet ergometresi kullanılarak yapılan tekrarlı sprintlerde kas biopsisi yöntemi ile başlamıştır. Vastus lateralis kasından alınan doku ile yapılan ve birçok araştırmanın ortaya çıkmasına öncülük eden ve çalışmaların bulgularına referans olan Gaitonas ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada (22); 30 saniye toparlanma aralıkları ile 10x6 saniye tekrarlı sprint protokolünde her sprintten sonra ATP, PCr ve laktat yoğunluklarını araştırılmıştır. Birinci sprint sonunda ATP yoğunluğunda %16’lık bir azalma varken 10. sprintte ATP yoğunluğunun değişmediği görülmüştür. PCr yoğunluğunda ise birinci sprintte %58 azalma görülürken 10. sprintte bu oran %68’dir. Laktat miktarında ise 10. sprintte, ilk sprinte oranla %75’lik bir artış görülmüştür. Çalışmada, sprintler süresince enerji sistemlerinde meydana gelen düşüşler performans sonuçları ile desteklenmiştir. TSY’de bütün sprintlerde maksimum performansın devam ettirilmesi ve sprintler sonucunda oluşacak metabolik ürünlerin vücuttan uzaklaştırılması için her sprintte yüksek PCr miktarlarla başlamak TSY’nin fizyolojisinin açıklanmasında kullanılan en yaygın anlayıştır (5, 23, 163).

Kas biopsisi yöntemi kullanılarak Dawson ve ark. (24) tarafından yapılan bir diğer çalışmada tek bir sprint (6sn) ile 30sn toparlanma aralıkları ile tekrarlayan (5x6sn) sprintlerdeki ATP-PCr yoğunluklarını dinlenik durumda, sprintten hemen, 30 saniye ve 3 dakika sonrasındaki değerleri karşılaştırmıştır. 5x6 saniye tekrarlı sprint protokolünde çok daha fazla PCr tüketilmesi gerçekleşirken yenilenen PCr’ın ise; tek bir sprintteki (6sn) yenilenen PCr miktarından %30 daha fazla olduğunu bulmuşlardır.

Özellikle TSY protokollerinde en uygun toparlanma süresinin belirlenmesi PCr depoların yeniden sentezinde önemli bir adaptasyon olacağından bu bilgi son derece önemlidir.

TSY’de aerobik sistemden gelen enerji katkısı, Gaitanos ve ark. yaptıkları çalışmalarında ihmal edilebilir olacağı yönünde görüş bildirmelerine rağmen daha sonraki yıllarda yapılan çalışmalarda, 3 saniyelik tek bir sprintte aerobik enerji sistemin katkısının %3 ve 6 saniyelik tek bir sprintteki aerobik enerji sistemin katkısının %8 olduğu bulunmuştur. Tekrarlayan sprintlerde ise bu oranın 10 sprintten sonra %40'lara kadar çıktığı ortaya konmuştur (6, 105).

Kas biyopsisi ile başlayan araştırmalarda, bu yöntemin zor ve ciddi bir tıbbi uzmanlık alanı olması ve sadece kastaki lokal alana yönelik bilgi vermesi nedeniyle araştırmacılar, yeni matematiksel modellemeler ile enerji sistemlerinin katkısı ayrı ayrı hesaplayabilecekleri yöntemlere yönelmişlerdir. O yöntemlerden biri olan ve son dönemde çok yaygın olarak kullanılan PCr-La-O₂ yöntemi; egzersizin dinlenik durumda ve egzersiz esnasında ölçülen O₂ tüketiminin yanı sıra egzersiz sonrası sporcudan alınan kan örneği ile elde edilen laktat verilerinden yola çıkarak, metabolik yanıtlar arasından fark belirlenerek, enerji sistemlerinin katkısı hesaplanabilmektedir (29, 74, 75). PCr-La-O₂ yöntemi kullanılarak yapılan bir çalışmada üst ekstremitte bisiklet ergometresinde 10x6 saniye ve maksimum 60 saniyelik sprint protokollerin enerji sistem katkısı karşılaştırılmıştır. 10x6 saniye protokolünde alaktik, laktik ve aerobik sistemin katkısı sırasıyla %68, %17 ve %15 iken 60 saniye protokolünde yine sırasıyla %30, %38 ve %31 olarak bulunmuştur (164). PCr-La-O₂ yönteminin kullanıldığı bir başka çalışmada 10 saniye toparlanma aralıkları ile 6x35 metre tekrarlı sprint testinde enerji sistemlerin katkısı incelenmiş ve alaktik, laktik ve aerobik sistemin katkısı sırasıyla %28, %34 ve %38 olarak bulunmuştur (76). PCr-La-O₂ yöntemi kullanarak yapılan çalışmalardaki enerji sistemlerinin katkısı, kas biopsisi yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçlar ile yüksek düzeyde ilişkili bulunmuştur (6, 22, 24, 165).

2.4. Performansta Cinsiyetler Arası Farklılıklar

"Cinsiyet", insanlarda ve hayvanlarda bir dizi biyolojik özelliği ifade eden bir terimdir. ‘‘Biyolojik Cinsiyet’’ genellikle kadın veya erkek olarak kategorize edilir

(166). Tarihsel süreçte kadınlar çeşitli kültürel ve sosyolojik faktörler nedeniyle erkekler üzerinde yapılan deneysel çalışmalardaki bulguların kadınlar içinde geçerli olabileceğini varsayılmış ve insanlar üzerinde yapılan araştırmalarda büyük oranda araştırma dışında bırakılmışlardır (167, 168). Son zamanlarda, cinsiyetin insanların biyolojik özellikleri üzerindeki etkisinin karakterize edilmesine ilgi duyulmasıyla birlikte, cinsiyete dayalı farklılıklar ve benzerlikler hakkındaki araştırmalar giderek artmaktadır. Her iki cinsiyeti incelemek ve cinsiyeti biyolojik bir değişken olarak görmek artık bütün araştırmalar için önem arz etmektedir (169). Egzersiz fiziolojisi ilkeleri ve ölçümlerinde cinsiyet farklılıkları yoktur. Ancak iki cinsiyet arasında önemli biyolojik ve davranışsal farklılıklar vardır (170).

2.4.1. Cinsiyete Dayalı Karşılaştırmalar Nasıl Yapılır?

Cinsiyetlerin karşılaştırılmasında, sonuçların yorumlanmasını etkileyen birkaç metodolojik kaygı söz konusudur. Cinsiyetler arasındaki farklılıklar, mutlak büyüklükteki eşitsizlikten mi yoksa özellikle cinsiyetten mi kaynaklanıyor sorusunu akla getirmektedir. Örneğin, Oksijen tüketimi (VO_2) cinsiyetler arasında mutlak ($L \cdot dk$) değerler kullanılarak mı yoksa vücut kütlesi ($mL \cdot kg^{-1}$) veya yağsız kütle ($mL \cdot kg.FFM$) ile mi karşılaştırılmalıdır? Cevap, sorulan sorunun içeriğine bağlıdır. Deneysel bir soru günlük yaşam aktiviteleri etrafında dönüyorsa, standartlaştırılmış metabolik gereksinime göre bir karşılaştırma, özel aktiviteler göz önüne alındığında ise mutlak karşılaştırma en uygun olacaktır. Ancak sporcular veya genellikle yoğun egzersiz yapan daha genç sağlıklı bireyler üzerinde çalışırken, relatif karşılaştırmalar daha uygun olacaktır. Genel olarak, hem mutlak hem de relatif karşılaştırmaların birlikte sunulması ve sonuçların eldeki spesifik soruya bağlı olarak yorumlanması önerilmektedir (171).

Kadınların erkeklere kıyasla çeşitli anatomik ve fiziolojik farklılıklar sergiledikleri bilinmektedir. Egzersize verilen fiziolojik yanıtları incelerken bu farklılıklar özellikle önemli olmaktadır. Literatür incelendiğinde performansa yönelik cinsiyet farklılıklarını genel olarak özetlemek gerekirse; Erkeklerin, çeşitli kas gruplarında ve farklı egzersiz koşullarında kadınlara oranla daha yüksek mutlak kas gücüne sahip olduğu ve kadınlara göre daha yüksek güç çıktısı ürettiği görülmektedir (32-34). Erkeklerde yağsız vücut kütlesi ve kas kesit alanları kadınlarınkinden anlamlı

derecede yüksek olduğu ve kadınların kas kesit alanlarının erkeklerdekinin yaklaşık % 75'ine karşılık geldiği de belirlenmiştir (36). Bununla birlikte bazı araştırmacılar bir kadın kasının erkek kasına oranla daha uzun dayanıklılık süresine sahip olduğunu; başka bir deyişle yorgunluğa karşı daha büyük direnç gösterdiğini ve daha hızlı toparlanma yeteneğine sahip olduğunu da bildirmektedir (38, 39). Kas dokusunun morfolojik, metabolik ve nöromusküler özelliklerinin erkekler ve kadınlar arasında farklı olmasını ve ağırlıklı olarak cinsiyetler arasındaki kuvvet, güç çıkışı ve yorulma direncindeki farklılıkları açıklamaktadır.

2.4.2. Kas Kuvveti Ve Yorgunluğunda Cinsiyetler Arası Farklılıklar

İskelet kası lifleri, oksidatif tip-I (yavaş kasılan), glikolitik-oksidatif tip-II ve glikolitik tip-II (hızlı kasılan) olarak sınıflandırılır (57, 80) Tip-I lifler, kısmen daha yüksek miyoglobin/mitokondri içeriği nedeniyle yorgunluğa daha dirençlidir (172). Erkek ve kadın alt ekstremitelerdeki mRNA'nın analizini inceleyen bir çalışmada tip-I liflerin kadınlarda toplam biyopsi alanının % 44'ünü, erkeklerde ise % 36'sını oluşturduğu görülmüştür (173). Kadınlarda bulunan tip-I liflerinin oranının daha fazla olması, daha büyük vazodilatör kapasite(174) ve kapilirizasyon (175) ile ilişkilidir.

Kadınlara kıyasla erkeklerin vastus lateralisinde daha fazla yorulabilir tip II lifleri bulunmasına rağmen, cinsiyetten kaynaklanan bu fark biceps brachii gibi diğer kaslarda bulunmamıştır (35). Bu nedenle, kadınlarda yavaş kasılan liflerin daha büyük nispi dağılımı, erkeklere kıyasla daha yüksek kasılma yorgunluğuna dirençlerini kısmen açıklayabilir. Kas kütlesi farklılıklarına neden olan, lif sayısından ziyade erkeklerde bulunan liflerin çaplarının daha büyük olmasıdır (35). Erkekler güce ve kuvvete dayalı sporlarda avantaj sağlayan özellikler, dayanıklılık sporlarında potansiyel bir dezavantaja neden olabilir (176).

Kas yorgunluğu, 20. yüzyılın büyük bölümünde fizyologların ilgisini çeken bir konudur ve kasın maksimum kuvvet üretme kapasitesindeki bir azalmayı ifade eder (177). Kadınlarda erkeklere oranla yorgunluğa karşı daha dirençli olmasına yönelik önerilen açıklamalardan biri, kadınların erkeklerle aynı göreceli işi yaparken ürettikleri daha düşük mutlak kas kuvvetleri ile ilgilidir. Daha düşük mutlak kuvvet, daha düşük kas oksijen ihtiyacını ve erkekler ile kadınlar arasında benzer bir özgül gerginlik (mm^2 kas başına kuvvet) varsayarak, yerel vaskülatürün daha az mekanik

kompresyonunu içerir (35, 178). Belirtildiği gibi, yorulma direncindeki kadınlardaki avantaj, özellikle submaksimal kasılmaları içeren yorgunluk protokollerinde oldukça iyi belgelenmiştir. Bununla birlikte, literatürün daha yakından incelenmesi, kasılmaların yoğunluğu arttıkça yorgunluğa karşı dirençte kadınlardaki avantajın görünür büyüklüğünün azaldığını göstermektedir (179).

2.4.3. Egzersize Verilen Fizyolojik Tepkilerde Cinsiyetler Arası Farklılıklar

Mutlak bir temelde performansa yönelik test puanları karşılaştırılırken anaerobik güçte büyük cinsiyet farklılıkları vardır (180, 181). Bu gözlemler, çoğu fizyolojik ve egzersiz performans testinde olduğu gibi, mutlak anaerobik güç çıkışını etkileyen faktörlerdeki vücut kütlesi, aktif kas kütlesi ve yağsız vücut kütlesi gibi değerlerde de net cinsiyet farklılıkları ile kolayca açıklanmış görünmektedir. Vücut kütlesi veya bileşenlerine yönelik güç çıktı kapasitesinin ifade edilmesi, anaerobik kapasitedeki cinsiyet farkını en aza indirmeli veya hatta ortadan kaldırmalıdır. Bu durum bir kasın anaerobik olarak enerji üretme kapasitesinde gerçek cinsiyet etkisinin olup olmadığına dair fikir vermelidir.

Performansta cinsiyet etkisi, vücut kompozisyonundaki farklılıklar düşünüldüğünde dahi alt ekstremite kasları için daha belirgindir. Erkeklerin göreceli kas alanı, hızlı kasılan kas tipinin metabolik kapasitesi ve egzersize daha büyük katekolamin yanıtı vermesi anaerobik performanslarını açıklamaya kısmen yardımcı olabilir (181). Yüksek yoğunluklu egzersizlerde de cinsiyete bağlı farklılıklar geniş çapta gözlemlenmiştir, ancak pek çok tartışma devam etmektedir (182-184). Dahası, kadınların erkeklere kıyasla tekrarlanan sprintler sırasında performans kayıplarına daha dirençli olduğu gösterilmiştir, bu durum da yorgunluğa karşı daha yüksek bir direnç olduğunu düşündürmektedir. 100 m ile 200 m arasında değişen dünya rekoru koşu performanslarının bir analizinde, erkeklerin kadınlardan ortalama olarak % 12.4 daha hızlı oldukları raporlanmıştır (185). Veriler aynı zamanda erkek-kadın performans farklılığının ve büyüklüğünün; spor, mesafe ve yaş kategorisinden etkilendiğini de göstermektedir (186, 187). Yorgunluktaki cinsiyet farklılıkları için bir başka görüş nöromusküler ve metabolik farklılıklardan kaynaklanıyor olabileceği doğrultusundadır (188).

Mevcut kanıtlar, anaerobik kapasitede biyolojik cinsiyet farklılığı olduğunu göstermektedir. Anaerobik kapasiteyi ölçen testler, erkekler ve kadınlar arasında tipik olarak gözlemlenen performans farklılıklarını artırmaktadır. Performans puanını vücut ölçüsüne veya vücut kompozisyonuna göre ayarlamak bile bu farkı ortadan kaldırmaz. Ayrıca kadınların maksimum anaerobik performansının, menstrual döngü aşamasındaki değişikliklerden etkilenmediğini ortaya koyan çalışmalar da mevcuttur (189).

2.4.4. Maksimal Oksijen Tüketiminde Cinsiyetler Arası Farklılıklar

Maksimum oksijen tüketimi, aerobik metabolizma için üst sınırı belirler ve koşma, bisiklete binme dahil olmak üzere orta ila uzun mesafe dayanıklılık olaylarındaki varyansın çoğunu açıklar (189, 190). Erkeklerin standart dayanıklılık olaylarında kadınlara kıyasla yüksek performansları, büyük ölçüde hem antrenmanlı hem de antrenmansız durumlarda bile yüksek VO_{2maks} değerleri ile açıklanabilir (191, 192). Genel olarak, kadınlardaki daha düşük VO_{2maks} , yağ kütlesi, hemoglobin ve hematokrit düzeylerindeki cinsiyet farklılıklarının bir sonucu olduğu kabul edilmektedir (193, 194).

Ayrıca kadınların kalbi, vücut ölçülerine göre normalize edildiğinde bile erkeklerinkine göre daha küçüktür (195). Bu durum mutlak ve göreceli olarak ifade edildiğinde bile kan hacmi ve kanda oksijen taşıma kapasitesinde de kadınlarda erkeklere oranla daha azdır (196, 197). Kadınlar erkeklerden ortalama olarak % 15 ila % 25 daha düşük VO_2 tüketim değerine ulaşabilirler ve bu durum, aerobik güçte belirgin bir cinsiyet farklılığı gösterir (198). Ancak spesifik olarak, erkeklerden oluşan çalışmalarda belirlenen VO_{2zirve} 'in birincil belirleyicilerinin, yani kan hacmi ve O_2 taşıma kapasitesinin cinsiyetler arasındaki aerobik güçteki boşluğu açıklayıp açıklamadığı konusundaki belirsizliğini korumaktadır (196, 199, 200). Başka bir deyişle, erkeklerin aerobik gücünün kadınlarınkinden farklı olmasına yönelik açıklamalardan; cinsiyete özgü olduğu bilinen çoklu iskelet kası ve metabolik özelliklerin yanı sıra artan O_2 taşımalarının bir sonucu olabilir mi sorusunu akla getirmektedir (201).

Dayanıklılığa yönelik erkek/kadın performans eşitsizliği büyük ölçüde maksimum aerobik kapasitedeki ve çalışma oranlarındaki farklılıklarla

ilişkilendirilebilir. Ancak son olarak, uzun mesafe yüzme etkinliklerinde kadınların genel olarak erkeklerden daha iyi performans gösterdiği göz önüne alındığında; ultra-mesafe yüzme performansını destekleyen çeşitli faktörler, bu noktada bağımsız düşünmeyi gerektirir. Kadınların bu spordaki başarısının, sadece üstün maksimum oksijen tüketimine bağlı olması olası değildir. Vücut kütleindeki artışların koşu sırasında oksijen ekonomisini azalttığı gösterilmiş olmasına rağmen, daha yüksek yağ kütlesi yüzmede ergojenik olabilir. Yağ kütlesi, muhtemelen kaldırma kuvvetini artırır ve sürüklenmeyi azaltır (202, 203). Kadınların genel olarak daha küçük vücut boyutu, daha kısa alt ekstremite olduğu gibi, suda daha yatay ve aerodinamik bir pozisyona neden olan hidrodinamik sürüklenmede daha fazla azalma sağlar (204, 205). Bu nedenle, biyolojik bir özelliğin (örneğin, düşük vücut yağı) ergojenik olarak kabul edilme derecesi, söz konusu olayın özel gereksinimleri ve özellikleri tarafından belirlenir.

Erkeklerin kadınlara göre daha fazla glikolitik kapasiteye sahip ve glikolitik yollara daha fazla bağımlı olduğu görülmektedir (206, 207). Kadınlar, submaksimal dayanıklılık egzersizi sırasında erkeklerdekenden % 4-5 daha düşük bir solunum değişim oranına sahiptir (<% 70 VO_{2max}); bu da kadınlarda erkeklere kıyasla nispeten daha fazla yağ oksidasyonu anlamına gelmektedir (208, 209). Kas biyopsisi verilerine göre kas glikojen içeriğinde herhangi bir cinsiyet farkı görünmemektedir. Bu farklılıklar, kadınlarda metabolizma için yağ asitlerinin β oksidasyonuna daha fazla güvenilmesi anlamına gelebilir ve bu durum da belirli aktivite türleri sırasında dayanıklılık süresini uzatabilir (210).

Erkek ve kadınlarda oksijen tüketiminde gözlemlenen farkın, yalnızca bacak kası kütlelerine normalleştirildiğinde ortadan kalktığı gözlemlenmiştir. Bu bulgu, aerobik olarak antrene edilmiş sporculara uygulandığında, bacak kası kütlesi ile VO_{2zirve} arasında yakın bir ilişki olduğunu ve bacak kas kütlelerine göre normalize edilen zirve VO_2 'nin, bireysel aerobik performans düzeyini değerlendirirken daha etkili olacağını ortaya koymaktadır (211).

2.4.5. Performansta Cinsiyet Farklılıklarında Solunum Sisteminin Etkisi

Son zamanlarda, solunum sisteminde cinsiyete dayalı önemli farklılıklar ve bunların egzersize solunumsal yanıtı üzerindeki etkileri tanımlanmıştır (212).

Dinlenme halindeyken, solunum sisteminin yapısındaki cinsiyet farklılıkları nefes alma mekanizmasını veya kan gazı homeostazını etkilemez; ancak egzersiz sırasında olduğu gibi solunum sistemine olan talep arttığında, birkaç önemli cinsiyet farklılığını ortaya çıkar (213). Ortaya çıkan bu farklılıklar açıklanmasına yönelik, solunum sisteminin genel anatomisi cinsiyete göre farklılık göstermese de sistem üzerinde çeşitli morfolojik farklılıklar tanımlanmıştır. Birincisi, oturma yüksekliği ile eşleştiğinde bile kadınların erkeklerden daha küçük akciğerleri vardır (214). Diğer iskelet kasları gibi, kasılan solunum kasları, iş ve oksijen alımı (VO_2) arasında doğrusal bir ilişki gösterir. Maksimum egzersizde, erkeklerin tüm vücut VO_2 'nin ~% 9'unu solunum kaslarına kadınların ise ~% 14'ünü ayırdıkları ortaya konmuştur. Kadınların tüm vücut VO_2 'lerinin ~% 5 daha fazlasını solunum kaslarına ayırmaları, solunum kası enerjisinin lokomotor yorgunluğun ve kan akışı dağılımının gelişiminde oynadığı rol düşünüldüğünde önemlidir (215, 216). Kadınların solunum için oksijen harcaması daha yüksek olması, maksimum egzersiz sırasında solunum kaslarına daha fazla miktarda kan akışı ayırdıklarını gösteriyor. Bu nedenle, bacak kaslarına kan akışının azalması kadınlardaki fiziksel performansın daha düşük olmasına sebep olur (215). Solunum kası çalışmasının, genç erkeklerde ve kadınlarda bisiklet egzersizi sırasında kan akışının hem solunum hem de lokomotor kaslara dağılımını önemli ölçüde etkilediği bulunmuştur (217). Yüksek solunum kası çalışması ve solunum kası yorgunluğunun önemli bir sonucu vazokonstriksiyon ve çalışan lokomotor kaslara kan akışındaki azalmadır ve buna eşlik eden vasküler dirençteki değişiklikler egzersiz toleransını tehlikeye atabilir.

Lokomotor kaslardan gelen yorgunluk verilerini genişleten çok sayıda çalışma, kadın solunum kaslarında daha iyi yorgunluk direnci fikrini desteklemektedir. Solunum kası yorgunluğu, torasik kafese bağlı kasların, genellikle yorucu egzersizi takiben başlangıca göre azalmış bir güç üretme kapasitesi sergilediği bilinmektedir. Yüksek yoğunluklu egzersiz sırasında, solunum kası yorgunluğu ventilasyon kapasitesini ve dayanıklılığı tehlikeye atabilir, dispneyi şiddetlendirebilir (nefes darlığı hissi) ve ayrıca lokomotor kan akışını tehlikeye atabilir (218, 219). Solunum sisteminin morfometrisinde cinsiyet farklılıklarının var olduğu artık açıktır. Kadınların akciğerleri ve solunum yolları erkeklerinkine oranla daha küçüktür (220). Solunum sistemi yapısındaki cinsiyet farklılıklarının fonksiyonel sonuçları dinlenme sırasında

minimaldir; ancak akış, hacim ve basıncın gelişmesinin yanı sıra kan akışının dağılımı ve egzersiz sırasında kan gazı homeostazının düzenlenmesinde önemli sonuçlara sahiptir (213).

Solunum sistemi, yüksek yoğunluklu egzersizle orantılı olarak solunum talebindeki büyük artışlara yanıt verme konusunda dikkate değer bir kapasiteye sahip olması nedeniyle genel olarak "aşırı inşa edilmiş" (over built) olarak kabul edilir. Solunum sistemi, özellikle belirli popülasyonlarda (kronik obstrüktif akciğer hastalığı ve solunum yolu hastalıkları olan bireyler) olduğu gibi yüksek antrenmanlı sporcularda da egzersiz kapasitesinin sınırlandırılmasına neden olabilir. Her durumda, egzersizin solunum talepleri solunum sisteminin sınırlı kapasitesini karşılar veya hatta aşar. Bu benzersiz fizyolojik durum, solunum sisteminin çalışan dokulara oksijen sağlama kapasitesinin azalmasına neden olur ve bu durum da egzersiz performansının düşürülmesine veya egzersiz toleransının azaltılmasına neden olur (221-223).

2.4.6. Performansa hormonal faktörlerin etkisi

Östrojenler, progesteronlar ve androjenler insan üreme işlevini düzenler, ancak aynı zamanda hem sağlığı hem de egzersiz performansını ve bunun yanı sıra ilgili erkek ve kadın fizyolojik özelliklerine özgü üremeyen dokuları (örneğin kas ve kemik) çeşitli şekillerde etkilerler (224). Bununla birlikte, hormonların performansa yönelik verileri son derece karmaşıktır ve genellikle belirsizdir. Testosteron, kas kuvveti ve gücündeki artışları kolaylaştıran ve vücut yağını azaltan birincil erkek cinsiyet hormonudur (225). Ayrıca saldırganlığı ve rekabeti arttırmak için beyindeki substratlar üzerinde de etkili olduğu görülmektedir (226, 227). Daha da önemlisi, erkekler ergenlik döneminden itibaren dolaşımdaki testosteronda 30 kat artış sergiler ve bu da yetişkin erkeklerde kadınlardan 15-20 kat daha yüksek seviyelerle sonuçlanır (228). Bu cinsel dimorfizmin, atletik performanstaki cinsiyete dayalı farklılıkları büyük ölçüde açıkladığı düşünülmektedir.

Kadınlarda östrojen ve progesteron, menstrüel döngü boyunca büyük dalgalanmalar sergiler. Östrojen kas boyutunu, gücünü ve kolajen içeriğini artırır ve bunların tümü spor performansına yardımcı olur (229, 230). Kadınlık hormonu östrojenin, özellikle uzun süreli egzersiz sırasında, yakıt metabolizmasını etkilediği öne sürülmüştür. Kadınların karbonhidrat yüklü diyetlerde bile uzun süreli, hafif-orta

yoğunluklu egzersiz sırasında karbonhidrat metabolizmasına daha az bağımlı olma eğiliminde oldukları gözlemi, östrojenin glikojen koruyucu özelliklere sahip olduğu önerisine yol açmıştır. Ancak; kısa süreli egzersiz sırasında, glikojen tükenmesinin yorgunluğun gelişiminde bir rol oynamadığı durumlarda, östrojenin yorgunluk direnci açısından nasıl farklı bir avantaj sağlayabileceği açık değildir (231).

Östrojenin egzersiz sırasında hiperemik yanıt (bir dokunun normalden daha fazla kanlanması) üzerindeki etkileri belirsiz olsa da, östrojenin aktif kasa kan akışını arttırdığını gösteren kanıtlar vardır (230, 232). Ayrıca erkeklere kıyasla kadınların egzersize yanıt olarak vazokonstriksiyonu azaltabilecek hafifletilmiş bir sempatik çıkışa sahip oldukları gösterilmiştir. Bununla birlikte, bu bulgular dikkatle yorumlanmalıdır, çünkü sempatik çıkıştaki bir azalma kesin olarak artmış bir hiperemik yanıtla dönüşmeyebilir; daha ziyade, kan akışının inaktif kas ve iç organlardan çalışan kaslara yeniden yönlendirilmesini de bozabilir (233).

2.4.7. TST performansında cinsiyet farklılıkları

TST sırasında, metabolizmada ve kas fonksiyonlarında hızlı değişiklikler meydana gelmekte ve bu durum kadın ve erkek sporcularda egzersiz için gerekli kuvvet veya egzersiz şiddetini uzun süre sürdürmemeye ile sonuçlanmaktadır. TST performansında cinsiyet karşılaştırmaların yapıldığı çalışmalarda erkeklerin kadın sporculara oranla daha tutarlı ve daha yüksek performans gösterdikleri ortaya konmuştur (17, 26, 42). Erkeklerin kadınlara oranla daha yüksek güç çıktısına ulaştıkları, kadınların ise daha az güç çıktısı ve daha fazla performans düşüş yüzdesi gösterdikleri bulunmuştur (17, 42). Performanstaki cinsiyet farkının açıklanmasında maksimal bir sprint esnasında aktif olan kas lifi tipleri yönelik açıklamalar ön plana çıkmaktadır. Tip II kas liflerinin büyük bir oranının maksimal bir sprintte aktive olduğu bilinmektedir (234). Kadın sporcuların erkek sporculara oranla daha az güç çıktıklarına sahip olmasının nedeni, kadınların daha küçük Tip II lif yüzdesine sahip olmaları ile ilişki olabilir çünkü kadınlarda Tip II liflerin kesit alanı erkeklere göre daha küçüktür (35, 235).

Tekrarlı sprintlerde anaerobik tabanlı enerji sistemlerinin katkısı maksimal performansta önemlidir. Erkeklerde tekrarlı sprintlerde anaerobik tabanlı enerji sistemlerinden gelen katkının kadınlara oranla daha fazla olması performansta görülen

bu cinsiyet farkını açıklayan bir başka neden olabilir (22, 91, 211, 236, 237). Ayrıca TST’de erkeklerin yüksek laktat değerlerine ulaşması yüksek Tip II kas lifi aktivasyon düzeyine ve daha yüksek glikolitik hız seviyelerine sahip olmaları ile açıklanabilir (17). Kadın sporcuların erkek sporculara oranla TST daha az laktat seviyelerine sahip olmasına yönelik bir başka açıklama; laktat dehidrojenaz (238) ve fosfofruktokinazın (239) aktivitesinin kadınlarda daha düşük olduğuna yöneliktir. 30sn dinlenme süreleri ile yapılan 6 saniyelik tekrarlı sprintler sırasında erkeklerde kadınlara oranla daha yüksek plazma epinefrin seviyeleri gözlemlenmiştir (182, 240). Kadınlardaki bu durum, östrojen hormonu kaynaklı olabileceği bu nedenle epinefrinin glikoliz üzerine tetikleyici etkisinin kadınlarda azalmasından dolayı kısa süreli tekrarlı egzersizlerdeki laktat üretimini azaltabilmektedir (241).

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Araştırma Grubu

Araştırma grubu voleybol, basketbol ve hentbol takım sporlarında aktif olarak oynayan, haftada en az 3 gün antrenman yapan ve en az 3 yıldır müsabakalara katılan, maksimum efor sarf etmesine engel teşkil edecek hastalık ya da geçici yaralanması bulunmayan 17 kadın (voleybol:4, basketbol:6, hentbol:7) ve 19 erkek (voleybol:5, basketbol:6, hentbol:8) olmak üzere toplam 36 gönüllü katılımcıdan oluşturulmuştur. Covid-19 pandemi süreci, yaralanma ve katılımcıların bütün ölçümleri tamamlamaması nedeni ile 3 kadın ve 3 erkek katılımcı araştırma dışında bırakılmış, çalışma 14 kadın ve 16 erkek olmak üzere toplam 30 katılımcı ile tamamlanmıştır.

Araştırma için Hacettepe Üniversitesi Girişimsel Olmayan Klinik Çalışmalar Etik Kurulu'ndan etik kurul izni alınmıştır (Karar no: GO 19/828) (Ek-1). Çalışmaya katılmadan önce katılımcılara araştırma anlatılarak ıslak imzalı aydınlatılmış onamları alınmıştır (Ek-2). Katılımcılardan testlerden önceki günlerde en az 8 saat uyumaları, testten 24 saat önce ve test günü antrenman yapmamaları, alkol ve kafein kullanmamaları ve ölçüm günlerinde testlerden en az 3 saat öncesinde kahvaltı yapmaları istenmiştir.

3.2. Veri Toplama Araçları

3.2.1. Antropometri

Katılımcıların boy uzunlukları duvara monte edilmiş ± 0.1 cm hassasiyetle ölçüm yapan stadiometre (Holtain, İngiltere) ile belirlenmiştir. Vücut ağırlığı ± 0.1 kg hassasiyetle ölçüm yapan elektronik bir baskül (MC-980, Tanita Corp, Tokyo, Japonya) ile ölçülmüştür. Vücut kompozisyonu için 1000kHz'de ölçüm yapan ve ortalama 55 saniyede sonuç veren biyoelektrik empedans ölçüm cihazı (MC-980, Tanita Corp, Tokyo, Japonya) kullanılmıştır.

3.2.2. Oksijen Tüketimi

Oksijen tüketimi (VO_2), tekrarlı sprint testleri ve VO_{2maks} , testlerinde her ekspirasyon havasından otomatik gaz analizi yapabilen 900gr ağırlığındaki mobil

kardio pulmoner egzersiz test (Cosmed K₅, İtalya Seri No: 2019030706) sistemi ile ölçülmüştür.

3.2.3. Maksimal Oksijen Tüketimi

VO_{2maks} ölçümü için, mobil kardio pulmoner egzersiz test sistemi ile entegre çalışabilen, ağırlığı 77 kg olan, maksimum 180 kg ağırlığındaki katılımcılara test yapma imkanı veren ve 1400 watt'a kadar direnç sağlayan bisiklet ergometresi (Monark LC6, İsveç) kullanılmıştır.

3.2.4. Tekrarlı Sprint

TST ölçümünde; ağırlığı 65 kg olan, maksimum 125 kg ağırlığındaki katılımcılara test yapma imkanı sağlayan ve kefesine maksimum 10 kg yük takılabilen bisiklet ergometresi (Monark 894E İsveç) kullanılmıştır.

3.2.5. Laktik Asit

Kan laktat konsantrasyonu, parmak ucundan alınan bir damla kapiler kan örneğinden (0.7 µl) yaklaşık 13 saniyede elektrozimatik yöntemle ölçüm yapabilen ağırlığı 80 gr olan portatif bir el analizörü (Lactate Plust+, Lactate Meter, Waltham, ABD) ile belirlenmiştir. Kan örneklerini almak için lanset ve lanset tabancası (Vital Plus, Çin) kullanılmıştır.

3.2.6. Kalp Atım Hızı

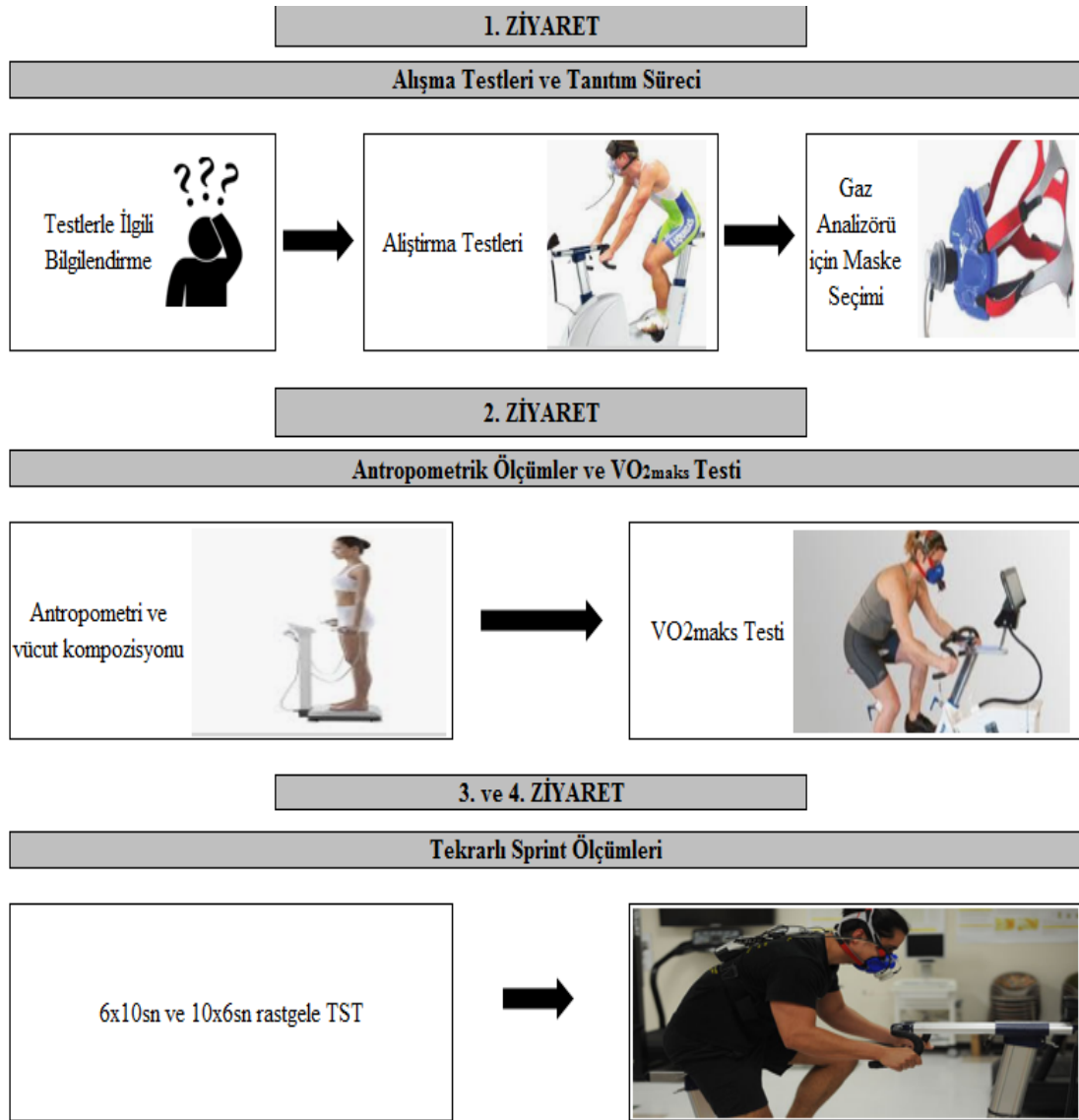
Kalp atım hızları (KAH), VO_{2maks} ve TST sırasında, Cosmed K₅ sistemiyle entegre çalışan ve birer saniye aralıklarla ölçüm yapabilen bir telemetrik kalp atım hızı sistemi (Garmin, ABD) ile ölçülmüştür.

3.2.7. Algılanan Zorluk Derecesi

VO_{2maks} ve tekrarlı sprint protokollerine ait algılanan zorluk derecesi 6-20 arasında ölçeklendirilen Borg skalası ile belirlenmiştir (242). Skalada, 6 derece egzersizin çok çok hafif; 20 derece egzersizin çok zor olduğunu göstermektedir.

3.3. Verilerin Toplanması

Araştırma deseni Şekil 3.1’de sunulmuştur.



Şekil 3.1. Araştırma deseni

Ölçümler, Spor Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Sporcu Sağlığı, Performansı ve Hizmet Kalite Standartları Daire Başkanlığı'dan izin alınarak (EK-4), Daire başkanlığının performans laboratuvarında yapılmıştır. Katılımcılar laboratuvara en az 48 saat ara ile 4 ziyaret gerçekleştirmişlerdir. Kadın katılımcılara yönelik menstrüal döngü fazları tekrarlı sprint performansını etkilemediği daha önceki çalışmalarda ortaya konduğu için testler sırasında kadın katılımcıların menstrüasyonları dikkate alınmamıştır (243, 244). İlk ziyarette testler hakkında bilgilendirmeler ve deneme sprintleri yapılarak katılımcıların bisiklet ergometrelerine ve gaz analizörü maskelerine alışmaları sağlanmıştır.

İkinci ziyarette katılımcıların vücut ağırlığı, boy uzunluğu ve vücut kompozisyonu ölçümleri yapıldıktan sonra laboratuvar ortamında bisiklet ergometresinde VO_{2maks} testine katılmışlardır. 3. ve 4. ziyaretlerde ise rastgele olacak şekilde bisiklet ergometresinde TST'lere katılmış ve TST öncesinde, sırasında ve sonrasında KAH ve VO_2 değerleri ölçülmüştür. Ayrıca testler öncesinde ve sonrasında katılımcıların kan laktik asit düzeyleri de belirlenmiştir. Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen testler esnasında, oda koşullarının performansa ve oksijen tüketim verilerine olumsuz etkisini ortadan kaldırmak için klimalar ile sıcaklığın 18-23°C ve bağıl nemin % 70'in altında olması sağlanmıştır (245). Sirkadiyen ritmin fizyolojik ve performans değerleri üzerine etkisini elimine etmek için tüm testler ve ölçümler günün aynı saatinde (10.00 – 11.00 saatleri arasında) gerçekleştirilmiştir (246, 247).

3.3.1. Antropometrik Ölçümler ve Vücut Kompozisyonunun Belirlenmesi

Katılımcıların boy uzunlukları stadiometrede ayakkabısız, anatomik duruşta ve normal bir inspirasyon sonrası ölçülmüştür (248). Vücut ağırlığı ve vücut kompozisyon analizleri için ölçüm sırasında katılımcılardan ayakkabı ve çoraplarını ve varsa metal takılarını (saat, yüzük, kolye vb.) çıkarmış şekilde cihazın tabanlıklarına basarak dikey konumda durmaları ve her iki el elektrotunu vücutları ile temas etmeyecek şekilde tutmaları istenmiştir. Vücut ağırlığı, üretici firmanın kullandığı kestirim formülünden hesaplanan vücut yağ yüzdesi, yağ kütle, yağsız kütle, kas kütlesi ve beden kütle indeksi değerleri cihazın yazıcısından alınarak kaydedilmiştir. Ayrıca vücut ağırlığı ölçümleri yapılırken 0,5 kg dara farkı göz önünde bulundurulmuştur.

3.3.2. Maksimal Oksijen Tüketiminin Belirlenmesi

VO_{2maks} 'ın belirlenmesi amacıyla mobil kardiyopulmoner egzersiz test sistemi ile bisiklet ergometresinde; 60 devir/dk'ya eşit veya test boyunca yapabileceği rahat bir çevirme hızında 50 Watt dirence karşı 4 dakikalık bir ısınma süresinden sonra, test 80 devir/dk (32km/s) pedal çevirme hızında 50 w'lık bir ilk güç çıkışı ile başlatılmıştır. Güç artışı, 200 w güce ulaşılan kadar her dakikada 25 w artırılmıştır. 200 w ulaşıldıktan sonra her 2 dakikada bir 25 w 'lık güç artış gerçekleştirilmiş ve pedal çevirme hızı 10 saniyeden daha fazla 80 devir/dk altında kaldığında test sonlandırılmıştır. Katılımcılar belirlenen hızın altına indikleri her aşamada sözlü olarak uyarılmışlardır (249).

Aşağıda sıralanmış VO_{2maks} kriterlerinden üçünün aynı anda gözlemlenmesi, maksimal oksijen kullanım kapasitesine ulaşıldığının göstergesi olarak kabul edilmiş ancak katılımcılar bu kriterleri sağlamadığında elde edilen değer, zirve oksijen tüketimi olarak değerlendirilmiştir (250):

- Katılımcıya uygulanan direncin (watt) artışına rağmen VO_2 değerindeki artışın, uygulanan iki direnç yükü arasında **150 ml.dk⁻¹** ve daha düşük olması
- Katılımcının test sırasında CO_2 üretimi ve O_2 tüketimi arasındaki oranının (**RQ**) **1.10** ve üzerinde olması
- KAH, maksimal KAH'ın **% 90** ve üzerinde olması

3.3.3. Tekrarlı Sprint Testleri

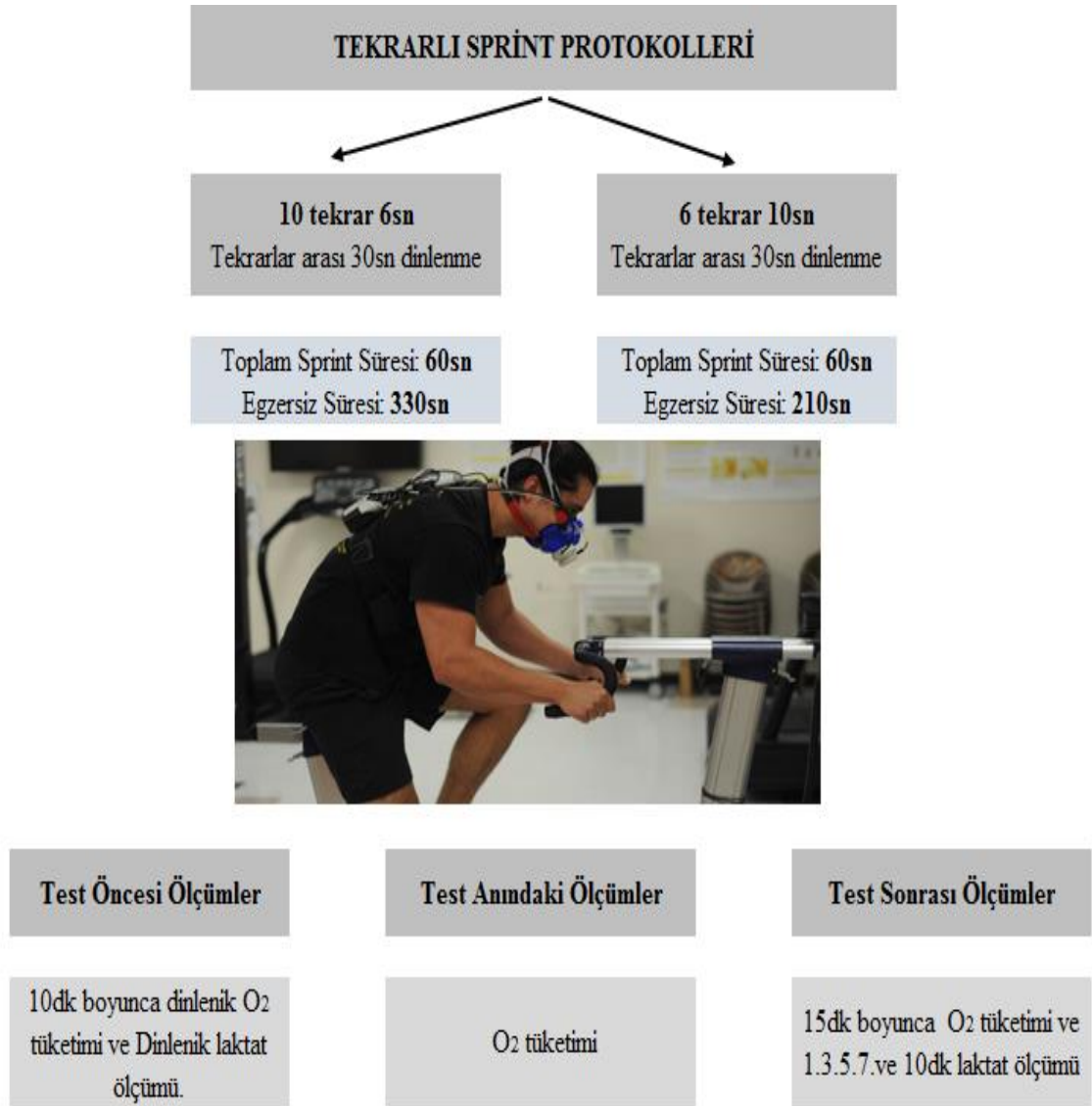
Çalışmadaki TST uygulama tasarımı Şekil 3.2 de görülmektedir. Katılımcılar, toplam sprint süresi (60sn) aynı olan iki farklı TST protokolünü farklı günlerde rastgele sıra ile katılmışlardır. TST, başlangıç hızı sıfır olacak şekilde pedal ivmesi olmadan vücut ağırlığının % 10'una denk gelen bir yüke karşı yapılmıştır. Pedalın eylemsizlik momentine göre düzeltilmiş güç değerleri ile düzeltilmemiş güç değerleri uygulanan yüke göre önemli değişim göstermektedir (251). Genel olarak tekrarlı sprint testlerinde vücut ağırlığının %5-8'ne karşılık gelen yükler kullanılmakla beraber bu çalışmada pedalın eylemsizlik momenti dikkate alınmadığı için vücut ağırlığının %10'una karşılık gelen yük kullanılmıştır. Tekrarlı sprint testi baskın bacak ile başlayacağı için (244) öncelikle katılımcıların baskın bacakları belirlenmiştir. Baskın

bacağın belirlenmesi için katılımcılar arkalarından itilerek ilk attıkları adımlarında kullandıkları bacakları baskın bacak olarak kabul edilmiştir (252, 253).

Katılımcılara testlere başlamadan önce bisiklet ergometresinde 50-70 watt dirence karşı 5 dakikalık standart bir ısınma protokolü uygulanmıştır. Isınmanın 2. ve 4. dakikalarında katılımcılardan tekrarlı sprint testine hazırlık amacıyla 5 saniyelik sprint atması başka bir deyişle pedalı olabildiğince hızlı çevirmesi istenmiştir (254). Isınmadan sonra esnetme ve germe hareketlerinin ardından katılımcılar teste baskın bacakların olduğu pedalın itiş pozisyonunda başlamışlardır. Toparlanma süresinin bitmesine 5 saniye kaldığında katılımcıların başlangıç pozisyonunu almaları için sözlü olarak uyarılmış ve sürenin bitimi geri sayım yapılarak bir sonraki sprintte başlanmıştır. Kadın ve erkek katılımcılar arasındaki vücut ağırlığı farkını elimine etmek için güç çıktıları relatif olarak değerlendirilmiştir. Her bir protokolde tekrarlı sprintlerde ölçülen en yüksek güç çıktısı zirve güç (ZG_{REL}), tekrarlı sprintlerde ölçülen tüm zirve güç çıktılarının ortalaması ise ortalama güç (OG_{REL}) olarak kayıt edilmiştir.

TST'de her protokole ait performans düşüş yüzdesi (PD %) ise aşağıdaki formülle hesaplanmıştır (255). Formülde toplam zirve güç: her bir protokole ait sprintlerde ölçülen en yüksek güç değerlerinin toplamı, İdeal zirve güç ise her bir protokolde ölçülen en yüksek zirve güç x sprint sayısıdır (255).

$$PD \% = \left[1 - \frac{\text{Toplam Zirve Güç}}{\text{İdeal Zirve Güç}} \right] \times 100$$



Şekil 3.2. TST uygulama tasarımı

3.3.4. Oksijen Tüketiminin Belirlenmesi

O₂ ve CO₂ ısıtmalı sensörleri kullanan K₅ sistemi, doğru gaz ölçümleri sağlamak için, 20°C ortam sıcaklığında ve her test öncesinde üretici firmanın kullanım yönergelerine uygun olarak cihaz, başlangıç sıcaklığının 40°C olması için 45 dakika ısınma modülünde çalıştırılmıştır.

Sistemin kullandığı analizörün kalibrasyonu sırasıyla 3 aşamada (referans gaz, oda havası ve gecikme) gerçekleştirilmiştir. Referans gaz analizi; konsantrasyonları bilinen (O₂: %15.70, CO₂: % 5.00, N₂ balans) referans gaz karışımı ile her ölçümden önce yapılmıştır. Her testten önce CO₂ analizörünün taban çizgisini ve O₂ analizörünün kazanımını eşleştirmek için tahmin edilen atmosferik değerlerle (O₂ için % 20.93 ve CO₂ için % 0.03) oda havası kalibrasyonu okumaları yapılmıştır. Gecikme kalibrasyon prosedürü, ekspirasyon havası akış ve gaz konsantrasyonu ölçümleri arasındaki zaman ayarlaması göz önünde bulundurulması gereken potansiyel sorunlardan biri olduğu için yazılıma dahil edilen bir kalibrasyondur. Gaz gecikme kalibrasyonu, ekspirasyon havasının gazın gaz analizörüne ulaşması için gereken sürenin ölçümüdür. Ayrıca her ölçümden önce 3 litrelik sertifikalı bir hava şırıngası (Cosmed, İtalya) ile türbin kalibrasyonu da yapılmıştır.

Enerji sistemlerinin 10x6sn ve 6x10sn tekrarlı sprint protokollerine katkısını belirlemek için katılımcıların oksijen tüketim (VO₂) değerleri tüm test boyunca ölçülmüş ve gaz analizörüne ait yazılım (Omnia standalone, İtalya) ile işaretleme yapılarak testten önce (dinlenik), test sırasında ve testlerden sonraki (toparlanma) bölümlerine ait VO₂ değerleri ayrılmıştır. Dinlenik VO₂ için 10 dakika boyunca oturur pozisyonda ölçüm yapılmış ve testten hemen sonra toparlanma bölümünde de yine oturur pozisyonda 15 dakika boyunca VO₂ ölçülmüş ve sistemin yazılımına kayıt edilmiştir (48, 256).

3.3.5. Kalp Atım Hızının Belirlenmesi

KAH tüm testler boyunca gaz analizörü sistemiyle entegre çalışan telemetrik sistem ile kaydedilmiştir. TST sırasındaki en yüksek kalp atım hızına (KAH_{maks}) ait değerleri fizyolojik yanıt olarak kullanılmıştır.

3.3.6. Kan Laktat Düzeyinin Belirlenmesi

Her test öncesinde laktat striplerinin kalibrasyonu üretici firmanın yönergelerine uygun olarak 2 mmol.L⁻¹ düşük (ranj = 1.0-1,6 mmol.L⁻¹) ve 4 mmol.L⁻¹ yüksek (ranj = 4.0-5.4 mmol.L⁻¹) yoğunluklu standart laktik asit solüsyonları ile yapıldıktan sonra, katılımcıların tekrarlı sprint testleri öncesinde (LA_{dinlenik}) ve bisiklet ergometresinden indirildikten hemen sonra; 1., 3., 5., 7., ve 10. dakikalarda kan laktat konsantrasyonları ölçülmüştür. LA_{dinlenik} katılımcılar 20 dakika boyunca oturur pozisyonda dinlendirildikten sonra ölçülmüştür. TST sonrası yapılan tekrarlı ölçümler sonrasında elde edilen ölçüm sonuçlarından en yüksek laktik asit değeri maksimum laktat (LA_{maks}) olarak kabul edilmiş ve LA_{maks} değerleri fizyolojik yanıt olarak enerji sistemlerinin katkısının belirlenmesi için yapılan hesaplamalarda kullanılmıştır.

3.3.7. Algılanan Zorluk Derecesinin Belirlenmesi

Algılanan zorluk derecesi (AZD), TST protokollerin sonunda kaydedilen AZD değerleri fizyolojik yanıt olarak kullanılmıştır. VO_{2maks} testi ve TST'den sonra (yaklaşık 10 saniye) katılımcılara Borg skalası gösterilip (242), verilen cevaplar kaydedilmiştir.

3.3.8. Enerji Sistemlerinin Katkısının Hesaplanması

Tekrarlı sprint protokolleri sırasında enerji sistemlerinin katkısının hesaplanmasında katılımcıların vücut ağırlığı, laktik asit değerleri ve test öncesi, test sırası ve test sonrası elde edilen VO₂ değerleri kullanılmıştır. Sprint protokollerine aerobik sistemin katkısı; dinlenik ve egzersiz süreleri boyunca ölçülen VO₂ değerlerinden, alaktik sistemin katkısı; toparlanma sürecinde ölçülen VO₂ değerlerinden ve laktik sistemin katkısı; LA_{dinlenik} ve egzersiz sonrası LA_{maks} değerleri ve vücut ağırlığından hesaplanmıştır (49, 76, 77, 257-259). Enerji sistemlerinin katkısının hesaplanmasıyla ilgili tüm işlemler OriginPro 8.0 (OriginLab Corp., Northampton, USA) yazılım programı ile yapılmıştır.

Farklı TST protokollerinde, enerji sistemlerinin katkısına ait verilerin sunulmasında aşağıdaki terimler kullanılmıştır.

Toplam enerji harcaması (TEH): Aerobik, alaktik anaerobik ve laktik anaerobik sistemin katkısının toplanmasıyla hesaplanmış ve kJ cinsinden tablolarda sunulmuştur. Relatif enerji harcaması (REH): Her bir sprint protokolüne ait TEH değerleri aynı protokolün toplam egzersiz süresine bölünerek kJ.dk⁻¹ cinsinden sunulmuştur. Tekrarlı sprint protokolleri süresince O₂ talebi enerji üretmek için gereken toplam O₂ miktarını ifade etmektedir ve TEH değerinin 20.92'ye (1 LO₂ = 20.92 kJ) bölünmesiyle elde edilmiştir.

Alaktik Sistem Katkısı:

Alaktik sistem katkısı, TST protokolleri sonunda 15 dakika süreyle ölçülmeye devam edilen VO₂ değeri kullanılarak oluşturulan 'egzersiz sonrası fazladan oksijen tüketimi (ESFOT) kinetiği üzerinden hesaplanmıştır. ESFOT kinetiğinin hızlı bölümünde yapılan egzersiz nedeniyle boşalan fosfat depolarının yeniden sentezinin gerçekleştiği bilindiği için toparlanma oksijen kinetiğinin hızlı ve yavaş bölümlerini açıklayan mono eksponansiyel (üstel) modelle oluşturulmuştur (44, 76, 77).

Mono eksponansiyel modele ait hesaplama;

$$VO_2(t) = A_1 [e^{-(t - \delta) / t_1}] + VO_2 \text{ (dinlenik)}$$

$$\text{Alaktik katkı} = A_1 \cdot t_1$$

Modelde yer alan VO₂(t), t zamandaki oksijen tüketimini; VO₂ (dinlenik), dinlenik durumdaki oksijen tüketimini; A₁, genliği; δ, zaman gecikmesini ve t ise zaman sabitini, A₁ ve A₂ ise sırasıyla hızlı ve yavaş bileşenlere ait genliği ifade eder. Protokoller sonucunda modellerden elde edilen zaman sabiti O₂ genliğine ait değerler; 10x6sn protokolünde erkek katılımcılar için A₁ ve t₁ değerleri; t₁ = 62.95 ± 11.72 s; A₁ = 2210.42 ± 416.74; R² = 0.92 ± 0.02 ve kadın katılımcılar için A₁ ve t₁ değerleri; t₁ = 63.51 ± 11.7 s; A₁ = 1701.62 ± 274.91; R² = 0.93 ± 0.02'dir. 6x10sn protokolünde ise erkek katılımcılar için A₁ ve t₁ değerleri; t₁ = 54.95 ± 6.85 s; A₁ = 2443.75 ± 603.51; R² = 0.93 ± 0.02 ve kadın katılımcılar için A₁ ve t₁ değerleri t₁ = 62.26 ± 12.58s; A₁ = 1767.54 ± 279.82; R² = 0.93 ± 0.03'dür. Böylece A₁ ve t₁ değerleri çarpılarak ESFOT kinetiğinin hızlı safhasında gerçekleşen oksijen tüketimi hesaplanmış ve daha sonra kJ değerine dönüştürülmüştür. Protokollerin 30 sn dinlenme aralığında gerçekleşen alaktik sistemin katkısını (PCr-dinlenme) sprintler arasındaki, VO₂-zaman integralinin toplamı olduğu varsayılarak hesaplanmıştır (49, 164, 257, 259). Çünkü ardışık

sprintler arasındaki 30 saniyelik dinlenme periyodunun, esas olarak PCr depolarının yenilenmesine ayrıldığı bilinmektedir (22, 24, 25, 260).

Laktik Sistem Katkısı:

Sprint protokolleri öncesi $LA_{dinlenik}$ ve sonrası elde edilen LA_{maks} laktat değerleri ve “dinlenik durumun üstünde elde edilen her 1 mmol laktat değeri için vücut ağırlığı kilogramı başına 3 ml oksijen tüketilir” denkliği kullanılarak laktik anaerobik sistemin katkısı hesaplanmıştır (79). Laktik anaerobik sistem katkısı için aşağıdaki denklem kullanılmıştır:

$$\text{Laktik anaerobik sistem katkısı} = LA_{\Delta} \times VA \text{ (kg)} \times 3 \text{ (ml O}_2\text{)}$$

LA_{Δ} : Katılımcıların $LA_{dinlenik}$ ve LA_{maks} değerleri arasındaki farkı ifade eder.

Yukarıdaki denklemde laktik anaerobik sistemden gelen enerji katkısı ‘ml O₂’ cinsinden hesaplanmış ve litreye çevrildikten sonra 20,92 (1L O₂ = 20.92 kJ) ile çarpılarak kJ birimine dönüştürülmüştür (77, 78, 256).

Aerobik Sistem Katkısı:

Tekrarlı sprint protokollerinde aerobik sistem katkısının belirlenmesi için protokollerden önce 10 dakika süreyle oturur pozisyonda ölçülen VO₂'nin son 5 dakikasının ortalaması alınarak ‘dinlenik metabolik değer’ olarak kabul edilmiştir. Protokollerin başlama ve bitiş süreçleri arasında oluşan oksijen tüketimi eğrisi altında kalan alan geometrik yöntemler (trapez/yamuk alanı) ile hesaplanmış ve ‘egzersiz metabolik değeri’ olarak kabul edilmiştir. Egzersiz metabolik değeri ile dinlenik metabolik değer arasındaki fark, aerobik sistemden gelen enerji katkısı olarak aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır (48, 76, 77, 256).

$$\text{Aerobik Sistem Katkısı (kJ): (Egzersiz VO}_2\text{ - Dinlenik VO}_2\text{)} \times 20.92$$

3.4. Verilerin Analizi

Tanımlayıcı istatistik yöntemleri ile ortalama ve standart sapma değerleri hesaplandıktan sonra tüm değişkenlerin normal dağılıma uyumları Shapiro-Wilk Testi, küresellik varsayımına uyumu Mauchly's Testi ile kontrol edilmiştir. Küresellik varsayımı yerine gelmeyen değişkenlerde serbestlik derecesi için Epsilon (ϵ) < 0.75 ise Greenhouse-Geisser, ϵ > 0.75 ise Huynh-Feldt düzeltmesi uygulanmıştır (261).

Kadın ve erkek katılımcıların vücut kompozisyonu analizleri ve VO_{2maks} test sonuçlarına ait farklar Bağımsız Gruplarda *t*-testi ile belirlenmiş ve *t*-testindeki etki boyutu için Cohen's *d* istatistiği kullanılmıştır. Cohen's *d* ≤ 0.2 ise önemsiz, ≤ 0.6 ise küçük, ≤ 1.2 ise orta, ≤ 2.0 ise büyük, ≤ 4.0 ise çok büyük, > 4.0 ise mükemmel yakın bir etki boyutu olarak değerlendirilmiştir (262). Cinsiyet ve protokole göre performans değişkenleri, (relatif zirve güç, relatif ortalama güç ve performans düşüş yüzdeleri) fizyolojik yanıtlar ve her bir enerji sisteminin katkısı, toplam enerji harcaması, relatif enerji harcaması ve oksijen tüketim değerleri arasındaki farklar ise 2 x 2 (cinsiyet x protokol) Karışık Desen ANOVA ile test edilmiştir. Ayrıca her bir protokolde cinsiyet ve her bir enerji sisteminden sağlanan enerji miktarı arasındaki farklar da 2 x 3 (cinsiyet x enerji sistemi) Karışık Desen ANOVA ile test edilmiş ve farkın hangi enerji sisteminden kaynakladığının belirlenmesi için Bonferroni Çoklu Karşılaştırma Testi kullanılmıştır. Deneme etkisinin boyutu için, kısmi eta kare (η^2) hesaplanmıştır ($\eta^2 \leq 0,01$ küçük etki, $\eta^2 \leq 0,06$ orta etki ve $\eta^2 \leq 0,14$ büyük etki) (263). İstatistiksel işlemler istatistik paket programında (SPSS 25, ABD) yapılmış olup uygulanan tüm istatistiksel işlemlerde $p=0.05$ yanılma düzeyi kullanılmıştır.

4. BULGULAR

Aktif 16 erkek ve 14 kadın katılımcının farklı tekrarlı sprint protokollerinde, enerji sistemleri katkısının cinsiyete ve protokole göre incelenmesi amacıyla yapılan bu araştırmada elde edilen tanımlayıcı bulgular, performans ve fizyolojik yanıtlar, farklı tekrarlı sprint protokollerindeki çıktılara ait bulgular ile farklı tekrarlı sprint protokollerindeki enerji sistemleri katkısına ilişkin bulgular aşağıda verilmiştir. Enerji sistemlerinin katkısının analizinde her protokole ait fizyolojik veriler kullanılarak matematiksel yöntemlerden yararlanılmıştır.

4.1. Tanımlayıcı Bulgular

Kadın ve erkek katılımcının yaş, boy uzunluğu, vücut ağırlığı, beden kütle indeksi (BKİ), yağ kütlesi, yağsız kütle, vücut yağ yüzdesi, kas kütlesi ve antrenman yaşları verilerine ait ortalama ve standart sapma değerleri ve t-testi bulguları Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Kadın ve erkek katılımcıların tanımlayıcı istatistikleri

Değişkenler	Erkek (n=16)		Kadın (n=14)		t	p	EB
	Ort.	ss	Ort.	ss			
Yaş (yıl)	22,06	2,20	22,22	2,72	-0,178	0,860	0,06
AntrenmanYaşı (yıl)	7,06	1,61	7,00	1,30	0,116	0,909	0,04
Boy Uzunluğu (cm)	182,60	3,40	169,82	2,30	4,328	0,000	4,40
Vücut Ağırlığı (kg)	77,98	11,57	60,16	5,50	5,259	0,000	1,97
Yağ %	11,41	5,02	20,19	4,45	-5,035	0,000	1,85
Yağ Kütlesi (kg)	9,27	5,10	12,20	3,15	-1,861	0,073	0,69
Yağsız Kütle (kg)	68,71	8,18	47,96	4,49	8,434	0,000	3,14
Kas Kütlesi (kg)	65,31	7,81	45,53	4,27	8,426	0,000	3,14
BKİ (kg/m ²)	23,38	2,34	20,86	1,96	3,156	0,004	1,16

BKİ: Beden Kütle İndeksi, Ort: Ortalama, ss: standart sapma, EB: Etki Boyutu.

Tablo 4.1’de görüldüğü üzere kadın ve erkek katılımcıların sırasıyla yaşlarının ($t_{(28)} = -0,178$; $p=0,860$), yağ kütlelerinin ($t_{(28)} = -1,861$; $p=0,073$) ve antrenman yaşlarının benzer olduğu görülmektedir ($t_{(28)} = 0,116$; $p=0,909$). Ayrıca yine Tablo 4.1 incelendiğinde kadın katılımcıların erkek katılımcılara oranla daha düşük vücut ağırlığına sahip olduğu ($t_{(28)} = 5,259$; $p=0,000$), erkek katılımcılara oranla boylarının daha kısa olduğu ($t_{(28)} = 4,328$; $p=0,000$) ve erkek katılımcılardan daha yüksek yağ yüzdesi değerlerine sahip oldukları da görülmektedir ($t_{(28)} = -5,035$; $p=0,000$). Kas kütlesi ($t_{(28)} = 8,426$; $p=0,000$), yağsız kütle ($t_{(28)} = 8,434$; $p=0,000$) ve BKİ ($t_{(28)} = 3,156$; $p=0,004$) değerlerinde de erkek katılımcıların kadın katılımcılardan istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir.

4.2. Kadın ve Erkek Katılımcıların Maksimal Oksijen Tüketimi Değerlerine Ait Bulgular

Kadın ve erkek katılımcıların VO_{2maks} testine ait fizyolojik verilere ve test esnasında ulaştıkları maksimal yük değerlerine ait tanımlayıcı bulgular ile t -testi bulguları Tablo 4.2’de verilmiştir

Tablo 4.2. Kadın ve erkek katılımcıların VO_{2maks} test sonucuna ait istatistikleri

Maks VO_2 Testi Fizyolojik Yanıtlar	Erkek (n=16)		Kadın (n=14)		t	p	EB
	Ort.	ss	Ort.	ss			
VO_2 (L/dk)	3,24	0,417	2,46	0,216	5,668	0,000	2,26
VO_2 (mL/dk/kg)	41,9	4,93	41,16	4,1	0,448	0,657	0,16
KAH_{zirve} (atım.dk ⁻¹)	187,59	2,51	179,89	2,67	8,143	0,000	2,97
Maks Yük (watt)	252,5	31,73	219,64	20,04	3,333	0,002	1,23
AZD	16	0,9	17,1	0,7	-5,886	0,000	1,22

KAH_{zirve} (atım.dk⁻¹):Katılımcıların test esnasında ulaştığı en yüksek kalp atım hızı, Maks Yük (W): Katılımcının test esnasında ulaştığı en yüksek direnç, AZD: Algılanan Zorluk Derecesi, EB: Etki Boyutu.

Tablo 4.2’de kadın ve erkek katılımcıların aerobik dayanıklılık düzeylerini belirlemeye yönelik yapılan VO_{2maks} testi sonuçları verilmiştir. Erkek katılımcıların

mutlak VO_{2maks} değerleri kadın katılımcılara oranla istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde daha yüksektir ($t_{(28)} = 5,668$; $p=0,000$; $EB=2,26$). Relatif VO_{2maks} değerlerinde ise bu farkın ortadan kalktığı ve kadın ve erkek katılımcıların benzer olduğu görülmüştür ($t_{(28)} = 0,448$; $p=0,657$; $EB=0,16$). Benzer şekilde katılımcıların VO_{2maks} testi sırasındaki KAH_{zirve} ($t_{(28)} = 8,143$; $p=0,000$; $EB=2,97$), maksimal yük ($t_{(28)} = 0,3333$; $p=0,002$; $EB=1,23$) ve AZD ($t_{(28)} = -5,886$; $p=0,000$; $EB=1,22$) değerleri istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde farklılık göstermektedir. Erkek katılımcılar kadın katılımcılardan daha yüksek KAH_{zirve} ve maksimal yük değerlerine ulaşırken, kadın katılımcıların AZD değerleri erkek katılımcılardan daha yüksektir.

4.3. Kadın ve Erkek Katılımcıların Tekrarlı Sprint Protokollerine Ait Performans Bulguları

Kadın ve erkek katılımcıların 10x6sn ve 6x10 sn tekrarlı sprint protokollerine ait relatif zirve güç (ZG_{REL}) değerleri, ortalama relatif güç (OG_{REL}) ve performans düşüş yüzdeleri ($PD\%$) Tablo 4.3'te, bu değerlere ait tekrarlı ölçümlerde ANOVA sonuçları ise Tablo 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4.3. Kadın ve erkek katılımcıların 10x6sn ve 6x10 sn tekrarlı sprint protokolüne ait ZG_{REL} , OG_{REL} ve $PD\%$ verileri

Performans Değişkenleri	10x6 Saniye Protokolü				6x10 Saniye Protokolü			
	Erkek (n=16)		Kadın (n=14)		Erkek (n=16)		Kadın (n=14)	
	Ort.	ss	Ort.	ss	Ort.	ss	Ort.	ss
ZG_{REL} [W/kg]	14,84	1,14	11,29	1,40	14,86	1,39	11,22	1,22
OG_{REL} [W/kg]	10,61	0,83	8,80	1,16	9,31	0,68	7,92	1,20
PD [%]	30,84	5,88	27,70	5,37	41,74	8,59	40,70	7,09

Tablo 4.3'te erkek katılımcıların 10x6sn ve 6x10sn tekrarlı sprint protokolüne ait ZG_{REL} değerleri sırasıyla 14,84 ve 14,86 W/kg'dır. Kadın katılımcıların ZG_{REL} değerleri ise sırasıyla 11,29 ve 11,22 W/kg'dır. Katılımcıların her iki protokoldeki ilk sprintte ulaştıkları güç değerleri, hem en yüksek gücü hem de ZG_{REL} temsil etmektedir. Erkek katılımcıların 10x6sn ve 6x10sn tekrarlı sprint protokollerine ait OG_{REL} değerleri sırasıyla 10,61 ve 9,31 W/kg iken, kadın katılımcıların OG_{REL} değerleri sırasıyla 8,80 ve 7,92 W/kg'dır. $PD\%$ değerlerine bakıldığında ise erkek

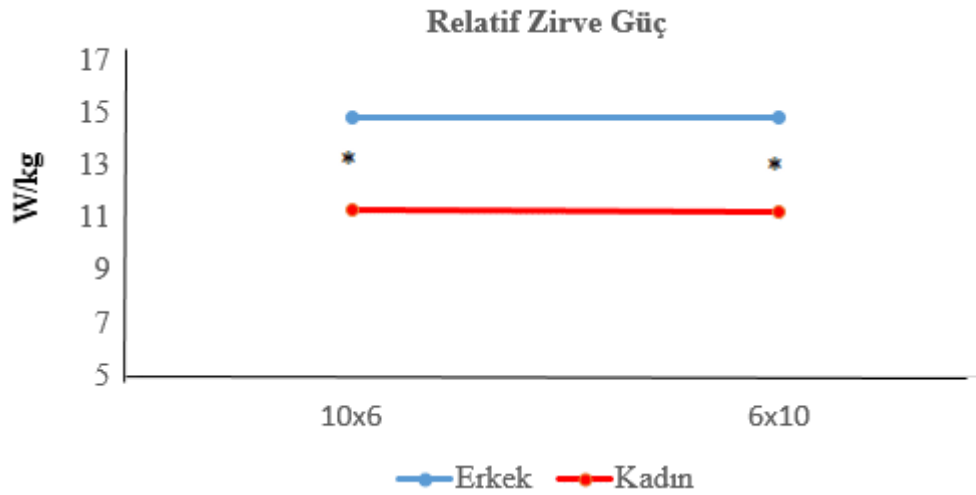
katılımcıların 10x6 sn ve 6x10sn tekrarlı sprint protokollerine ait PD % değerlerinin sırasıyla % 30,84 ve 41,74 olduğu, kadın katılımcılarda ise bu değerlerin sırasıyla % 27,70 ve 40,70 olduğu görülmektedir.

Kadın ve erkek katılımcıların 10x6sn ve 6x10sn tekrarlı sprint protokollerindeki performans değişkenlerine ait tekrarlı ölçümlerde ANOVA sonuçları Tablo 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4.4. Kadın ve erkek katılımcıların 10x6sn ve 6x10sn tekrarlı sprint protokollerindeki ZG_{REL} , OG_{REL} ve PD% değerlerine ait ANOVA sonuçları

	F	p	Kısmi η^2
ZG_{REL} [W/kg]			
Cinsiyet	67,192	0,000	0,706
Protokol	0,017	0,897	0,001
Cinsiyet x Protokol	0,056	0,814	0,002
OG_{REL} [W/kg]			
Cinsiyet	20,622	0,000	0,424
Protokol	265,686	0,000	0,905
Cinsiyet x Protokol	9,443	0,005	0,252
PD [%]			
Cinsiyet	0,872	0,358	0,030
Protokol	104,703	0,000	0,789
Cinsiyet x Protokol	0,806	0,377	0,028

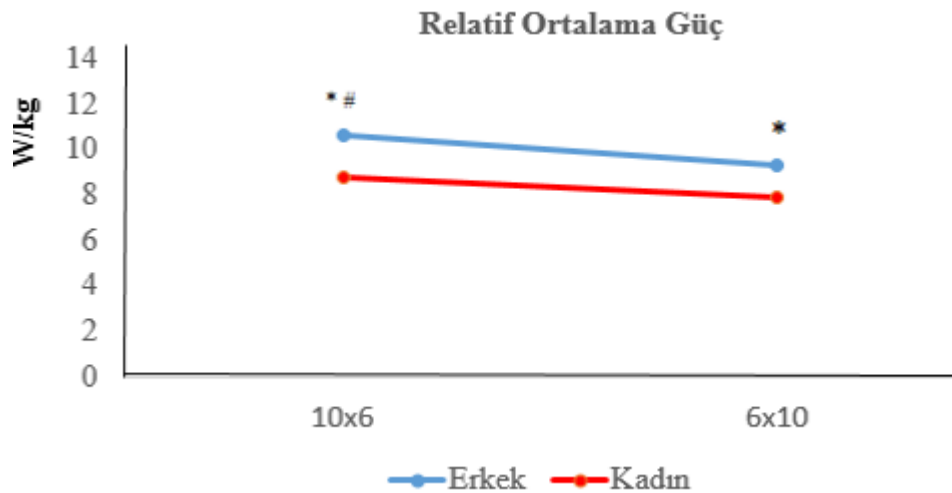
Kadın ve erkek katılımcıların 10x6sn ve 6x10sn tekrarlı sprint protokollerinde ZG_{REL} değerlerine cinsiyet ($F_{(1;28)}=67,192$; $p=0,000$; $\eta^2=0,706$) etkisinin anlamlı olduğu görülürken, protokol ($F_{(1;28)}=0,017$; $p=0,897$; $\eta^2=0,001$) etkisi ve cinsiyet x protokol ($F_{(1;28)}=0,056$; $p=0,814$; $\eta^2=0,002$) etkileşimin ise anlamlı olmadığı görülmüştür (Tablo 4.4). Erkek katılımcıların kadın katılımcılardan daha yüksek ZG_{REL} değerlerine sahip olduğu görülmüştür (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Kadın ve erkek katılımcıların farklı TST’de ZG_{REL} değerleri

* Erkek katılımcıların ZG_{REL} değerleri kadın katılımcılara göre anlamlı derecede yüksek ($p < 0.05$)

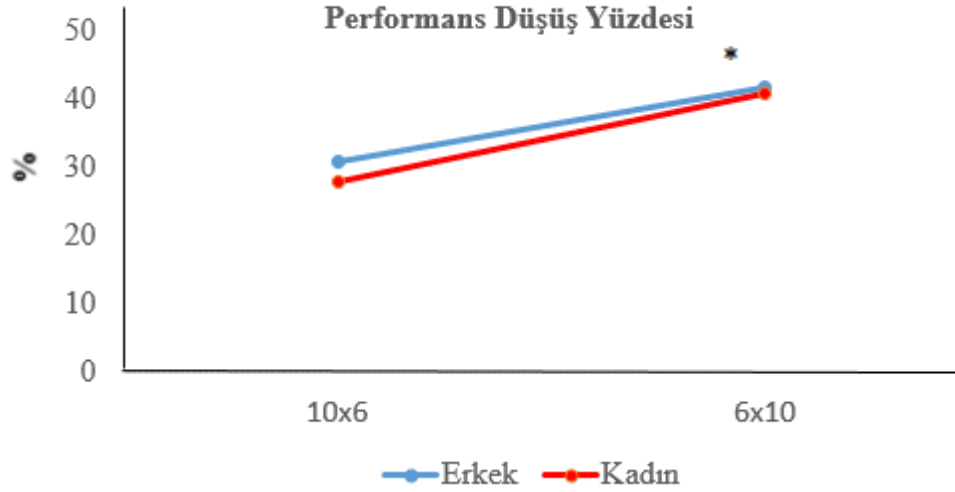
OG_{REL} değerlerinde cinsiyet ($F_{(1;28)}=20,622$; $p=0,000$; $\eta^2=0,424$) ve protokol ($F_{(1;28)}=265,686$; $p=0,000$; $\eta^2=0,905$) etkisi ile cinsiyet x protokol ($F_{(1;28)}=9,443$; $p=0,005$; $\eta^2=0,252$) etkileşimi anlamlıdır. Erkek katılımcıların OG_{REL} değerleri kadın katılımcılardan daha yüksektir (Şekil 4.2). Benzer şekilde 10x6sn protokolündeki OG_{REL} değerleri 6x10sn protokolüne göre istatistiksel olarak daha yüksektir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Kadın ve erkek katılımcıların tekrarlı sprint protokollerine OG_{REL} değerleri

* Erkek katılımcıların OG_{REL} değerleri her iki protokolde de kadın katılımcıların göre anlamlı derecede yüksek ($p < 0.05$) # OG_{REL} değerleri 10x6sn protokolünde 6x10sn protokolüne göre anlamlı derecede yüksek ($p < 0.05$)

PD% değerlerinde bakıldığında ise cinsiyet ($F_{(1;28)}=0,872$; $p=0,358$; $\eta^2=0,030$) etkisi ile cinsiyet x protokol ($F_{(1;28)}=0,806$; $p=0,377$; $\eta^2=0,028$) etkileşiminin anlamlı olmadığı görülürken, protokol etkisinin ($F_{(1;28)}=104,703$; $p=0,000$; $\eta^2=0,789$) anlamlı olduğu görülmüştür. 6x10sn protokolündeki PD% değerleri 10x6sn protokolünden anlamlı derecede yüksektir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Kadın ve erkek katılımcıların tekrarlı sprint protokollerine Ait PD% değerleri

* Erkek ve kadın katılımcıların 6x10sn protokolündeki PD% 10x6sn protokolüne göre anlamlı derecede yüksek ($p < 0.05$)

4.4. Kadın ve Erkek Katılımcıların Tekrarlı Sprint Protokollerine Ait Fizyolojik Yanıtları

Kadın ve erkek katılımcılar 10x6sn ve 6x10sn tekrarlı sprint protokollerine ait KAH_{maks} , LA_{maks} ve AZD değerleri Tablo 4.5'te verilirken, bu fizyolojik değerlere ait ANOVA sonuçları Tablo 4.6'da verilmiştir.

Tablo 4.5. Kadın ve erkek katılımcılar 10x6 ve 6x10 saniye tekrarlı sprint protokollerine ait fizyolojik yanıtlar

Fizyolojik Yanıtlar	Erkek (n=16)		Kadın (n=14)	
	Ort.	ss	Ort.	ss
10x6sn KAH _{maks} (atım.dk ⁻¹)	162,54	15,82	163,06	18,67
6x10sn KAH _{maks} (atım.dk ⁻¹)	166,01	10,39	164,91	9,14
10x6sn La _{maks} (mmol.L ⁻¹)	12,18	2,83	10,02	1,94
6x10sn La _{maks} (mmol.L ⁻¹)	13,16	2,33	12,05	2,93
10x6sn AZD	13,38	1,20	15,14	0,95
6x10sn AZD	16,00	1,10	17,64	0,50

KAH (atım.dk⁻¹):Kalp Atım Hızı, AZD:Algılanan Zorluk Derecesi,
La_{maks} (mmol.L⁻¹): Maks Laktat

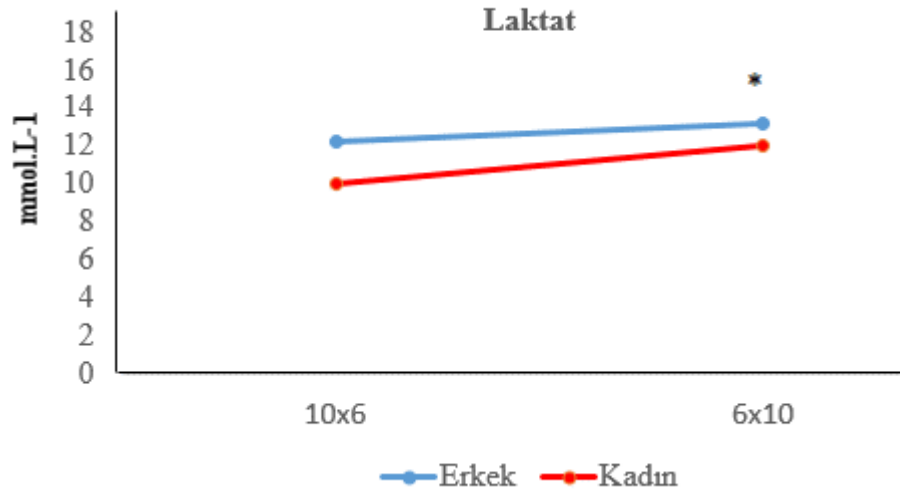
Kadın ve erkek katılımcılar 10x6sn ve 6x10sn tekrarlı sprint protokollerindeki KAH_{maks} değerleri 10x6 sn protokolünde sırasıyla 162,54±15,82 atım.dk⁻¹ ve 162,54±15,82 atım.dk⁻¹, 6x10sn protokolünde ise sırasıyla 166,01±10,39 atım.dk⁻¹ ve 164,91±9,14 atım.dk⁻¹ olarak ölçülmüştür. LA_{maks} değerleri 10x6sn protokolünde sırasıyla 12,18±2,83 mmol.L⁻¹ ve 10,02±1,95 mmol.L⁻¹, 6x10sn protokolünde ise sırasıyla 13,16±2,33 mmol.L⁻¹ ve 12,05±2,93 mmol.L⁻¹ olarak belirlenmiştir AZD değerleri ise 10x6sn protokolünde sırasıyla 13,38±1,20 ve 15,14±0,95 ve 6x10sn protokolünde ise 16±1,10 ve 17,64±0,50 olarak ölçülmüştür.

Tablo 4.6. Kadın ve erkek katılımcılar 10x6sn ve 6x10 sn tekrarlı sprint protokolüne ait fizyolojik yanıtlara ilişkin tekrarlı ölçümlerde ANOVA sonuçları

	F	p	Kısmi η^2
KAH_{maks}			
Cinsiyet	0,005	0,943	0,000
Protokol	0,683	0,415	0,024
Cinsiyet x Protokol	0,620	0,805	0,020
LA_{maks}			
Cinsiyet	3,768	0,062	0,119
Protokol	14,558	0,001	0,342
Cinsiyet x Protokol	1,763	0,195	0,059
AZD			
Cinsiyet	26,405	0,000	0,485
Protokol	318,334	0,000	0,919
Cinsiyet x Protokol	0,188	0,667	0,007

10x6sn ve 6x10sn tekrarlı sprint protokollerine verilen fizyolojik yanıtlar incelendiğinde KAH_{maks} değerlerinde cinsiyet ($F_{(1;28)}=0,005$; $p=0,943$; $\eta^2=0,000$) etkisi, protokol ($F_{(1;28)}=0,683$; $p=0,415$; $\eta^2=0,024$) etkisi ve cinsiyet x protokol ($F_{(1;28)}=0,620$; $p=0,805$; $\eta^2=0,020$) etkileşiminin anlamlı olmadığı görülmüştür.

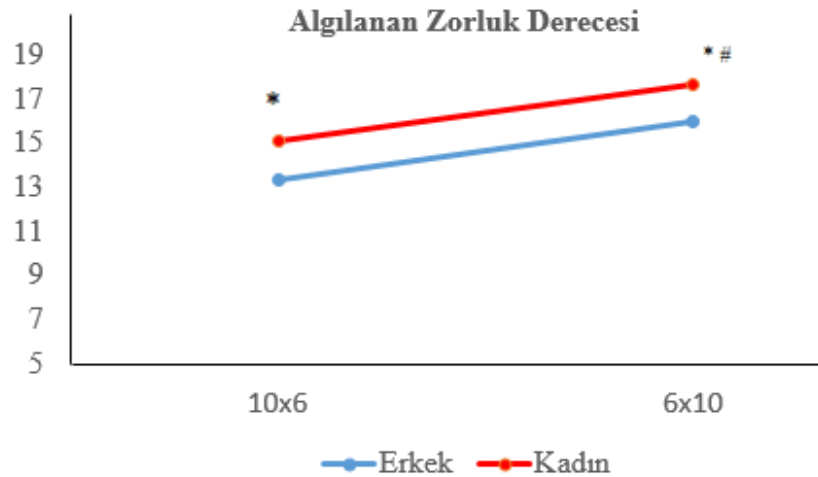
LA_{maks} değerlerinde cinsiyet ($F_{(1;28)}=3,768$; $p=0,062$; $\eta^2=0,119$) etkisinin ve cinsiyet x protokol ($F_{(1;28)}=1,763$; $p=0,195$; $\eta^2=0,059$) etkileşimi anlamlı değilken, protokol ($F_{(1;28)}=14,558$; $p=0,001$; $\eta^2=0,342$) etkisi anlamlıdır. 6x10sn protokolündeki LA_{maks} değerleri 10x6sn protokolünden anlamlı derecede yüksektir (Şekil 4.4)



Şekil 4.4. Kadın ve erkek katılımcıların tekrarlı sprint protokollerine LA_{maks} değerleri

* Erkek ve kadın katılımcıların 6x10sn protokolündeki LA_{maks} 10x6sn protokolüne göre anlamlı derecede yüksek ($p < 0.05$)

AZD değerlerinde ise cinsiyet ($F_{(1;28)}=26,405$; $p=0,000$; $\eta^2=0,485$) ve protokol ($F_{(1;28)}=318,334$; $p=0,000$; $\eta^2=0,919$) etkisinin anlamlı olduğu görülürken, cinsiyet x protokol ($F_{(1;28)}=26,405$; $p=0,000$; $\eta^2=0,485$) etkileşiminin anlamlı olmadığı görülmüştür. Kadın katılımcıların AZD değerleri erkek katılımcılardan her iki protokolde de anlamlı derecede yüksektir ($p < 0.05$) (Şekil 4.5)



Şekil 4.5. Kadın ve erkek katılımcıların tekrarlı sprint protokollerine AZD değerleri

* Kadın katılımcıların AZD değerleri anlamlı derecede daha yüksek ($p < 0.05$)

6x10sn protokolündeki AZD değerleri 10x6sn protokolüne göre daha yüksek ($p < 0.05$)

4.5. Kadın ve Erkek Katılımcıların Tekrarlı Sprint Protokollerinde Enerji Sistemlerin Katkısına İlişkin Bulgular

Kadın ve erkek katılımcıların 10x6sn ve 6x10sn tekrarlı sprint protokollerine ait enerji sistemlerinin yüzdesel katkısı, enerji üretimleri, TEH ve REH Tablo 4.7’de verilmiştir. Bu değerlere ait ANOVA sonuçları Tablo 4.8 ve Tablo 4.9’ da verilmiştir

Tablo 4.7. Kadın ve erkek katılımcıların 10x6sn ve 6x10 saniye tekrarlı sprint protokollerinde enerji sistemlerinin katkısı, enerji üretimi, TEH ve REH değerleri

Enerji Sistemleri	10x6 Saniye Protokolü				6x10 Saniye Protokolü			
	Erkek (n=16)		Kadın (n=14)		Erkek (n=16)		Kadın (n=14)	
	Ort.	ss	Ort.	ss	Ort.	ss	Ort.	ss
Aerobik katkı (%)	4,67	2,94	3,70	2,74	7,31	3,02	9,13	3,03
Alaktik katkı (%)	77,36	4,66	82,26	2,74	67,89	3,67	69,39	3,11
Laktik katkı (%)	17,97	4,80	14,03	2,71	24,80	4,64	21,49	3,78
Aerobik enerji üretim hızı (kJ.dk ⁻¹)	15,83	12,73	9,08	7,46	18,35	10,12	17,18	6,38
Alaktik enerji üretim hızı (kJ.dk ⁻¹)	243,09	54,57	192,55	25,06	163,94	30,30	128,94	17,44
Laktik enerji üretim hızı (kJ.dk ⁻¹)	54,23	9,53	32,85	7,72	59,27	11,38	40,44	10,95
TEH (kJ)	313,16	64,91	234,47	32,74	241,56	43,30	186,55	29,22
REH (kJ.dk ⁻¹)	56,94	11,80	42,63	5,95	69,02	12,37	53,30	8,35

TEH: Toplam Enerji Harcaması, REH: Relatif enerji Harcaması

10x6sn ve 6x10sn tekrarlı sprint protokollerine ait kadın ve erkek katılımcılarda enerji sistemlerinin yüzdesel katkıları ve enerji üretim değerlerinde alaktik sistemden gelen katkının her iki protokolde de baskın enerji sistemi olduğu görülmektedir. 10x6sn protokolüne kıyasla 6x10sn protokolünde hem kadın hem erkek katılımcılarda sprint tekrar sayısının azaldığı, sprint süresinin uzadığı, alaktik sistemden gelen katkının azaldığı, laktik sistem ve aerobik sistemden gelen katkının

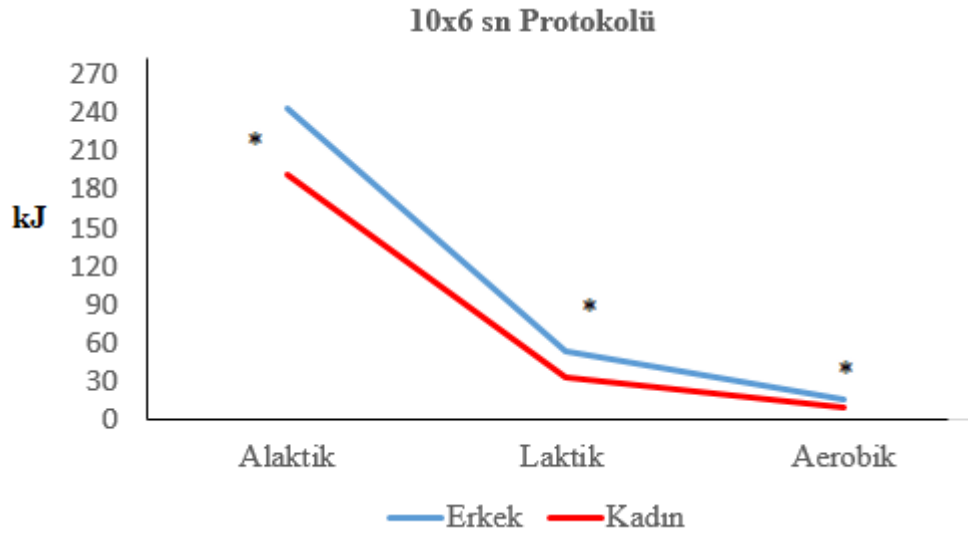
arttığı görülmektedir. Kadın ve erkek katılımcıların 10x6sn protokolünde, 6x10sn protokolüne göre; toplam enerji harcaması değerleri daha yüksektir. Relatif enerji harcaması değerleri ise 6x10sn protokolünde daha yüksektir.

Tablo 4.8. Her bir protokolde cinsiyete ve enerji sistemine göre kJ olarak sağlanan enerji miktarlarına ait ANOVA sonuçları

	F	p	Kısmi η^2
10x6sn			
Enerji Sistemleri	634,236	0,000	0,958
Cinsiyet	16,782	0,000	0,375
Enerji Sistemleri x Cinsiyet	6,409	0,003	0,186
6x10sn			
Enerji Sistemleri	734,648	0,000	0,963
Cinsiyet	16,129	0,000	0,365
Enerji Sistemleri x Cinsiyet	11,718	0,000	0,295

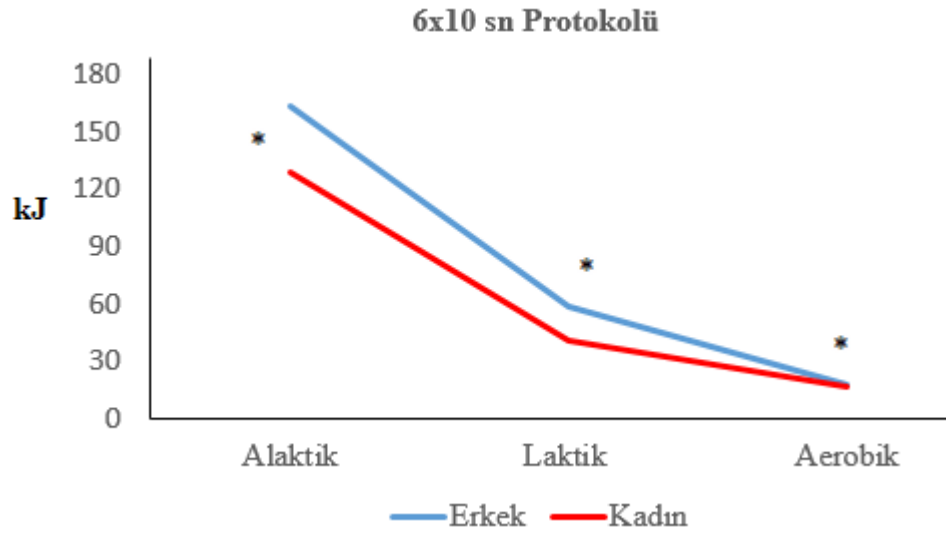
Her bir protokolde cinsiyete ve enerji sistemine göre kJ olarak sağlanan enerji miktarlarına ait ANOVA sonuçları Tablo 4.8'da gösterilmiştir. 10x6sn protokolünde, cinsiyet ($F_{(1;28)}=16,782$; $p=0,000$; $\eta^2=0,375$) etkisi, enerji sistemleri ($F_{(2;56)}=632,236$; $p=0,000$; $\eta^2=0,958$) etkisi ve cinsiyet x enerji sistemleri ($F_{(2;56)}=6,409$; $p=0,003$; $\eta^2=0,186$) etkileşimin anlamlı olduğu görülmektedir. 6x10sn protokolünde ise; cinsiyet ($F_{(1;28)}=16,129$; $p=0,000$; $\eta^2=0,365$) etkisi, enerji sistemleri ($F_{(2;56)}=734,648$; $p=0,000$; $\eta^2=0,963$) etkisi ve cinsiyet x enerji sistemleri ($F_{(2;56)}=11,718$; $p=0,000$; $\eta^2=0,295$) etkileşimin anlamlı olduğu görülmektedir.

TST protokolünde enerji harcamasının(maliyetinin) erkeklerde kadınlardan anlamlı derecede yüksek olduğu görülmüştür. Benzer şekilde her bir protokolde enerji sistemlerinden sağlanan enerji miktarları da anlamlı derecede farklıdır (Tablo 4.8). Alaktik sistemden sağlanan enerji diğer iki sistemden ($p = 0,000$), laktik sistemden sağlanan da aerobik sistemden ($p =0,000$) daha yüksektir. Ek olarak her bir protokolde de cinsiyet x enerji sistemleri etkileşiminin anlamlı olması (Şekil 4.6- Şekil 4.7), enerji sistemlerinden sağlanan enerji miktarlarının cinsiyete göre değişken olduğunu gösterir.



Şekil 4.6. 10x6sn protokolündeki enerji sistemlerin katkısı (kJ)

* Erkek katılımcıların değerleri kadın katılımcıların değerlerinden anlamlı derecede daha yüksek ($p < 0.05$)



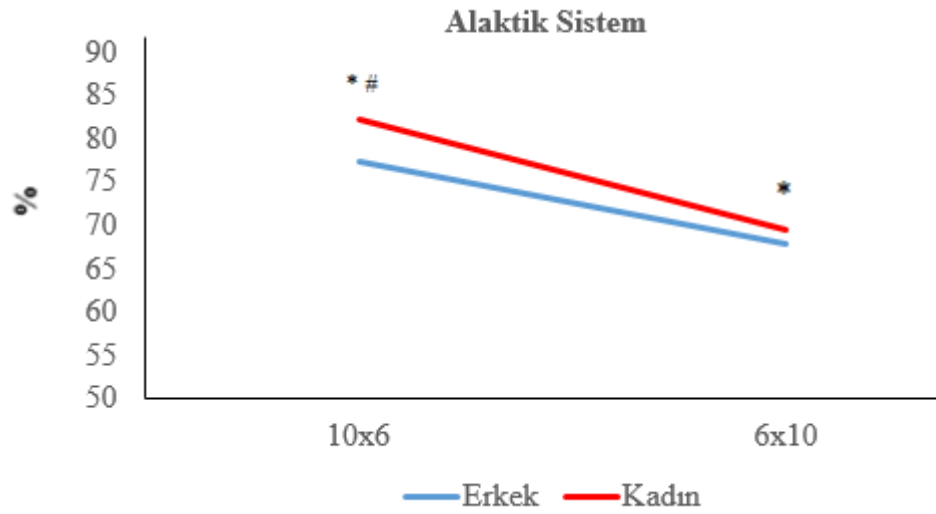
Şekil 4.7. 6x10sn protokolündeki enerji sistemlerin katkısı (kJ)

* Erkek katılımcıların değerleri kadın katılımcıların değerlerinden anlamlı derecede daha yüksek ($p < 0.05$)

Tablo 4.9. Tekrarlı sprint protokollerinde cinsiyet ve protokole göre alaktik, laktik ve aerobik enerji sistemlerinin yüzde katkılarına ait ANOVA sonuçları

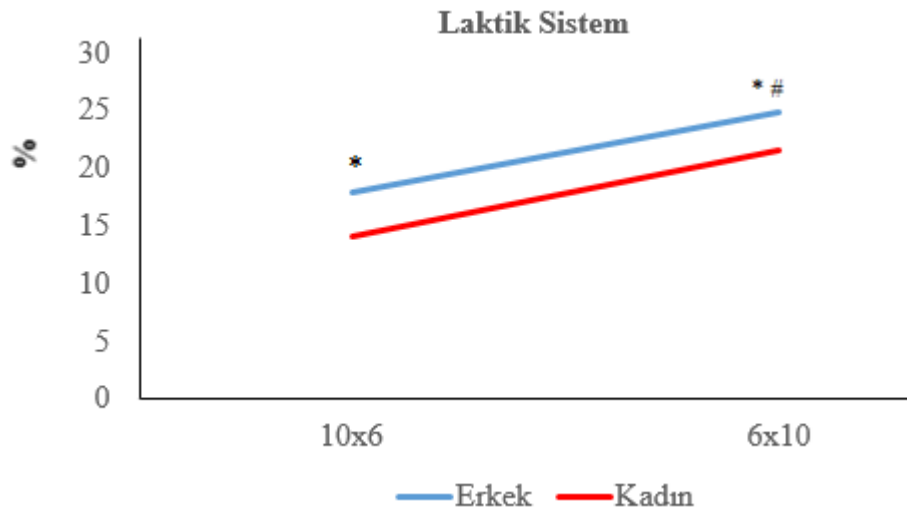
	F	p	Kısmi η^2
Alaktik Sistem (%)			
Cinsiyet	152,789	0,008	0,227
Protokol	225,215	0,000	0,889
Cinsiyet x Protokol	43,224	0,030	0,157
Laktik Sistem (%)			
Cinsiyet	7,230	0,012	0,205
Protokol	762,407	0,000	0,801
Cinsiyet x Protokol	0,212	0,649	0,008
Aerobik Sistem (%)			
Cinsiyet	0,238	0,629	0,008
Protokol	40,907	0,000	0,594
Cinsiyet x Protokol	4,874	0,036	0,148

Tablo 4.9’da görüldüğü üzere tekrarlı sprint protokollerinde alaktik enerji sistemi katkısında cinsiyet ($F_{(1;28)}=152,789$; $p=0,008$; $\eta^2=0,227$) etkisi, protokol ($F_{(1;28)}=225,215$; $p=0,000$; $\eta^2=0,889$) etkisi ve cinsiyet x protokol ($F_{(1;28)}=43,224$; $p=0,030$; $\eta^2=0,157$) etkileşimin anlamlı olduğu görülmektedir(Şekil4.8). Laktik enerji sistemi katkısında cinsiyet ($F_{(1;28)}=7,230$; $p=0,012$; $\eta^2=0,205$) etkisinin ve protokol ($F_{(1;28)}=762,215$; $p=0,000$; $\eta^2=0,801$) etkisinin anlamlı olduğu görülürken, cinsiyet x protokol ($F_{(1;28)}=0,212$; $p=0,649$; $\eta^2=0,008$) etkileşimin anlamlı olmadığı görülmektedir(Şekil4.9). Aerobik enerji sistemi katkısında ise cinsiyet etkisinin ($F_{(1;28)}=0,238$; $p=0,629$; $\eta^2=0,008$) anlamlı olmadığı görülürken, protokol ($F_{(1;28)}=40,907$; $p=0,000$; $\eta^2=0,594$) etkisi ve cinsiyet x protokol ($F_{(1;28)}=4,874$; $p=0,036$; $\eta^2=0,148$) etkileşimin anlamlı olduğu görülmüştür(Şekil4.10).



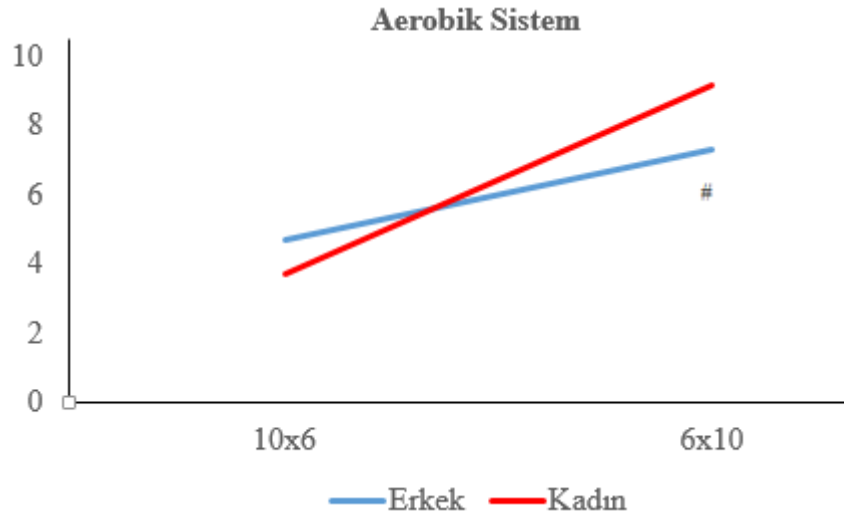
Şekil 4.8. Kadın ve erkek katılımcıların tekrarlı sprint protokollerinde alaktik sistem katkısı

* Kadın katılımcıların Alaktik sistem katkısı her iki protokolde de erkek katılımcılara göre anlamlı derecede yüksek ($p < 0.05$) # Alaktik sistem katkısı 10x6sn protokolünde 6x10sn protokolüne göre anlamlı derecede yüksek ($p < 0.05$)



Şekil 4.9. Kadın ve erkek katılımcıların tekrarlı sprint protokollerinde laktik sistem katkısı

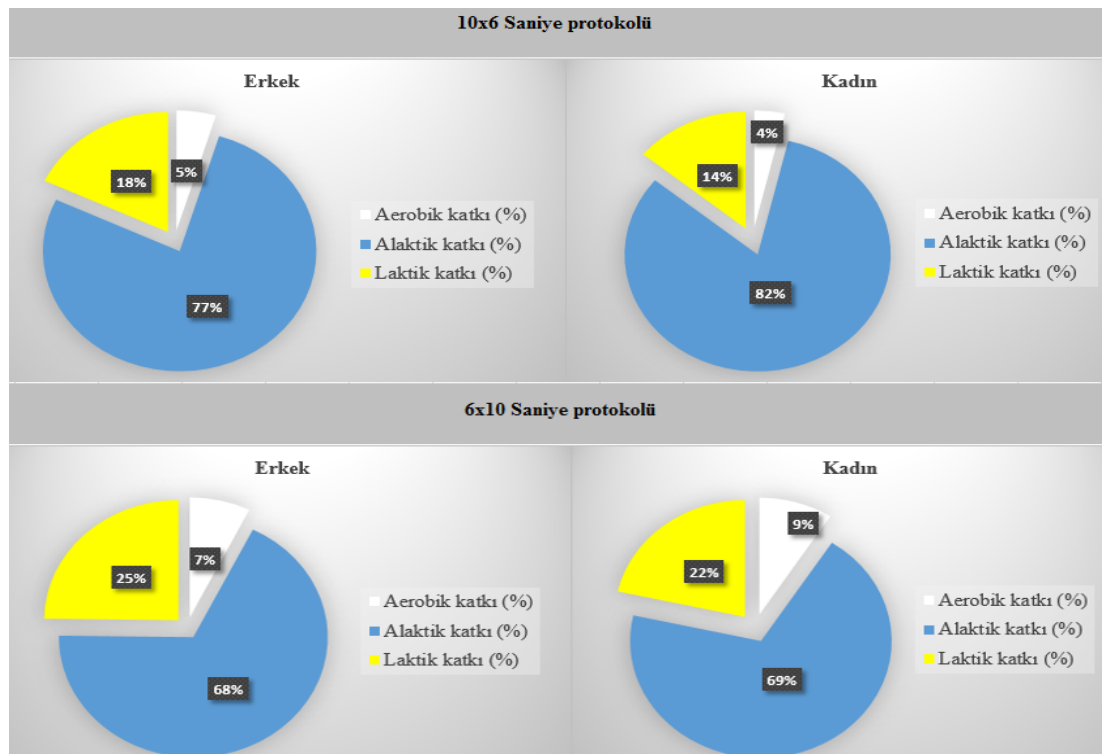
* Erkek katılımcıların Laktik sistem katkısı her iki protokolde de kadın katılımcılara göre anlamlı derecede yüksek ($p < 0.05$) # Laktik sistem katkısı 6x10sn protokolünde 10x6sn protokolüne göre anlamlı derecede yüksek ($p < 0.05$)



Şekil 4.10. Kadın ve erkek katılımcıların tekrarlı sprint protokollerinde aerobik sistem katkısı

6x10sn protokolündeki aerobik sistem katkısı 10x6sn protokolüne göre daha yüksek($p < 0.05$)

Kadın ve erkek katılımcıların tekrarlı sprint protokollerine ait enerji sistemlerinin yüzdesel katkıları Şekil 4.11’da gösterilmiştir.



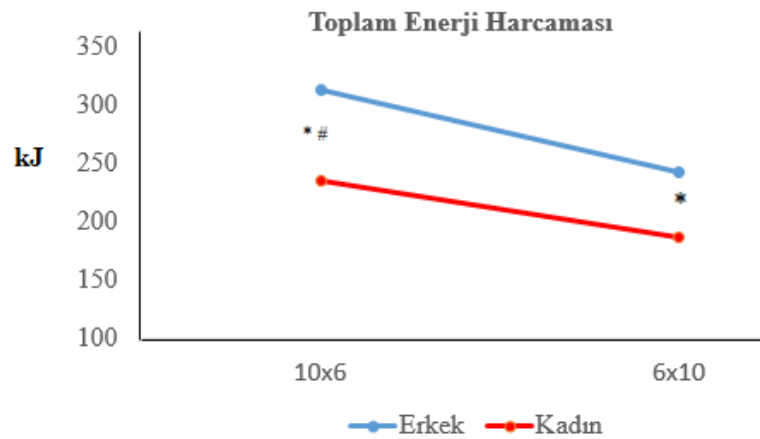
Şekil 4.11. Kadın ve erkek katılımcılarda tekrarlı sprint protokollerinde enerji sistemlerinin yüzdesel katkıları

Tablo 4.10. Kadın ve erkek katılımcıların 10x6 ve 6x10 saniye tekrarlı sprint protokollerinde TEH(kJ) ve REH (kJ.dk⁻¹) değerlerine ait ANOVA sonuçları

	F	p	Kısmi η^2
TEH(kJ)			
Cinsiyet	19,802	0,000	0,414
Protokol	67,878	0,000	0,708
Cinsiyet x Protokol	2,664	0,114	0,087
REH(kJ.dk⁻¹)			
Cinsiyet	19,815	0,000	0,414
Protokol	54,298	0,000	0,660
Cinsiyet x Protokol	0,209	0,651	0,007

TEH: toplam enerji harcaması, REH: relatif enerji harcaması,

Tablo 4.10’da görüldüğü üzere 10x6 ve 6x10sn tekrarlı sprint protokollerinde toplam enerji üretimi (kJ) üzerine cinsiyet ($F_{(1;28)}=19,802$; $p=0,000$; $\eta^2=0,414$) etkisinin ve protokol ($F_{(1;28)}=67,878$; $p=0,000$; $\eta^2=0,708$) etkisinin anlamlı olduğu görülürken, cinsiyet x protokol ($F_{(1;28)}=2,664$; $p=0,114$; $\eta^2=0,087$) etkileşimin anlamlı olmadığı görülmektedir. Cinsiyet ve protokol göre erkek katılımcıların TEH değerleri anlamlı derecede daha yüksektir($p<0,05$). (Şekil 4.12) Benzer şekilde 10x6sn protokolündeki TEH değerleri 6x10sn protokolüne göre istatistiksel olarak daha yüksektir($p<0,05$). (Şekil 4.12).

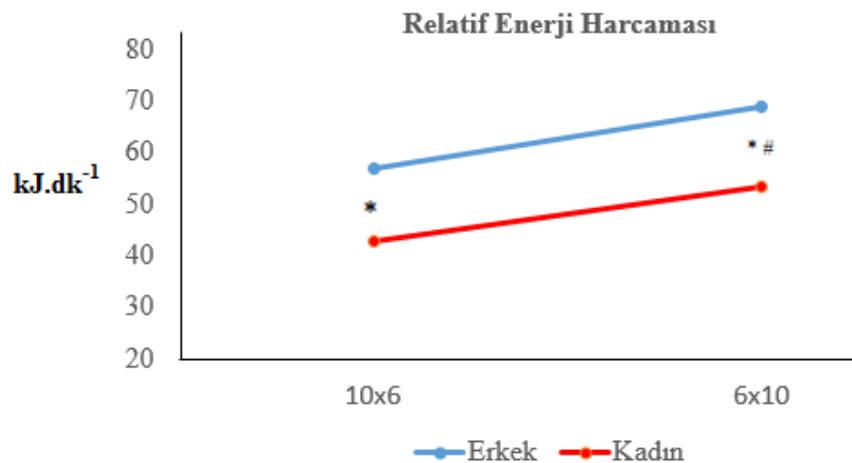


Şekil 4.12. Kadın ve erkek katılımcıların tekrarlı sprint protokollerine TEH değerleri

* Erkek katılımcıların TEH değerleri anlamlı derecede daha yüksek ($p < 0.05$)

10x6sn protokolündeki TEH değerleri 6x10sn protokolüne göre daha yüksek ($p < 0.05$)

REH değerlerinde ise cinsiyet ($F_{(1;28)}=19,815$; $p=0,000$; $\eta^2=0,414$) etkisinin ve protokol etkisinin ($F_{(1;28)}=54,298$; $p=0,000$; $\eta^2=0,660$) anlamlı olduğu görülürken, cinsiyet x protokol ($F_{(1;28)}=0,209$; $p=0,651$; $\eta^2=0,007$) etkileşimin anlamlı olmadığı görülmektedir. Cinsiyet etkisinde erkek katılımcıların REH değerleri anlamlı derecede daha yüksektir ($p < 0,05$). (Şekil 4.13). Protokol etkisinde ise 6x10sn protokolündeki REH değerleri 10x6sn protokolüne göre istatistiksel olarak daha yüksektir ($p < 0,05$). (Şekil 4.13).



Şekil 4.13. Kadın ve Erkek katılımcıların tekrarlı sprint protokollerine REH değerleri

* Erkek katılımcıların REH değerleri anlamlı derecede daha yüksek ($p < 0.05$)

6x10sn protokolündeki REH değerleri 10x6sn protokolüne göre anlamca daha yüksek ($p < 0.05$)

5. TARTIŞMA

Tekrarlı sprint protokollerinde yapılan önceki çalışmalar, mesafe varyasyonları, tekrar sayısı ve dinlenme aralıkları da dahil olmak üzere bir dizi tekrarlı sprint egzersizinin performans ve fizyolojik özellikler üzerindeki etkilerini araştırmıştır (5, 17, 43). Ancak, benzer toplam sprint süresi ve sprintler arası benzer dinlenme süresine sahip tekrarlı sprint protokollerinde tekrar sayısının ve sprint süresinin yanı sıra cinsiyetin enerji sistemlerinin katkısı ile ilgili çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle, bu çalışmanın amacı, bisiklet ergometresinde farklı tekrarlı sprint protokollerinde, performans değişkenleri, fizyolojik yanıtlar ve enerji sistemi katkısında protokol ve cinsiyetler arasındaki farkı incelemektir. Bu amaçla 16 erkek ve 14 kadın katılımcı farklı günlerde VO_{2maks} testi ve rast gele sırayla 10x6 saniye ve 6x10 tekrarlı sprint testlerine katılmışlardır. Bu bölümde araştırma sonunda elde edilen bulgular, alt başlıklar altında tartışılacaktır.

5.1. Performans Değişkenleri

Tekrarlı sprint protokollerine yönelik egzersizler sırasında, metabolizmada ve kas fonksiyonlarında hızlı değişiklikler meydana gelmekte ve bu durum sporcunun egzersiz için gerekli kuvvet veya egzersiz şiddetini uzun süre sürdürememe ile sonuçlanmaktadır. Özellikle tekrarlayan maksimum egzersizin fizyolojisi karışıktır, çünkü egzersizde çalışma ve dinlenme arasındaki uyum yeterince iyi tanımlanmamıştır. Yapılan çalışmalarda araştırmacılar çoğunlukla sprintler sırasında yorgunluk ve toparlanma süreçlerine odaklanmıştır (18-21). Araştırmacıların bazıları kısa toparlanma süresinin (30s) tekrarlı sprint performansı üzerine etkisini, motorsuz koşu bantlarında, bisiklet ergometrelerinde ve sahada çalışmışlardır. Bu çalışmalar performansta meydana gelen düşüşün tekrar sayısı, egzersiz ve toparlanma süresi ile yakından ilişkili olduğunu göstermiştir (22, 264). Yüksek şiddetli ve tekrarlayan egzersizler sırasındaki toparlanma sürelerinin PCr yeniden sentezi üzerinde doğrudan bir etkisi vardır (265), bu da çalışma-dinlenme oranının antrenman adaptasyonunda önemli bir etkisi olduğunu gösterir. Bu nedenle; tekrarlı sprint protokollerinde, çalışma dinlenme oranı iyi bir şekilde eşleştirildiğinde, daha kısa süreli sprint performanslarında bile benzer adaptasyonlara ulaşılabilir (47).

Takım sporlarında tekrarlanan sprintler arasındaki ortalama toparlanma süresi ~ 70 sn olmasına rağmen, toparlanma sırasında rakiplerin hareketleri, teknik ve taktik durumlar, savunma eylemleri, ve karşı ataklar, toparlanma süresini 30 saniyenin altına düşürebilmektedir (76). TST sırasında yaygın olarak kullanılan toparlanma süresi 30 saniyedir (266). Çalışmamızda kadın ve erkek katılımcıların hem 10x6sn hem de 6x10sn tekrarlı sprint protokollerinde performans değişkenlerine ilişkin, cinsiyete bakılmaksızın tüm katılımcılarda en yüksek ZG_{REL} ve OG_{REL} değerlerine birinci sprintte ulaşılmıştır ve erkek katılımcılar her iki protokolde de ZG_{REL} ve OG_{REL} değerlerinde kadınlardan daha yüksek performans göstermişlerdir (Tablo 4.3). Kadın ve erkek katılımcıların her iki protokolde de ilk sprintte en yüksek güç düzeyine sahip olmaları literatürde yapılan birçok çalışmada yaygın rastlanan bir sonuçtur (17, 22, 113, 211, 237, 267, 268). Katılımcıların her iki protokolde de ilk sprintte en yüksek güç değerlerine ulaşmasının nedenlerinden biri kas fosfojen depolarının tam olarak kullanılabilmesi olarak açıklanmaktadır. Diğer yandan 30sn toparlanma sürecinin PCr depolarının tamamen yenilenmesinde yetersiz olmasından dolayı, tekrarlanan sprintlerdeki maksimum gücün korunamaması, güç kayıplarının nedenini açıklamaktadır.

Çalışmamızda ki VO_{2maks} testi verilerine ilişkin analizlerde; VO_{2maks} 'ın aerobik metabolizma için bir üst sınır olduğu ve koşma, bisiklete binme gibi orta ila uzun mesafe dayanıklılık egzersizlerindeki varyansın çoğunu açıkladığı bilinmektedir (189, 190). Erkeklerin standart dayanıklılıkları, kadınlara kıyasla üstün performansları, büyük ölçüde hem antrenmanlı hem de antrenmansız durumlarda bile yüksek VO_{2maks} değerleri ile açıklanabilir (192). Genel olarak, kadınlarda daha düşük bir VO_{2maks} değeri, yağ kütlesi, hemoglobin ve hematokrit düzeylerindeki cinsiyet farklılıklarının bir sonucu olduğu kabul edilmektedir (193). Erkek ve kadınlarda VO_{2maks} değerlerinde gözlemlenen farkın, vücut kültesi, yağsız vücut kültesi ve bacak kası kültesine normalleştirildiğinde ortadan kalktığı gözlemlenmiştir. Bu bulgu VO_{2maks} 'ın bireysel aerobik performans düzeyini değerlendirirken daha efektif olacağını ortaya koymaktadır (211). Çalışmamızda kadın ve erkek katılımcıların VO_{2maks} değerleri incelendiğinde (Tablo 4.2), literatüre benzer şekilde, mutlak (L/dk) olarak erkeklerin kadınlara oranla daha yüksek O_2 tüketim değerlerine ulaştıkları ancak relatif

(ml/dk/kg) olarak kadın ve erkek sporcuların benzer O₂ tüketim değerlerine sahip oldukları görülmektedir.

Yapılan çalışmalarda, tekrarlı sprint protokollerinde erkeklerin kadın katılımcılara oranla daha tutarlı ve daha yüksek performans gösterdikleri ortaya konmuştur (26, 42). Çalışmamızda 10x6sn protokolündeki erkek ve kadın katılımcıların ZG_{REL} ve OG_{REL} değerlerindeki cinsiyet farkı sırasıyla %23,9 ve 17,1 iken 6x10 sn protokolündeki cinsiyet farkı ise %24,5 ve %14,9 olarak bulunmuş ve bu sonuçlar daha önceki araştırmalar ile uyumlu olduğu görülmüştür. TST’de potansiyel cinsiyet farklılıklarının araştırıldığı bir çalışmada bisiklet ergometresi üzerinde 25sn pasif dinlenme ile 20x5sn tekrarlı yapılan bir egzersizde, erkeklerin kadınlara oranla daha yüksek güç çıktısına ulaştıkları, kadınların ise daha az güç çıktısı ve daha fazla performans düşüş yüzdesi gösterdikleri bulunmuştur (42). Bir başka çalışmada yine bisiklet üzerinde maksimum eforla yapılan tekrarlı bir egzersizde elde edilen güç çıktısına yönelik potansiyel cinsiyet farklılıklarının araştırılmasında kadınların erkeklere kıyasla sprintler esnasından daha düşük güç çıktısına ve daha fazla performans düşüş yüzdesine sahip oldukları bulunmuştur (26).

İnsan vücudundaki kas lifi tipindeki farklılıklar, özellikle Tip II lifler çoğunlukla fosfajen sistemine ve glikolitik yollara bağlı olduğundan, substrat kullanımını ve yorulma süresini etkileyecektir. Kas özellikleri, glikolitik katkı ve hormonal ortamdaki farklılıkların tekrarlanan maksimum egzersizler sırasında performansı etkileyeceği varsayılabilir. Aslında, glikolitik katkı 6 ila 10sn bisiklet sprintleri sırasında toplam ATP’nin yeniden sentezine > %40 iken, aerobik katkı çok düşüktür (19, 22). TST’de, kadınlarda glikolitik enerji katkısının erkeklere oranla daha düşük olması, sprintlerin son bölümünde erkeklerden daha düşük bir anaerobik kapasiteye ve sprint performansında daha büyük bir azalmaya neden olabilir. Bisiklet ergometresinde gerçekleştirilen maksimal bir sprint esnasında Tip II kas liflerinin büyük bir oranının aktive olduğu bilinmektedir (234). Kadın katılımcıların erkek katılımcılara oranla daha az güç çıktısına sahip olmasının nedeni, kadınların daha küçük Tip II lif yüzdesine sahip olmaları ile ilişki olabilir çünkü kadınlarda Tip II liflerin kesit alanı erkeklere göre daha küçüktür (35, 235). Ayrıca erkeklerde tekrarlı sprintlerde anaerobik glikolitik enerji yolaklarından gelen katkının kadınlara oranla

daha fazla olması performansta görülen bu cinsiyet farkını açıklayan bir başka neden olabilir (22, 91, 211, 236, 237).

Hareket profili açısından çalışmamızla benzer olan bir başka çalışmada Billaut ve Bishop (268), bir bisiklet ergometresinde 25 sn'lik toparlanma süresi ile 20x5sn TST sırasında kadınlarda erkeklere göre daha düşük performans düşüşü gözlemlemiştir. TST'de performans düşüşünde cinsiyet farklılıklarını araştıran çok az sayıda çalışma olmasına rağmen çalışmaların çoğu erkeklerin performansta daha fazla düşüş yaşadığını göstermiştir (17, 91). Çalışmamızın sonuçlarını destekler nitelikte olan bu bulgunun nedenini araştırmacılar tarafından, kadınların TST sırasında aerobik sistemden gelen katkının fazla olması, anerobik glikolizin oluşturduğu yan ürünlerin daha düşük birikimi ve PCr depolarındaki daha düşük azalma oranı ile açıklanmaktadır (91, 206, 269).

Katılımcılara uygulanan tekrarlı sprint protokollerinde sprintler sonucunda elde edilecek gücün yüksek olmasının yanı sıra tekrarlanan sprintlerdeki bu yüksek güç çıktısının sürdürülebilmesi maksimum performans için önem teşkil etmektedir. Ancak dinlenme süresinin yeterli olmadığı durumlarda, yorgunluğa bağlı olarak performansta meydana gelecek düşüş beklenen bir sonuçtur. Dolayısıyla sporcular için belirli bir yorgunluk düzeyi oluşturacak tekrarlı sprint protokollerinin, sporcunun oyun ve hareket profiline benzer şekilde performans düşüş değerlerini yansıtması gerekmektedir (6, 23). Ancak PD% değerlerinin benzer protokollerde bile değişkenlik gösterdiği bilinmektedir. Kısa süreli (5-6sn) tekrarlı sprint protokollerindeki sprint performansını sprint sayısı, toparlanma süresi ve yorgunluk gibi bir çok faktör etkilemektedir. Sprint süresinin kısa olmasından dolayı performansa etki eden bu faktörlerin etkisi küçük olsa bile sporcunun performansını büyük oranda etkileyebilmektedir. Tekrarlı sprint protokollerindeki performansta meydana gelen düşüşün net olarak ortaya konması için protokollerin fizyolojik veriler ile desteklenmesi gerekmektedir (5, 6, 44).

Çalışmamızda kadın ve erkek katılımcılara uyguladığımız 10x6sn protokolünde sırasıyla PD% % 27,70 ve % 30,84, 6x10 saniye protokolünde ise; % 40,70 ve % 41,74'dür. Protokollerdeki kadın ve erkek katılımcıların PD%'nin benzer ve aradaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görülürken, protokoller kendi aralarında karşılaştırıldığında 6x10sn protokollünde kadın ve erkek katılımcıların daha

yüksek PD%'ne sahip olduğu ve bu yüksek güç kaybının 10x6sn protokolüne göre istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür. Tekrarlı sprint protokolleri üzerine yapılan çalışmalarda farklı yöntemlerdeki (bisiklet ergometresi veya koşu) dinlenme periyotlarının aktif veya pasif olmasının da PD%'yi etkilediği bilinmektedir. Çalışmamıza benzer bir yöntemle bisiklet ergometresi üzerinde uygulanan bir çalışmada, 24sn pasif dinlenme aralıkları ile 5x6sn tekrarlı sprint protokolü gerçekleştirilmiştir. Protokol sonunda kadınlarda güç kaybı % 8,46 iken erkeklerde bu oran % 9,86 olarak bulunmuş ancak istatistiksel olarak bu farkın anlamlı olmadığı görülmüştür (17). Bu çalışma hareket profili bakımından ve dinlenme süreleri (30 sn ve daha kısa) benzer olmasına rağmen tekrar sayısı bakımından çalışmamızdan farklıdır. Ancak tekrar sayılarındaki farklılıklara rağmen çalışmamızdaki her iki protokolde de PD% kadın ve erkek katılımcılarda benzer olduğu ve yukarıdaki çalışmanın sonucunu desteklemektedir. Ayrıca 6x10sn protokolünde tekrar sayısı kısılmasına rağmen sprint süresinin uzaması çalışmamızda PD%'yi kadınlarda % 46,93, erkeklerde ise % 35,34 oranında artırmıştır. 6x10sn protokolü, 10x6sn protokolünden daha az çalışma-dinlenme oranına sahiptir. Artan sprint süresi ve azalan çalışma dinlenme oranı PD%'de önemli bir artışa ve sprint performansında da ciddi bir düşüşe neden olmaktadır.

Tekrarlı sprint protokollerinde uygulanan dinlenme periyotlarındaki pasif toparlanmanın aktif toparlanmaya oranla PD%'yi daha olumlu yönde etkilediği ortaya konmuştur (270). Çalışmamızda TST'de benzer toparlanma süresine (30sn), sahip olmasına rağmen 6x10sn protokolünde gerçekleşen yüksek PD% değeri, eksik toparlanma süresi, laktik asit sisteminin katkısını artırırken, fosfojen sistemden gelen katkıyı azaltmıştır. TST'de performans kaybına neden olan faktör, art arda gerçekleşen sprintlerde yeterli dinlenme süresi sağlanmadığında ATP-PCr depolarının gerekli düzeyde yenilenmemesi nedeniyle performans kaybına neden olmasıdır (165, 271). Her sprint sonunda bir önceki sprinte oranla ATP-PCr depoları kademeli olarak azalması (80) nedeniyle TST performansında anaerobik glikolizin önemini de artırmaktadır (6, 18).

Hareket profili çalışmamıza benzer olmayan (koşu) bir başka çalışmada farklı dinlenme sürelerinde gerçekleştirilen (15-30-45 saniye) tekrarlı sprint protokollerinde, dinlenme süresinin kısa olduğu denemelerde, katılımcılar yüksek PD% değerlerine

ulaşmışlardır (2). Yapılan bir başka çalışmada ise yine tekrar sayısının az olduğu ancak dinlenme aralığının kısa olduğu bir protokolda, katılımcıların yüksek PD% değerlerine ulaştıkları görülmüştür (43). Dolayısıyla çalışmamızdaki 6x10sn protokolünde PD%'de meydana gelen daha fazla düşüşün yukarıdaki çalışmaları destekler nitelikte olup, tekrarlı sprint protokollerinde maksimum performansın sürdürülmesini etkileyen ana değişkenin toparlanma süresi olduğu birçok çalışma ile ortaya konmuştur (6, 43, 113). Çalışmamızda 10x6sn ve 6x10sn protokolünde yapılan total sprint süresi (60sn) benzerdir. Ancak dinlenme çalışma oranı ve toplam dinlenme sürelerindeki farklılıklar protokollerden elde edilen maksimum performansı sürdürme yetisini hem kadın hem de erkek katılımcıları olumsuz etkilemiştir. Katılımcılar 10x6sn protokolünde toplamda 270 saniyelik bir dinlenme gerçekleştirirken, 6x10sn protokolünde ise 150 saniyelik bir dinlenme gerçekleştirmişlerdir. Dolayısıyla erkek ve kadın katılımcılar 6x10sn protokolünde ulaştıkları ZG_{REL} değerlerinde, 10x6sn protokolüne oranla daha fazla güç kayıpları yaşamışlardır. Kısa toparlanma süresi, maksimum performansın sürdürülmesinde anlamlı derecede düşüslere neden olmuştur.

5.2. Fizyolojik Yanıtlar

Erkek ve kadın katılımcılarda performansı geliştirmek için TST sırasında gösterilen fizyolojik yanıtların incelenmesi, etkili antrenman stratejileri geliştirmek için önem arz etmektedir. Kadınların son yıllarda takım sporlarına katılımlarının hızla artmasıyla antrenman stratejilerinin oluşturulmasında cinsiyet farklılıklarını anlamak gerekli bir husus olmuş ve önemli bir motorik beceri olarak kabul edilen tekrarlı sprint egzersizlerinin katılımcılar üzerinde oluşturduğu fizyolojik etkilerin incelenmesi ihtiyacını doğurmuştur (6, 17, 23).

Çalışmamızda kadın ve erkek katılımcıların 10x6sn ve 6x10 sn tekrarlı sprint protokollerine ait fizyolojik yanıtlara ilişkin değerlendirmelerde, kan laktat seviyelerinde protokoller arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark görülürken; her iki protokolda de cinsiyetler arası kan laktat seviyelerinin benzer olduğu ve protokol cinsiyet etkileşiminin kan laktat etkisinin anlamlı olmadığı görülmektedir (Tablo 4.6). Kalp atım hızı yanıtlarının ise cinsiyet, protokol ve protokolxcinsiyet etkileşiminden etkilenmeyip katılımcılar arasında benzer olduğu görülmektedir (Tablo 4.6). AZD

değerlerinde, protokolün ve cinsiyetin istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi söz konusu iken, protokol cinsiyet etkileşiminin istatistiksel olarak anlamlı bir etki yaratmadığı görülmüştür (Tablo 4.6).

Tekrarlı sprint protokollerine verilen fizyolojik yanıtların incelendiği çalışmalarda, cinsiyet farklılığına ilişkin sonuçlarda, erkek katılımcıların kadın katılımcılardan daha yüksek kan laktat seviyelerine ulaştıkları görülmüştür (17). Benzer şekilde çalışmamızda da erkek katılımcıların her iki protokolde de istatistiksel olarak anlamlı olmamasına rağmen daha yüksek kan laktat seviyesine ulaştıkları görülmüştür (Tablo 4.5). Erkeklerle yönelik bu farklılık; kadınlara oranla daha fazla kas kütlesi ve kas kesit alanındaki farklılığının yanı sıra supramaksimal (all-out) bir egzersize karşılık adrenerjik tepkilerle açıklanabilmektedir (26, 206, 268). Ayrıca erkeklerin yüksek laktat değerlerine ulaşması yüksek Tip II kas lifi aktivasyon düzeyine ve daha yüksek glikolitik hız seviyelerine sahip olmaları ile de açıklanabilir (17).

Tip I ve Tip II kas liflerine ait metabolik yanıtların incelendiği bir başka çalışmada bisiklet ergometresinde kadın ve erkeklere 30s sprint egzersizi yaptırılmış ve Tip II liflerindeki ATP miktarının egzersiz öncesi değere göre kadın ve erkeklerde yaklaşık %50'lik bir azalma görülmüştür (91). Egzersiz sonucundan Tip II liflerinde egzersize bağlı ATP, PCr ve glikojen içeriğinin azaltılmasına yönelik metabolik değişkenlerde cinsiyet farkının görülmemesi erkeklere oranla kadınlarda Tip II liflerin daha az aktive olduğu anlamına gelmemektedir. Tip I liflerde egzersize bağlı glikojen içeriğindeki azalmanın kadınlarda erkeklere göre daha küçük olduğu görülmüştür (182). Kadınlarda Tip I liflerindeki daha düşük glikojen azalması, egzersizden sonra aynı liflerdeki daha düşük laktat içeriği ile desteklenmiştir. Tip I liflerde sprint egzersizindeki ortalama glikojenoliz oranındaki cinsiyet farkı, net ATP veya PCr azalmasında veya bu liflerde IMP birikiminde cinsiyet farkı olmamasına rağmen meydana gelmiştir. Bu durum erkek ve kadınlarda, Tip I liflerin, benzer bir oranda aktive edildiğini gösterir. Kadınlarda Tip I liflerdeki glikojen içeriğinin daha az azalması, kadınlarda kan laktat konsantrasyonundaki daha küçük artışa katkıda bulunan bir faktör olabilir (23, 40, 91).

Çalışmamızda her iki cinsiyette de 6x10sn protokolünde, 10x6sn protokolüne oranla daha yüksek laktat seviyesi gözlemlenmiştir (Tablo 4.5). Ancak 6x10sn protokolündeki laktat seviyesindeki artışın oranı erkeklerde %8,1 iken kadınlarda bu

oran % 19,9 ‘dur. Toplam sprint süresi benzer olsa da (60sn), uzayan sprint süresi (4sn) ve azalan çalışma-dinlenme (1-3) oranı, 6x10 sn protokolünün kadınlar üzerinde yarattığı fizyolojik etkinin erkeklere oranla daha fazla olduğu görülmektedir. Çalışmamızdaki bu sonucu destekleyen araştırmalara bakıldığında, sprint mesafesi 30m ve üzeri ya da 5 saniyeden daha uzun süren tekrarlı sprint protokollerinin daha yüksek kan laktat değerlerine neden olduğu görülmüştür (8, 43). Örneğin; Toplam mesafesi benzer olan (10x40m ve 20x20m) iki farklı tekrarlı sprint egzersizinde, 10x40m protkolünde katılımcıların daha yüksek laktat seviyesine ulaştığı görülmüştür (259). Bu nedenle, diğer değişkenler sabit tutulduğunda, sprint mesafesini veya süresini artırmak ya da toparlanma süresini azaltmak, egzersize verilen laktat yanıtlarının artmasına neden oluyor gibi görünmektedir.

Zirve glikolik aktivasyonunun 5 saniye civarında (62) gerçekleşmesi ile 5 saniyeden veya 40m’den uzun sprintlerin bu süreden daha uzun olması nedeniyle 6x10 sn protokolündeki daha yüksek laktat değerlerini açıklamak bir olasılık olarak görülmektedir. Ayrıca daha kısa süreli sprint tekrarları muhtemelen PCr’nin yeniden sentezini azaltırken, hidrojen iyonlarının fosfofruktokinaz aktivasyonunu olumsuz yönde etkilemesini ve glikolitik oranı düşürdüğü noktaya kadar daha yüksek bir glikolitik katkı ile desteklenmesini sağlamaktadır (22).

Kadın katılımcıların erkek katılımcılara oranla tekrarlı sprint protokollerinde daha az laktat seviyesine sahip olmasına yönelik detaylı kas çalışmaları, laktat dehidrojenaz (238) ve fosfofruktokinaz (239) aktivitesinin kadınlarda daha düşük olduğunu göstermiştir. Ayrıca 30sn dinlenme süreleri ile yapılan 6 saniyelik tekrarlı sprintler sırasında erkeklerde kadınlara oranla daha yüksek plazma epinefrin seviyesi gözlemlenmiştir (182, 240). Kadınlardaki bu durum, östrojen hormonu kaynaklı olabileceği bu nedenle epinefrinin glikoliz üzerine tetikleyici etkisinin kadınlarda azalmasından dolayı kısa süreli tekrarlı egzersizlerdeki laktat üretimini azaltabileceği ifade edilmektedir (241).

İnsan iskelet kas sisteminin bazı ortak özelliklerinde çeşitli farklılıklar olmasına rağmen erkeklerin kadınlara oranla daha yüksek glikolitik enzim belirteçlerine sahip olduğu bilinmektedir (35, 91). Örneğin vastus lateralis kasının erkeklerde kadınlara oranla daha fazla Tip II kas lifi alanına sahip olması (24) erkeklerdeki daha yüksek laktat seviyelerini açıklayabilir (35).

Tekrarlı sprint protokollerinde meydana gelen PD%'nin laktat birikiminden bağımsız olduğu bazı çalışmalarda ortaya konmuştur. İki farklı protokolden 40x15m protokolünde daha yüksek bir performans düşüşüne rağmen 15x40m protokolünde daha yüksek bir laktat seviyesi görülmüştür (43). Yine bir başka çalışmada yapılan toplam işin benzer olduğu iki farklı protokolden; 20x20m protokolünde daha yüksek performans düşüşü görülmesine rağmen, 10x40m protokolünde daha yüksek laktat konsantrasyonu görülmüştür (259). Bizim çalışmamızda ise hem kadın ve hem de erkek katılımcılarda bu sonuçlar desteklenmemektedir. Çalışmamızda en yüksek performans düşüşünün olduğu 6x10sn protokolünde katılımcılar en yüksek laktat değerlerine ulaşmışlardır. Bu farklılıklar çalışmamızın hareket profillerinin farklı olmasından kaynaklanıyor olabilir. Ayrıca çalışmamızda TST sırasında ölçülen güç çıkışlarının hesaplanmasında pedalin eylemsizlik momentumu dikkate alınmamıştır. Hızlanma olmaksızın gerçekleşen testelerde daha yüksek dirençli yüklerin kullanılması tavsiye edilmektedir (251). Eylemsizlik momentumu yapılmadığında, hem güç çıkışının hem de performans düşüş yüzdesinin, direnç yüküne bağlı bir miktar olduğundan daha az tahmin edildiği bilinmektedir (17).

Sahada yapılan tekrarlı sprint protokollerinde katılımcının birinci sprintten sonra tekrar başlangıç çizgisine dönmek için yapılan koşu veya yavaşlama sürecinin, toparlanma süresinin çok az olduğu çalışmalarda katılımcının dinlenme sürelerini olumsuz yönde etkilemesi, performans çıktısı ve yorgunluk düzeylerini etkilemektedir. Ancak bisiklet ergometresi üzerinde yapılan sprint protokollerinde böyle bir durum söz konusu değildir. Dolayısıyla tekrarlı sprint protokollerinin farklı yöntemlerle uygulanması sırasında katılımcıların performanslarını ve yorgunluk düzeylerini etkilediği bilinmektedir (113). Çalışmamızdaki katılımcıların tümü sprinti bir koşu egzersiz modu olarak kullanan takım sporu oyuncuları olduğundan, güç çıkışı ve yorgunluk sonuçları, uygulanan protokolün yöntemine (bisiklet ergometresi) bağlılığı dikkate alınarak yorumlanmalıdır.

Çalışmamızın tekrarlı sprint protokollerine ait diğer iki fizyolojik bulgusu olan KAH ve AZD değerlerine bakıldığında, katılımcıların KAH değerlerinde cinsiyet ve protokol etkisi görülmezken AZD değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde protokol ve cinsiyet etkisi görülmektedir (Tablo 4.6). Tekrarlı sprint protokollerindeki KAH yanıtlarının protokollerin yüklenme periyodu ile artabileceği, toparlanma

periyodunda da düşebileceği uygulanan protokolün geneline ilişkin fizyolojik bir bulgu olarak uygun bir değer olmaması literatür tarafından da desteklenmektedir (43, 67, 72). Çalışmamızdaki her iki cinsiyetteki KAH verileri bu açıklamayı desteklemektedir.

Bisiklet ergometresi üzerinde yapılan bir çalışmada 24sn pasif toparlanma ile 5x6sn'lik bir tekrarlı sprint protokolünde kadın ve erkeklerin KAH ve AZD değerlerinde anlamlı bir farklılık gözlenmemiştir (17). Bir başka çalışmada, Laurent ve ark. (184), maksimum yoğunlukta gerçekleşen tekrarlanan sprint performansının ardından KAH değerlerinde önemli bir cinsiyet farkı bulamamıştır. Bu iki çalışma tekrar sayısı, sprint ve toparlanma süresi bakımından çalışmamızdan farklı olsa da benzer hareket profili açısından, çalışmamızla karşılaştırıldığında KAH sonuçlarımızı desteklemektedir.

AZD değerleri katılımcıların protokoller esnasında gösterdikleri performansa yönelik algısal bir değerlendirme skalası olmasına rağmen çalışmalarda fizyolojik bir yanıt olarak incelenmektedir (17, 43). Çalışmamızdaki kadın ve erkek katılımcıların AZD değerlerindeki farklılıklar, hem çalışmamızın hareket profilindeki hem de katılımcıların algısal olarak protokoller esnasında yaşadıkları fizyolojik stresi yeterince iyi değerlendirmemelerinden kaynaklanıyor olabilir. Ayrıca çalışmamızda her iki grupta 6x10sn protokolünde daha yüksek AZD değerlerinin görülmesi laktat verilerinde olduğu gibi çalışma-dinlenme oranından ve tekrar sayısından ziyade sprint süresinin artmasından kaynaklanıyor olabilir. 6x10sn protokolünün 10x6sn protokolüne oranla 120sn daha az dinlenme süresi, AZD değerlerinin 6x10sn protokolünde daha fazla olmasına yönelik ekstra bir psikolojik etki yarattığı söylenebilir. Benzer şekilde yazılı kaynaklarda katılımcıların protokoller esnasında psikolojik olarak yeterli bir şekilde dinlenmemeleri nedeni ile daha yüksek AZD verilerine sahip olabileceklerini raporlamışlardır (43, 162).

5.3. Enerji Sistemlerinin Katkısı

Çoğu spor branşında, kas kasılması için gerekli olan ATP'nin üretiminde anaerobik ve aerobik yolların bir kombinasyonunu kullanır. Kısa süreli yüksek şiddetli egzersizi gerçekleştirmek için gereken enerji, öncelikle anaerobik metabolik yollardan elde edilir. ATP üretimine ATP-PC sisteminin mi yoksa glikolizin mi hakim olduğu,

öncelikle egzersizin uzunluğuna bağlıdır (47, 60, 66). Egzersiz sırasında kullanılan baskın enerji sistemi, yapılan aktivitenin şiddetine ve süresine ve kişinin antrenman düzeyine bağlıdır ve ATP-PC sistemi, ağırlıklı olarak 10 saniyeden uzun olmayan maksimum şiddetteki aktiviteler sırasında kullanılır (62). Anaerobik glikoliz sistemi, ağırlıklı olarak yaklaşık 1 dakika süren yüksek şiddetli aktiviteler için kullanılırken aerobik sistem, ağırlıklı olarak orta ile düşük şiddetteki aktivite sırasında kullanılır. Dinlenme sırasında kullanılan baskın enerji sistemi aerobik sistemdir (64, 65, 80). Atletik performansın belirlenmesinde ve geliştirilmesinde enerji sistemleri en etkili fizyolojik belirleyicilerdir (9, 47, 62).

Enerji sistemlerinin katkısının incelenmesine yönelik yazılı kaynaklarda birden fazla yöntem mevcuttur. Kas biyopsisi ile başlayan araştırmalar bu yöntemin zor ve ciddi bir tıbbi uzmanlık alanı olması ve sadece kastaki lokal alana yönelik bilgi vermesi nedeniyle araştırmacıların yeni yöntemlere yönelmesine neden olmuştur. Çalışmamızda son dönemlerde çok yaygın olarak kullanılan ve enerji sistemlerinin katkısını ayrı ayrı hesaplayan tek indirek yöntem olan PCr-La-O₂ yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle egzersizin dinlenik durumda ve egzersiz esnasında ölçülen O₂ tüketimin yanı sıra egzersiz sonrası katılımcıdan alınan kan örneği ile elde edilen laktat verilerinden yola çıkılarak, metabolik yanıtlar arasından farkın belirlenmesi ve enerji sistemlerinin katkısı hesaplanabilmektedir (47, 49, 73). Enerji sistemlerinin katkısını araştırmaya yönelik kullanılan yöntemlerin sadece uygulama bölümlerinde farklılıklar söz konusu iken analizlerden elde edilen sonuçlar büyük oranda birbirleri ile yüksek düzeyde ilişkilidir. Çalışmamızda kullandığımız bu yöntem, farklı branşlarda, farklı egzersiz yöntemlerinde (257, 259, 272, 273) ve antrenman şiddetine bağlı olarak farklı kondisyon düzeyindeki (274) katılımcılarda neden olduğu metabolik değişimlerinin enerji sistemleri üzerine etkisini ayırt edebilmektedir.

Tekrarlı sprint egzersizleri gibi maksimum eforla yapılan egzersizlerde solunum ve kardiyovasküler sistemlerin yeterli oksijeni sağlamadığı için VO₂ tüketiminde üstel bir artış meydana gelir, daha sonra ise VO₂'nin birkaç dakika içinde daha stabil hale geldiği bilinmektedir (275, 276). Daha önce bahsedilen çalışmalara benzer şekilde, bu çalışmanın bulguları, her iki protokolde de sprint ve dinlenme aralıklarında VO₂'nin başlangıç periyodunda önemli ölçüde arttığını, ardından VO₂'nin stabil hale geldiğini göstermiştir. Çalışmamızdaki TST protokollerinde enerji

sistemlerinin katkısında cinsiyet etkisi, alaktik ve laktik sistemleri açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılık gösterirken aerobik sistem katkısında ise istatistiksel olarak anlamlı bir fark göstermemektedir (Tablo 4.9). Her iki protokolde de hem kadınlar hem de erkekler açısından benzer aerobik sistem katkısı görülmüştür. Aerobik enerji sisteminden gelen benzer enerji katkısını yönelik; erkek ve kadınlarda oksijen tüketiminde gözlemlenen farkın, yalnızca bacak kası kütlesine normalleştirildiğinde ortadan kalktığı gözlemlenmiştir (211). Bu bulgu, aerobik olarak antrene edilmiş katılımcılara uygulandığında, bacak kası kütlesi ile VO_{2zirve} arasında yakın bir ilişki olduğunu ve bacak kas kütlesine göre normalize edilen VO_{2zirve} bireysel aerobik performans düzeyini değerlendirirken daha efektif olacağını ortaya koymaktadır (211). Katılımcılara bisiklet ergometresinde uygulanan VO_{2maks} testi sonucunda relatif (ml/dk/kg) olarak değerlendirildiğinde benzer aerobik dayanıklılık düzeylerine sahip oldukları görülmektedir. Bu durum TST protokollerinde elde edilen benzer aerobik enerji sistemi katkısıyla yorumlanabilir. Enerji sistemlerinin katkısına yönelik protokol etkisinde ise 3 enerji sisteminde de istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar görülmektedir. Protokol x cinsiyet etkileşiminin enerji sistemleri üzerine katkısında; alaktik ve aerobik sistemler üzerine istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar görünürken laktik asit sisteminde istatistiksel olarak anlamlı bir fark görülmemektedir (Tablo 4.9). Protokoller sonunda elde edilen TEH, REH ve O_2 değerlerinde cinsiyet ve protokol etkisinin anlamlı olduğu görülürken, protokol x cinsiyet etkileşiminin anlamlı olmadığı görülmektedir (Tablo 4.11).

Tekrarlı sprint protokollerinde maksimum performans sergilenmesi ve üretilen maksimum gücün devam ettirilebilmesi için PCr sürekli yenilenmesi, hidrojen iyonunun tamponlanması ile yüksek düzeyde ilişkili olması nedeniyle fosfojen sistem tekrarlı sprintte performansı etkileyen son derece önemli bir faktördür (30, 43). Çalışmamızda da her iki tekrarlı sprint protokolünde baskın olan enerji sistemi alaktik sistem olarak görülmektedir. Ayrıca yüksek şiddetli ve tekrarlayan bir egzersizdeki çalışma dinlenme süreleri PCr yeniden sentezi üzerinde doğrudan bir etkisi olduğu da bilinmektedir (265). Çalışmamızda, 10x6sn ve 6x10sn protokolleri karşılaştırıldığında tekrarlı sprint performansında önemli bir etkisi olan alaktik sistemin katkısının; sprint süresi kısa (6sn), tekrar sayısı (10 tekrar) ve çalışma dinlenme oranı (1-5) daha fazla

olan 10x6sn protokolünde, hem kadınlarda hem de erkeklerde daha yüksek düzeyde alaktik enerji katkısı sağlamıştır(sırasıyla %82,26-%77,36).

Yazılı kaynaklar çalışmamızdaki bu bulguyu, çalışma dinlenme oranı daha yüksek olan (1-5) 10x6sn protokolünde, hem daha yüksek alaktik sistem katkısı ve hem de performanstaki daha az düşüş yüzdesi ile desteklemektedir (6, 23). Anaerobik ve aerobik yollar arasında iyi koordine edilmiş bir etkileşim, şiddetli egzersiz sırasında ATP'nin yenilenmesini kolaylaştırmaktadır (5, 6).

Tekrarlı sprint egzersizlerinde performansa yine önemli derece katkı sağlayan bir diğer enerji sistemi ise laktik asit sistemidir. Yazılı kaynaklarda sprint süresinin 5 saniye, sprint mesafesinin ise 40m ve üzerinde olan protokollerde laktik asit sisteminden gelen katkının maksimum seviyede olduğu rapor edilmiştir (62). Dinlenme periyodundaki toparlanma süresinin yetersiz olması alaktik sistemden gelen enerji katkısında azalmaya neden olur ve performansın sürdürülebilmesi için gerekli olan enerji ihtiyacı laktik asit sistemi tarafından karşılanır (5, 6, 44). Çalışmamız da bu bilgiyi destekler niteliktedir. 6x10 sn protokolünde 10x6sn protokolüne oranla hem kadınlar hem de erkeklerde laktik asit sistemi daha fazla katkı sağlamaktadır (sırasıyla %21,49-%24,80). 6x10sn protokolünde sprint sayısının % 40 (4 tekrar) az olmasına rağmen, sprint süresindeki % 67'lik (4sn) artışın ve çalışma dinlenme oranının % 44 oranında azalması laktik asit sisteminde meydana gelen katkının artışını yazılı kaynaklardaki bilgiler ışında ortaya koymaktadır. Ayrıca fosfojen sistemden gelen enerji katkısının 6x10 protokolünde (erkeklerde %11-kadınlarda %19) azalması ile 6x10sn protokolünde daha yüksek PD% de görülmüştür. Laktik asit sistem katkısının baskın olduğu egzersiz şiddetlerinde performansta meydana gelen azalmanın nedeni artan hidrojen yoğunluğunun fosfofruktokinaz aktivitesini olumsuz etkilemesine bağlanmaktadır (22, 24). Çalışmamızda her iki protokolde de laktik asit sistem katkısı kadın katılımcılara oranla erkek katılımcılarda daha fazla olduğu görülmektedir. Laktik sistem katkısı sprint protokolleri öncesi (dinlenik) ve sonrası elde edilen (LA_{maks}) laktat değerleri ve “dinlenik durumun üstünde elde edilen her 1 mmol laktat değeri için vücut ağırlığı kilogramı başına 3 ml oksijen tüketilir” denkliği kullanılarak hesaplanmıştır (79). Erkek katılımcıların kadın katılımcılara oranla daha yüksek kan laktat değerlerine ulaştıkları görülmüştür. Yazılı kaynaklarda; Erkek sporculara yönelik bu farklılık, kadın sporculara oranla kas kütlesi ve kesit alanındaki yoğunluğun

ve farklılığın yanı sıra supramaksimal bir egzersize karşılık adrenerjik tepkilerle açıklanabilmektedir (26, 206, 268). Ayrıca erkeklerin yüksek laktat değerlerine ulaşması yüksek Tip II kas lifi aktivasyon düzeyine ve daha yüksek glikolitik hız seviyelerine sahip olmaları ile de açıklanabilir (17).

Çalışmamızın bir diğer enerji sistemi bulgusu aerobik sistemden gelen enerji miktarlarının karşılaştırılmasıdır. Kadın ve erkek katılımcılarda 6x10sn protokolünde 10x6sn protokolüne oranla sırasıyla (%9,13-%7,31) daha yüksek düzeyde aerobik sistem katkısı görülmüştür (Tablo 4.7). Yazılı kaynaklarda sprint süresininin ya da sprint mesafesinin artması ile birlikte aerobik sistemden gelen enerji katkısının artacağı ancak performansta bir düşüşe neden olabileceği ortaya konmuştur (6, 76, 113). Çalışmamızda 6x10sn protokolünde 10x6sn protokolüne oranla artan %67'lik sprint süresi, aerobik sistemden gelen katkıyı artırırken, katılımcıların performansında daha fazla düşüşe neden olmuştur. Tekrarlı sprintler sırasında, aerobik enerji sistemin temel işlevi, PCr yeniden sentezlemek, birikmiş inorganik fosfatı uzaklaştırmak ve kısa toparlanma sürelerinde laktatı oksitlemektir (6, 18, 24, 44). Özetle sprintler esnasından aerobik sistemden gelen katkının az olması ancak toparlanma periyodunda mümkün olduğunca çok fazla olması maksimum performans sergilemek için önemlidir.

Uzun süreli yüksek şiddetli tek bir maksimal egzersizde, PCr-La-O₂ yöntemi kullanarak, enerji sistemlerinin katkısının incelendiği alt ve üst vücuda yönelik çalışmalarda; üst ekstremité Wingate testinde tek 30saniyelik maksimum bir eforda enerji sistemlerinin katkısı alaktik, laktik ve aerobik sistem katkısı sırasıyla %29-%60-%11 bulunmuştur (272). Tek bir maksimum sprinte (30sn) laktik asit sisteminin baskın (%60) enerji sistemi olmasının nedeni Wingate testinin ilk 10 saniyesinde PCr depolarının neredeyse tükenmesi ve enerji katkısının geri kalanının aerobik ve anaerobik laktik sistemlerden gelmesi olabilir (18).

Anaerobik laktik sistem, üst vücut Wingate testi için enerjinin %60'ından fazlasına katkıda bulunurken, alt vücut wingate için önceki çalışmalar laktik sistem katkısında yaklaşık %45-52'lik değerler bildirmiştir. Üst vücuda yönelik daha fazla laktik asit katkısı üst gövdenin alt gövdeye kıyasla daha fazla miktarda tip II liflere sahip olması (277) ve bunun sonucu olarak yüksek şiddetli egzersiz sırasında anaerobik laktik enerjiye daha fazla bağımlı olması ile açıklanabilir. Ayrıca bir başka

çalışmada Wingate testinde alaktik sistem katkısının sadece ilk 7,5 saniyede olduğu bulunmuştur (160). 6 saniyelik tek bir sprint esnasında alaktik sistem katkısı, 60 saniye maksimum eforla yapılan tek bir egzersizdeki alaktik sistem katkısının yarısı kadardır (6, 78, 160, 161). Enerji sistemlerinin katkısının araştırıldığı bir başka çalışmada alaktik, laktik ve aerobik sistemlerden gelen katkı alt vücut için sırasıyla %32-%45-%23 ve üst vücut için ise sırasıyla %21-%50-%29 olarak bulunmuştur (278).

Saha çalışmalarında ortaya konan sonuçlarda ise; atletizimin orta mesafe yarışlarından olan 1500m (yaklaşık 270sn) ve 3000m (yaklaşık 600sn) yarışlarında enerji sistemlerinin katkısının araştırıldığı çalışmada anaerobik tabanlı enerji sistemlerinin (alaktik+laktik) enerji katkısı 1500m için %19, 3000m için %7 olarak bulunmuştur (67). Çalışmamızdaki 10x6sn ve 6x10sn protokollerindeki anaerobik tabanlı enerji sistemlerinin katkısı erkek ve kadınlar için sırasıyla %95-%96 ve %93-%91 olarak bulunmuştur (Tablo.4.7). Bu bilgilerden yola çıkarak uzun süreli yüksek şiddetli maksimal bir egzersizin ya da benzer süreli sabit egzersizlerde anaerobik tabanlı enerji sistemlerinin katkısı süre-verim açısından yetersiz olması nedeniyle kısa süreli maksimal sprintlerin belirli toparlanma aralıklarıyla uygulanması TSY performansında anaerobik (alaktik-laktik) enerji sistemlerinin geliştirilmesinde daha önemli olduğu görülmektedir.

TEH ve REH yönelik bulgulara bakılığında, TEH'in 10x6sn protokolünde 6x10sn protokolüne oranla erkeklerde (313-241 kJ) %23, kadınlarda (234-186 kJ) ise %20 daha fazla enerji harcamasına katkı sağladığı görülmektedir (Tablo 4.7). REH değerlerinde ise 6x10sn protokolünde daha yüksek enerji harcama hızına ulaşılmıştır (Tablo 4.7). 10x6sn protokolünde görülen yüksek TEH değerleri, protokolün daha uzun çalışma dinlenme (1-5) oranı ve bu süre içerisinde gerçekleşen yüksek oksijen tüketim değerleri, TEH maliyetine önemli bir katkı sağladığı görülmektedir. REH'e bakıldığında ise, birim zamanda enerji harcama hızı olarak tanımlandığı için sprint süreleri ve sprint sayıları farklı olsa bile daha kısa dinlenme süreleri nedeniyle (6x10sn protokolünde 120sn daha az dinlenme süresi) daha yüksek REH değerlerine sahip olduğu görülmüştür. TST protokollerinde TEH maliyetinin, protokollerin toplam süresinden (330-210sn), REH hızının da yüklenme dinlenme (1-5,1-3) oranına bağlı değiştiği görülmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Toplam sprint süresi (60sn) aynı olan farklı tekrarlı sprint protokollerinde (10x6sn ve 6x10sn) enerji sistemlerinin katkısı ile, performans değişkenleri ve fizyolojik yanıtlarda cinsiyetler arasındaki farkın incelenmesi amacıyla yapılan bu araştırmadan elde edilen sonuçlar aşağıda yer almaktadır.

6.1. Sonuçlar

1. Kadın ve erkek katılımcıların 10x6sn ve 6x10sn tekrarlı sprint protokollerinde ZG_{REL} değerleri cinsiyet göre anlamlı derecede farklıdır ($p<0,05$). Erkekler her iki protokolde de kadınlara oranla daha yüksek ZG_{REL} değerlerine sahiptir. ZG_{REL} değerlerinde protokol etkisi ve cinsiyet x protokol etkileşimin anlamlı olmadığı belirlenmiştir ($p>0,05$).
2. Kadın ve erkek katılımcıların 10x6sn ve 6x10sn tekrarlı sprint protokollerinde OG_{REL} değerleri cinsiyet göre anlamlı derecede farklıdır ($p<0,05$). Erkekler her iki protokolde de kadınlara oranla daha yüksek OG_{REL} değerlerine sahiptir. OG_{REL} değerlerinde protokol etkisi anlamlıdır ($p<0,05$), 6x10sn protokolünde daha yüksek OG_{REL} değerlerine ulaşılmıştır. Cinsiyet x protokol etkileşiminin anlamlı olduğu ortaya konmuştur ($p<0,05$).
3. 10x6sn ve 6x10sn tekrarlı sprint protokollerinde kadın ve erkek katılımcıların PD% 'nde cinsiyet göre anlamlı farklılık belirlenmemiştir ($p>0,05$). Protokollere göre ise PD% anlamlı derecede farklıdır ($p<0,05$). 6x10sn protokolü 6x10sn protokolüne göre daha yüksek PD% 'ne neden olmuştur. Ayrıca cinsiyet x protokol etkileşimi anlamlı değildir ($p>0,05$).
4. Farklı tekrarlı sprint protokollerine verilen fizyolojik yanıtlarda La_{maks} değerleri cinsiyete göre anlamlı farklılık göstermemiştir ($p<0,05$). La_{maks} değerlerinde protokol etkisi ise anlamlı derecede farklıdır ($p<0,05$). 6x10sn protokolü daha yüksek La_{maks} yanıtına neden olmuştur. La_{maks} yanıtlarında cinsiyet x protokol etkileşimi ise anlamlı değildir ($p>0,05$).
5. 10x6sn ve 6x10sn tekrarlı sprint protokollerine KAH_{maks} değerlerinde cinsiyet etkisi, protokol etkisi ve cinsiyet x protokol etkileşimin anlamlı değildir ($p>0,05$).

6. Kadın ve erkek katılımcıların protokollere verdiği AZD yanıtları cinsiyete göre anlamlı derecede farklıdır ($p < 0,05$). Kadın katılımcılar her iki protokolde de en yüksek AZD'ne sahiptir. Benzer şekilde AZD yanıtlarında protokol etkisi anlamlı de anlamlıdır ($p < 0,05$). 6x10sn protokolünde daha yüksek AZD değerlerine ulaşılmıştır. Ancak AZD yanıtlarında cinsiyet x protokol etkileşimi anlamlı değildir ($p > 0,05$).
7. Farklı tekrarlı sprint protokollerinde alaktik enerji sistemi katkısı cinsiyet göre anlamlı derecede farklıdır ($p < 0,05$). Kadın katılımcılarda erkek katılımcılara oranla daha yüksek alaktik sistem katkısı görülmüştür ($p < 0,05$). Alaktik sistem katkısında protokol etkisi anlamlıdır ($p < 0,05$). 10x6sn protokolünde alaktik sistem katkısı daha yüksektir. Cinsiyet x protokol etkileşimin anlamlı olduğu ortaya konmuştur ($p < 0,05$).
8. Farklı tekrarlı sprint protokollerinde laktik enerji sistemi katkısı cinsiyete göre anlamlı derecede farklıdır ($p < 0,05$). Laktik sistem katkısı erkek katılımcılarda daha yüksektir ($p < 0,05$). Laktik sistem katkısında protokol etkisi anlamlıdır ($p < 0,05$). 6x10sn protokolünde laktik sistem katkısı daha yüksektir. Cinsiyet x protokol etkileşimin ise anlamlı olmadığı ortaya konmuştur ($p > 0,05$).
9. Kadın ve erkek katılımcıların farklı tekrarlı sprint protokollerinde aerobik enerji sistemi katkısında cinsiyet göre anlamlı bir farklılık belirlenmemiştir ($p > 0,05$). Aerobik enerji katkısında protokol etkisi anlamlıdır ($p < 0,05$). 6x10sn protokolünde aerobik sistem katkısı daha yüksektir. Cinsiyet x protokol etkileşiminde anlamlı farklılıklar görülmektedir ($p < 0,05$).
10. Kadın ve erkek katılımcıların tekrarlı sprint protokollerinde TEH değerleri cinsiyet göre anlamlı derecede farklıdır ($p < 0,05$). Erkekler, kadınlara oranla daha yüksek TEH değerlerine sahiptir. TEH değerlerinde protokol etkisi anlamlı derecede farklıdır ($p < 0,05$). 10x6sn protokolünde TEH değerleri daha yüksektir. TEH değerlerinde cinsiyet x protokol etkileşiminde anlamlı farklılıklar görülmemektedir ($p > 0,05$).
11. Kadın ve erkek katılımcıların tekrarlı sprint protokollerinde REH değerleri cinsiyet göre anlamlı derecede farklıdır ($p < 0,05$). Erkekler, kadınlara oranla daha yüksek REH değerlerine sahiptir. REH değerlerinde protokol etkisi

anlamli derecede farklıdır ($p < 0,05$). REH değerleri 6x10sn protokolünde daha yüksektir. REH değerlerinde cinsiyet x protokol etkileşiminde anlamli farklılıklar görülmemektedir ($p > 0,05$).

6.2. Öneriler

Farklı tekrarlı sprint protokollerinde enerji sistemlerinin katkısı ile, performans değişkenleri ve fizyolojik yanıtlarda cinsiyetler arasındaki farkın incelenmesi amacıyla yapılan bu çalışmanın sınırlılıkları göz önüne alındığında gelecekteki çalışmalara yardımcı olması amacıyla aşağıdaki öneriler sunulmuştur.

1. Yapılan toplam egzersiz süresi benzer olan farklı tekrarlı sprint protokollerinde aynı toparlanma süresi ve çalışma dinlenme oranlarına sahip farklı protokollerde enerji sistemlerinin katkısını, performans bileşenlerini ve fizyolojik yanıtların cinsiyete göre nasıl değiştii incelenebilir.
2. Toplam mesafesi aynı, farklı yüklenme dinlenme oranlarına sahip sahada uygulanan tekrarlı sprint protokollerinde enerji sistemlerinin katkısının, performans bileşenlerin ve fizyolojik yanıtların cinsiyete göre nasıl değiştii incelenebilir.
3. Yapılan toplam egzersiz süresi benzer olan farklı tekrarlı sprint protokollerinde kadın ve erkek katılımcılarda sirkadiyen ritme göre enerji sistemlerinin katkısını, performans bileşenlerini ve fizyolojik yanıtların nasıl değiştii incelenebilir.
4. Yapılan toplam egzersiz süresi benzer olan farklı tekrarlı sprint protokollerinde 6x10 sn protokolü için 1:2, 1:4, 1:5 oranları, 10x6sn protokolü için 1:2, 1:3, ve 1:4 çalışma dinlenme oranlarında enerji maliyetlerinin nasıl değiştii incelenebilir.
5. Yapılan toplam egzersiz süresi benzer olan ancak az tekrar uzun yüklenme protokollerinde (4x15 sn, 3x20 sn ve 2x30 sn), 1:1, 1:2, 1:3 yüklenme dinlenme oranlarında enerji maliyetlerinin nasıl değiştii incelenebilir.

7. KAYNAKLAR

1. Abdelkrim NB, El Fazaa S, El Ati J. Time–motion analysis and physiological data of elite under-19-year-old basketball players during competition. *British journal of sports medicine*. 2007;41(2):69-75.
2. Maggioni MA, Bonato M, Stahn A, La Torre A, Agnello L, Vernillo G, et al. Effects of ball drills and repeated-sprint-ability training in basketball players. *International journal of sports physiology and performance*. 2019;14(6):757-64.
3. Gharbi Z, Dardouri W, Haj-Sassi R, Chamari K, Souissi N. Aerobic and anaerobic determinants of repeated sprint ability in team sports athletes. *Biology of sport*. 2015;32(3):207.
4. Zmijewski P, Lipinska P, Czajkowska A, Mróz A, Kapuściński P, Mazurek K. Acute Effects of a Static Vs. a Dynamic Stretching Warm-up on Repeated-Sprint Performance in Female Handball Players. *Journal of human kinetics*. 2020;72:161.
5. Turner AN, Stewart PF. Repeat sprint ability. *Strength & Conditioning Journal*. 2013;35(1):37-41.
6. Girard O, Mendez-Villanueva A, Bishop D. Repeated-sprint ability—Part I. *Sports medicine*. 2011;41(8):673-94.
7. Dawson B. Repeated-sprint ability: where are we? *International journal of sports physiology and performance*. 2012;7(3):285-9.
8. Padulo J, Tabben M, Ardigò L, Ionel M, Popa C, Gevat C, et al. Repeated sprint ability related to recovery time in young soccer players. *Research in Sports Medicine*. 2015;23(4):412-23.
9. Taylor JM, Macpherson TW, Spears IR, Weston M. Repeated sprints: An independent not dependent variable. *International journal of sports physiology and performance*. 2016;11(5):693-6.
10. Keir DA, Thériault F, Serresse O. Evaluation of the running-based anaerobic sprint test as a measure of repeated sprint ability in collegiate-level soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2013;27(6):1671-8.
11. Ikutomo A, Kasai N, Goto K. Impact of inserted long rest periods during repeated sprint exercise on performance adaptation. *European journal of sport science*. 2018;18(1):47-53.
12. Abt G, Siegler JC, Akubat I, Castagna C. The effects of a constant sprint-to-rest ratio and recovery mode on repeated sprint performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2011;25(6):1695-702.
13. Billaut F, Basset FA. Effect of different recovery patterns on repeated-sprint ability and neuromuscular responses. *Journal of sports sciences*. 2007;25(8):905-13.
14. Chaouachi A, Manzi V, Wong DP, Chaalali A, Laurencelle L, Chamari K, et al. Intermittent endurance and repeated sprint ability in soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2010;24(10):2663-9.

15. Jones RM, Cook CC, Kilduff LP, Milanović Z, James N, Sporiš G, et al. Relationship between repeated sprint ability and aerobic capacity in professional soccer players. *The Scientific World Journal*. 2013;2013.
16. Barbero-Álvarez JC, Coutts A, Granda J, Barbero-Álvarez V, Castagna C. The validity and reliability of a global positioning satellite system device to assess speed and repeated sprint ability (RSA) in athletes. *Journal of science and medicine in sport*. 2010;13(2):232-5.
17. Soydan TA, Hazir T, Ozkan A, Kin-Isler A. Gender differences in repeated sprint ability. *Isokinetics and Exercise Science*. 2018;26(1):73-80.
18. Bogdanis GC, Nevill ME, Boobis LH, Lakomy H. Contribution of phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise. *Journal of applied physiology*. 1996;80(3):876-84.
19. Bogdanis G, Nevill M, Lakomy H, Boobis L. Power output and muscle metabolism during and following recovery from 10 and 20 s of maximal sprint exercise in humans. *Acta Physiologica Scandinavica*. 1998;163(3):261-72.
20. Cherry P, Lakomy H, Boobis L, Nevill M. Rapid recovery of power output in females. *Acta physiologica scandinavica*. 1998;164(1):79-87.
21. Hargreaves M, McKenna MJ, Jenkins DG, Warmington SA, Li JL, Snow RJ, et al. Muscle metabolites and performance during high-intensity, intermittent exercise. *Journal of applied physiology*. 1998.
22. Gaitanos GC, Williams C, Boobis LH, Brooks S. Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. *Journal of applied physiology*. 1993;75(2):712-9.
23. Bishop D, Girard O, Mendez-Villanueva A. Repeated-sprint ability—Part II. *Sports medicine*. 2011;41(9):741-56.
24. Dawson B, Goodman C, Lawrence S, Preen D, Polglaze T, Fitzsimons M, et al. Muscle phosphocreatine repletion following single and repeated short sprint efforts. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*. 1997;7(4):206-13.
25. Bogdanis GC, Nevill ME, Boobis LH, Lakomy H, Nevill AM. Recovery of power output and muscle metabolites following 30 s of maximal sprint cycling in man. *The Journal of physiology*. 1995;482(2):467-80.
26. Billaut F, Giacomoni M, Falgairette G. Maximal intermittent cycling exercise: effects of recovery duration and gender. *Journal of Applied Physiology*. 2003;95(4):1632-7.
27. Bishop D, Spencer M, Duffield R, Lawrence S. The validity of a repeated sprint ability test. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2001;4(1):19-29.
28. Glaister M, Stone MH, Stewart AM, Hughes M, Moir GL. The influence of recovery duration on multiple sprint cycling performance. *Journal of strength and conditioning research*. 2005;19(4):831.

29. Lockie RG, Liu TM, Stage AA, Lazar A, Giuliano DV, Hurley JM, et al. Assessing repeated-sprint ability in Division I collegiate women soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2020;34(7):2015-23.
30. da Silva JF, Guglielmo LG, Bishop D. Relationship between different measures of aerobic fitness and repeated-sprint ability in elite soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2010;24(8):2115-21.
31. Spencer M, Bishop D, Dawson B, Goodman C. Physiological and metabolic responses of repeated-sprint activities. *Sports medicine*. 2005;35(12):1025-44.
32. Falgairette G, Billaut F, Giacomoni M, Ramdani S, Boyadjian A. Effect of inertia on performance and fatigue pattern during repeated cycle sprints in males and females. *International journal of sports medicine*. 2004;25(03):235-40.
33. Krivickas LS, Suh D, Wilkins J, Hughes VA, Roubenoff R, Frontera WR. Age- and gender-related differences in maximum shortening velocity of skeletal muscle fibers. *American journal of physical medicine & rehabilitation*. 2001;80(6):447-55.
34. Martin RJ, Dore E, Twisk J, van Praagh E, Hautier CA, Bedu M. Longitudinal changes of maximal short-term peak power in girls and boys during growth. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2004;36(3):498-503.
35. Miller AEJ, MacDougall J, Tarnopolsky M, Sale D. Gender differences in strength and muscle fiber characteristics. *European journal of applied physiology and occupational physiology*. 1993;66(3):254-62.
36. Hazir T, Kosar NS. Assessment of gender differences in maximal anaerobic power by ratio scaling and allometric scaling. *Isokinetics and exercise science*. 2007;15(4):253-61.
37. Fox EL, Bowers RW, Foss ML. *The physiological basis for exercise and sport*: Brown & Benchmark; 1993.
38. Clark BC, Manini TM, Thé DJ, Doldo NA, Ploutz-Snyder LL. Gender differences in skeletal muscle fatigability are related to contraction type and EMG spectral compression. *Journal of Applied Physiology*. 2003;94(6):2263-72.
39. Semmler JG, Kutzscher DV, Enoka RM. Gender differences in the fatigability of human skeletal muscle. *Journal of Neurophysiology*. 1999;82(6):3590-3.
40. Esbjörnsson M, Sylven C, Holm I, Jansson E. Fast twitch fibres may predict anaerobic performance in both females and males. *International journal of sports medicine*. 1993;14(05):257-63.
41. Jaworowski Å, Porter M, Holmbäck A, Downham D, Lexell J. Enzyme activities in the tibialis anterior muscle of young moderately active men and women: relationship with body composition, muscle cross-sectional area and fibre type composition. *Acta Physiologica Scandinavica*. 2002;176(3):215-25.
42. Billaut F, Smith K. Sex alters impact of repeated bouts of sprint exercise on neuromuscular activity in trained athletes. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. 2009;34(4):689-99.

43. Little T, Williams AG. Effects of sprint duration and exercise: rest ratio on repeated sprint performance and physiological responses in professional soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2007;21(2):646-8.
44. Lopes-Silva JP, da Silva Santos JF, Abbiss CR, Franchini E. Measurement properties and feasibility of repeated sprint ability test: a systematic review. *Strength & Conditioning Journal*. 2019;41(6):41-61.
45. Buchheit M, Mendez-Villanueva A, Simpson B, Bourdon P. Repeated-sprint sequences during youth soccer matches. *International journal of sports medicine*. 2010;31(10):709-16.
46. Gharbi Z, Dardouri W, Haj-Sassi R, Castagna C, Chamari K, Souissi N. Effect of the number of sprint repetitions on the variation of blood lactate concentration in repeated sprint sessions. *Biology of sport*. 2014;31(2):151.
47. La Monica MB, Fukuda DH, Starling-Smith TM, Clark NW, Panissa VL. Alterations in energy system contribution following upper body sprint interval training. *European journal of applied physiology*. 2020;120(3):643-51.
48. Artioli GG, Bertuzzi RC, Roschel H, Mendes SH, Lancha Jr AH, Franchini E. Determining the contribution of the energy systems during exercise. *JoVE (Journal of Visualized Experiments)*. 2012(61):e3413.
49. Panissa VL, Fukuda DH, Caldeira RS, Gerosa-Neto J, Lira FS, Zagatto AM, et al. Is oxygen uptake measurement enough to estimate energy expenditure during high-intensity intermittent exercise? Quantification of anaerobic contribution by different methods. *Frontiers in physiology*. 2018;9:868.
50. Hughson RL. Oxygen uptake kinetics: historical perspective and future directions. *Applied physiology, nutrition, and metabolism*. 2009;34(5):840-50.
51. Neuffer PD. The bioenergetics of exercise. *Cold Spring Harbor perspectives in medicine*. 2018;8(5):a029678.
52. Kraemer WJ, Fleck SJ, Deschenes MR. *Exercise physiology: integrating theory and application*: Lippincott Williams & Wilkins; 2011.
53. Saghiv MS, Sagiv MS. *Basic Exercise Physiology*. Springer; 2020. p. 36-8.
54. Cox MM, Nelson DL. *Lehninger principles of biochemistry*: Wh Freeman New York; 2008.
55. Smith RL, Soeters MR, Wüst RC, Houtkooper RH. Metabolic flexibility as an adaptation to energy resources and requirements in health and disease. *Endocrine reviews*. 2018;39(4):489-517.
56. Bowen TS, Benson AP, Rossiter HB. The coupling of internal and external gas exchange during exercise. *Muscle and exercise physiology*: Elsevier; 2019. p. 217-49.
57. McArdle WD, Katch FI, Katch VL. *Exercise physiology: nutrition, energy, and human performance*. 2010. Lippincott Williams & Wilkins; [226].
58. Armstrong R. *Biochemistry: energy liberation and use*. Sports medicine and physiology Saunders, Philadelphia. 1979:3-29.

59. Powers SK, Howley ET, Quindry J. Exercise physiology: Theory and application to fitness and performance. McGraw-Hill New York, NY; 2007. p. 69-70.
60. Åstrand P-O, Rodahl K, Dahl HA, Strømme SB. Textbook of work physiology: physiological bases of exercise: Human kinetics; 2003.
61. Riley Jr WW, Powers SK, Welch HG. The effect of two levels of muscular work on urinary creatinine excretion. *Research quarterly for exercise and sport*. 1981;52(3):330-8.
62. Gastin PB. Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sports medicine*. 2001;31(10):725-41.
63. Powers SK, Howley ET, Quindry J. Exercise physiology: Theory and application to fitness and performance. McGraw-Hill New York, NY; 2007. p. 69-75.
64. Franchini E, Sterkowicz S, Szmatlan-Gabrys U, Gabrys T, Garnys M. Energy system contributions to the special judo fitness test. *International journal of sports physiology and performance*. 2011;6(3):334-43.
65. Zafeiridis A, Dalamitros A, Dipla K, Manou V, Galanis N, Kellis S. Recovery during high-intensity intermittent anaerobic exercise in boys, teens, and men. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2005;37(3):505-12.
66. Knuttgen HG, Saltin B. Muscle metabolites and oxygen uptake in short-term submaximal exercise in man. *Journal of Applied Physiology*. 1972;32(5):690-4.
67. Duffield R, Dawson B, Goodman C. Energy system contribution to 1500- and 3000-metre track running. *Journal of sports sciences*. 2005;23(10):993-1002.
68. Serresse O, Lortie G, Bouchard C. Estimation of the Contribution of the Various Energy Systems During. *Int J Sports Med*. 1988;9:456-60.
69. Granier P, Mercier B, Mercier J, Anselme F, Prefaut C. Aerobic and anaerobic contribution to Wingate test performance in sprint and middle-distance runners. *European journal of applied physiology and occupational physiology*. 1995;70(1):58-65.
70. Duffield R, Dawson B, Goodman C. Energy system contribution to 100-m and 200-m track running events. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2004;7(3):302-13.
71. Zagatto A, Bertuzzi R, Miyagi W, Padulo J, Papoti M. MAOD determined in a single supramaximal test: a study on the reliability and effects of supramaximal intensities. *International journal of sports medicine*. 2016;37(09):700-7.
72. Duffield R, Dawson B, Goodman C. Energy system contribution to 400-metre and 800-metre track running. *Journal of sports sciences*. 2005;23(3):299-307.
73. Li Y, Niessen M, Chen X, Hartmann U. Method-induced differences of energy contributions in women's kayaking. *International journal of sports physiology and performance*. 2018;13(1):9-13.

74. Sweeting AJ, Cormack SJ, Morgan S, Aughey RJ. When is a sprint a sprint? A review of the analysis of team-sport athlete activity profile. *Frontiers in physiology*. 2017;8:432.
75. Okuno NM, Tricoli V, Silva SB, Bertuzzi R, Moreira A, Kiss MA. Postactivation potentiation on repeated-sprint ability in elite handball players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2013;27(3):662-8.
76. Milioni F, Zagatto AM, Barbieri RA, Andrade VL, dos Santos JW, Gobatto CA, et al. Energy systems contribution in the running-based anaerobic sprint test. *International journal of sports medicine*. 2017;38(03):226-32.
77. Bertuzzi R, Melegati J, Bueno S, Ghiarone T, Pasqua LA, Gáspari AF, et al. GEDAE-LaB: a free software to calculate the energy system contributions during exercise. *PloS one*. 2016;11(1):e0145733.
78. Perroni F, Emerenziani GP, Pentenè F, Gallotta MC, Guidetti L, Baldari C. Energy Cost and Energy Sources of an Elite Female Soccer Player to Repeated Sprint Ability Test: A Case Study. *The Open Sports Sciences Journal*. 2019;12(1).
79. di Prampero PE, Ferretti G. The energetics of anaerobic muscle metabolism: a reappraisal of older and recent concepts. *Respiration physiology*. 1999;118(2-3):103-15.
80. Powers SK, Howley ET, Quindry J. *Exercise physiology: Theory and application to fitness and performance*: McGraw-Hill New York, NY; 2007.
81. Brooks GA. Bioenergetics of exercising humans. *Comprehensive Physiology*. 2011;2(1):537-62.
82. Wells GD, Selvadurai H, Tein I. Bioenergetic provision of energy for muscular activity. *Paediatric respiratory reviews*. 2009;10(3):83-90.
83. Verheyden B, Beckers F, Aubert AE. *Bioenergetics and Systemic Responses to Exercise*. Wiley Encyclopedia of Biomedical Engineering. 2006.
84. Peyrebrune M, Toubekis A, Lakomy H, Nevill M. Estimating the energy contribution during single and repeated sprint swimming. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*. 2014;24(2):369-76.
85. Kenney WL, Wilmore JH, Costill DL. *Physiology of sport and exercise: Human kinetics*; 2015.
86. Cox GR, Desbrow B, Montgomery PG, Anderson ME, Bruce CR, Macrides TA, et al. Effect of different protocols of caffeine intake on metabolism and endurance performance. *Journal of Applied Physiology*. 2002.
87. Bishop D. Warm up I. *Sports medicine*. 2003;33(6):439-54.
88. Farrell PA, Joyner MJ, Caiozzo V. *ACSM's advanced exercise physiology*: Wolters Kluwer Health Adis (ESP); 2011.
89. Keller C, Steensberg A, Pilegaard H, Osada T, Saltin B, Pedersen BK, et al. Transcriptional activation of the IL-6 gene in human contracting skeletal muscle: influence of muscle glycogen content. *The FASEB Journal*. 2001;15(14):1-15.

90. McArdle WD, Katch FI, Katch VL. Essentials of exercise physiology: Lippincott Williams & Wilkins; 2006.
91. Esbjornsson-Liljedahl M, Sundberg CJ, Norman B, Jansson E. Metabolic response in type I and type II muscle fibers during a 30-s cycle sprint in men and women. *Journal of Applied Physiology*. 1999;87(4):1326-32.
92. Bonen A. Lactate transporters (MCT proteins) in heart and skeletal muscles. *Medicine and science in sports and exercise*. 2000;32(4):778-89.
93. Baechle TR, Earle RW. Essentials of strength training and conditioning: Human kinetics; 2008.
94. Balsom P, Seger J, Sjödin B, Ekblom B. Maximal-intensity intermittent exercise: effect of recovery duration. *International journal of sports medicine*. 1992;13(07):528-33.
95. Parolin ML, Chesley A, Matsos MP, Spriet LL, Jones NL, Heigenhauser GJ. Regulation of skeletal muscle glycogen phosphorylase and PDH during maximal intermittent exercise. *American Journal of Physiology-Endocrinology And Metabolism*. 1999.
96. Lacour J, Bouvat E, Barthelemy J. Post-competition blood lactate concentrations as indicators of anaerobic energy expenditure during 400-m and 800-m races. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. 1990;61(3):172-6.
97. Scott CB, Croteau A, Ravlo T. Energy expenditure before, during, and after the bench press. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2009;23(2):611-8.
98. Green H, Halestrap A, Mockett C, O'toole D, Grant S, Ouyang J. Increases in muscle MCT are associated with reductions in muscle lactate after a single exercise session in humans. *American Journal of Physiology-Endocrinology And Metabolism*. 2002;282(1):E154-E60.
99. Tonouchi M, Hatta H, Bonen A. Muscle contraction increases lactate transport while reducing sarcolemmal MCT4, but not MCT1. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*. 2002;282(5):E1062-E9.
100. Emhoff C-AW, Messonnier LA, Horning MA, Fattor JA, Carlson TJ, Brooks GA. Gluconeogenesis and hepatic glycogenolysis during exercise at the lactate threshold. *Journal of Applied Physiology*. 2013;114(3):297-306.
101. Fitts RH. The cross-bridge cycle and skeletal muscle fatigue. *Journal of applied physiology*. 2008;104(2):551-8.
102. Juel C. Current aspects of lactate exchange: lactate/H⁺ transport in human skeletal muscle. *European journal of applied physiology*. 2001;86(1):12-6.
103. Tomlin DL, Wenger HA. The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise. *Sports Medicine*. 2001;31(1):1-11.
104. Beneke R, Pollmann C, Bleif I, Leithäuser R, Hütler M. How anaerobic is the Wingate Anaerobic Test for humans? *European journal of applied physiology*. 2002;87(4):388-92.

105. Spencer MR, Gustin PB. Energy system contribution during 200-to 1500-m running in highly trained athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2001;33(1):157-62.
106. Scott CB, Leighton BH, Ahearn KJ, McManus JJ. Aerobic, anaerobic, and excess postexercise oxygen consumption energy expenditure of muscular endurance and strength: 1-set of bench press to muscular fatigue. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2011;25(4):903-8.
107. Bangsbo J, Krstrup P, González-Alonso J, Saltin B. ATP production and efficiency of human skeletal muscle during intense exercise: effect of previous exercise. *American Journal of Physiology-Endocrinology And Metabolism*. 2001;280(6):E956-E64.
108. MacArthur DG, North KN. Genes and human elite athletic performance. *Human genetics*. 2005;116(5):331-9.
109. Carter H, Jones AM, Barstow TJ, Burnley M, Williams CA, Doust JH. Oxygen uptake kinetics in treadmill running and cycle ergometry: a comparison. *Journal of applied physiology*. 2000;89(3):899-907.
110. Xu F, Rhodes EC. Oxygen uptake kinetics during exercise. *Sports Medicine*. 1999;27(5):313-27.
111. Gielen S, Hambrecht R. Effects of exercise training on vascular function and myocardial perfusion. *Cardiology clinics*. 2001;19(3):357-68.
112. Suter E, Hoppeler H, Claassen H, Billeter R, Aebi U, Horber F, et al. Ultrastructural modification of human skeletal muscle tissue with 6-month moderate-intensity exercise training. *International journal of sports medicine*. 1995;16(03):160-6.
113. Bishop DJ. Fatigue during intermittent- sprint exercise. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*. 2012;39(9):836-41.
114. Gaesser GA, Brooks CA. Metabolic bases of excess post-exercise oxygen. *Medicine and science in sports and exercise*. 1984;16(1):29-43.
115. Hill A, Lupton H. Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilization of oxygen. *QJM: An International Journal of Medicine*. 1923(62):135-71.
116. Laforgia J, Withers RT, Gore CJ. Effects of exercise intensity and duration on the excess post-exercise oxygen consumption. *Journal of sports sciences*. 2006;24(12):1247-64.
117. Powers SK, Beadle RE, Lawler J, Thompson D. Oxygen deficit-oxygen debt relationships in ponies during submaximal treadmill exercise. *Respiration physiology*. 1987;70(1):251-63.
118. Hickson R, Bomze H, Hollozy J. Faster adjustment of O₂ uptake to the energy requirement of exercise in the trained state. *Journal of Applied Physiology*. 1978;44(6):877-81.
119. Townsend JR, Stout JR, Morton AB, Jajtner AR, Gonzalez AM, Wells AJ, et al. Excess post-exercise oxygen consumption (EPOC) following multiple effort sprint and moderate aerobic exercise. *Kinesiology*. 2013;45(1):16.

120. Panissa VL, Fukuda DH, Staibano V, Marques M, Franchini E. Magnitude and duration of excess of post-exercise oxygen consumption between high-intensity interval and moderate-intensity continuous exercise: A systematic review. *Obesity Reviews*. 2021;22(1):e13099.
121. Brooks G. Lactate: glycolytic end product and oxidative substrate during sustained exercise in mammals—the “lactate shuttle”. *Circulation, Respiration, and Metabolism*: Springer; 1985. p. 208-18.
122. Brooks G, Fahey T, Baldwin K. Exercise, disease, and disability. *Exercise physiology: Human bioenergetics and its applications* 4th ed New York, NY: McGraw Hill: Higher Education. 2005:649-80.
123. Harris R, Edwards R, Hultman E, Nordesjö L, Nylinde B, Sahlin K. The time course of phosphorylcreatine resynthesis during recovery of the quadriceps muscle in man. *Pflügers Archiv*. 1976;367(2):137-42.
124. Hagberg J, Mullin J, Nagle F. Oxygen consumption during constant-load exercise. *Journal of Applied Physiology*. 1978;45(3):381-4.
125. Benasutti H. *High Intensity Sprinting Through Metabolic Pathways: a Biochemical Analysis of Exercise and Fitness*. 2016.
126. Gladden LB, Stainsby WN, MacIntosh BR. Norepinephrine increases canine skeletal muscle VO₂ during recovery. *Medicine and science in sports and exercise*. 1982;14(6):471-6.
127. Gore C, Withers R. Effect of exercise intensity and duration on postexercise metabolism. *Journal of applied Physiology*. 1990;68(6):2362-8.
128. Bahr R, Grønnerød O, Sejersted O. Effect of supramaximal exercise on excess postexercise O₂ consumption. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 1992;24(1):66-71.
129. Børsheim E, Bahr R. Effect of exercise intensity, duration and mode on post-exercise oxygen consumption. *Sports medicine*. 2003;33(14):1037-60.
130. Gore C, Withers R. The effect of exercise intensity and duration on the oxygen deficit and excess post-exercise oxygen consumption. *European journal of applied physiology and occupational physiology*. 1990;60(3):169-74.
131. Kaminsky L, Padjen S, LaHam-Saeger J. Effect of split exercise sessions on excess post-exercise oxygen consumption. *British Journal of Sports Medicine*. 1990;24(2):95-8.
132. Almuzaini KS, Potteiger JA, Green SB. Effects of split exercise sessions on excess postexercise oxygen consumption and resting metabolic rate. *Canadian Journal of Applied Physiology*. 1998;23(5):433-43.
133. Laforgia J, Withers RT, Shipp N, Gore CJ. Comparison of energy expenditure elevations after submaximal and supramaximal running. *Journal of Applied Physiology*. 1997.
134. Bahr R. Excess postexercise oxygen consumption magnitude, mechanisms and practical implications. *Acta physiologica scandinavica Supplementum*. 1992;144(605):1-70.

135. Bahr R, Inghes I, Vaage O, Sejersted O, Newsholme EA. Effect of duration of exercise on excess postexercise O₂ consumption. *Journal of Applied Physiology*. 1987;62(2):485-90.
136. Bahr R, Sejersted OM. Effect of intensity of exercise on excess postexercise O₂ consumption. *Metabolism*. 1991;40(8):836-41.
137. Sedlock DA. Postexercise energy expenditure following upper body exercise. *Research quarterly for exercise and sport*. 1991;62(2):213-6.
138. Frey GC, Byrnes WC, Mazzeo RS. Factors influencing excess postexercise oxygen consumption in trained and untrained women. *Metabolism*. 1993;42(7):822-8.
139. Short KR, Sedlock DA. Excess postexercise oxygen consumption and recovery rate in trained and untrained subjects. *Journal of applied physiology*. 1997;83(1):153-9.
140. Solomon SJ, Kurzer MS, Calloway DH. Menstrual cycle and basal metabolic rate in women. *The American journal of clinical nutrition*. 1982;36(4):611-6.
141. Bisdee J, James W, Shaw M. Changes in energy expenditure during the menstrual cycle. *British Journal of Nutrition*. 1989;61(2):187-99.
142. Matsuo T, Saitoh S, Suzuki M. Effects of the menstrual cycle on excess postexercise oxygen consumption in healthy young women. *Metabolism*. 1999;48(3):275-7.
143. Fukuba Y, Yano Y, Murakami H, Kan A, Miura A. The effect of dietary restriction and menstrual cycle on excess post-exercise oxygen consumption (EPOC) in young women. *Clinical Physiology (Oxford, England)*. 2000;20(2):165-9.
144. Berg K. Comparison of energy expenditure in men and women at rest and during exercise recovery. *The Journal of sports medicine and physical fitness*. 1991;31(3):351-6.
145. Smith J, Mc Naughton L. The effects of intensity of exercise on excess postexercise oxygen consumption and energy expenditure in moderately trained men and women. *European journal of applied physiology and occupational physiology*. 1993;67(5):420-5.
146. Slattery K, Coutts AJ. The application of heat stress to team sports: football/soccer, Australian football and rugby. *Heat stress in sport and exercise: Springer*; 2019. p. 181-202.
147. Buchheit M, Mendez-Villanueva A, Quod M, Quesnel T, Ahmaidi S. Improving acceleration and repeated sprint ability in well-trained adolescent handball players: speed versus sprint interval training. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2010;5(2):152-64.
148. Serpiello FR, McKenna MJ, Stepto NK, Bishop DJ, Aughey RJ. Performance and physiological responses to repeated-sprint exercise: a novel multiple-set approach. *European journal of applied physiology*. 2011;111(4):669-78.

149. Gale RM, Etxebarria N, Pumpa KL, Pyne DB. Cycling-based repeat sprint training in the heat enhances running performance in team sport players. *European journal of sport science*. 2021;21(5):695-704.
150. Baldi M, Da Silva JF, Buzzachera CF, Castagna C, Guglielmo LG. Repeated sprint ability in soccer players: associations with physiological and neuromuscular factors. *J Sports Med Phys Fitness*. 2017;57(1-2):26-32.
151. Mendez-Villanueva A, Edge J, Suriano R, Hamer P, Bishop D. The recovery of repeated-sprint exercise is associated with PCr resynthesis, while muscle pH and EMG amplitude remain depressed. *PLoS one*. 2012;7(12):e51977.
152. Billaut F, Basset FA, Falgairette G. Muscle coordination changes during intermittent cycling sprints. *Neuroscience letters*. 2005;380(3):265-9.
153. Giacomoni M, Billaut F, Falgairette G. Effects of the time of day on repeated all-out cycle performance and short-term recovery patterns. *International journal of sports medicine*. 2006;27(06):468-74.
154. Matsuura R, Ogata H, Yunoki T, Arimitsu T, Yano T. Effect of blood lactate concentration and the level of oxygen uptake immediately before a cycling sprint on neuromuscular activation during repeated cycling sprints. *Journal of physiological anthropology*. 2006;25(4):267-73.
155. Madueno M, Dalbo V, Guy J, Giamarelos K, Spiteri T, Scanlan A. Passive Recovery Reduces Fatigue During Repeated-Change-of-Direction Sprints in Basketball Players. *International journal of sports physiology and performance*. 2018:1-23.
156. Bompa TO, Buzzichelli C. *Periodization-: theory and methodology of training: Human kinetics*; 2019.
157. Rodriguez R, Townsend N, Aughey R, Billaut F. Influence of averaging method on muscle deoxygenation interpretation during repeated- sprint exercise. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*. 2018;28(11):2263-71.
158. 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.
159. Torres-Torrelo J, Rodríguez-Rosell D, Mora-Custodio R, Pareja-Blanco F, Yañez-García JM, González-Badillo JJ. Effects of resistance training and combined training program on repeated sprint ability in futsal players. *International journal of sports medicine*. 2018;39(07):517-26.
160. Smith JC, Hill D. Contribution of energy systems during a Wingate power test. *British Journal of Sports Medicine*. 1991;25(4):196-9.
161. Harvey L, Wiegand A, Solomon C, McLellan C, Lovell D. A comparison of upper and lower body energetics during high-intensity exercise. *J Sports Med Phys Fitness*. 2015;55(55):708-13.
162. Silva J, Rumpf M, Hertzog M, Castagna C, Farooq A, Girard O, et al. Acute and residual soccer match-related fatigue: a systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*. 2018;48(3):539-83.

163. Andrzejewski M, Chmura J, Pluta B, Konarski JM. Sprinting activities and distance covered by top level Europa league soccer players. *International Journal of Sports Science & Coaching*. 2015;10(1):39-50.
164. Ulupınar S, Özbay S. Energy pathway contributions during 60-second upper-body Wingate test in Greco-Roman wrestlers: intermittent versus single forms. *Research in Sports Medicine*. 2021:1-12.
165. Gaul C, Docherty D, Wolski L. The relationship between aerobic fitness and intermittent high intensity anaerobic performance in active females. *Can J Appl Physiol*. 1997;22.
166. Doyal L. Sex, gender, and health: the need for a new approach. *Bmj*. 2001;323(7320):1061-3.
167. Beery AK, Zucker I. Sex bias in neuroscience and biomedical research. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. 2011;35(3):565-72.
168. Miller VM. Sex-based physiology prior to political correctness. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*. 2005;289(3):E359-E60.
169. Clayton JA. Studying both sexes: a guiding principle for biomedicine. *The FASEB Journal*. 2016;30(2):519-24.
170. Plowman SA, Smith DL. *Exercise physiology for health fitness and performance*: Lippincott Williams & Wilkins; 2013.
171. Dominelli PB, Molgat-Seon Y, Sheel AW. Sex differences in the pulmonary system influence the integrative response to exercise. *Exercise and sport sciences reviews*. 2019;47(3):142-50.
172. Zierath JR, Hawley JA. Skeletal muscle fiber type: influence on contractile and metabolic properties. *PLoS Biol*. 2004;2(10):e348.
173. Staron RS, Hagerman FC, Hikida RS, Murray TF, Hostler DP, Crill MT, et al. Fiber type composition of the vastus lateralis muscle of young men and women. *Journal of histochemistry & cytochemistry*. 2000;48(5):623-9.
174. Parker BA, Smithmyer SL, Pelberg JA, Mishkin AD, Herr MD, Proctor DN. Sex differences in leg vasodilation during graded knee extensor exercise in young adults. *Journal of Applied Physiology*. 2007;103(5):1583-91.
175. Roepstorff C, Thiele M, Hillig T, Pilegaard H, Richter EA, Wojtaszewski JF, et al. Higher skeletal muscle α 2AMPK activation and lower energy charge and fat oxidation in men than in women during submaximal exercise. *The Journal of physiology*. 2006;574(1):125-38.
176. Hunter SK. Sex differences in human fatigability: mechanisms and insight to physiological responses. *Acta physiologica*. 2014;210(4):768-89.
177. Behm DG, Alizadeh S, Anvar SH, Hanlon C, Ramsay E, Mahmoud MMI, et al. Non-local Muscle Fatigue Effects on Muscle Strength, Power, and Endurance in Healthy Individuals: A Systematic Review with Meta-analysis. *Sports Medicine*. 2021:1-15.
178. Maughan R, Harmon M, Leiper J, Sale D, Delman A. Endurance capacity of untrained males and females in isometric and dynamic muscular contractions.

- European journal of applied physiology and occupational physiology. 1986;55(4):395-400.
179. Hicks AL, Kent-Braun J, Ditor DS. Sex differences in human skeletal muscle fatigue. *Exercise and sport sciences reviews*. 2001;29(3):109-12.
 180. Mayhew J, Salm PC. Gender differences in anaerobic power tests. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. 1990;60(2):133-8.
 181. Nindl BC, Mahar MT, Harman EA, Patton JF. Lower and upper body anaerobic performance in male and female adolescent athletes. *Medicine and science in sports and exercise*. 1995;27(2):235-41.
 182. Esbjornsson-Liljedahl M, Bodin K, Jansson E. Smaller muscle ATP reduction in women than in men by repeated bouts of sprint exercise. *Journal of Applied Physiology*. 2002;93(3):1075-83.
 183. Sayers SP, Clarkson PM. Force recovery after eccentric exercise in males and females. *European journal of applied physiology*. 2001;84(1):122-6.
 184. Laurent C, Green J, Bishop P, Sjøkvist J, Schumacker R, Richardson M, et al. Effect of gender on fatigue and recovery following maximal intensity repeated sprint performance. *J Sports Med Phys Fitness*. 2010;50(3):243-53.
 185. Coast JR, Blevins JS, Wilson BA. Do gender differences in running performance disappear with distance? *Canadian Journal of Applied Physiology*. 2004;29(2):139-45.
 186. Lepers R. Sex difference in triathlon performance. *Frontiers in physiology*. 2019;10:973.
 187. Zingg MA, Karner-Rezek K, Rosemann T, Knechtle B, Lepers R, Rüst CA. Will women outrun men in ultra-marathon road races from 50 km to 1,000 km? *Springerplus*. 2014;3(1):1-12.
 188. Temesi J, Arnal PJ, Rupp T, Féasson L, Cartier R, Gergelé L, et al. Are females more resistant to extreme neuromuscular fatigue. *Med Sci Sports Exerc*. 2015;47(7):1372-82.
 189. Giacomoni M, Bernard T, Gavarry O, Altare S, Falgairette G. Influence of the menstrual cycle phase and menstrual symptoms on maximal anaerobic performance. *Medicine and science in sports and exercise*. 2000;32(2):486-92.
 190. Tanaka H, Bassett Jr D, Swensen T, Sampedro R. Aerobic and Anaerobic Power Characteristics of Competitive. *Int J Sports Med*. 1993;14(334):338.
 191. Maughan R, Leiper J. Aerobic capacity and fractional utilisation of aerobic capacity in elite and non-elite male and female marathon runners. *European journal of applied physiology and occupational physiology*. 1983;52(1):80-7.
 192. Loe H, Rognmo Ø, Saltin B, Wisløff U. Aerobic capacity reference data in 3816 healthy men and women 20–90 years. *PloS one*. 2013;8(5):e64319.
 193. Calbet J, Joyner M. Disparity in regional and systemic circulatory capacities: do they affect the regulation of the circulation? *Acta Physiologica*. 2010;199(4):393-406.

194. Åstrand P-O. Human physical fitness with special reference to sex and age. *Physiological reviews*. 1956;36(3):307-35.
195. Pfaffenberger S, Bartko P, Graf A, Pernicka E, Babayev J, Lolic E, et al. Size matters! Impact of age, sex, height, and weight on the normal heart size. *Circulation: Cardiovascular Imaging*. 2013;6(6):1073-9.
196. Lundby C, Robach P. Performance enhancement: what are the physiological limits? *Physiology*. 2015.
197. Montero D, Lundby C. Regulation of red blood cell volume with exercise training. *Comprehensive Physiology*. 2011;9(1):149-64.
198. Ogawa T, Spina RJ, Martin 3rd W, Kohrt WM, Schechtman KB, Holloszy JO, et al. Effects of aging, sex, and physical training on cardiovascular responses to exercise. *Circulation*. 1992;86(2):494-503.
199. Lundby C, Montero D, Joyner M. Biology of VO₂max: looking under the physiology lamp. *Acta Physiologica*. 2017;220(2):218-28.
200. Bonne TC, Doucende G, Flück D, Jacobs RA, Nordborg NB, Robach P, et al. Phlebotomy eliminates the maximal cardiac output response to six weeks of exercise training. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*. 2014;306(10):R752-R60.
201. Montero D, Madsen K, Meinild- Lundby AK, Edin F, Lundby C. Sexual dimorphism of substrate utilization: Differences in skeletal muscle mitochondrial volume density and function. *Experimental physiology*. 2018;103(6):851-9.
202. Cureton KJ, Sparling P, Evans B, Johnson S, Kong U, Purvis J. Effect of experimental alterations in excess weight on aerobic capacity and distance running performance. *Medicine and science in sports*. 1978;10(3):194-9.
203. Sandbakk Ø, Solli GS, Holmberg H-C. Sex differences in world-record performance: the influence of sport discipline and competition duration. *International journal of sports physiology and performance*. 2018;13(1):2-8.
204. Pendergast D, Di Prampero P, Craig Jr A, Wilson D, Rennie D. Quantitative analysis of the front crawl in men and women. *Journal of Applied Physiology*. 1977;43(3):475-9.
205. Lavoie J-M, Montpetit RR. Applied physiology of swimming. *Sports medicine*. 1986;3(3):165-89.
206. Driss T, Vandewalle H. The measurement of maximal (anaerobic) power output on a cycle ergometer: a critical review. *BioMed research international*. 2013;2013.
207. Maud PJ, Shultz BB. Gender comparisons in anaerobic power and anaerobic capacity tests. *British journal of sports medicine*. 1986;20(2):51-4.
208. Tiller NB, Elliott-Sale KJ, Knechtle B, Wilson PB, Roberts JD, Millet GY. Do sex differences in physiology confer a female advantage in ultra-endurance sport? *Sports Medicine*. 2021:1-21.

209. Diaz-Canestro C, Pentz B, Sehgal A, Montero D. Sex differences in cardiorespiratory fitness are explained by blood volume and oxygen carrying capacity. *Cardiovascular Research*. 2021.
210. Tarnopolsky MA. Gender differences in metabolism; nutrition and supplements. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2000;3(3):287-98.
211. Fomin Å, Ahlstrand M, Schill HG, Lund LH, Ståhlberg M, Manouras A, et al. Sex differences in response to maximal exercise stress test in trained adolescents. *BMC pediatrics*. 2012;12(1):1-8.
212. Molgat-Seon Y. Sex-differences in respiratory mechanics during exercise in healthy aging: University of British Columbia; 2017.
213. Molgat-Seon Y, Peters CM, Sheel AW. Sex-differences in the human respiratory system and their impact on resting pulmonary function and the integrative response to exercise. *Current Opinion in Physiology*. 2018;6:21-7.
214. Brooks LJ, Strohl KP. Sex and race differences in the development of lung function. *The American review of respiratory disease*. 1989;140(3):855.
215. Dominelli PB, Render JN, Molgat-Seon Y, Foster GE, Romer LM, Sheel AW. Oxygen cost of exercise hyperpnoea is greater in women compared with men. *The Journal of physiology*. 2015;593(8):1965-79.
216. Aaron E, Seow K, Johnson B, Dempsey J. Oxygen cost of exercise hyperpnea: implications for performance. *Journal of applied physiology*. 1992;72(5):1818-25.
217. Layton AM, Garber CE, Thomashow BM, Gerardo RE, Emmert-Aronson BO, Armstrong HF, et al. Exercise ventilatory kinematics in endurance trained and untrained men and women. *Respiratory physiology & neurobiology*. 2011;178(2):223-9.
218. Romer LM, Polkey MI. Exercise-induced respiratory muscle fatigue: implications for performance. *Journal of Applied Physiology*. 2008;104(3):879-88.
219. Tiller NB, Campbell IG, Romer LM. Influence of upper-body exercise on the fatigability of human respiratory muscles. *Medicine and science in sports and exercise*. 2017;49(7):1461.
220. Sheel AW, Dominelli PB, Molgat-Seon Y. Revisiting dysanapsis: sex- based differences in airways and the mechanics of breathing during exercise. *Experimental physiology*. 2016;101(2):213-8.
221. Guenette JA, Witt JD, McKenzie DC, Road JD, Sheel AW. Respiratory mechanics during exercise in endurance- trained men and women. *The Journal of physiology*. 2007;581(3):1309-22.
222. Johnson BD, Saupe KW, Dempsey JA. Mechanical constraints on exercise hyperpnea in endurance athletes. *Journal of applied physiology*. 1992;73(3):874-86.
223. Chin RC, Guenette JA, Cheng S, Raghavan N, Amornputtisathaporn N, Cortés-Télles A, et al. Does the respiratory system limit exercise in mild chronic

- obstructive pulmonary disease? *American journal of respiratory and critical care medicine*. 2013;187(12):1315-23.
224. Palmer BF, Clegg DJ. Physiology and pathophysiology of potassium homeostasis. *Advances in physiology education*. 2016.
 225. Hasan O, Houlihan M, Yang D, Kohler T. Testosterone as a Performance Enhancer. *Controversies in Testosterone Deficiency*: Springer; 2021. p. 123-38.
 226. Gleason ED, Fuxjager MJ, Oyegbile TO, Marler CA. Testosterone release and social context: when it occurs and why. *Frontiers in neuroendocrinology*. 2009;30(4):460-9.
 227. Storer TW, Magliano L, Woodhouse L, Lee ML, Dzekov C, Dzekov J, et al. Testosterone dose-dependently increases maximal voluntary strength and leg power, but does not affect fatigability or specific tension. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*. 2003;88(4):1478-85.
 228. Handelsman DJ, Hirschberg AL, Bermon S. Circulating testosterone as the hormonal basis of sex differences in athletic performance. *Endocrine reviews*. 2018;39(5):803-29.
 229. McNulty KL, Elliott-Sale KJ, Dolan E, Swinton PA, Ansdell P, Goodall S, et al. The effects of menstrual cycle phase on exercise performance in eumenorrheic women: a systematic review and meta-analysis. *Sports medicine*. 2020:1-15.
 230. Chidi-Ogbolu N, Baar K. Effect of estrogen on musculoskeletal performance and injury risk. *Frontiers in physiology*. 2019;9:1834.
 231. Tarnopolsky M. *Gender differences in metabolism: Practical and nutritional implications*: CRC Press; 1998.
 232. Copeland JL, Consitt LA, Tremblay MS. Hormonal responses to endurance and resistance exercise in females aged 19–69 years. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*. 2002;57(4):B158-B65.
 233. Ettinger SM. Muscle sympathetic nerve activity during exercise and influences of gender. *Gender Differences in Metabolism: Practical and Nutritional Implications*. 2019.
 234. Casey A, Constantin-Teodosiu D, Howell S, Hultman E, Greenhaff P. Metabolic response of type I and II muscle fibers during repeated bouts of maximal exercise in humans. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*. 1996;271(1):E38-E43.
 235. Glenmark B, Hedberg G, Jansson E. Changes in muscle fibre type from adolescence to adulthood in women and men. *Acta Physiologica Scandinavica*. 1992;146(2):251-9.
 236. Bulbulian R, Jeong J, Murphy M. Comparison of anaerobic components of the Wingate and Critical Power tests in males and females. *Medicine and science in sports and exercise*. 1996;28(10):1336-41.

237. Mendez-Villanueva A, Hamer P, Bishop D. Fatigue in repeated-sprint exercise is related to muscle power factors and reduced neuromuscular activity. *European journal of applied physiology*. 2008;103(4):411-9.
238. Komi P, Karlsson J. Skeletal muscle fibre types, enzyme activities and physical performance in young males and females. *Acta Physiologica Scandinavica*. 1978;103(2):210-8.
239. Nygaard E. Skeletal muscle fibre characteristics in young women. *Acta Physiologica Scandinavica*. 1981;112(3):299-304.
240. Brooks S, Nevill M, Meleagros L, Lakomy H, Hall G, Bloom S, et al. The hormonal responses to repetitive brief maximal exercise in humans. *European journal of applied physiology and occupational physiology*. 1990;60(2):144-8.
241. Ruby BC, Robergs RA, Waters DL, Burge M, Mermier C, Stolarczyk L. Effects of estradiol on substrate turnover during exercise in amenorrheic females. *Medicine and science in sports and exercise*. 1997;29(9):1160-9.
242. Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine & science in sports & exercise*. 1982.
243. Wiecek M, Szymura J, Maciejczyk M, Cempla J, Szygula Z. Effect of sex and menstrual cycle in women on starting speed, anaerobic endurance and muscle power. *Acta Physiologica Hungarica*. 2016;103(1):127-32.
244. Hazir T, Akdoğan B, Açıkada C. Menstrual Döngü Fazlarının Tekrarlı Sprint Performansı Ve Aktif Toparlanma Esnasında Kandanda Laktik Asit Uzaklaştırılma Hızına Etkisi. *Spor Bilimleri Dergisi*. 2011;22(3):115-23.
245. Tanner R, Gore C. *Physiological tests for elite athletes: Human kinetics*; 2012.
246. Reilly T, Waterhouse J. Sports performance: is there evidence that the body clock plays a role? *European journal of applied physiology*. 2009;106(3):321-32.
247. Kınışler A. Anaerobik Performansta Sirkadiyen Değişimlerin İncelenmesi. *Spor Bilimleri Dergisi*. 2005;16(4):174-84.
248. Norton KI. Standards for anthropometry assessment. *Kinanthropometry and exercise physiology: Routledge*; 2018. p. 68-137.
249. Basset FA, Boulay MR. Specificity of treadmill and cycle ergometer tests in triathletes, runners and cyclists. *European Journal of Applied Physiology*. 2000;81(3):214-21.
250. Davis J. Direct determination of aerobic power. *Physiological assessment of human fitness*. 1995:9-17.
251. Bogdanis G, Papaspyrou A, Lakomy H, Nevill M. Effects of inertia correction and resistive load on fatigue during repeated sprints on a friction-loaded cycle ergometer. *Journal of sports sciences*. 2008;26(13):1437-45.
252. Hoffman M, Schrader J, Applegate T, Koceja D. Unilateral postural control of the functionally dominant and nondominant extremities of healthy subjects. *Journal of athletic training*. 1998;33(4):319.

253. Kovacikova Z, Zemkova E, Neumannova K, Jelen M, Jelen K, Janura M. The role of lateral preference of lower limbs in a postural stabilization task. *Neuroendocrinol Lett.* 2015;36:91-5.
254. James DV, Wood DM, Maberly TC, Croix MDS. Optimized versus corrected peak power during friction-braked cycle ergometry in males and females. *Journal of sports sciences.* 2007;25(8):859-67.
255. Oliver JL. Is a fatigue index a worthwhile measure of repeated sprint ability? *Journal of Science and medicine in Sport.* 2009;12(1):20-3.
256. da Silva RP, de Oliveira LF, Saunders B, de Andrade Kratz C, de Salles Painelli V, da Eira Silva V, et al. Effects of β -alanine and sodium bicarbonate supplementation on the estimated energy system contribution during high-intensity intermittent exercise. *Amino Acids.* 2019;51(1):83-96.
257. Latzel R, Hoos O, Stier S, Kaufmann S, Fresz V, Reim D, et al. Energetic profile of the basketball exercise simulation test in junior elite players. *International journal of sports physiology and performance.* 2018;13(6):810-5.
258. Milioni F, Leite JvdM, Beneke R, De Poli RAB, Papoti M, Zagatto AM. Table tennis playing styles require specific energy systems demands. *PLoS One.* 2018;13(7):e0199985.
259. Ulupinar S, Özbay S, Gençoğlu C, Franchini E, Kishalı NF, İnce İ. Effects of sprint distance and repetition number on energy system contributions in soccer players. *Journal of Exercise Science & Fitness.* 2021;19(3):182-8.
260. Ulupinar S, Hazır T, Kin İşler A. The Contribution of Energy Systems in Repeated-Sprint Protocols: The Effect of Distance, Rest, and Repetition. *Research Quarterly for Exercise and Sport.* 2021:1-7.
261. Winter E, Eston R, Lamb KL. Statistical analyses in the physiology of exercise and kinanthropometry. *Journal of sports sciences.* 2001;19(10):761-75.
262. Hopkins W, Marshall S, Batterham A, Hanin J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine+ Science in Sports+ Exercise.* 2009;41(1):3.
263. Lakens D. Calculating and reporting effect sizes to facilitate cumulative science: a practical primer for t-tests and ANOVAs. *Frontiers in psychology.* 2013;4:863.
264. Gaitanos G, Nevill M, Brooks S, Williams C. Repeated bouts of sprint running after induced alkalosis. *Journal of sports sciences.* 1991;9(4):355-70.
265. Forbes SC, Paganini AT, Slade JM, Towse TF, Meyer RA. Phosphocreatine recovery kinetics following low-and high-intensity exercise in human triceps surae and rat posterior hindlimb muscles. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology.* 2009;296(1):R161-R70.
266. Castagna C, D'Ottavio S, Vera JG, Álvarez JCB. Match demands of professional Futsal: a case study. *Journal of Science and medicine in Sport.* 2009;12(4):490-4.

267. Castagna C, Manzi V, D'OTTAVIO S, Annino G, Padua E, Bishop D. Relation between maximal aerobic power and the ability to repeat sprints in young basketball players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2007;21(4):1172-6.
268. Billaut F, Bishop DJ. Mechanical work accounts for sex differences in fatigue during repeated sprints. *European journal of applied physiology*. 2012;112(4):1429-36.
269. Hill D, Smith J. Gender difference in anaerobic capacity: role of aerobic contribution. *British journal of sports medicine*. 1993;27(1):45-8.
270. Özdemir Fm, Yilmaz A, Kınışler A. Genç Futbolcularda Tekrarlı Sprint Performansinin Yaşa Göre İncelenmesi. *Spor Bilimleri Dergisi*. 2014;25(1):1-10.
271. Malone S, Solan B, Collins K. The running performance profile of elite Gaelic football match-play. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2017;31(1):30-6.
272. Lovell D, Kerr A, Wiegand A, Solomon C, Harvey L, McLellan C. The contribution of energy systems during the upper body Wingate anaerobic test. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. 2013;38(2):216-9.
273. Hellard P, Pla R, Rodríguez FA, Simbana D, Pyne DB. Dynamics of the metabolic response during a competitive 100-m freestyle in elite male swimmers. *International journal of sports physiology and performance*. 2018;13(8):1011-20.
274. de Moraes Bertuzzi RC, Franchini E, Kokubun E, Kiss MAPDM. Energy system contributions in indoor rock climbing. *European journal of applied physiology*. 2007;101(3):293-300.
275. Kang J. *Bioenergetics primer for exercise science: Human Kinetics*; 2008.
276. Barstow T. Characterization of VO₂ kinetics during heavy exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 1994;26(11):1327-34.
277. Sanchis- Moysi J, Idoate F, Olmedillas H, Guadalupe- Grau A, Alayon S, Carreras A, et al. The upper extremity of the professional tennis player: muscle volumes, fiber- type distribution and muscle strength. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*. 2010;20(3):524-34.
278. Julio UF, Panissa VL, Cury RL, Agostinho MF, Esteves JV, Franchini E. Energy system contributions in upper and lower body wingate tests in highly trained athletes. *Research quarterly for exercise and sport*. 2019;90(2):244-50.

8. EKLER

EK-1: Tez Çalışması Etik Kurul İzni



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

Sayı : 16969557-1670

Konu :

ARAŞTIRMA PROJESİ DEĞERLENDİRME RAPORU

Toplantı Tarihi : 03 EYLÜL 2019 SALI
Toplantı No : 2019/20
Proje No : GO 19/828(Değerlendirme Tarihi: 03.09.2019)
Karar No : 2019/20-60

Üniversitemiz Spor Bilimleri Fakültesi öğretim üyelerinden Prof. Dr. Ayşe Kin İŞLER'in sorumlu araştırmacı olduğu, Prof. Dr. Tahir HAZIR ile birlikte çalışacakları ve Erkan TORTU'nun doktora tezi olan, GO 19/828 kayıt numaralı, "*Farklı Tekrarlı Sprint Protokollerinde Enerji Sistemlerinin Katkısı: Cinsiyetler Arası Karşılaştırma*" başlıklı proje önerisi araştırmanın gerekçe, amaç, yaklaşım ve yöntemleri dikkate alınarak incelenmiş olup, 04 Eylül 2019-04 Eylül 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 SAKAR	(Üye)	11. Doç. Dr. H. Hüseyin TURNAGÖL	(Üye)
4. Prof. Dr. Nedim SAĞLAM	(Üye)	12. Dr. Öğr. Üyesi Özay GÖKÖZ	(Üye)
5. Prof. Dr. Mintaze Kerem GÜNEŞ	(Üye)	13. Dr. Öğr. Üyesi Müge DEMİR	(Üye)
		İZİNLİ	
6. Prof. Dr. Oya Nuran EMİROĞLU	(Üye)	14. Öğr. Gör. Dr. Meltem ŞENGELEN	(Üye)
7. Prof. Dr. M. Özgür UYANIK	(Üye)	15. Av. Meltem ONURLU	(Üye)
		İZİNLİ	
8. Doç. Dr. Gözde GİRGİN	(Üye)		

EK-2. Aydınlatılmış Onam Formu

Araştırmacının Beyanı:

Sayın gönüllü,

Ben Prof. Dr. Ayşe KİN İŞLER ve yardımcı araştırmacı Doktora Öğrencisi Erkan TORTU ile beraber farklı tekrarlı sprint uygulamaları ile ilgili yeni bir araştırma yapmaktayız. Araştırmanın ismi “Farklı Tekrarlı Sprint Protokollerinde Enerji Sistemlerinin Katkısı: Cinsiyetler Arası Karşılaştırma” ‘dır.

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.

Bu araştırmayı yapmak istememizin nedeni, antrenörler, sporcular ve araştırmacılar için antrenman ve test planlamasına bilimsel veriler ışığında katkı sağlamaktır. Hacettepe Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi ile gerçekleştirilecek bu çalışmaya katılımınız araştırmanın başarısı için önemlidir.

Eğer araştırmaya katılmayı kabul ederseniz sizi 4 kez okulumuzun performans laboratuvarına davet edeceğiz. Çalışmanın ilk gününde antropometrik ölçümlerinizi gerçekleştirecek ve testlerde kullanılacak bisiklet ergometreleri ve gaz analizörü sistemlerinde alışmanız sağlanacaktır. İlk gün ziyatertinden 48 saat sonra yapacağınız ikinci ziyarette maksimal oksijen tüketim testiniz yapılacaktır. Bu teste; Monark LC6 bisiklet ergometresinde; 60 rpm'ye eşit veya test boyunca yapabileceğiniz rahat bir çevirme hızında 100 W'ta 4 dakikalık bir ısınma süresinden sonra, test 100 W'lık bir ilk güç çıkışı ile başlayacaksınız. 200 W ulaşılan kadar her dakikada 25 W artış yapılacaktır; daha sonra tükenmeye kadar her 2 dakikada bir 25-W'lık artışlar yapılacaktır. MaksVO₂ test sonlandırma kriterlerinden üçünün aynı anda gözlemlenmesi, maksimal oksijen kullanım kapasitesine ulaşıldığının göstergesi olarak kabul edilecek ve testiniz sona erdirilecektir. Yine 48 saat aralarla gerçekleştirilecek olan 3. ve 4. ziyaretlerinde ise tekrarlı sprint testlerine katılacaksınız. Tekrarlı sprint testleri; bir bisiklet ergometresinde gerçekleştireceğiniz ve sprintler arası 30 saniye pasif dinlenme ile 10x6 saniye ve 6x10 saniye olarak iki protokolden oluşacaktır. Testlere başlamadan önce 20 dk oturur pozisyonda dinlendirileceksiniz. Bu esnada saat şeklinde bir kayıt cihazı ile kalp atım hızınız ölçülecektir. Yine dinlenme sonrasında kulak memesinde bir damlanın yarısından daha az kan örneği alınarak laktik asit analizi yapılacaktır. Tekrarlı sprint protokolleri uygulanırken tükettiğiniz oksijeni ve ürettiğiniz karbondioksiti ölçen bir cihazı vücudunuza bağlayacağız. Cihazın toplam ağırlığı 550 gramdır. Test protokollerini tamamladıktan sonra 15 dk süre ile toparlanma esnasında oksijen tüketimi ve karbondioksit üretiminizi ölçülmeye devam edilecektir. Bu dönemde kan laktik asit konsantrasyonunuzun en yüksek değerini saptamak için 4-5 kez iki dakika süre ile kulak memesinden bir damladan daha az kan alınmaya devam edilecektir. Bir test uygulaması ön hazırlıklar dahil 40-45 dakika sürecektir.

Bu çalışmada karşılaşılabilecek muhtemel risk ve rahatsızlıklar: 1. Tekrarlı sprint protokolleri sonrasında bir yorgunluk hissedebilirsiniz. Ancak bu geçici bir durumdur. 2. **Kan alınması sırasında oluşabilecek riskler:** A-) Kulak memesinden kan alımı esnasında 1-2 mm iğne batmasına bağlı olarak az bir acı duyabilirsiniz. B-) Az bir ihtimal de olsa iğne batması sonrasında kanamanın uzaması veya enfeksiyon riski vardır.

Katılımcının Beyanı:

Sayın Prof. Dr. Ayşe KİN İŞLER tarafından Hacettepe Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi Spor ve Antrenörlük Anabilim Dalında 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 araştırmacı 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 olacağına bilincindeyim)* Ayrıca tıbbi durumuma herhangi bir zarar verilmemesi koşuluyla araştırmacı tarafından araştırma dışı tutulabilirim. Araştırma için yapılacak harcamalarla ilgili herhangi bir parasal sorumluluk altına girmiyorum. Bana da bir ödeme yapılmayacaktır. İster doğrudan, ister dolaylı olsun araştırma uygulamasından kaynaklanan nedenlerle meydana gelebilecek herhangi bir sağlık sorunumun ortaya çıkması halinde, her türlü tıbbi müdahalenin sağlanacağı konusunda gerekli güvence verildi. (Bu tıbbi müdahalelerle ilgili olarak da parasal bir yük altına girmeyeceğim). Araştırma sırasında bir sağlık sorunu ile karşılaştığımda; herhangi bir saatte, Prof. Dr. Ayşe KİN İŞLER’i(cep) no’lu telefonlardan ve HÜ Spor Bilimleri Fakültesi, Spor ve Antrenörlük Anabilim Dalı adresinden arayabileceğimi biliyorum.

Bu araştırmaya katılmak zorunda değilim ve katılmayabilirim. Araştırmaya katılmam konusunda zorlayıcı bir davranışla karşılaşmış değilim. Eğer katılmayı reddedersem, bu durumun tıbbi bakımına ve araştırmacı 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 kağıdının bir kopyası bana verilecektir.

Katılımcı;

Adı, soyadı:

Adres:

Tel.

İmza

Görüşme tanığı;

Adı, soyadı:

Adres:

Tel.

İmza:

Katılımcı ile görüşen hekim;

Adı soyadı, unvanı:

Adres:

Tel.

İmza

EK-3. Kurum İzin Yazısı

T.C.
GENÇLİK VE SPOR BAKANLIĞI
Spor Hizmetleri Genel Müdürlüğü

Sayı : 43360251-903.99-E.927615

16.09.2020

Konu : Tez İçin Cihaz Kullanımı hk. (Erkan
TORTU)

Sayın Erkan TORTU

İlgi : 15.09.2020 tarihli ve 43360251-100-925016 sayılı dilekçeniz.

İlgi dilekçeniz incelenmiş olup, ekte yer alan bilimsel çalışmalarda aranan şartların yerine getirilmesi kaydıyla talebiniz uygun görülmüştür.

 e-imzalıdır

Op.Dr.Adnan HASANOĞLU
Daire Başkanı

Ek : Kurumumuzun Bilimsel Çalışmalarda Aradığı Şartlar (1 sayfa)

Not: Bu belge, 5070 sayılı Elektronik İmza Kanununun 5. maddesi gereğince güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Evrak Doğrulama Kodu : VOEDFDOZ Evrak Takip Adresi: <https://www.turkiye.gov.tr/gsb-sizmeli-belge-dogrulama>
Örnek Mahallesi Oruç Reis Caddesi No:13 Altındağ / Ankara
Telefon No: 444 0 472 Faks No: (0 312) 596 60 10
İnternet Adresi: www.gsb.gov.tr KEP Adresi:
genclikvesporbakanligi@hs01.kep.tr

Bilgi için:Hülya YÜCEL
ERGÜN
V.H.K.I
Telefon No:(312) 551 56 05



EK-4. Tez Orijinallik Raporu

FARKLI TEKRARLI SPRİNT PROTOKOLLERİNDE ENERJİ SİSTEMLERİNİN KATKISI CİNSİYETLER ARASI KARŞILAŞTIRMA

ORIJİNALLIK RAPORU

% 7	% 6	% 1	% 3
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	openaccess.hacettepe.edu.tr:8080 İnternet Kaynağı	% 4
2	Submitted to Istanbul Aydin University Öğrenci Ödevi	% 1
3	www.openaccess.hacettepe.edu.tr:8080 İnternet Kaynağı	<% 1
4	docplayer.biz.tr İnternet Kaynağı	<% 1
5	www.sbd.hacettepe.edu.tr İnternet Kaynağı	<% 1
6	Submitted to Hacettepe University Öğrenci Ödevi	<% 1
7	Submitted to Erciyes Üniversitesi Öğrenci Ödevi	<% 1
8	Submitted to Bozok Üniversitesi Öğrenci Ödevi	<% 1
9	dergipark.org.tr İnternet Kaynağı	<% 1

EK-5. Dijital Makbuz



Dijital Makbuz

Bu makbuz ödevinizin Turnitin'e ulaştığını bildirmektedir. Gönderiminize dair bilgiler şöyledir:

Gönderinizin ilk sayfası aşağıda gönderilmektedir.

Gönderen: Erkan Tortu
 Ödev başlığı: Tez orijinallik rapotru
 Gönderi Başlığı: FARKLI TEKRARLI SPRİNT PROTOKOLLERİNDE ENERJİ SİSTEML...
 Dosya adı: ENERJ_S_STEMLER_N_N_KATKISI_C_NS_YETLER_ARASI_KAR_IL...
 Dosya boyutu: 1.23M
 Sayfa sayısı: 81
 Kelime sayısı: 22,875
 Karakter sayısı: 152,002
 Gönderim Tarihi: 29-Kas-2021 11:46ÖÖ (UTC+0300)
 Gönderim Numarası: 1715053745

1.GİRİŞ

Teknik operatörlerin acil durumlarda hızlı ve doğru şekilde müdahale edebilmeleri için gerekli olan bilgi ve becerilerin geliştirilmesi, operatörlerin iş yerindeki performanslarının artırılması ve iş yerindeki güvenliğin sağlanması için büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, operatörlerin iş yerindeki performanslarının artırılması için gerekli olan bilgi ve becerilerin geliştirilmesi için büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, operatörlerin iş yerindeki performanslarının artırılması için gerekli olan bilgi ve becerilerin geliştirilmesi için büyük önem taşımaktadır.

TSY performansını geliştirme için büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, operatörlerin iş yerindeki performanslarının artırılması için gerekli olan bilgi ve becerilerin geliştirilmesi için büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, operatörlerin iş yerindeki performanslarının artırılması için gerekli olan bilgi ve becerilerin geliştirilmesi için büyük önem taşımaktadır.

TSY'nin yüksek operatörler arasında, müdahalede ve iş yerindeki performanslarının artırılması için büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, operatörlerin iş yerindeki performanslarının artırılması için gerekli olan bilgi ve becerilerin geliştirilmesi için büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, operatörlerin iş yerindeki performanslarının artırılması için gerekli olan bilgi ve becerilerin geliştirilmesi için büyük önem taşımaktadır.

9. ÖZGEÇMİŞ