

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

**FARKLI TEKRARLI SPRINT PROTOKOLLERİNDE ENERJİ
SİSTEMLERİNİN KATKISI: YÜKLENME/DİNLENME
ORANLARININ ETKİSİ**

Süleyman ULUPINAR

**Spor Bilimleri ve Teknolojisi Programı
DOKTORA TEZİ**

**ANKARA
2020**

TEŞEKKÜR

Zor şartlarda tamamlamış olduğum doktora eğitimim boyunca değerli bilgileri ve engin tecrübeleriyle bana rehberlik eden değerli danışman hocam Prof. Dr. Tahir HAZIR' a,

Özellikle tezimin veri toplama aşamasında göstermiş olduğu özveri ve çabasından dolayı, saha uygulamaları ve akademik araştırmalar arasında işlevsel bir köprü oluşturma ufkuna sahip olan Arş. Gör. Yunus Emre EKİNCİ' ye

Oldukça zor olan ve zahmet gerektiren bu çalışmaya katılmayı kabul ederek bizim için değerli zamanlarını ayıran tüm katılımcılara,

Beş yıl boyunca her hafta 1000 kilometreden fazla mesafe kat etmem ve günlerimin çoğunu ayrı geçirmek zorunda olmama rağmen doktora eğitim sürecimde her zaman destek oldukları ve bu zorlu süreci mutlu bir şekilde tamamlamamı sağladıkları için kıymetli eşim Fadime ULUPINAR ve sevgili oğlum Mehmet Asaf ULUPINAR' a,

Çok teşekkür ederim.

ÖZET

Ulupınar S. Farklı tekrarlı sprint protokollerinde enerji sistemlerinin katkısı: yüklenme/dinlenme oranlarının etkisi. Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Spor Bilimleri ve Teknolojisi Programı Doktora Tezi, 2020, Ankara.

Bu çalışmanın amacı tekrarlı sprint protokollerinde toplam mesafe değişkeni sabit tutulduğunda dinlenme süresi, sprint mesafesi ve tekrar sayısındaki değişimin performans değişkenleri, fizyolojik yanıtlar ve enerji sistemlerinin katkısı üzerine etkisini incelemektir. Çalışmaya düzenli antrenman yapan ve aktif olarak futbol oynayan 16 erkek sporcu katılmıştır. Katılımcılara toplam mesafesi 300 m olan 20 x 15 m ve 10 x 30 m protokolleri 30 saniye standart toparlanma ve 1:5 yüklenme:dinlenme oranlı bireysel toparlanma süreleri ile dört farklı şekilde rastgele sıra ile uygulanmıştır. Testler sırasında sprint süresi, 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 toparlanma dönemindeki VO_2 kinetiğinden mono-eksponansiyel formüller yardımıyla hesaplanmıştır. Protokollerin etkisini belirlemek için Bonferroni düzeltmeli tekrarlı ölçümlerde varyans analizi kullanılmıştır. Tekrarlı sprint protokollerinin toplam sprint süresi, toplam egzersiz süresi ve performans düşüş yüzdesi üzerine etkisinin anlamlı derecede farklı olduğu bulunmuştur ($p < 0,05$). Benzer şekilde protokollerin maksimum KAH hariç, ortalama KAH, LA ve AZD üzerine etkisi de anlamlı derecede farklıdır ($p < 0,05$). Tüm protokollerde toplam enerji harcaması içindeki alaktik enerji sisteminin yüzde katkısı benzer ($p > 0,05$), laktik ve aerobik enerji sistemlerinin yüzdeleri anlamlı derecede farklıdır ($p < 0,05$). Bu çalışmanın bulguları toplam mesafesi sabit tutulan değişik içerikteki tekrarlı sprint protokollerinde fizyolojik yanıtların, performans çıktılarının ve enerji sistemlerinin katkısının önemli ölçüde değiştiğini göstermiştir. Bu çalışma aynı zamanda alaktik sistemi geliştirmek için bireysel dinlenme oranlı protokollerin tercih edilebileceği, ancak hem alaktik hem de laktik sistemi aynı anda geliştirmek için bireysel dinlenme oranlı 10 x 30 m protokolünün daha uygun olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: tekrarlı sprint, futbol, alaktik, laktik, aerobik, anaerobik glikoliz

ABSTRACT

Ulupinar S. The contribution of energy systems in different repeated sprint protocols: the effect of work/rest ratios. Hacettepe University Graduate School of Health Sciences, PhD Thesis in Sport Sciences and Technology, 2020, Ankara.

The aim of this study was to investigate the effects of rest intervals, sprint distance, and number of repetition on performance variables, physiological responses, and to examine the contributions of energy systems in repeated sprint protocols when total distance variable controlled. Sixteen trained male football players participated in this study. Four repeated sprint protocols which had a total distance of 300 m were applied in random order by combinations of 20 x 15 m and 10 x 30 m with standard recovery duration and individual recovery of 1:5 work:rest ratios. Sprint duration, oxygen consumption (VO_2), blood lactate concentration (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 kinetics using mono-exponential models, respectively. Variance analysis with repeated measurements using Bonferroni correction was applied to examine hypothesized differences. The findings indicated that the effects of the protocols on total sprint duration, total exercise duration, and the percentage of performance decline were significantly different ($p < 0.05$). Comparing the effects of protocols revealed differences ($p < 0.05$) for each parameter except maximum HR. The percent contribution of the alactic energy system to total energy expenditure was similar ($p > 0.05$), however, the percentages of lactic and aerobic energy systems were significantly different ($p < 0.05$) for 3 different protocols. Additionally, this study suggested that the protocols with individual resting ratio could be preferred to improve the alactic system, however, 10 x 30 m protocol with individual resting ratio seemed more reasonable for improving both the alactic and lactic systems.

Keywords: repeated sprint, football, alactic, lactic, aerobic, anaerobic glycolysis

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	xiv
TABLolar	xv
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. Enerji Sistemlerinin Etkileşimi	12
2.1.2. Alaktik Anaerobik Sistem (Fosfojen, ATP-CP)	13
2.1.3. Laktik Anaerobik Sistem (Glikolitik Sistem)	16

2.1.4. Aerobik (Oksidatif) Sistem	19
2.2. Futbol	22
2.2.1. Futbolun Fizyolojik Talepleri	22
2.2.2. Futbolun Kinematığı	26
2.3. Tekrarlı Sprint Becerisi	30
2.3.1. Tekrarlı Sprintler Sırasında Enerji Sistemleri	30
2.3.2. Tekrarlı Sprint Protokolleri	33
2.3.3. Tekrarlı Sprint Performansını Etkileyen Faktörler	34
2.3.4. Tekrarlı Sprintlere Fizyolojik ve Biyokimyasal Yanıtlar	37
2.3.5. Tekrarlı Sprint Becerisini Geliştirmek İçin Antrenman Yöntemleri	38
2.3.6. Antrenman Yöntemi Olarak Tekrarlı Sprint Uygulamaları	41
2.3.7. Tekrarlı Sprint ve Futbol Arasındaki İlişki	44
3. YÖNTEM	47
3.1. Araştırma Grubu	47
3.2. Veri Toplama Araçları	47
3.2.1. Antropometrik ölçümler	47
3.2.2. Oksijen Tüketimi	47
3.2.3. Laktik Asit Konsantrasyonu	48
3.2.4. Kalp Atım Hızı	48
3.2.5. Algılanan Zorluk Derecesi	48
3.2.6. Sprint Süreleri	48
3.3. Verilerin Toplanması	48
3.3.1. Boy Uzunluğu ve Vücut Ağırlığı	49
3.3.2. Vücut Kompozisyonu:	49
3.3.3. Tekrarlı Sprint Testleri	49

3.3.4. Oksijen Tüketimi Ölçümü	51
3.3.5. Kalp Atım Hızı Ölçümü	51
3.3.6. Laktik Asit Ölçümü	51
3.3.7. Algılanan Zorluk Derecesi	52
3.3.8. Performans Değişkenlerinin Hesaplanması	54
3.3.9. Enerji Sistemlerinin Katkısının Hesaplanması	54
3.4. Verilerin Analizi	57
4. BULGULAR	58
4.1. Performans Değişkenlerine ile İlişkili Bulgular	58
4.2. Fizyolojik Yanıtlar ile İlişkili Bulgular	62
4.3. Tekrarlı Sprint Protokollerinde Enerji Sistem Katkısı ile İlişkili Bulgular	64
5. TARTIŞMA	58
5.1. Fizyolojik Yanıtlar	68
5.2. Performans Değişkenleri	74
5.3. Enerji Sistemlerinin Katkısı	80
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	87
7. KAYNAKLAR	91
8. EKLER	108
EK-1: Tez Çalışması Etik Kurul İzni	
EK-2: Aydınlatılmış Onam Formu	
EK-3: Tez Orijinallik Raporu	
9. ÖZGEÇMİŞ	

SİMGELER VE KISALTMALAR

Atm.dk⁻¹	Bir Dakikadaki Kalp Atım Sayısı
ADP	Adenozindifosfat
ATP	Adenozintrifosfat
ATP-CP	Alaktik Sistem, Fosfojen Sistem
AOD	Birikmiş Oksijen Açığı (Accumulated Oxygen Deficit)
AZD	Algılanan Zorluk Derecesi
BRS	Bireysel Yüklenme/Dinlenme Oranlı Protokoller
CO₂	Karbondioksit
EB	Etki Boyutu
EH	Enerji Harcaması
ESFOT	Egzersiz Sonrası Fazladan Oksijen Tüketimi (EPOC)
H⁺	Hidrojen İyonu
LA	Kan Laktat Konsantrasyonu
LA_{delta}	Delta Laktat Değeri
LA_{maks}	Maksimum Kan Laktat Konsantrasyonu
KAH_{ort}	Ortalama Kalp Atım Hızı
KAH_{maks}	Maksimum Kalp Atım Hızı
kJ	Kilojule
kJ.dk⁻¹	Bir Dakikada Tüketilen Kilojule Miktarı
mmol.dm kg⁻¹	Kuru Kas Kilogramı Başına Düşen Milimol Değeri
mmol.L⁻¹	Bir Litredeki Milimol Değeri
O₂	Oksijen
OBLA	Kan Laktat Birikimi Başlangıcı (Onset of Blood Lactate Accumulation)

PCr	Fosfokreatin
PDY	Performans Düşüş Yüzdesi
Pi	İnorganik Fosfat
REH	Relatif Enerji Harcaması
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
STD	Standart (30 s) Dinlenme Süreli Protokoller
TES	Toplam Egzersiz Süresi
TSS	Toplam Sprint Süresi
TEH	Toplam Enerji Harcaması
VO₂	Oksijen Tüketimi
VO_{2maks}	Maksimal Oksijen Tüketimi
η^2	Kısmi Eta Kare Katsayısı

ŞEKİLLER

Şekil	Sayfa
2.1. Farklı süreli egzersizlerde enerji sistemlerinin katkısı ve etkileşimi.	12
2.2. Tekrarlı sprint becerisini geliştirmek için antrene edilmesi gereken özellikler.	39
2.3. Tekrarlı sprintler sırasında metabolik güç ve oksijen tüketiminin tahmini.	43
4.1. STD-15 protokolünde ölçülen sprint süreleri.	61
4.2. BRS-15 protokolünde ölçülen sprint süreleri.	61
4.3. STD-30 protokolünde ölçülen sprint süreleri.	62
4.4. BRS-30 protokolünde ölçülen sprint süreleri.	62
4.5. STD-30 ve BRS-30 protokollerinde ölçülen en yavaş sprint süreleri.	63
4.6. Tekrarlı sprint protokollerinde metabolik sistemlerin enerji üretim hızı.	68
4.7. Dört farklı tekrarlı sprint protokolünde enerji sistemlerinin relatif katkısı.	68

TABLÖLAR

Tablo	Sayfa
2.1. Enerji üretebilen üç farklı metabolik sistemin özellikleri.	9
4.1. Katılımcıların tanımlayıcı özellikleri.	59
4.2. Protokollerden elde edilen performans bileşenleri.	60
4.3. Tekrarlı sprint protokollerinde ölçülen fizyolojik yanıtlar.	64
4.4. Protokollerde enerji harcaması, enerji talebi ve ölçülen oksijen tüketimleri.	65
4.5. Tekrarlı sprint protokollerinde enerji sistemlerinin katkısı ve enerji üretim hızı	67

1. GİRİŞ

Futbol, hentbol ve basketbol gibi takım sporları yürüme, ayakta durma ve düşük tempo koşu gibi aerobik aktiviteler ve dinlenme periyotları arasına serpiştirilmiş kısa süreli ve yüksek şiddetli eforlar içerir (1-3). Örneğin bir futbol maçının büyük bir bölümü aerobik aktiviteler içermesine rağmen maç boyunca sprint, şut atma, sıçrama, rakipten kurtulma gibi yüksek şiddetli hareketlerin ortalama 150-250 defa gerçekleştirildiği belirtilmektedir (4). Benzer şekilde, takım sporlarında yoğunlukla 3-4 s süreli veya 20-30 m mesafeli sprintlerin, 10-30 s dinlenme aralıklarıyla, maç boyunca toplam 20-50 defa gerçekleştirildiği rapor edilmektedir (5-9).

Takım sporlarında oyun içindeki yüksek şiddetli aktiviteleri başarılı bir şekilde gerçekleştirmek, fiziksel performansın geçerli bir ölçütü olarak kabul edilmektedir (10-12). Birçok araştırmacı, takım sporlarında yer alan bireylerin ardışık sprint uygulamaları gereken durumlarda, toparlanabilme ve yeniden yüksek güç üretebilme becerilerini en önemli performans belirleyicilerinden birisi olarak değerlendirmektedir (2, 13, 14). Benzer şekilde, takım sporlarında en üst seviyedeki sporcuları diğerlerinden ayıran özellikler arasında hem yüksek şiddetli aktiviteleri gerçekleştirebilecek fiziksel ve fizyolojik profile sahip olmanın hem de tekrarlı aktiviteler sırasında performansı maksimum seviyede sürdürebilmenin oldukça önemli olduğu vurgulanmaktadır (15, 16).

Tekrarlı sprint becerisi, kısa süreli toparlanmalar ile maksimum sprint performansını ardışık olarak sürdürebilme becerisini ifade eder (17, 18). Birçok antrenör ve araştırmacı tekrarlı sprint uygulamalarının ya da test protokollerinin özellikle takım sporları için sahadaki gerçek hareket mekaniğini yansıtması bakımından geçerli ve dinamik olarak uygun bir yöntem olduğu konusunda hemfikirdir (13, 18, 19). Ancak araştırmalarda tekrarlı sprint protokollerinin çok farklı şekilde tanımlandığı görülmektedir. Örneğin bazı çalışmalarda, sprint süresi 6 s ve daha az; bazılarında ise 10 s ve daha az olarak sınıflandırılırken, dinlenme süreleri bazı çalışmalarda 60 s ve daha kısa; bazılarında ise 30 s ve daha kısa olarak sınıflandırılmıştır (13, 17, 18, 20). Ayrıca tekrarlı sprint uygulamaları çalışmalarda bisiklet ya da koşu egzersizi olarak uygulanmakta, bunun yanında tekrar sayısı 5-40

arasında, toplam mesafe ise 90-600 m arasında değişmektedir (1, 21-23). Ek olarak antrenörler, kondisyonerler ya da araştırmacılar tekrarlı sprint uygulamaları içeren antrenman ya da testlerin, spora özgü hareket mekaniğini yansıttığı için sıkça kullanılmaktadırlar. Bunun yanında uygulanan protokollerin hareket kalıbı (bisiklet ve koşu egzersizi içermesi), yorgunluk, fizyolojik stres, dinlenme ve yüklenme süresi ya da mesafe gibi değişkenler açısından söz konusu spora ait özellikleri yansıtacak şekilde düzenlenmesi gerektiği belirtilmektedir (13, 16, 18).

Araştırmacılar tekrarlı sprintler sırasındaki kuvvet üretimi veya hızdaki düşüşün enerji üretimi sağlayan metabolik yollar ile açıklanabileceğini ortaya koymaktadır (24). Tekrarlı sprint becerisinin metabolik oksidatif kapasite, fosfokreatinin (PCr) tekrar depo edilebilmesi ve hidrojenin tamponlanması ile ilişkili olduğu vurgulanmaktadır (14, 18). Benzer şekilde bir maç ya da egzersiz periyodunun tamamı boyunca kısa süreli tekrarlı sprintlerde hızın sürdürülebilmesi için fosfojen sistemin majör faktör olduğu belirtilmektedir (1, 25). Aerobik metabolizmanın ise tekrarlar arasındaki toparlanmalar sırasında önemli bir rol oynadığı savunulmaktadır (15, 22, 26). Ancak kısa süreli toparlanmalar içeren ardışık sprintleri yüksek eforlar ile uygulamak için gerekli enerji talebi ve bu talebi karşılayan metabolik sistemlerin katkısını belirlemek oldukça güçtür.

Yüksek şiddetli ve çok kısa süreli (<5 s) egzersizleri gerçekleştirmek için gerekli enerjinin büyük bölümünün alaktik (fosfojen) sistem ile karşılandığı bilinmektedir (27-29). Ancak tek seferde yapılan bir egzersiz açısından değerlendirildiğinde egzersiz süresi uzadıkça önce laktik (glikolitik) sistem, daha sonra ise aerobik (oksidatif) metabolizma daha baskın hale gelmektedir (30-32). Ancak tekrarlı egzersizler içeren sporlar için enerji metabolizmasının çalışma prensibi daha farklıdır. Takım sporları çoğunlukla oyunun belirleyici anlarında uygulanan aktiviteler için gerekli enerjinin alaktik ve laktik sistemler tarafından karşılanmasını ve bu aktivitelerin kısa süreli dinlenme periyotlarını takiben tekrar edilmesini gerektirir (33-35). Bu sebeple takım sporları bir taraftan anaerobik aktiviteler sırasında alaktik ve laktik sistemlerin yüksek enerji üretim hızına ihtiyaç duyarken, diğer taraftan dinlenme dönemlerinde aerobik sistemin enerji depolarını hızlı bir şekilde yenilemesine ihtiyaç duymaktadır (13, 18).

Fizyolojik olarak çok fazla bileşene sahip olan enerji metabolizmasının tekrarlı sprint aktiviteleri sırasındaki rolüne ilişkin bilgiler 20-30 yıl öncesinde kas biyopsisi yöntemini kullanan az sayıdaki çalışma ile sınırlıdır (36-39). Tekrarlı sprint egzersizleri konusundaki birçok çalışmaya temel oluşturan iki önemli araştırmada (36, 38) standart 30 s dinlenme aralığı kullanılmış ve 5 x 6 saniye veya 10 x 6 saniyelik bisiklet egzersizi olarak uygulanmıştır. Bu çalışmalardan Dawson ve ark. (38) dinlenik durumda, 6 s süreli ilk sprintten hemen sonra ve 30 saniyelik toparlanmanın ardından PCr miktarlarını 81.0, 44.9 ve 55.6 mmol.kg kuru kas⁻¹ olarak raporlamıştır. Aynı çalışmada ayrıca 6 s süreli 5 sprintten hemen sonra ve 30 saniyelik toparlanmanın ardından PCr miktarlarının 21.1 ve 34.5 mmol.kg kuru kas⁻¹ olarak ölçüldüğü belirtilmiştir. Gaitanos ve ark. (36) ise 6 saniyelik ilk sprint sırasında 43.6; onuncu sprint sırasında 25.3 mmol.kg kuru kas⁻¹ PCr tüketildiğini ortaya koymuştur. Diğer taraftan Girard ve ark. (13) önceki çalışmaların sonuçlarından yola çıkarak sunduğu teorik hesaplamalar sonucunda net PCr miktarlarının düşmesine rağmen fosfojen sistemin birinci ve onuncu sprintlere olan oransal katkısının benzer olduğunu göstermiştir (sırasıyla %52 ve %51).

Enerji sistemlerinin katkısı uzun yıllardır sadece kas biyopsisi yöntemiyle ayırt edilebildiğinden yapılan deneysel çalışmaların sayısı oldukça sınırlıdır (36-38, 40). Üç saniyelik tek bir sprint sırasında alaktik sistem katkısının yaklaşık %65 (41), altı saniyelik bir sprint sırasında yaklaşık %50 (13, 36, 38) olduğu raporlanmıştır. Altı saniyeden daha fazla süreli sprintler için ise laktik sistemin daha baskın hale geldiği bulunmuştur (13, 37, 39, 40, 42). Diğer taraftan, Smith ve ark. (1991) 30 saniyelik bir Wingate testinde ilk 7.5 saniyeden sonra alaktik sistemin katkısının olmadığını göstermiştir (43). Dolayısıyla takım sporlarında oyunu etkileyen tekrarlı becerileri sergileyebilmek için gerekli enerjiyi sağlayan alaktik metabolizmayı geliştirmek için kısa süreli (< 6 s) ve yüksek şiddette uygulanan tekrarlı egzersizler gereklidir (9, 44, 45). Ancak sprint mesafesi, dinlenme süresi ve egzersiz tipi gibi değişkenler ve enerji sistemlerinin katkısının belirlenmesindeki metodolojik güçlükler optimal antrenman ve test stratejilerinin geliştirilmesini güçleştirmektedir.

Sprintlerin tekrarlı uygulamalarında performansın sürdürülmesi için uygun dinlenme süreleri ve sprint mesafesi belirleyici unsurlardır. Laktik sistemin yaklaşık 5

saniyede (~ 40 m) maksimum seviyeye ulaştığı raporlanmıştır (46). Egzersiz süresinin ya da mesafesinin belirtilen eşikten yüksek olması ve dinlenme sürelerinin yetersiz olması durumunda alaktik sistemin katkısı azalır ve gerekli enerji talebi laktik sistem tarafından karşılanır (9, 13, 18, 41, 46). Laktik sistemin baskın olduğu durumda H⁺ iyonları aşırı birikerek laktik sistemde hız sınırlayıcı enzim olan fosfofruktokinaz aktivitesini olumsuz etkiler, bu nedenle performansta zorunlu bir düşüş gerçekleşir (36-38). Diğer taraftan, tekrarlı sprint protokollerinin takım sporlarına özgü fizyolojik stresi yansıtması ve performans gelişimi için bir adaptasyon sağlaması beklenmektedir (5, 9, 18, 47). Ancak dinlenme sürelerinin fazla uzun olması durumunda alaktik sistemin antrene edilebilmesi için gerekli adaptasyon süreci sağlanamayabilir (48, 49). Aynı zamanda tekrar sayısının ya da sprint mesafesinin uzaması eforlar sırasındaki aerobik sistem katkısının artmasına ve performansın düşmesine sebep olabilir (13, 24, 50). Tekrarlı sprintler sırasında aerobik sistem esas olarak dinlenme sürelerinde PCr depolarının yenilenmesi için katkı sağlar (9, 13, 38, 40). Dolayısıyla en makul yaklaşım, aerobik sistemin sprintler sırasında minimum; dinlenme aralıklarında maksimum katkı sağlaması yönündedir.

Özetle, tekrarlı sprint uygulamalarıyla ilgili birçok çalışma yapılmış olmasına karşın, bu uygulamalar sırasında enerji sistemlerinin payı hakkında sınırlı bilgiye ulaşılabilmektedir. Bu sebeple özellikle belli bir enerji sistemini geliştirmek için tekrarlı sprint protokollerinin nasıl tasarlanması gerektiğine ilişkin deneysel sonuçlar oldukça sınırlıdır. Ayrıca mesafe, tekrar sayısı ve dinlenme süresi kombinasyonlarını içeren tekrarlı sprint protokollerini ve bu protokollere verilen fizyolojik ve performans yanıtlarını aynı anda inceleyen çalışma sayısı da oldukça sınırlıdır. Bu çalışmanın amacı toplam mesafe değişkeni sabit, ancak dinlenme süresi, tekrar sayısı ve sprint mesafesi farklı olan tekrarlı sprint protokollerinin performans değişkenleri, fizyolojik yanıtlar ve enerji sistemlerinin katkısı üzerindeki etkisini incelemektir. Farklı tekrarlı sprint protokollerini enerji metabolizması, fizyolojik yanıtlar ve performans değişkenleri açısından kapsamlı bir şekilde inceleyen bu çalışmanın konuyla ilgili literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

1.1. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı, tekrarlı sprint protokollerinde toplam mesafe değişkeni sabit tutulduğunda dinlenme süresi, sprint mesafesi ve tekrar sayısındaki değişimin performans değişkenleri, fizyolojik yanıtlar ve enerji sistemlerinin katkısı üzerine etkisini incelemektir.

1.2. Problemler

Toplam mesafesi aynı (300 m) ancak tekrar sayısı, sprint mesafesi ve/veya dinlenme aralıkları farklı olan tekrarlı sprint protokollerinde performans değişkenleri, fizyolojik yanıtlar ve enerji sistemlerinin katkısı açısından fark var mıdır?

1.2.1. Alt Problemler

1. Toplam mesafesi aynı (300 m) ancak tekrar sayısı, sprint mesafesi ve/veya dinlenme aralıkları farklı olan tekrarlı sprint protokollerinde aşağıda belirtilen enerji sistemlerinin katkıları farklı mıdır?

- a. Alaktik anaerobik sistem (Fosfojen, ATP-CP sistem)
- b. Laktik anaerobik sistem (Anaerobik glikoliz sistem)
- c. Aerobik sistem (Oksidatif sistem)

2. Toplam mesafesi aynı (300 m), tekrar sayısı veya dinlenme aralıkları farklı olan tekrarlı sprint protokollerinde, aşağıda belirtilen performans değişkenleri açısından fark var mıdır?

- a. En yavaş sprint süresi
- b. Toplam sprint süresi
- c. Performans düşüş yüzdesi

3. Toplam mesafesi aynı (300 m) ancak tekrar sayısı, sprint mesafesi ve/veya dinlenme aralıkları farklı olan tekrarlı sprint protokollerinde aşağıda belirtilen fizyolojik yanıtlar açısından fark var mıdır?

- a. Kalp atım hızı
- b. Kan laktat konsantrasyonu

- c. Enerji harcaması
- d. Algılanan zorluk derecesi

1.3. Hipotezler

1. Toplam mesafesi aynı (300 m) ancak tekrar sayısı, sprint mesafesi ve/veya dinlenme aralıkları farklı olan tekrarlı sprint protokollerinde enerji sistemlerinin katkısı birbirinden farklıdır.

2. Toplam mesafesi aynı (300 m) ancak tekrar sayısı, sprint mesafesi ve/veya dinlenme aralıkları farklı olan tekrarlı sprint protokollerinden elde edilen performans değişkenleri birbirinden farklıdır.

3. Toplam mesafesi aynı (300 m) ancak tekrar sayısı, sprint mesafesi ve/veya dinlenme aralıkları farklı olan tekrarlı sprint protokollerinden elde edilen fizyolojik yanıtlar birbirinden farklıdır.

1.4. Sınırlılıklar

1. Çalışma aktif olarak futbol oynayan ve düzenli antrenman yapan erkek sporcular ile sınırlıdır.

2. Çalışmaya katılan sporcuların yaşları 18-27 ile sınırlıdır.

3. Çalışma, belirtilen dört farklı tekrarlı sprint protokolü ile sınırlıdır.

4. Çalışmada kullanılan fizyolojik parametreler; kalp atım hızı, kan laktat konsantrasyonu ve enerji harcaması ile sınırlıdır.

5. Çalışmada kullanılan psikolojik parametre algılanan zorluk derecesi ile sınırlıdır.

6. Çalışmada kullanılan performans değişkenleri, sprint süresi ve bu değişkenden elde edilen toplam sprint süresi, en yavaş sprint süresi ve performans düşüş yüzdesi ile sınırlıdır.

7. Çalışmada enerji sistemlerinin katkısını belirlemek için kullanılan yöntem mono-ekponensiyal modeller ve trapez (yamuk) alanı gibi hesaplamalar içeren matematiksel yöntemler ile sınırlıdır.

1.5. Sayıtlar

Çalışmaya gönüllü olarak katılan tüm sporcuların testlerde maksimum efor sarf ettikleri varsayılmıştır.

1.6. Araştırmanın Önemi

Tekrarlı sprint becerisi, özellikle takım sporlarında hem antrenman hem de test yöntemi olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Çalışmalarda optimum dinlenme aralıkları, tekrar sayısı ya da mesafe gibi değişkenlerin hedeflere en uygun kombinasyonu araştırılmaktadır (1, 9, 51, 52). Ancak sprint mesafesi, tekrar sayısı veya toparlanma zamanı kombinasyonlarını içeren tekrarlı sprint protokollerini aynı anda inceleyen çalışma sayısı oldukça sınırlıdır (1, 53). Ayrıca konu ile ilgili çalışmalar daha çok performans değişkenlerini incelerken, kısmen de fizyolojik yanıtlar temelinde değerlendirilmiştir (1, 21, 54). Farklı tekrarlı sprint protokollerinde performans ve fizyolojik değişkenlerin yanı sıra enerji sistemlerinin katkısının da eş zamanlı olarak ortaya koyulmasının antrenman uygulamaları açısından oldukça önemli olduğu düşünülmektedir. Alternatif bir yöntem olmadığı için enerji sistemlerinin katkısına ilişkin bilgiler çoğunlukla 20-30 yıl öncesinde kas biyopsisi yöntemi ile yapılan çalışmalara dayanmaktadır (36-38, 40). Ancak son yıllarda oksijen tüketimi ve kan laktat konsantrasyonu değerlerini kullanarak matematiksel yöntemler ile üç farklı enerji sisteminin katkısını ayırt edebilen alternatif bir yöntem geliştirilmiştir (45, 55, 56). Bu yöntem ile çok fazla bileşen içeren enerji metabolizmasının tekrarlı sprint egzersizlerindeki rolü hakkında daha detaylı bilgilere sahip olunabilir. Tekrarlı sprint egzersizlerinde dinlenme aralığı, sprint mesafesi veya tekrar sayısı gibi temel bileşenlerin enerji sistemlerinin katkısı üzerindeki etkisi incelenerek hedeflenen enerji sistemi veya enerji harcaması gibi konularda avantajlı olan protokoller tercih edilebilir. Dolayısıyla bu çalışmanın araştırmacılar, antrenörler ve sporcular için hedeflenen özelliğe göre antrenman ve test stratejilerinin geliştirilmesinde önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Enerji Sistemleri

İnsanlar fiziksel olarak bir hareket gerçekleştirebilmek için kaslarını kullanmak ve enerji üretmek zorundadırlar (27, 57). Kalp kası, düz kas ve iskelet kaslarından oluşan toplam kas dokusunun vücut ağırlığına oranı erkeklerde %42-47; kadınlarda %30-35 civarındadır (28). Kalp kası ve düz kaslardan farklı olarak, iskelet kasları kemiklerle olan bağlantılarını çekerek bir fiziksel hareketi gerçekleştirirler, ancak bunu yapabilmeleri için enerjiye ihtiyaç vardır (27, 28). Bu enerji, kasta bulunan ve besin kaynaklarından elde edilen substratları kullanabilen bazı metabolik yollar aracılığıyla sağlanır (58, 59). Antrenman geçmişlerine bağlı olarak daha fazla mekanik iş yapabilme becerisine sahip sporcular daha fazla enerji üretme kapasitesine sahiptir ve diğer insanların yapabildikleri hareketlerin üst limitlerini belirler. Sprinterler üst düzey hız ve güç becerileri sergileyerek koşma becerisinin üst sınırlarını belirlerken, halterciler çok büyük ağırlıkları kaldırarak yer çekimine karşı büyük kuvvetler üretebilir, yüzücüler çok uzun süre ya da çok hızlı bir şekilde su üstünde mesafe kat edebilir ve voleybol, basketbol, futbol gibi takım sporlarında ya da bazı atletizm branşında yer alan sporcular sadece iskelet sistemini kullanarak çok yükseğe sıçrayabilirler (60-62).

Fiziksel olarak bir işi yapabilmek için gerekli olan kas kasılmasının acil enerji kaynağı yüksek enerjili bir fosfat bileşiği olan adenosin trifosfat, yani ATP'dir (27, 29, 57). Ancak kas hücrelerindeki ATP miktarları sınırlı olduğu için kasın hızlı bir şekilde tekrar ATP üreterek kasılmaların devam etmesini sağlayan metabolik enerji yolları mevcuttur. Bu yollar ile enerji elde edilmesi fosfokreatin'in (PCr) parçalanmasıyla; glikoliz adı verilen bir sürecin aracılık ettiği glikojen ya da glikozun parçalanmasıyla ve oksidasyon süreciyle ATP üretimini içermektedir (27, 30). Bu yollardan oksidasyon ile enerji üretiminde oksijen kullanıldığı için aerobik, diğerlerinde oksijen kullanılmadığı için anaerobik enerji yolları olarak adlandırılmaktadır (27, 29). Kas hücreleri, üç farklı şekilde enerji üreten bu metabolik enerji mekanizmalarından herhangi birisiyle ya da üçünün kombinasyonları ile ATP üretmektedir (27, 63, 64).

Tablo 2.1. Enerji üretebilen üç farklı metabolik sistemin özellikleri (28)

Özellik	Alaktik sistem	Laktik sistem	Aerobik sistem
Yakıt kaynakları	ATP, PCr depoları	Glikojen depoları, kan glikozu	Glikojen, glikoz, yağ, protein
Enzimatik sistemler	ATPaz	HK, PFK, LDH, PDH, vd.	CS, MDH, SDH, vd.
Kullanılan kas hücresi tipi	Tip I, Tip IIa, Tip IIb	Tip I, Tip IIa, Tip IIb	Tip I, TipIIa
Güç çıkışı	Hızlı	Hızlı-orta	Yavaş-orta
Metabolik yan ürünler	ADP, P, Cr	Laktik asit	CO ₂ , H ₂ O
ATP üretim hızı (mmol.dk ⁻¹)	3.6	1.6	1
Maksimum ATP üretim hızına ulaşma süresi	1 s	5-10 s	2-3 dk
Maksimum ATP üretimini sürdürebilme süresi	6-10 s	20-30 s	3 dk
ATP üretiminin sonlanma süresi	12-15 s	45-90 s	Teorik olarak sınırsız
Sınırlayıcı faktörler	ATP, PCr depolarının tükenmesi	Aşırı laktik asit ve H birikimi	CHO depolarının tükenmesi, yetersiz O ₂ , aşırı ısı artışı
Tamamen toparlanma süresi	3 dk	1-2 saat	30-60 dk
%50 toparlanma süresi	20-30 s	15-20 dk	5-10 dk
10 saniyelik egzersizlerde enerji katkısı	%50	%35	%15
30 saniyelik egzersizlerde enerji katkısı	%15	%65	%20
2 dakikalık egzersizlerde enerji katkısı	%4	%46	%50
10 dakikalık egzersizlerde enerji katkısı	%1	%9	%90
ATPaz = adenzotriofosfataz; PCr = fosfokreatin,; P = fosfat, Cr = kreatin; HK = heksokinaz; PFK = fosfofruktokinaz; LDH = laktat dehidrogenaz; PDH = piruvatdehidrogenaz; CS = sitratsentaz; MDH = malatdehidrohenaz; SDH = suksinatdehidrogenaz; CHO = karbonhidrat			

Enerji sistemlerinden alaktik sistemin çoğunlukla çok kısa süreli ve çok yüksek şiddetli egzersizlerde, laktik sistemin şiddetli ve orta süreli egzersizlerde, aerobik sistemin uzun süreli ve düşük tempolu egzersizlerde etkili olduğu genel bir kabuldür (27, 28, 57, 59). Ancak bu sistemler atletik performans, enerji üretim hızı, metabolik gereksinimler ve yakıt kaynakları gibi önemli farklılıklar içermektedir. Egzersiz fiziolojisinin temel konuları arasında egzersizin veya düzenli antrenmanın metabolik sistemler üzerindeki etkisi yer almaktadır (41, 46, 58, 65). Ancak bu sistemlerin hem kendi içerisindeki kompleks yapısı hem de birbirleri ile olan yoğun etkileşimi bu sistemlerden gelen enerji katkısını ve egzersiz tasarımındaki bir farklılığın enerji metabolizmasındaki yansımalarını belirlemek oldukça güçtür (29, 45, 66, 67).

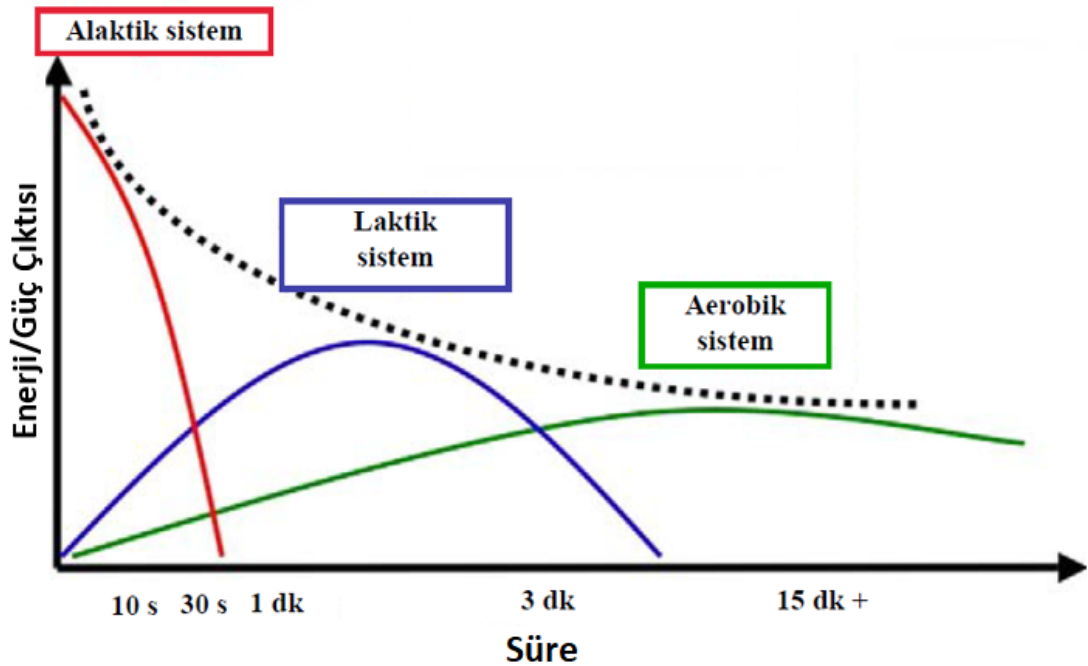
Enerji sistemlerinin katkısını belirlemek için kas biyopsisi (36, 40), ATP-CP ve laktik sistemden sağlanan katkının indirekt yöntemler ile kestirilmesi (65, 68) ya da matematiksel modeller (26, 69) kullanılmaktadır. Kas biyopsisi uzun yıllar boyunca uygulamalı egzersiz fiziolojisinin temelini oluşturmuştur. Ancak kas biyopsisinin tıbbi uzmanlık gerektirmesi, uygulamadaki zorluğu ve alınan kas örneğine ait lokal bilgiler içermesi gibi nedenlerden dolayı enerji sistemlerinin katkısını belirlemek için yapılan güncel çalışmalar genellikle iki farklı yöntem temelinde yürütülmektedir. Bu yöntemler, maksimal birikmiş oksijen açığı (*maximal accumulated oxygen deficit*, AOD_{max}, MAOD) ve laktat-VO₂ ölçümleri ile alaktik, laktik ve aerobik metabolizmanın ayrı ayrı tahmin edilmesini (PCr-La-O₂) içeren matematiksel bir yöntemdir. MAOD yönteminde önce farklı submaksimal yüklerde tüketilen oksijen tüketimi belirlenmekte, daha sonra VO_{2maks} ve düşük şiddetteki oksijen tüketimi talepleri arasında linear bir regresyon modeli oluşturulmaktadır. Oluşturulan bu model sayesinde VO_{2maks}'a karşılık gelen iş yükünden daha şiddetli (supramaksimal) egzersizlerde (Örneğin VO_{2maks}'ın %110, 115 veya %120'sinde) gerekli oksijen talebi hesaplanabilmektedir. Supramaksimal yüklerde aerobik sistem ile karşılanabilen enerji, oksijen tüketiminin ölçülmesiyle tespit edilmektedir. Regresyon modeliyle belirlenen supramaksimal egzersiz şiddetlerine (aerobik sistemle karşılanamayan) karşılık gelen oksijen talebinin ise anaerobik yollar ile sağlandığı kabul edilir, bu da birikmiş oksijen açığı olarak değerlendirilir (61, 65, 70, 71). Yani VO_{2maks}'ın %120'sine karşılık gelen hızda yapılan bir koşu egzersizi için doğrusal bir regresyon modeli ile gerekli oksijen talebi hesaplanır. Daha sonra bu şiddette yapılan egzersiz

süresince ölçülen oksijen tüketiminin aerobik sistem ile karşılanan enerji talebine karşılık geldiği, ancak enerji ihtiyacının oksijen tüketimiyle karşılanabilen şiddetten daha yüksek olduğu durumlarda ise enerji talebinin anaerobik yollar ile karşılandığı kabul edilir. Ancak bu yöntemde anaerobik sistemler bir bütün olarak değerlendirilir, dolayısıyla alaktik ve laktik sistemlerin katkısı ayırt edilemez.

Diğer taraftan son yıllarda yapılan çalışmalarda tercih edilen PCr-La-O₂ yöntemi ise dinlenik metabolik talepler ile egzersiz sırasında gerekli olan metabolik talepler arasındaki farkın belirlenmesi ve enerji sistemlerinin bu süreç içerisindeki payının ayırt edilmesini içermektedir (61, 72). Bu sistemde aerobik sistemin katkısını belirlemek için egzersiz süresince klasik oksijen tüketimi ölçümünden elde edilen oksijen kinetiği eğrisinin altında kalan trapez (yamuk) alanı hesaplanır (69, 73). Daha sonra dinlenik oksijen tüketimi ve egzersiz süresince tüketilen oksijen miktarı arasındaki fark belirlenir ve aerobik sistemin katkısı olarak kabul edilir. Laktik sistemin katkısı için önce dinlenik ve maksimum laktat değeri arasındaki fark (delta laktat değeri) hesaplanır. Daha sonra vücut ağırlığı kilogramı başına her 1 mmol.L⁻¹ laktat değeri için dakikada 3 ml oksijen tüketildiği eşitliğinden yola çıkarak laktik sistemin enerji katkısı oksijen cinsinden elde edilir (74). Alaktik sistemin katkısını belirlemek için ise egzersiz sonrası fazladan oksijen tüketimi (ESFOT, *EPOC*) kinetiğinde hızlı ve yavaş bölümleri açıklayabilen üst düzey matematiksel modeller gerekmektedir (26, 55, 69). ESFOT kinetiğinden elde edilen hızlı toparlanma safhasında egzersiz süresince kullanılan fosfat depolarının yenilendiği bilinmektedir. Ancak doğrusal olmayan bu oksijen kinetiği eğrisinin hesaplanabilmesi için en uygun mono- ya da bi-exponensiyal modelin oluşturulması gerekmektedir. Bu denklemlerden açıklayıcılık katsayısının (R^2) büyük olması ya da artık hacmin (kalan hacim, *residual volume*) küçük olmasına göre uygun olan seçilir ve alaktik sistemin katkısı belirlenebilir. Bu hesaplamalar sonunda üç farklı enerji sisteminin katkısı oksijen cinsinden elde edilir daha sonra basit enerji dönüşüm formülleri ile farklı birimlere dönüştürülebilir. (69). Günümüzde kas biyopsisine alternatif olarak üç farklı enerji sisteminin katkısını ayırt edebilen tek geçerli sistemin bu yöntem olduğu savunulmaktadır (45, 55, 56, 69).

2.1.1. Enerji Sistemlerinin Etkileşimi

İskelet kaslarının yapısında farklı kas aktivitelerini gerçekleştirebilmek için besin kaynaklarından elde edilen substratları parçalayarak enerji üretebilen metabolik sistemler bulunur (28). İnsan metabolizması kasılmanın düzeyine göre birbiriyle entegre çalışan bu metabolik sistemlerin bir kısmını veya tümünü aynı anda kullanabilir ve hepsinden farklı oranlarda yararlanabilir (28, 46). Dolayısıyla enerjiye dönüştürülen substratların kullanımı egzersizin türüne, şiddetine ve süresine göre değişebilir (42, 43, 45, 75). Aerobik sistem düşük-orta şiddetli ve uzun süreli aktiviteler için, glikolitik sistem yüksek şiddetli ve kısa-orta süreli aktiviteler için, fosfojen sistem ise yüksek şiddetli ve kısa süreli aktiviteler için kullanılır (27, 29, 57). Bu enerji sistemlerinin etkinliği atletik performansın en önemli fizyolojik belirleyicileri olarak kabul edilmekte ve antrenman yoluyla geliştirilebilmektedir (45, 46, 76). Şekil 1'de metabolik enerji sistemlerinin egzersiz süresine göre özgün katkıları sunulmuştur.



Şekil 2.1. Farklı süreli egzersizlerde enerji sistemlerinin katkısı ve etkileşimi (28)

Alaktik sistem ağırlık kaldırma, yüksek atlama, uzun atlama, 100 m koşu veya 25 m yüzme gibi kısa egzersiz türlerinde kullanılan başlıca enerji kaynağıdır (28, 46). Bu tür egzersizlerde kısa zaman birimleri içerisinde yüksek güç çıkıtısı (güç = iş /

zaman) gerçekleştiği için birim zamanda çok fazla enerji üretimi gereklidir (28). Ayrıca futbolda sprint koşu, hızlanma, topa vurma ve sıçrama gibi aktivitelerin gerçekleştirilebilmesi için alaktik sistemden sağlanan enerjiye ihtiyaç vardır. Diğer taraftan, bireyler ortalama 15 saniyeden daha uzun süren egzersizler uygulamaları durumunda daha düşük güç çıktısı üreten ancak daha uzun süreli enerji mekanizmalarını (glikolitik ve aerobik metabolizma) kullanmaları gerekmektedir (29, 57). Bu enerji üretim mekanizmalarından laktik sistem aerobik sisteme göre daha kısa süreli ancak daha yüksek miktarda enerji sağlayabilir (46).

Enerji sistemleri arasındaki etkileşimin daha kolay anlaşılabilmesi için birinin çalışırken diğerinin pasif olduğu bir mekanizmadan ziyade, gerekli olan enerji talebine göre entegre bir şekilde ve farklı oranlarda katkı sağlayan metabolik yollar bütünü olarak değerlendirmek gerekir. Enerji sistemlerinin katkısının egzersiz süresi ve şiddeti ile yüksek ilişkiye sahip olduğu bilirse de enerji metabolizması üzerinde değişiklik yaratan diğer faktörlerin etkisi de araştırılmaktadır (56, 77, 78). Örneğin, bazı çalışmalarda ergojenik desteklerin enerji metabolizması üzerinde neden olduğu değişimler incelenirken (69, 79, 80), bazı çalışmalarda elit ve daha düşük seviye sporcular arasındaki farklar tespit edilmekte (81), bazılarında ise hareket mekaniği, dinlenme süresi ve şiddet gibi değişkenlerin enerji metabolizmasını nasıl değiştirdiği araştırılmaktadır (62, 77). Elde edilen bulgular ile optimal antrenman ya da test uygulamaları ve beslenme stratejileri gibi önemli konularda referans oluşturan önemli bilgilerin temelleri oluşturulabilmektedir.

2.1.2. Alaktik Anaerobik Sistem (Fosfojen, ATP-CP)

Alaktik anaerobik sistem, ATP ve PCr olmak üzere iki yüksek enerjili fosfat deposunu kullanan ve ATP üretiminin en basit ve en hızlı yoludur (28). Kısaca PCr yapısından bir fosfatın ayrılarak ADP'ye (adenozin difosfat) bağlanması ve ATP'yi oluşturması sürecini içerir (27, 82, 83). Bu reaksiyon kreatin kinaz enzimi tarafından katalize edilir. Mevcut ATP kas hücreleri tarafından kullanıldığında ADP + inorganik fosfat (Pi) yapısı ortaya çıkar çıkmaz PCr reaksiyonu ile yeniden ATP üretilir. Ancak kasta PCr sınırlı miktarda depolanabildiği için bu reaksiyon ile yeniden ATP üretimi de sınırlıdır (30, 36, 42). Kasta depolanan ATP ve PCr kombinasyonundan oluşan bu en basit ve en hızlı enerji üretim yolu; alaktik anaerobik sistem, ATP-CP sistemi,

yüksek enerjili fosfat sistemi veya fosfojen sistem olarak tanımlanmaktadır. Bu sistem egzersizin başında veya çok kısa süreli (beş saniye ve daha kısa) ve maksimal egzersizlerde gerekli enerjinin büyük çoğunluğunu sağlarken (27), egzersizin şiddetine göre başlangıçtan itibaren 15 saniyeye kadar enerji sağlayabilir (28, 84). Ancak sprint gibi kısa süreli maksimal egzersizlerde enerji sağlayabilme süresinin daha kısa (7.5-10 s) olduğu belirtilmektedir (43, 46). Kısa mesafeli sprintlerde (50 metreye kadar) ve şut atma ya da sıçrama gibi aktivitelerin başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesinde en etkin rol oynayan enerji sistemidir (13, 46). Diğer taraftan, PCr yapısının tekrar oluşumu için de ATP gereklidir, dolayısıyla PCr'nin yenilenmesi sadece şiddetli egzersiz sona erdikten sonra toparlanmanın hızlı fazında gerçekleşebilir (30, 57, 65, 85).

Diğer taraftan dinlenik durumda kas içindeki ADP'nin büyük çoğunluğu F-aktin'e bağlıdır. Kasta yeterli PCr bulunduğu sürece kreatin (Cr) kinaz reaksiyonu ($ADP + PCr \rightarrow ATP + Cr$) ile ADP'den ATP üretilir, böylece serbest ADP yoğunluğu belli sınırlar içinde ($<10 \mu M$) tutulur (86). Ancak çok şiddetli egzersizlerde PCr'nin büyük oranda tüketilmesi ve ortamda kreatinin aşırı birikmesi ADP yoğunluğunun artmasına sebep olur. ADP miktarlarının aşırı birikmesi (yaklaşık $200 \mu M$) myokinaz reaksiyonunun ($2 ADP \rightarrow ATP + AMP$) aktifleşmesini sağlar. Alaktik sistem ile enerji üretimi genelde kreatin kinaz aktivitesi tarafından düzenlenirken, yüksek fizyolojik strese neden olan egzersizlerde özellikle tip II kas liflerinde myokinaz aktivitesi ile ATP üretimi takviye bir enerji desteği sağlar (27, 29, 86) .

Kısa süreli maksimal egzersizler ve onların aralıklı uygulanması, fosfojen sistemi geliştirmek için en uygun yöntemlerden birisi olarak literatürde yer almaktadır (63). Yüksek şiddette uygulanan aktivitelerde maksimum performans sergilenmesi için yüksek enerjili fosfatların (ATP ve PCr) hızlı bir şekilde parçalanmasına ihtiyaç vardır (18). Performansın korunabilmesi için ise bu fosfat gruplarının dinlenmeler sırasında tekrar depo edilmesi gerekmektedir (2, 18). İnsan vücudunda hazır halde kasta depo edilen ATP ve PCr miktarı sırasıyla “20-25 ve 77-82 mmol.kg kuru kas⁻¹ ya da sırasıyla “3.5-7.5 ve 16-28 mmol.kg⁻¹ kas dokusu” olarak tespit edilmiştir (13, 32, 36, 40). Kasta bulunan ATP ve PCr'nin enerjiye dönüşüm hızı ise yaklaşık olarak saniyede, sırasıyla “15 ve 9 mmol.kg kuru kas⁻¹” olarak hesaplanmıştır (27, 57).

Dolayısıyla hazır halde bulunan ATP-PCr depoları yaklaşık kısa süreli maksimal egzersizlerde enerji ihtiyacını büyük oranda karşılayabilir, ancak pratikte bu depoların tamamen tükenmesi söz konusu değildir (18, 36, 40). Yaklaşık 6 saniyeye kadar süren maksimal egzersizlerde anaerobik enerji katkısının %50'den fazlası fosfojen sistem ile karşılanır, 6 saniyeden daha uzun süren egzersizlerde ise anaerobik glikoliz daha baskın hale gelmektedir (36).

Kas biyopsisi yönteminin kullanıldığı araştırmalarda maksimal sprint egzersizlerinden sonra PCr depolarının, dinlenik durumun yaklaşık %20'sine düştüğü, 90 saniyelik toparlanma sonrası bu depoların dinlenik durumun %65-70'ine ulaştığı, ancak tamamen dolması için 5 dakikadan daha uzun bir sürenin gerektiği bildirilmiştir (13, 38, 40). Yapılan bir başka çalışmada 30 s süreli bir maksimal bisiklet egzersizi uygulanmış ve kas biyopsisi yoluyla vastus lateralis kasındaki PCr miktarı belirlenmiştir. Dinlenik durumda "77.1 mmol.kg kuru kas⁻¹" olan PCr, egzersizden hemen sonra "15.1 mmol.kg kuru kas⁻¹" olarak ölçülmüştür. Ayrıca egzersizden 90 s, 3 dk ve 6 dk sonra ölçülen PCr miktarları, sırasıyla "49.7; 57.2 ve 65.5 mmol.kg kuru kas⁻¹" olarak belirlenmiştir (40). Bu çalışmalarda 30 s süreli tek bir maksimal egzersizi incelenmiş ve 90 s sonra bile PCr depolarının doluluk oranının ancak %70 civarında olduğu raporlanmıştır. Tekrarlı sprintlerde PCr depolarının daha fazla düştüğü ve dinlenme süresi olarak 90 saniyeden daha kısa sürelerin kullanıldığı göz önüne alındığında yüksek performansın sürdürülebilir olmasının kısa dinlenme sürelerinde maksimum toparlanma sağlayabilme becerisine bağlı olduğu anlaşılmaktadır.

Farklı araştırma sonuçlarının uyarlanarak sunulduğu bir çalışmada 30 s dinlenme aralıkları ile 10 x 6 s tekrarlı sprint uygulamasında, son sprinte başlamadan önce kasta bulunan PCr miktarının (yaklaşık 40 mmol.kg kuru kas⁻¹), ilk sprinte başlamadan önce kasta bulunan PCr miktarına göre (yaklaşık 80 mmol.kg kuru kas⁻¹) %50 civarında olduğu belirtilmiştir. Ayrıca ilk sprintte tüketilen PCr miktarı "44.3 mmol.kg kuru kas⁻¹" iken; son sprintte tüketilen PCr miktarı "25.3 mmol.kg kuru kas⁻¹" olarak bulunmuştur (13). Bu çalışmada ayrıca ilk sprint ve son sprintte alaktik sistemin katkısının oransal olarak neredeyse aynı (sırasıyla %52 ve %51), ancak mutlak net PCr tüketiminin oldukça farklı olduğu dikkati çekmektedir. Yani ilk sprintte tüketilen 44.3 mmol.kg kuru kas⁻¹ ve son sprintte tüketilen 25.3 mmol.kg kuru

kas⁻¹ miktarlarının toplam enerji miktarı içerisindeki payının oransal olarak aynı olması performans düşüşünün bir diğer göstergesidir. Tek bir sprint performansının fosfat depolarının maksimum hızda enerjiye dönüştürebilmesine bağlı olduğu bilinmektedir (18), ancak tekrarlı egzersizlerde sprintlere başlamadan önce mevcut PCr depolarının doluluk oranı tekrar sayısına bağlı olarak düşmektedir. Yapılan deneysel çalışmalarda tekrar sayısı arttıkça sonraki sprintlere başlamadan önce kasta bulunan mevcut PCr miktarlarının giderek azalması yönündeki sonuçlar performans çıktısında görülen düşüşün fizyolojik alt yapısını oluşturmaktadır.

Bir başka araştırmada ise 6 s süreli tek bir sprint uygulanmış ve vastus lateralis kasındaki PCr miktarları, dinlenik durumda ve egzersizden 10, 30 ve 180 s sonra ölçülmüş ve sırasıyla “81.0, 44.9, 55.6 ve 73.1 mmol.kg kuru kas⁻¹” olarak belirlenmiştir. Çalışmada ayrıca aynı prosedür 5 x 6 s süreli (30 s dinlenme aralıkları ile) tekrarlı sprint protokolünden sonra uygulanmış ve PCr miktarları sırasıyla “77.1, 21.1, 34.5 ve 64.5 mmol.kg kuru kas⁻¹” olarak belirlenmiştir (38). Bu çalışma, sprintlerin tekrarlı bir formda uygulandığında PCr miktarlarının daha çok düşmesine yol açtığını ve tekrar sayısı arttıkça bir sonraki sprinte daha düşük PCr depoları ile başladığını ortaya koymaktadır. Bu çalışmanın bir diğer önemli bulgusu ise 1 x 6 s sprintten 30 s sonra PCr depoları “10.7 mmol.kg⁻¹” kuru kas yenilenirken, 5 x 6 s tekrarlı sprintlerden 30 s sonra PCr depoları “13.4 mmol.kg⁻¹” kuru kas yenilenmiştir. Dolayısıyla egzersiz sonlandığında kasta kalan PCr miktarının daha düşük olduğu durumda aynı dinlenme süresinde daha fazla toparlanmanın gerçekleşmesi yönünde bir adaptasyon oluşabileceği gösterilmiştir.

2.1.3. Laktik Anaerobik Sistem (Glikolitik Sistem)

Anaerobik glikoliz, metabolizmanın ATP sentezi için oksijene ihtiyaç duymadığı ikinci enerji üretim mekanizmasıdır ve kastaki glikojenin ya da kandaki glikozun parçalanması ile enerji oluşumunu ifade eder (18). Glikoliz süreci kas hücrelerinin sarkoplazmasında gerçekleşir ve süreç sonunda bir glikoz molekülü başına net 2 ATP ve 2 pirüvat veya laktat molekülü üretilir. Glikoliz, temelde bir dizi enzimatik aktivite ile katalizlenen birleşik reaksiyonlar sonucu oksijensiz olarak ATP üretimi sağlar (27, 85). Anaerobik glikoliz yoluyla saniyede yaklaşık “5-9 mmol.kg kuru kas⁻¹” ATP üretimi gerçekleşmektedir (36, 87). Bu sistem 15 saniyeden daha uzun

ve 3 dakikadan daha kısa süren egzersizlerde başlıca enerji kaynağı olarak kullanılır (28). Örneğin 1500 m sürat pateni, 800 m koşu, 30 s Wingate egzersizi ya da 200 m yüzme gibi aktivitelerde enerji sağlamak için etkin rol oynar (67, 78).

Laktik sistem, fosfojen sistemden daha yavaş, fakat daha uzun süre ATP üretebilmektedir (18). Diğer taraftan tekrarlı maksimal egzersizlerde anaerobik glikolizin sebep olduğu metabolik asidozun performansın düşmesindeki en etkili faktör olduğu kabul edilmektedir (49). Hücrede hidrojen iyonlarının aşırı birikmesi ve nötralize edilememesi hücre içi pH seviyesinin düşmesine, kas içi asidoz oluşmasına ve glikolitik enzimlerin inhibe olmasına yol açar (13, 18, 24). Aerobik metabolizması gelişmiş kişilerin anaerobik glikoliz yoluyla kaslarda oluşan laktatı elimine etmede daha başarılı olduğu bilinmektedir (15). Laktatın aslında Cori döngüsü olarak adlandırılan süreç yoluyla kandan karaciğere taşınması, glikoza dönüştürülmesi ve tekrar enerji kaynağı olarak kullanılmasının mümkün olduğu ortaya koyulmuştur (18). Ancak Cori döngüsünün gerçekleşmesi için daha uzun dinlenme süreleri gereklidir ve dinlenme aralıkları kısa (<30 s) olan tekrarlı maksimal egzersizlerde laktatın üretilmesi ve elimine edilmesi arasındaki dengenin korunabilmesi mümkün değildir (37, 38, 88).

Laktat üretimi ve eliminasyon dengesinin bozularak kanda laktik asidin birikmeye başladığı nokta anaerobik eşik olarak adlandırılır ve uygulamalı egzersiz fiziolojisinde aerobik dayanıklılık ile ilgili araştırmalarda sıklıkla kullanılır (89). Pratik olarak anaerobik eşik noktası kişinin egzersiz sırasında kaslarında yanma ve rahatsızlık hissini yaşamaya başladığı nokta olarak bilinir (28). Spor bilimlerinde aerobik kapasiteyi değerlendirmek için sıklıkla kullanılan VO_{2maks} testlerinde karbondioksit üretiminin oksijen tüketimini aştığı, böylece solunum değişim oranının 1'in üzerine çıkmaya başladığı nokta olarak da açıklanabilir (28). Anaerobik glikoliz sürecinin yan ürünü olan H⁺ iyonları aktin-myozin eşleşmesine engel olarak kas kasılma sürecini olumsuz etkileyebilir (27, 57). Ayrıca H⁺ iyonlarının aşırı birikmesinin pH dengesini bozması sebebiyle fosfofruktokinaz enzim aktivitesini sınırlar ve glikoliz yoluyla enerji üretimini engelleyebilir (89, 90).

Laktik asitin kandaki değerine ilişkin sonuçlar açısından çalışmalarda farklılıklar söz konusu olsa da ortalama dinlenik durumda 2 mmol.L⁻¹ den daha düşük, orta-düşük şiddetli ve uzun süreli bir egzersizi takiben ortalama 4 mmol.L⁻¹ ve 2

dakikalık maksimum bir egzersizden sonra ortalama 15-16 mmol.L⁻¹ civarında olduğu kabul edilir (28). Laktatın baskın olarak üretildiği Tip 2 kas liflerinden, laktatın mitokondride okside edilebildiği Tip 1 kas liflerine hızlı transferinin daha yüksek şiddetli ve daha uzun süreli egzersiz yapmak için etkili bir mekanizma olduğu bulunmuştur (91). Kas hücrelerinin yüzeyinde bulunan monokarboksilat laktat taşıyıcıları (MCT proteinleri) olarak bilinen ve laktatı Tip I ve Tip II kas hücreleri arasında transfer etmek üzere özelleşmiş yapıların miktarı ve etkinliği bu süreçte önemli rol oynar (92).

Antrenmanların anaerobik glikoliz ile sağlanan enerji üretim mekanizmasına olumlu etkisinin olduğu bilinmektedir. Yüksek şiddetli aralıklı antrenmanların anaerobik glikoliz sistemin etkinliğini ve böylece bu sistemin ATP üretimindeki katkısını artırdığı ancak beraberinde laktat üretim hızını da artırdığı raporlanmıştır (92). Dolayısıyla antrenman etkisiyle anaerobik enzim aktivitelerinin artması glikoliz süreciyle daha hızlı ATP üretilmesine olanak sağlarken aynı zamanda daha hızlı laktik asit birikimine sebep olmaktadır (93). Uzun atlama, yüksek atlama ya da halter gibi egzersiz şiddeti maksimum seviyeye çıktıktan hemen sonra sonlanacak olan spor branşları için hızlı laktik asit birikimine rağmen glikoliz yoluyla ATP üretiminin artması avantaj sağlayabilir. Ancak tekrar eden eylemler gerektiren spor branşları ve daha uzun süreli egzersizler için aynı zamanda kas ve kanda laktatın tamponlanma mekanizmasının da geliştirilmesi gerekmektedir. Yani glikoliz yoluyla enerji üretiminin artması ile birlikte, hızlı biriken laktatın tampon mekanizmaları tarafından aynı oranda nötralize edilebilmesini sağlayacak fizyolojik profile sahip olmak birçok sporcu için kritik öneme sahiptir (93, 94). Bir çalışmada antrenmanlı bireylerin laktatı çalışan kaslardan daha hızlı uzaklaştırabildiği ve laktat taşıyıcı proteinlerin sayısının ve etkinliğinin daha yüksek olduğunu gösterilmiştir (94).

Dayanıklılık antrenmanları mitokondride krebs döngüsü yoluyla pirüvatın kullanım oranını artırabileceği için laktatı uzaklaştırmada etkin rol oynayabilir. Gelişmiş bir aerobik metabolizma daha yüksek egzersiz şiddetlerinde oksijen kullanarak enerji üretimine katkıda bulunur ve yüksek şiddetli egzersizlerde üretilen laktatın uzaklaştırılmasında etkili olabilir (95). Aerobik dayanıklılık antrenmanı ayrıca çalışan kaslara kan akışının artması, ve kalp, karaciğer ve çalışmayan kaslarda laktatın

metabolize edilmesi ve egzersiz sonlandıktan veya şiddeti düştükten sonra çalışan kaslardan laktatın uzaklaştırılması gibi adaptasyonlarda etkili olabilir (96). Birçok çalışmada dayanıklılık sporcularında kaslara kan taşıyan kılcal damar sayısında artış, nöral ve endokrin sistemde iyileşmeler, daha fazla kırmızı kan hücresi, daha fazla kan hacmi ve kardiyak çıktının artması gibi istenen adaptasyonların gerçekleştiği rapor edilmiştir (27, 28, 57, 96).

Anaerobik sistemlerin tekrarlı aktivitelerde majör belirleyici olduğu yapılan araştırmalarda vurgulanmaktadır, ancak araştırmalarda genellikle bu katkı fosfojen sistem ve anaerobik glikoliz olarak ayrı ayrı değerlendirilmemiştir (13, 46, 56, 65). Maksimal bir egzersiz sırasında PCr miktarının ani düşüşünün anaerobik glikolizin artmasıyla dengelenmeye çalışıldığı belirtilmektedir (18). Yapılan çalışmalar, kısa süreli ve yüksek şiddetli aktivitelerde anaerobik glikoliz yoluyla gelen enerji katkısının yüksek olduğunu, süre uzadıkça ve şiddet düştükçe bu katkının kademeli olarak azaldığını ortaya koymaktadır (68, 71, 97). Araştırmalardan elde edilen bulgular 6 saniyeye kadar olan egzersizlerde fosfojen sistem katkısının daha baskın olduğunu, ancak 6-60 saniye süreli egzersizlerde anaerobik glikoliz sistemin en baskın sistem olduğunu ortaya koymuştur (36, 65, 66). Bir çalışmada 6 s süren tek bir sprint uygulamasında anaerobik glikolizden gelen katkının %40 civarında olduğunu (%52 ATP-PCr, %8 aerobik), ancak ardışık 10 tekrarın uygulandığı bir durumda bu oranın kademeli olarak %10 civarına düştüğünü ortaya koymaktadır (13).

2.1.4. Aerobik (Oksidatif) Sistem

Aerobik sistem yürüme, hafif tempolu koşma, merdiven çıkma, yüzme ve ev işleri gibi günlük aktivitelerin çoğunluğu için kullanılan enerjinin asıl kaynağıdır (28). Enerji üretiminde en uzun süreli ama en yavaş enerji katkısı sağlayan sistem olan aerobik sistem ile ATP üretimi için oksijene ihtiyaç vardır (18, 29). ATP üretimi, Krebs döngüsü (sitrik asit döngüsü) ve elektron taşıma zinciri adı verilen iki aşamalı bir sürecin etkileşimi ile gerçekleşir. Krebs döngüsünün birincil işlevi NAD ve FAD adı verilen hidrojen taşıyıcı molekülleri kullanarak karbonhidrat, yağ ve proteinlerden hidrojenleri ayırmaktır (oksidasyon). Krebs döngüsünde üretilen NADH+H ve FADH₂ moleküllerinin elektron taşıma zincirine transferinden sonra son elektron alıcısı olarak oksijen kullanılarak bir dizi metabolik reaksiyon sayesinde enerji üretilir. Elektron

taşıma zincirinde H^+ moleküllerin sahip olduğu elektronların potansiyel enerjisi kullanılarak ATP üretilir (27, 29, 30, 57, 83).

Bir egzersiz anaerobik eşik noktası olarak bilinen şiddetten daha düşük seviyelerde uygulandığında aerobik sistem enerji üretiminin ana kaynağıdır (28). Böylece aerobik sistemin yapılan bir aktivite için gerekli enerjiyi büyük ölçüde karşıladığı durumlarda kişiler arası farklılıklara bağlı olarak laktat seviyesinin 2-6 mmol.L⁻¹ civarında kalmasını sağlayabilir (98, 99). Antrenmanlı bireylerin şiddetli egzersizler sırasında oksijen tüketimini dinlenik duruma göre 20 kattan daha fazla artırabileceği bilinmektedir (27, 31, 100). Oksijen transferi için akciğerler, dolaşım sistemi ve kas olmak üzere üç ana yapı bulunmaktadır. Kaslarda ATP tüketiminin artmasına bağlı olarak aerobik sistemin talepleri de artar ve bu talebi karşılamak için solunum düzenlenir (28, 98). Ağır egzersiz sırasında mevcut oksijen talebinin yaklaşık %90'lık bölümünü iskelet kası hücrelerindeki mitokondriler oluşturmaktadır (28). Dolayısıyla kardiyovasküler sistemin mitokondrilere yeterli oksijeni ulaştırabilme kapasitesi, kasta ulaştırılan oksijeni kullanabilecek yeterli sayıda ve hacimde mitokondri bulunması ve enzimler veya metabolik yan ürünlerin Krebs döngüsünden sağlanan enerji akışını engellememesi bu sistemin verimliliğindeki temel prensipleri oluşturmaktadır (28, 29). Solunum sistemi fonksiyonlarının performans için sınırlayıcı bir faktör olmadığı, asıl belirleyici unsurun VO_{2maks} olarak bilinen ve kasların enerji üretmek üzere oksijeni kullanabilme kapasitesi olduğu yapılan çalışmalarda ortaya koyulmuştur (100-102).

Aerobik kapasitenin antrenmanlar ile geliştirilebileceğine dair çok sayıda kanıt bulunmaktadır. Ayrıca kalıtımın aerobik sistem adaptasyonlarının hızında etkili bir rol oynadığı belirtilmektedir (103). Dolayısıyla aynı antrenman yüküne maruz kalan bazı bireyler çok hızlı bir adaptasyon geliştirebilirken, bazıları daha yavaş ve daha düşük seviyelerde bir gelişim sağlamaktadır. Dayanıklılık antrenmanlarının ventriküller ve atriumların hacmini ve kalp duvarlarının kasılabilme kapasitesini arttırarak kardiyak çıktıda bir artış sağladığı kanıtlanmıştır (27, 58). Düzenli antrenmanlar ile iskelet kası ve kalp kasında kılcıl damar yoğunluğunun arttığı gösterilmiştir. Artmış kılcıl damar sayısı daha büyük bir yüzey alanına sahip olduğu için kan ve dokular arasındaki mesafenin kısılmasını sağlar böylece besinlerin hücrelere taşınması kolaylaşır ve

karbondioksit ve oksijenin difüzyon kapasitesi artar (98, 104, 105). Kılcal damar sayısının artması ve genişlemesi aynı zamanda daha düşük kan basıncı ve kas dokularına yakın ortamda daha fazla kan hacmi sağladığı için önemli bir avantaj sağlamaktadır (106). Eritropoez sürecinin uyarılmasını sağladığı için kemik iliğinde yeni kan hücresi yapımı, dolayısıyla kırmızı kan hücresi ve toplam kan hacminin artması da dayanıklılık antrenmanlarının adaptasyonları olarak kabul edilmektedir (107). Kas liflerinde mitokondri sayısının ve boyutunun fazla olması aerobik kapasitenin verimliliğini arttıran temel fizyolojik faktörlerden birisidir ve bu uygun antrenman yöntemleri ile geliştirilebilmektedir (108, 109). Ayrıca çalışmalar aerobik kapasitenin yüksek olması ile yağların daha fazla yakılmasının mümkün olacağını ortaya koymaktadır (110).

Aerobik sistem, kısa süreli maksimal egzersizlerde (10-15 s) yaklaşık %10 civarında bir katkı sağlar ve bu sistem ile saniyede yaklaşık “0.7-1.3 mmol.kg kuru kas⁻¹” ATP üretimi gerçekleştirmektedir (18, 87, 111). Yapılan çalışmalar aralıksız egzersizlerde mesafe uzadıkça veya şiddet düştükçe aerobik metabolizmanın katkısının arttığını ortaya koymaktadır (97). Tekrarlı sprint uygulamalarında aerobik sistemin dinlenme sırasında daha hızlı toparlanma sağladığı için önemli olduğu belirtilmektedir. Gelişmiş bir aerobik sistemin daha fazla ATP ve PCr'nin yeniden sentezini sağlayacağı ve H⁺ iyonlarını uzaklaştırmada daha etkili olacağı belirtilmektedir (2, 15, 18). Aerobik kapasitesi yüksek olan sporcuların aerobik enzim aktiviteleri ve myoglobin konsantrasyonları daha fazladır ve mitokondrilerinin sayısı ve yüzey alanı daha geniştir. Böylece bu sporcular mitokondriye pirüvat ve oksijen taşınmasında dolayısıyla oksidatif yolla ATP üretmede daha başarılı olabilirler (2, 15). Bu nedenle aerobik kapasitenin tekrarlı aktiviteler sırasında yorgunluğun geciktirilmesi için önemli bir faktör olduğu belirtilmiştir (22).

Yapılan çalışmalar yüksek şiddetli egzersizlerin tekrarlı uygulanması durumunda tekrar sayısı arttıkça aerobik sistem katkısının da kademeli olarak artacağını göstermektedir (13, 18, 24). Gaitanos ve ark. (1993) kas biyopsisi yöntemini kullanarak yaptıkları çalışmada 6 saniyelik bir sprint sırasındaki enerji üretiminde aerobik sistemin katkısının ihmal edilebilir olduğunu varsaymışlardır (36). Ancak daha sonra Spencer ve ark. (2001) 3 saniyelik bir sprint egzersizinde bile aerobik

sistemin %3 katkıda bulunduğunu raporlamıştır (41). Daha sonra Girard ve ark. (2011) literatürdeki önemli deneysel çalışmaların sonuçlarından yola çıkarak 6 saniyelik bir sprint egzersizinde aerobik sistemin katkısının %8 olduğunu, bu sprintlerin 30 saniye dinlenme aralıkları ile 10 tekrarlı uygulanması durumunda son sprintteki aerobik sistem katkısının %40 olduğunu göstermişlerdir (13). Diğer taraftan, anaerobik sistemler ile daha kısa sürede daha fazla enerji üretilebildiği için tekrarlı sprintler sırasında aerobik sistemin katkısının artmasının performansı düşüreceği belirtilmektedir (18). Bir başka deyişle tekrarlı sprint performansını maksimize etmek için, sprintler sırasında aerobik sistem katkısının oldukça düşük, dinlenme sırasında ise mümkün olduğunca fazla olması beklenmektedir.

2.2. Futbol

Futbol birçok ülkede erkekler, kadınlar, çocuklar ve yetişkinler gibi çok geniş kitlelerin farklı seviyelerde oynadığı en popüler sporlardan birisidir. Profesyonel futbolcular genellikle 90 dakika boyunca maksimum kalp atım hızlarının %80-90 şiddetinde bir efor sergilerler (112, 113). Bir futbol maçının süresi (90 dk) itibariyle aerobik ağırlıklı olduğu düşünülse de oyunun belirleyici anları anaerobik aktivitelerden oluşmaktadır (114-117). Oyuncuların maç boyunca 10-13 km civarında mesafe kat ettiği, ancak bunun büyük bir bölümünün yürüme ve düşük şiddetli koşulardan (118, 119), 200-400 metrelik bir bölümünün sprintlerden (2, 8, 120) oluştuğu raporlanmıştır. Dolayısıyla hem kısa süreli-şiddetli hareketleri takiben hızlı bir toparlanmanın sağlanabilmesi için hem de maç boyunca sürdürülen eforun gerektirdiği oksijen talebini karşılamak için aerobik kapasitenin yüksek olması beklenirken sprint, yön değiştirme, sıçrama ve topa vurma gibi anaerobik nitelik taşıyan hareketlerin yapılabilmesi için gerekli kuvvet, hız ve denge gibi temel motorik becerilerin de yüksek olması beklenir (47, 121, 122).

2.2.1. Futbolun Fizyolojik Talepleri

Futbolun yapısının hem oyun içinde daha dinamik hale gelmesi hem geçmiş yıllara nazaran maçların daha kısa (3-4 gün) zaman aralıkları ile oynanması futbolcular üzerindeki fizyolojik talepleri arttırmıştır (122-126). Dünyanın birçok ülkesinde olduğu gibi, ülkemizde de bir futbolcunun sezon boyunca ortalama 38-40, haftalık 1-

2 ma şeklindeki bir yüklenme-dinlenme döngüsü söz konusudur (116, 123, 127). Ayrıca bir maç boyunca yüksek şiddetli ve düşük şiddetli koşulara ek olarak dinlenme periyotları arasında sıçrama, topa vurma, yön değiştirme ve ani yavaşlamalar gibi hareketlerin gerçekleştirildiği daha kompleks bir döngü söz konusudur (6, 10, 123, 125). Ma ve antrenmanların futbolcularda kuvvet, hız ve koordinasyon gibi performans ile ilgili performans faktörlerinin düşmesinin yanı sıra asit-baz dengesinin (pH) bozulması, kas hasarı oluşması, membran geçirgenliği ve sarkomer yapısındaki değişiklikler, endokrin ve inflamatuvar belirteçlerin artması ve kas fonksiyonundaki azalmalar gibi metabolik etkileri yapılan çalışmalarda ortaya koyulmuştur (115, 123, 128-130).

Futbol kuvvet, güç, dayanıklılık ve hız gibi temel atletik becerilerin tümünü barındıran futbolcuların avantaj sağladığı bir spor dalıdır. Maksimal kuvvet, kas-sinir sisteminin tek seferde üretebileceği en yüksek kuvveti; güç ise belli bir zaman biriminde gerçekleştirilen iş miktarını ifade eder ve futbolcular için bu özelliklerin özellikle alt ekstremitte için geliştirilmesi temel bir fiziksel talep olarak kabul edilir (112). Yapılan çalışmalarda kuvvet/güç testleri ile sprint, sıçrama, ivmelenme ve maksimum hızlanma arasında anlamlı ilişkiler olduğunu göstermiştir (131-133). Dayanıklılık, futbolda bir diğer kritik performans bileşeni olarak kabul edilmektedir. Çünkü bir maçta futbolcuların maksimum kalp atım hızının (KAH_{maks}) %80-90'ına karşılık gelen bir şiddette sürdürülebilir bir efora ihtiyacı olduğu raporlanmaktadır (112, 134, 135). Ayrıca bir futbol maçının, laktat üretiminin ve uzaklaştırılmasının dengede olduğu en yüksek egzersiz şiddeti olan anaerobik eşik noktasına yakın bir egzersiz şiddetine sahip olduğu belirtilmektedir (112, 113, 136, 137).

Bir futbol maçı sırasındaki oksijen tüketimi ve enerji harcamasını doğrudan hesaplamak oldukça güçtür. Çünkü oksijen tüketimi ve karbondioksit üretimi yoluyla enerji harcamasını hesaplayan gaz analizörlerinin mevcut ebatları ve ekipmanları oyunun doğasına aykırıdır. Ayrıca sadece oksijen tüketiminden yola çıkarak fosfojen sistem ve anaerobik glikolizin katkısını ve bu sistemlerin etkileşimini tahmin etmek zordur (112). Bu sebeple bir futbol maçı sırasındaki enerji harcaması genellikle birçok varsayıma dayanan indirekt tahmin yöntemleriyle yapılmaktadır. En basit teorik kestirimden yola çıkarak, ortalama KAH_{maks} 'ın %85'ine karşılık gelen bir şiddette oynanan bir futbol maçının VO_{2maks} 'ın %75'i şiddetine denk olduğu kabul

edilmektedir (138). Dolayısıyla VO_{2maks} değeri $60 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$ olan bir futbolcu için ortalama oksijen tüketimi $45 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$ olarak; VO_{2maks} değeri $80 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$ olan bir futbolcu için ortalama oksijen tüketimi $60 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$ olarak tahmin edilebilir. Teorik olarak VO_{2maks} değeri $60-80 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$ arasında ve ortalama 75 kg vücut ağırlığı üzerinden bir futbol maçı için enerji talebi $1515-2000 \text{ kcal}$ veya $6350-8500 \text{ kJ}$ olarak tahmin edilebilir. Ancak bu tür hesaplamalarda kullanılan teorik KAH_{maks} hesaplamalarının büyük bir değişkenlik gösterdiği (139, 140) ve enerji talebi farklı olmasına karşın tüm hareket kalıpları için (koşma, sıçrama, topa vurma, konsantrik ya da eksantrik kasılmalar) standart kestirim yöntemlerinin uygulandığı göz önünde bulundurulmalıdır (112, 141).

Futbol maçı sırasındaki metabolik yükü veya enerji talebini tahmin etmek ve gruplar arasında karşılaştırmak için kalp atım hızının yanı sıra laktik asit konsantrasyonu ve algılanan zorluk derecesi gibi ölçme araçları da kullanılmaktadır (113). Ayrıca gelişen teknolojiyle bağlantılı olarak GPS (*Global Positioning System*, Küresel Konumlama Sistemi) kullanarak bir futbol maçı sırasındaki enerji talebinin tahmin edilmesi son yıllarda daha fazla tercih edilir hale gelmiştir (142, 143). Ancak enerji talebini hesaplamak için yukarıda bahsedilen tüm yöntemlerin altyapısında birçok varsayımın bulunduğu ve pek çok fizyolojik farklılığın göz ardı edildiği unutulmamalıdır (33, 142). Diğer taraftan güncel çalışmalarda bir futbol maçı sırasındaki enerji talebinin hesaplanmasına ilişkin daha detaylı bilgiler elde etmek için bazı öneriler sunulmaktadır (141, 144, 145). Örneğin ivmelenme ve yavaşlama aktivitelerinin kasılma tipinden (konsantrik-eksantrik) kaynaklanan değişkenliğin farklı eğimlerde yapılan koşulardan hesaplanan enerji maliyeti ile giderilebileceği önerilmektedir (141). Benzer şekilde futbolcular için oyun içinde sıkça kullanılan ve düz bir ekseninde gerçekleşmeyen hareketler (sıçrama, topa vurma, yön değiştirme, yavaşlama, durma vb.) için laboratuvar ortamında belirlenen enerji maliyeti oyun içindeki veriler üzerinde kullanılarak daha detaylı bir hesaplamanın yapılabileceği belirtilmektedir (141, 144).

Özellikle son yıllarda daha dinamik hale gelen futbolun oyuncular üzerinde yorucu bir etkisinin olduğu bilinmektedir. Yapılan çalışmalar bir futbol maçının kuvvet ve hız üretiminde düşüşe, kas hasarına, biyokimyasal bozulmalara ve yüksek seviyede algılanan zorluk cevaplarına neden olduğunu göstermektedir (122, 123, 146-

148). Oyun süresi açısından bakıldığında genel olarak aerobik ağırlıklı bir spor olarak kategorize edilen futbolda oyunun belirleyici unsurlarını anaerobik aktiviteler oluşturmaktadır (44, 118). İvmelenme, yavaşlama, yön değiştirme, sprint atma, sıçrama, topa vurma ve topu kontrol etme gibi aktiviteleri gerçekleştirmek için gerekli konsantrik, izometrik ve eksantrik kasılmalar, hücrel ve hücre-altı yapılarda bazı reaksiyonlara neden olmaktadır (123, 149, 150). Çoğunlukla aerobik nitelikli bir periyot içine değişken aralıklar ile serpiştirilen yüksek şiddetli aktiviteler kas ve kan pH düzeyinin düşmesine, glikojen depolarının azalmasına, plazmadaki gliserol ve serbest yağ asidi (SYA) miktarlarının artmasına yol açar (123). Ayrıca, maç sırasında ve sonunda insülin seviyelerinin düştüğü ve bu değişimin kan şekeri ve katekolaminlerin artışı ile ilişkili olduğu ortaya koyulmuştur (121). Bir başka çalışma, maçın hemen ardından kortizol ve testosteron seviyelerinde önemli artış olduğunu raporlamıştır (115). Dolayısıyla bahsedilen bulgular, yorgunluk ile ortaya çıkan metabolik değişimlerin enerji üretimini ve hücrel dengeyi olumsuz etkileyebileceğini göstermektedir (123, 124).

Bir futbol maçının kas hasarına, inflamatuvar ve immünolojik yanıtlara neden olduğunu ortaya koyan çalışmalar bulunmaktadır. Bir maç sırasındaki mekanik stresin immün sistemde aracılık eden sitokinlerden CRP, IL-6 ve TNF- α gibi düzenleyici belirteçlerin önemli ölçüde yükselmesine bunun da kas hasarının tespitinde kullanılan CK düzeylerinin artışıyla ilgili olabileceği rapor edilmektedir (123, 128, 151, 152). Ayrıca futbol maçının sebep olduğu immünolojik etkiler lökosit, monosit, lenfosit ve makrofajların artışıyla ilgili bulgular tarafından da desteklenmektedir (153). İmmün sistemin kompleks yapısı göz önüne alındığında yukarıda bahsedilen sitokinlerin (CRP, IL-6 ve TNF- α), hasarlanan kas ve metabolik olarak aktif olan diğer dokularda onarımı başlatmak için nötrofil ve monosit gibi bağışıklık hücrelerin göçünü düzenlediği düşünülmektedir (123, 154). Ayrıca, bir futbol maçından hemen sonra ve toparlanma periyodunda nötrofil: lenfosit oranının yüksek olmasına ilişkin bulgular fizyolojik stresin bir göstergesi olarak kabul edilmektedir (155).

Futbolcuların ivmelenme, yavaşlama, dönme ya da yön değiştirme gibi hareketler *hamstring* kaslarının yüksek şiddetli eksantrik kasılmalarını gerektirir. Ayrıca örneğin topa vurma için gerekli hareket kalıbının biyomekanik incelemeleri eksantrik ve konsantrik kasılmalar arası hızlı geçişlerde diz fleksör kasları, diz

ekstansör ve kalça fleksör kaslarında önemli eksantrik uyarılara sebep olduğunu göstermektedir (129, 156, 157). Benzer şekilde, sprint sırasında şiddetli kalça fleksiyonu ve diz ekstansiyonunun ardışık uygulanmasının hamstring kaslarının uzamasına sebep olan bir stres yarattığını ortaya koymaktadır (129). Futbolun temel hareket kalıpları üzerinde yapılan bu biyomekanik incelemelerin (129, 156, 157) sprintler sırasındaki kas hasarının ve sakatlanma riskinin yüksek olmasının en muhtemel açıklaması olarak kabul edilmektedir (123, 128, 129).

Futboldaki yüksek şiddetli aksiyonların merkezi ve periferik yorgunluğa sebep olduğu yapılan çalışmalarda kanıtlanmıştır. Örneğin maksimal kuvvet üretiminin ve sinir uyarılarının sinir-kas kavşağına iletiminin azalması, kasın kasılabilir elemanlarında ve kas-sinir sitemindeki merkezi bozulmaların göstergesi olarak kabul edilmektedir (35, 130, 158). Sıçrama performansını, alt ekstremitede gerilme-kısalma döngüsünün etkinliğini, eksantrik fazdan konsantrik faza geçişin ya da reaktif kuvvet indeksini değerlendirmek için uygulanan tek ve tekrarlı aktif sıçramalarda futbol maçının ardından performansın düştüğü raporlanmıştır (123, 159). Ayrıca tek eklem içeren diz ekstansiyon hareketinde üretilen kuvvetin futbol maçının ardından düştüğü yapılan çalışmalarda gösterilmiştir (160). Bunlara ek olarak diz ve kalçada futbol için temel hareketlerde başlıca rol alan fleksör ve ekstansör kasların kuvvet üretiminde düşüşler olduğu çeşitli çalışmalarda raporlanmıştır (123, 156, 157, 161).

2.2.2. Futbolun Kinematığı

Futbolcuların yarışma seviyelerine ve pozisyonlarına göre 7 – 17 km arasında mesafe kat ettikleri bildirilmiştir (10, 112, 162, 163). Profesyonellerin amatör ve alt ligde yer alan futbolculara göre daha fazla, orta saha oyuncularının da diğer pozisyonlarda oynayan oyunculara göre daha fazla mesafe kat ettiği raporlanmıştır (6, 41, 125, 164). Kat edilen toplam mesafe içinde ortalama 3-4 km yürüme, 4-5 km düşük şiddetli koşu, 1.5-2 km yüksek şiddetli koşu ve 200-400 m arasında sprint aktiviteleri yer almaktadır (41, 165, 166). Genellikle bu aktivite profilleri ikinci yarıda birinci yarıya oranla %5-10 daha düşüktür (4, 41, 165). Sprint ile kat edilen mesafe toplam mesafenin %1-11'ine, toplam sürenin %0.5-3'üne karşılık gelmesine rağmen oyunu değiştirmek adına kritik olarak kabul edilmektedir (2, 112, 119). Ayrıca şut atma, pas verme, sıçrama, kafa vurma, aldatma, yön değiştirme, rakibe tepki verme gibi 5-6

saniyeden daha kısa süreli aktivitelerin 1000-1400 kez gerçekleştiği bildirilmektedir (112, 167, 168).

Futbolun oyun yapısının özellikle son yıllarda daha dinamik ve daha hızlı bir oyun tarzına dönüştüğü belirtilmektedir (2, 9, 169, 170). Dolayısıyla oyun yapısındaki bu değişim oyuncu profillerinde birtakım fiziksel ve fizyolojik gelişimi zorunlu kılmaktadır (170). Yani futbolcular geçmiş yıllara göre daha hızlı koşma ve daha az dinlenme gibi metabolik talepleri karşılamalı ve bu becerileri yön değiştirme, durma ve tekrar etme gibi ilave beceriler ile kombine etmek zorundadır (169, 171, 172). Bu nedenle, futbolda aynı anda birçok performans faktörünü geliştirdiği düşünülen birçok antrenman ve test yöntemi geliştirilmiştir (169). Bu testlerden doğrusal sprintler, yön değiştirmeli sprintler ve tekrarlı sprintler en çok tercih edilen yöntemleri oluşturmaktadır (169). Yapılan kapsamlı bir derlemede 90 farklı çalışmada kullanılan 167 test incelenmiş ve bu testlerden elde edilen ortalama veya toplam süre değişkenlerinin futbol için geçerli ve güvenilir olduğunu ancak performans düşüş yüzdesi ve yorgunluk indeksi değişkenlerinde tutarsız sonuçlara ulaşıldığı belirtilmiştir (169).

Güncel çalışmalarda futbolcuların performansını değerlendirmek için sürat becerisinin temel bileşenlerden bir tanesi olduğu, ancak tek başına futbol performansını değerlendirmek için yeterli olmadığı belirtilmektedir (7, 9). Tek bir sprint uygulandığı zaman daha çok atletizm için ön koşul olan ivmelenme ve maksimum hız gibi becerilerin ölçülebilmesi mümkündür (7, 173, 174). Bu sebeple doğrusal sprintlerin tekrarlı uygulanması ya da yön değiştirme veya çeviklik becerileri ile kombine edilmesinin futbola uygun hareket kalıplarının karşılanması açısından daha makul olduğu vurgulanmaktadır (19, 169, 175). Yön değiştirme, çeviklik veya top sürme gibi becerilerinin dahil edildiği testler futbola özgü topa sahip olma, yavaşlama, aniden durma, yön değiştirme, vücudun ağırlık merkezinin koruyarak farklı eksenlerde hareket edebilme gibi teknik alt yapısı olan becerileri değerlendirmek için geçerli yöntemler olarak kabul edilmektedir (176-179). Diğer taraftan tekrarlı sprint uygulamaları genellikle enerji metabolizmasına ve fizyolojik yanıtlara ilişkin uyumu değerlendirmek ya da geliştirmek için tercih edilmektedir (9, 13, 14, 16, 50, 180).

Futbolcuların yer aldığı çalışmalarda sprint için belirlenen hız kriterinin oldukça geniş bir aralıkta değiştiği görülmektedir (3). Örneğin elit seviye sporcularda yapılan bazı araştırmalarda sprint kriteri >25.2 km/s (6, 10, 163, 164); Çin Süper Liginin analiz edildiği bir çalışmada >25.1 km/s (44); İspanya ve İngiltere liglerinin analiz edildiği bir çalışmada ve UEFA Avrupa liginin analiz edildiği bir başka çalışmada >24 km/s (2, 171); İrlanda liginin analiz edildiği bir çalışmada >22 km/s (8); UEFA Şampiyonlar Ligi maçlarının analiz edildiği bir çalışma ve Brezilyalı futbolcular üzerinde yapılan bir başka çalışmada ise sprint kriteri >20 km/s olarak belirlenmiştir (120). Dolayısıyla yapılan çalışmalarda raporlanan sprint mesafesi ya da sprint sayısı belirlenen hız kriterine bağlı olarak değişmektedir.

Çalışmalarda branş, pozisyon, yaş, antrenman durumu, statü ve hız kriteri gibi birçok faktöre bağlı olarak sprint özelliklerinin değiştiği görülmektedir (2, 3, 7, 181). Ancak geniş bir ölçekte değerlendirildiğinde takım sporlarında genellikle 60 saniyeden daha düşük dinlenmeler arasında, 10 saniyeden daha düşük sprint aktivitelerinin gerçekleştirildiği raporlanmıştır (13, 18). Maç analizi tekniklerinin kullanılmasıyla birlikte oyuncuların mevkilerine, oynadıkları seviyelere veya katıldıkları yarışma organizasyonlarına göre hareket profilleri karşılaştırılabilmektedir (7, 15, 164). Saha temelli takım sporlarında, ortalama sprint süresinin 2-3 s, sprint mesafesinin ise 10-20 m olduğu raporlanmıştır (47). Futbolcuların bir maçta 40-50 m mesafeli sprintleri çok az sayıda uyguladığı vurgulanırken, ortalama sprint mesafesinin 20 m civarında olduğu belirtilmiştir (2). Maç analizi ile futbolcuların hareket profillerini inceleyen birçok çalışmada ise elit seviye futbol maçlarında en fazla uygulanan sprint mesafeleri, sırasıyla 0-10 m, 10-20 m ve >20 m olarak raporlanmıştır (10, 163, 164). Dolayısıyla futbol ile ilgili yapılan çalışmalar uzun sprint mesafelerinin (>30 m) gerçek oyun profilini yansıtmadığını savunmaktadırlar.

Bir çalışmada İngiltere Premier Liginde yer alan futbolcuların koşu profilleri iki sezon boyunca incelenmiş ve toplam sprint mesafesinin oyuncuların oynadığı pozisyona ve takımın puan sıralamasındaki durumuna göre değişmekle birlikte, ortalama 230 m civarında olduğu belirtilmiştir (164). İngiltere Premier Ligindeki oyuncuların koşu profillerinin incelendiği bir başka çalışmada ise oyuncuların pozisyonuna göre toplam sprint mesafelerinin 145-307 m arasında değiştiği

bildirilmiştir (163). İngiltere ligini inceleyen bir diğer çalışmada sprint mesafesinin yaklaşık 200-400 m arasında olduğu belirtilmiştir (182). İngiltere ve İspanya liglerinin incelendiği bir çalışmada ise oyun içindeki toplam sprint mesafesinin 197-278 m arasında değiştiği raporlanmıştır (171).

2002-2006 yılları arasındaki Avrupa Şampiyonlar Ligi ve UEFA Kupası maçlarında yer alan futbolcuların hareket profilleri analiz edildiği bir çalışmada, futbolcuların oynadıkları pozisyona göre toplam sprint sayısının 17-36 arasında değiştiği bulunmuştur (10). UEFA Şampiyonlar Ligi maçlarının analiz edildiği bir başka çalışmada oyun içindeki toplam sprint mesafesi 340 ± 40 m olarak belirlenmiştir. (120). UEFA Avrupa liginde yer alan 147 futbolcunun 10 resmi maçının analiz edildiği bir başka çalışmada ise toplam sprint mesafesi 237 ± 123 m olarak hesaplanmıştır (2). Raporlanan bu mesafelerin sprint hızı kriteri, oyuncuların yarışma seviyesi veya oynadığı pozisyon gibi değişkenlerden etkilendiği belirtilse de genellikle toplam sprint mesafesinin 200 – 400 m arasında olduğu görülmektedir.

İrlanda liginde yer alan üç takımın üç sezon boyunca tüm maçlarının (250 maç) analiz edildiği bir çalışmada maç başına sprint sayısının oyuncuların oynadıkları mevkiye göre 35-56 arasında değiştiği; sprint mesafesinin ise 352-532 m arasında olduğu bulunmuştur (8). Çin Süper liginin analiz edildiği bir çalışmada toplam sprint mesafesinin 199-218 m olduğu belirtilmiştir (44). Norveç ligindeki üst düzey bir futbol takımı üzerinde yapılan araştırmada toplam sprint mesafesinin ortalama 123-294 m; sprint sayısının 16.6 olduğu belirtilmiştir (7). Avusturya futbolunun analiz edildiği bir başka çalışmada futbol maçı süresince toplam sprint mesafesinin ortalama 328 m; sprint sayısının ortalama 22 olduğu raporlanmıştır. Ayrıca maç boyunca yüksek şiddetli aktiviteler arasındaki dinlenme süresinin %45'inin 30 s ve altında olduğu belirtilmiştir (6). Futbol oyununun bir salon versiyonu olan futsalda oyuncularının sprint profillerinin resmi maçlarda analiz edildiği bir çalışmada dinlenme aralıkları 53-68 s; sprint süresi 3.1-3.3 s olarak raporlanmıştır. Ayrıca maç boyunca gerçekleştirilen sprint sayısı 0.7-0.9/dk; sprint mesafesi 13.2-14.3m olarak belirlenmiştir (181). Dolayısıyla sprint mesafesi, tekrar sayısı ve dinlenme süresi gibi özellikler çalışmalarda oldukça geniş bir aralıkta raporlanmıştır.

2.3. Tekrarlı Sprint Becerisi

Tekrarlı sprint becerisi art arda yapılan sprintler sırasında toparlanabilme ve maksimal eforu sürdürebilme yeteneği olarak tanımlanabilir ve özellikle takım sporlarında kritik bir performans faktörü olarak kabul edilir (5, 15, 16, 18, 49, 76). Tekrarlı sprint becerisinin büyük oranda fosfokreatinin yeniden sentezlenmesine ve dinlenme sırasında hidrojen iyonlarının kastan uzaklaştırılabilmesine bağlı olduğu belirtilmektedir (14, 15, 18). Tekrarlı sprint uygulamalarında, her sprinte mümkün olduğunca fazla PCr miktarıyla başlamak hem performansın sürdürülebilmesi hem de metabolik yan ürünlerin birikmesini engellemek için en fazla kabul gören anlayıştır (2, 14, 18). Sprint egzersizlerinde aerobik sistemin katkısının artmasının (%10'dan fazla olması) performansı düşüreceği kabul edilmektedir (18). Ancak aerobik sistemin asıl katkısının dinlenmeler sırasında PCr depolarını yenilemek ve metabolik yan ürünlerin uzaklaştırılmasını sağlamak olduğu belirtilmektedir (2, 15). Tekrarlı sprint uygulamalarını içeren antrenman ya da testlerin asıl amaca hizmet etmesi için PCr depolarının büyük bir bölümünün yenilenmesini sağlayacak kadar uzun ancak, daha hızlı toparlanmayı uyaracak bir adaptasyon süreci sağlayacak kadar kısa olması önerilmektedir (1, 183). Aslında pek çok araştırma bu kazanımları sağlamak için optimum yüklenme ve dinlenme oranlarını belirlemeye çalışmaktadır (1, 18, 49).

2.3.1. Tekrarlı Sprintler Sırasında Enerji Sistemleri

Sprint hızının, yüksek enerji fosfatlarının (ATP ve PCr) mümkün olan en hızlı ve en çok miktarda tüketilebilmesine bağlı olduğu belirtilmektedir (18). Araştırmalarda, 25 saniyeye kadar olan sprint aktivitelerinde anaerobik metabolizmanın baskın olduğu ortaya koyulmuştur (61, 71). Araştırmalar, 0-10 saniye arasındaki sprintlerde ortalama %94; 0-20 saniye arasındaki sprintlerde ortalama %88 oranında anaerobik sistemlerin katkısının olduğunu göstermektedir (13, 46). Ancak futbol ve birçok takım sporu daha kısa süreli sprintlerin (5-6 s ve daha kısa) çok sayıda tekrar (10 ve daha fazla) ile uygulanmasını içermektedir (2, 7, 44, 113).

Tekrarlı sprintler sırasındaki enerji sistem katkısını belirlemenin metodolojik güçlükleri sebebiyle konuyla ilgili deneysel araştırma sayısı sınırlıdır. Aslında ilgili literatürdeki birçok çalışma 90'lı yıllarda kas biyopsisi (*vastus lateralis*) yöntemi ile yapılan iki önemli çalışmayı referans almaktadır (36, 38). Bu çalışmalardan ilki

Gaitanos ve ark. (36) tarafından 1993 yılında yapılmıştır. Çalışmada bir bisiklet ergometresinde 6 s süreli 10 tekrarlı sprint, 30 s dinlenme aralıkları ile uygulanmıştır. Çalışmanın sonuçları ilk sprint sırasında ATP konsantrasyonunun 24 mmol.kg kuru kas⁻¹'tan 20.9 mmol.kg kuru kas⁻¹'a; PCr konsantrasyonunun 76.5 mmol.kg kuru kas⁻¹'tan 32.9 mmol.kg kuru kas⁻¹'a düştüğünü göstermiştir. Çalışmada ayrıca 10. Sprint sırasında ATP konsantrasyonunun değişmediği (16.4 ve 16.4 mmol.kg⁻¹ dm), PCr konsantrasyonunun 37.5 mmol.kg kuru kas⁻¹'tan 12.2 mmol.kg kuru kas⁻¹'a düştüğü kanıtlanmıştır. Ek olarak laktik sistemin yan ürünü olan kan laktat değeri ise birinci, beşinci ve 10. sprintten sonra sırasıyla 2, 9 ve 12 mmol.L⁻¹ olarak ölçülmüştür. Bunun yanında enerji üretimindeki düşüşler performans değişkenlerindeki bulgular ile desteklenmiştir. Çalışmada, ilk ve son sprintler arasında zirve gücün yaklaşık 1200 W'dan 900 W'a; ortalama gücün yaklaşık 900 W'dan 700 W'a düştüğü gösterilmiştir.

Tekrarlı sprintlerin fizyolojisinde temel oluşturan ikinci önemli çalışma Dawson ve ark. (38) tarafından 1997 yılında gerçekleştirilmiştir. Çalışmada bir bisiklet ergometresinde önce 6 s süreli tek bir sprint, daha sonra 30 s dinlenme aralıklarıyla 5 x 6 s tekrarlı sprint protokolü uygulanmıştır. Altı saniye süreli tek bir sprintten önce, hemen sonra, 30 s sonra ve 3 dk sonra ATP konsantrasyonları 24.3, 20.5, 21 ve 22.5 mmol.kg kuru kas⁻¹ olarak; PCr konsantrasyonları 81, 44.9, 55.6 ve 73.1 mmol.kg kuru kas⁻¹ olarak belirlenmiştir. Aynı çalışmada, 5 x 6 s tekrarlı sprint protokolünden önce, hemen sonra, 30 s sonra ve 3 dk sonra ATP konsantrasyonları 22.8, 15.1, 16.7 ve 19,8 mmol.kg kuru kas⁻¹ olarak; PCr konsantrasyonları 77.1, 21.1, 34.5 ve 64.5 mmol.kg kuru kas⁻¹ olarak belirlenmiştir. Bunun yanında zirve gücün enerji üretimindeki düşüş ile bağlantılı olarak 1408 W'dan 1073 W'a düştüğü gösterilmiştir.

Dawson ve ark. (38) tarafından yapılan çalışma tekrarlı sprint içeren protokollerde en çok tercih edilen standart 30 s dinlenme aralığının PCr ve ATP depolarındaki yenilenmeye ilişkin önemli bilgiler sunmaktadır. Örneğin 5 x 6 s süreli tekrarlı sprint protokolünden 30 s sonra yenilenen PCr miktarı (13.4 mmol.kg kuru kas⁻¹), 6 s süreli tek bir sprintten 30 s sonra yenilenen PCr miktarından (10.7 mmol.kg kuru kas⁻¹) daha fazladır. Bu önemli bulgu, daha fazla PCr tüketilmesinin toparlanma sırasında PCr'nin daha hızlı sentezlenmesi için bir adaptasyon geliştirdiğine işaret etmektedir. Ancak yukarıda bahsedilen iki önemli çalışma (36, 38) kas biyopsisi ile yapıldığı için, egzersizden hemen sonra olarak raporlanan değerlerin, egzersiz

sonlandıktan yaklaşık 10 saniyelik bir gecikmeyle elde edildiği göz ardı edilmemelidir. Egzersiz sonrası yüksek enerjili fosfatların (ATP ve PCr) yeniden sentezinin %50'sinin 20-30 s (28) gibi kısa sürelerde gerçekleşebildiği düşünüldüğünde egzersizden hemen sonraki 10 saniyenin önemli bir toparlanma sağlayabileceği açıktır.

Diğer taraftan yukarıda bahsedilen çalışmalarda (36, 38) sprint süreleri çok kısa (6 s) olduğu için aerobik sistem katkısı göz ardı edilmiştir. Ancak daha sonra Girard ve ark. (13) yapılan deneysel çalışmaların sonuçlarını (184-186) kullanarak 10 x 6 s (30 s dinlenme aralıkları) tekrarlı sprint protokolü sırasındaki enerji katkısını teorik olarak sunmuştur. Altı saniyelik ilk sprint sırasında alaktik, laktik ve aerobik sistemin katkısı sırasıyla %52, %40 ve %8; 6 saniyelik son sprint sırasında ise bu oranları %51, %9 ve %40 olarak raporlanmıştır. Bu çalışma tekrarlı sprintler sırasında egzersiz süresi uzadıkça laktik katkının oranı azalırken, aerobik katkının oranının arttığını, alaktik katkının ise değişmediğini göstermiştir. Ancak bu değerlerin oransal (%) olarak sunulduğu unutulmamalıdır. Çünkü mutlak enerji katkısı açısından değerlendirildiğinde son sprintte üretilen toplam enerji, ilk sprintte üretilen toplam enerjinin yaklaşık yarısı kadardır (36). Böylece, son sprintteki aerobik katkının ilk sprinte göre mutlak olarak 2.5 kat artarken (50), oransal olarak 5 kat artmasının (13) sebebi anaerobik sistemlerden gelen mutlak enerji katkısının düşmesidir. Kısaca anaerobik sistemlerden gelen enerji katkısı düştüğü için aerobik sistemin payı büyümektedir.

Kas biyopsisi yönteminin dışında tekrarlı sprintlerdeki üç farklı enerji sisteminin katkısını inceleyen yalnızca bir çalışmaya ulaşılmıştır (13). Bu çalışmada oksijen tüketimi ve laktat değerleri kullanılarak matematiksel hesaplamalar ile 6 x 35 m tekrarlı sprint protokolü (10 s dinlenme aralıkları) sırasındaki enerji katkısı hesaplanmıştır. Çalışmanın sonuçları dinlenme aralıkları dahil edildiğinde alaktik, laktik ve aerobik sistemin katkısı sırasıyla %28.3, %33.9 ve %37.8; dinlenme aralıkları dahil edilmediğinde ise %36.2, %43.7 ve %20.1 olarak raporlanmıştır. Bu çalışmanın sonuçları kas biyopsisi yöntemi ile elde edilen sonuçlar (13, 36, 38, 184) ile oldukça tutarlılık göstermektedir. Ayrıca bu yöntem, kas biyopsisi yöntemine dayanan çalışmaların aksine bir protokolün tamamı hakkında önemli bilgiler sunmaktadır.

2.3.2. Tekrarlı Sprint Protokolleri

Tekrarlı sprintler, hem takım sporlarındaki hareket profilini yansıttığı hem de fiziksel ve fizyolojik özellikler açısından çok yönlü bir gelişim sağladığı için araştırmalarda sıklıkla yer almaktadır. Bu testler, kendi içerisinde geçerlik, güvenilirlik, uygulanabilirlik ve yorumlanabilirlik gibi nitelikleri açısından bazı avantaj ve dezavantajlara sahiptir (9). Tekrarlı sprint protokollerinin hangi performans ögesini daha fazla geliştirdiği, ya da protokollerdeki bileşenlerden birinin değiştirilmesinin fizyolojik etkisi, antrenörler, kondisyonerler, sporcular ve araştırmacılar için oldukça önemlidir.

Tekrarlı sprint protokollerini içeren bilimsel çalışmalarda birçok farklı tasarım görmek mümkündür. Örneğin tekrar sayısı, sprint mesafesi, yön değiştirme içermesi, dinlenme aralığı, dış ortam stresleri (hipoksi, sıcak veya soğuk hava), bisiklet ya da koşu egzersizi gibi birçok değişkenin kombinasyonu kullanılabilir (12, 187-191). Bununla birlikte, araştırmalarda kullanılan tekrarlı sprint protokollerinde toplam sprint mesafesi 200 - 600 m; tekrar sayısı 5 - 40; dinlenme süresi ≤ 30 s olarak yaygın bir şekilde uygulanmaktadır (1, 21, 23, 188). Tekrarlı sprint protokollerinin, spora özgü hareket profiline uygunluk ve hedeflenen fiziksel gelişimlere hizmet etmesi için en az beş tekrarın gerçekleştirilmesi önerilmektedir (16). Ayrıca yüklenme:dinlenme oranlarının 1:5 ve daha üstü olduğu durumlarda aerobik sistemin büyük ölçüde ATP ve PCr yeniden sentezini sağlamak için yeterli olacağı belirtilmiştir (18, 183).

Tekrarlı sprint becerisini ölçmek için çok sayıda test protokolü geliştirilmiştir. Bu testler arasında bir üstünlükten söz etmek ya da hangisinin daha geçerli olduğunu söylemek mümkün değildir. Genellikle çalışma grubunun özellikleri göz önünde bulundurularak ve branşa özgü hedeflere uygun olarak tekrar sayısı, hareket mekaniği (örneğin bisiklet ya da koşu egzersizi) ve dinlenme süresi kullanmanın uygun olduğu kabul edilmektedir (13, 16). Tekrarlı sprint becerisini ölçmek için tasarlanan ilk testlerden birisi, 20 x 7 s süreli maksimal egzersizlerin 30 s dinlenme aralıklarıyla uygulanmasını içeren fosfat toparlanma testidir (192). Ancak araştırmalarda 7 x 30 m sprint, 30 s dinlenme süresi (193); 7 x 30 m sprint, 25 s dinlenme süresi (16); 5 x 6 s sprint, 24 s dinlenme süresi (23); 10 x 30 m yön değiştirmeli sprint, 30 s dinlenme süresi (22); 6 x 35 m sprint, 10 s dinlenme süresi (17); 12 x 20 m yön değiştirmeli

sprint, 20 s dinlenme süresi (194); 10 x 6 s sprint, 30 s dinlenme süresi (13) gibi bir çok farklı tekrarlı sprint tasarımına rastlanmaktadır.

Kas biyopsisinin kullanıldığı ve birçok çalışmaya referans oluşturan deneysel çalışmalarda sıklıkla bisiklet ergometresinde 6 s süreli tekrarlı sprintlerin 30 s dinlenme aralıkları ile uygulanması tercih edilmiştir (23, 36, 38, 195). Bu tercihlerde kas biyopsisinin uygulamadaki güçlükleri sebebiyle daha kontrollü bir tasarıma sahip olan bisiklet egzersizlerinin sağladığı avantajların etkili olduğu açıktır. Ancak 15 x 40 m protokolünün 1:4, 1:6 yüklenme dinlenme oranı veya 30 s, 60 s, 120 s gibi standart dinlenme aralıkları ile kombine edildiği (1, 88, 196) veya 20 + 20 m, 180° yön değiştirme gibi becerilerin de dahil edilebildiği çalışmalara da rastlanmaktadır (188). Bu protokollerden bazılarının en iyi sprint süresi, ortalama sprint süresi, performans düşüş yüzdesi gibi performans değişkenlerinde anlamlı iyileşmeler sağladığı, aerobik kapasiteyi (VO_{2maks}) artırmada etkili olduğu ve laktat toleransını geliştirdiği gibi önemli sonuçlar raporlanmasına karşın değişkenlerin farklı kombinasyonlarının enerji metabolizmasındaki yansımaları açık değildir (14, 18, 197-199).

2.3.3. Tekrarlı Sprint Performansını Etkileyen Faktörler

Tekrarlı sprint becerisinin, anaerobik ve aerobik özellikler ile ilişkisi bazı çalışmalarda incelenmiş ancak çelişkili sonuçlar ortaya koyulmuştur. Çalışmalarda genellikle alt ekstremiteye ait güç, kuvvet, hız ve elastik kuvvet gibi özelliklerin, özellikle tekrarlı sprintlerin ilk tekrarlarında yüksek performans çıktısı elde etmek için avantaj sağlayacağı düşünülmektedir (76, 200, 201). Örneğin bir çalışmada, 6 x 40 m (2 x 20 m, 180° yön değiştirmeli, 20 s dinlenme süresi) tekrarlı sprint protokolünden elde edilen ortalama ve en iyi sprint süresi ile aktif sıçrama arasında (sırasıyla $r= 0.62$ ve $r= 0.54$) ve durarak uzun atlama değerleri arasında (sırasıyla $r= 0.69$ ve $r= 0.73$) anlamlı ilişkiler tespit edilmiştir (188). Diğer taraftan, 10 x 30 m (2 x 15 m ve 180° yön değiştirme) tekrarlı sprint protokolü 30 s dinlenme aralıklarıyla uygulanmış ve Wingate anaerobik testi ile arasında anlamlı bir ilişki bulunmamıştır (22). Ayrıca, aerobik sistemin tekrarlar arasındaki dinlenme sürelerinde önemli katkı sağladığı kabul edilse de aerobik metabolizmanın en geçerli göstergelerden birisi olarak kullanılan VO_{2maks} ile tekrarlı sprint becerisi arasındaki ilişki net olarak kanıtlanmamıştır. Örneğin, Brezilyalı futbolcularda yapılan bir çalışmada tekrarlı

sprint becerisi ile VO_{2maks} arasında anlamlı bir ilişki bulunmamıştır (19). Bir başka çalışmada ise tekrarlı sprint becerisinin, maksimum oksijen tüketiminden daha çok (VO_{2maks} , $r=0.39$), kandaki laktat konsantrasyonunun birikmeye başladığı nokta (*onset of blood lactate accumulation*, OBLA, $r=0.54$) ile ilişkili olduğu ortaya koyulmuştur (25).

Tekrarlı sprint aktivitelerinde yorgunluk, egzersizin sürdürülebilmesine rağmen maksimum güç çıktısında veya hızda egzersize bağlı performans düşüklüğü olarak tanımlanabilir (24). Kısa süreli ve yüksek şiddetli bir aktivite için yüksek enerjili fosfatlar olan ATP ve PCr'nin kastaki başlangıç miktarı ya da depolama kapasitesi sporcular için sınırlayıcı bir performans faktörüdür (28, 32). Çünkü yüksek enerjili fosfat depoları tükendiği zaman, enerji laktik sistemden ve aerobik sistemden sağlanmaya başlandığı için performans düşer (28).

Saha ve laboratuvar temelli çalışmalarda tekrarlı sprint protokolleri bisiklet veya koşu egzersizleri ile uygulanmış ve yorgunluk faktörleri toplam iş, zirve güç veya sprint performansındaki düşüş olarak ifade edilmiştir (13). Yapılan çalışmalar, koşu mekaniği içeren tekrarlı sprint uygulamalarında bisiklet egzersizlerine göre performansın daha az düştüğünü göstermektedir (24). Tekrarlı sprint becerisini sınırlayan yorgunluk faktörleri içerisinde fosfokreatinin hidrolizi, anaerobik glikoliz ve oksidatif metabolizmanın enerji üretimindeki yetersizliği ve hidrojen iyonları veya P_i gibi kas içi biriken metabolik yan ürünlerin artması gösterilmektedir (13, 24, 202). Tekrarlı sprint aktiviteleri sırasındaki yorgunluk mekanizmalarını derinlemesine inceleyen az sayıdaki çalışma, motor korteksteki yetersiz motor sinir uyarımı sebebiyle kas liflerinin kasılma sürecine tam olarak dahil edilememesi gibi nöral faktörler, kas sertliği, hipoglisemi, kas hasarı ve sıcak veya soğuk hava koşulları gibi dış ortamdaki stres faktörlerini yorgunluk oluşmasına sebep olan muhtemel mekanizmalar olarak açıklamaktadırlar (13, 202). Ancak EMG (elektromyografi) kullanımı ile birlikte elde edilen sonuçlar nöral faktörlerin tekrarlı sprintler sırasında meydana gelen performans düşüşünün düşük bir bölümünden sorumlu olabileceği, yorgunluğa sebep olan faktörlerin baskın olarak periferik mekanizmalar ile ilişkili olduğunu vurgulamaktadır (24).

Araştırmalarda aerobik sistemin en geçerli göstergelerinden birisi olarak VO_{2maks} sıklıkla kullanılmaktadır. Ancak tekrarlı sprint becerisi ve VO_{2maks} arasındaki

ilişki konusunda çelişkili sonuçlar bulunmuştur. Bir çalışmada tekrarlı sprint performansındaki düşüş yüzdesinin VO_{2maks} 'a karşılık gelen hız ile 0.39 düzeyinde, OBLA'ya karşılık gelen hız ile 0.54 düzeyinde anlamlı negatif korelasyonlara sahip olduğu bulunmuştur. Aynı çalışmada tekrarlı sprintlerin ortalama süresi ile OBLA'ya karşılık gelen hız arasında 0.49 düzeyinde anlamlı bir negatif korelasyon bulunurken, VO_{2maks} 'a karşılık gelen hız ile anlamlı bir ilişki bulunmamıştır (25). Bir başka çalışmada 30 s dinlenme aralıklarıyla 8 x 40 m tekrarlı sprint protokolü ile VO_{2maks} arasında 0.35 düzeyinde anlamlı bir negatif korelasyon tespit edilmiştir (203). Bir diğer çalışmada VO_{2maks} ile tekrarlı sprint becerisi (6 x 40 m, 20 s dinlenme süresi) arasındaki ilişki incelenmiştir. Çalışmada ortalama sprint süresi ve VO_{2maks} arasında 0.65; toplam sprint süresi ve VO_{2maks} arasında 0.59 düzeyinde anlamlı negatif korelasyonlar tespit edilmiştir (15). İçinde tek bir yön değiştirme bulunan ve 20 s dinlenme süresi ile uygulanan 6 x 40 m (2 x 20 m, 180° yön değiştirmeli) tekrarlı sprint protokolünün OBLA değerine karşılık gelen hız ile 0.44 düzeyinde anlamlı bir negatif korelasyon bulunurken, VO_{2maks} 'a karşılık gelen hız ile anlamlı bir ilişki bulunmamıştır (188). Bir başka çalışmada 30 s dinlenme aralıklarıyla uygulanan 10 x 30 m (2 x 15 m ve 180° yön değiştirme) tekrarlı sprint protokolünde toplam sprint süresi ve en iyi sprint zamanının VO_{2maks} ile anlamlı ilişkisi olmadığı ancak performans düşüşü ile ilişkisinin anlamlı olduğu bulunmuştur (22). Buz hokeyciler üzerinde yapılan bir çalışmada 8 x 25 s tekrarlı buz koşusu protokolü 90 s dinlenme süreleri ile uygulanmış ve VO_{2maks} ile anlamlı bir ilişki bulunmamıştır (204). Özetle, VO_{2maks} performansın sürdürülmesinde etkili bir rol oynasa da tekrarlı sprint becerisi ile ilişkisi net olarak kanıtlanmamıştır.

Alt ekstremiteye ait güç, kuvvet veya elastik kuvvet gibi özelliklerin tekrarlı sprint becerisinde avantaj sağladığı bilinmektedir. Bir çalışmada kas sinir sisteminin etkinliği hakkında bilgi sağladığı düşünülen değişkenlerden skuat sıçrama, aktif sıçrama ve durarak uzun atlama ile 6 x 40 m (20 + 20 m, yön değiştirmeli) tekrarlı sprint becerisi arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Çalışmanın sonuçları tekrarlı sprint becerisi ile skuat sıçrama arasında anlamlı bir ilişki olmadığını, ancak aktif sıçrama ile 0.62; durarak uzun atlama ile 0.69 düzeyinde anlamlı ilişkiler olduğu gösterilmiştir (205). Dolayısıyla reaktif kuvvetin tekrarlı sprint performansı ile ilişkili olduğu belirtilmiştir. Ayrıca güç/kuvvet niteliği daha yüksek olan tip II liflerinin, tip I liflere

oranla daha fazla PCr içerdiği düşünülürse genetik yatkınlık tekrarlı sprint becerisi için bir avantaj sağlamaktadır (18).

2.3.4. Tekrarlı Sprintlere Fizyolojik ve Biyokimyasal Yanıtlar

İskelet kasları normal şartlarda 20-25 mmol.kg kuru kas⁻¹ ATP ve yaklaşık 80 mmol.kg kuru kas⁻¹ PCr depolayabilmektedir (27, 31, 36, 40). ATP aynı zamanda hücresel düzeydeki temel metabolik süreçlerde de enerji kaynağı olduğu için asla tam olarak tükenmez. Ancak 30 s ve daha uzun süreli şiddetli egzersizlerde %50'ye yakını kullanılabilirken (40, 206), 6 saniyelik bir sprint sırasında yaklaşık %30, tekrarlı sprintler sırasında ise yaklaşık %40 civarında kullanılabilir (36, 38). PCr depolarının ise 3 saniyede %30 (46, 207), 6 saniyede % 55 (13, 36, 38), 30 saniyede ise %80'e (37, 40, 206) kadar tüketilebildiği gösterilmiştir. Altı saniye süreli sprintlerin tekrarlı uygulanması durumunda (10 x 6 s, 30 s dinlenme aralıkları) ise PCr depolarının %85 oranında kullanılabilir olduğu bulunmuştur (36).

Dinlenik durumda kanda < 2 mmol.L⁻¹ (29, 59, 88); kasta < 12 mmol.kg kuru kas⁻¹ (36-38, 40, 195) olan laktat konsantrasyonlarının 6 saniyelik bir sprintte 6-7 kat artabilmektedir (36, 38). Ayrıca 30 s dinlenme aralıkları ile 5 x 6 s protokolünün uygulandığı bir çalışmada 103.6 mmol.kg kuru kas⁻¹; 10 x 6 s protokolünün uygulandığı iki farklı çalışmada 108.4 mmol.kg kuru kas⁻¹ (195) ve 116.2 mmol.kg kuru kas⁻¹ (36) laktat değerlerine ulaşılmıştır. Ayrıca bir çalışmada 40 x 15 m ve 15 x 40 m tekrarlı sprint protokolleri 1:4 yüklenme:dinlenme oranı ile uygulandığında sırasıyla 13.0 ve 14.1 mmol. L⁻¹, 1:6 yüklenme:dinlenme oranı ile uygulandığında 8.8 ve 9.6 mmol.L⁻¹ laktat konsantrasyonları ölçülmüştür (1). Bir başka çalışmada 15 x 40 m protokolü 30 s, 60 s ve 120 s dinlenme aralıkları ile uygulanmış ve 15, 13 ve 12 mol.L⁻¹ laktat yanıtları elde edilmiştir. Bu çalışmalar kısa dinlenme aralıklarının daha yüksek laktat yanıtlarına sebep olduğunu kanıtlamaktadır.

Kalp atım hızının diğer fizyolojik yanıtlara göre tekrarlı sprint egzersizlerinde daha az değişkenlik gösterdiğini söylemek mümkündür. Mesafe, tekrar sayısı ve dinlenme süresi değişkenlerinden en az birinin değiştirilerek dört farklı protokolün uygulandığı bir çalışmada kalp atım hızı KAH_{maks}'ın %86-%89'u arasında bulunmuştur (1). Diğer taraftan bir çalışmada tekrarlı protokollerin (6 x 35 m, 10 s dinlenme aralıkları) maksimal bir egzersize göre (30 s Wingate testi) daha fazla KAH

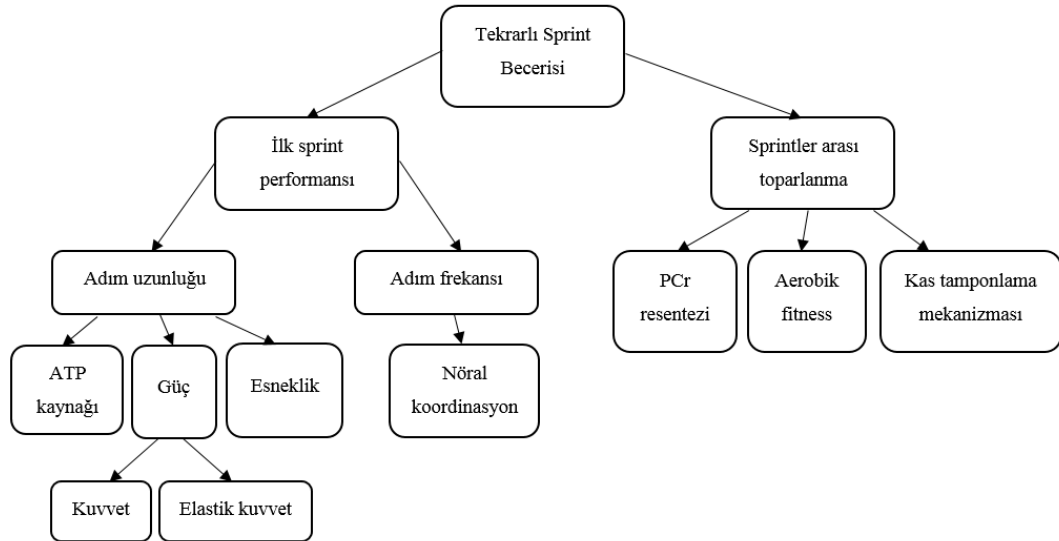
yanıtlarına neden olduğu gösterilmiştir (208). Diğer taraftan, 15 x 40 m protokolünün 30 s, 60 s ve 120 s uygulandığı bir çalışmada son sprint sırasındaki oksijen tüketimi sırasıyla 2.44, 2.65 ve 3.09 L.dk⁻¹ olarak gösterilmiştir. Bir diğer çalışmada ise 6 x 35 m protokolü 10 s dinlenme aralıkları ile uygulanmış ve sprintler sırasındaki oksijen tüketiminin 1.2 L ile 3.8 L arasında değiştiği bulunmuştur (26).

Çalışan kaslarda yorgunluk sebebi olarak bilinen H⁺ iyonları dinlenik durumda 106.8 mmol.L⁻¹ olarak ölçülürken, 30 s dinlenme aralıkları ile 10 x 6 s protokolünden hemen sonra 198.4 mmol.L⁻¹ olarak ölçülmüştür (195). Aynı protokolün kullanıldığı başka bir çalışmada (36) glikojen miktarının 316.8 mmol.kg kuru kas⁻¹'tan 201.4 mmol.kg kuru kas⁻¹'a düştüğü bulunmuştur. Aynı çalışmada kreatin miktarı 43.5 mmol.kg kuru kas⁻¹'tan 107.3 mmol.kg kuru kas⁻¹'a; 5 x 6 s protokolünün uygulandığı bir başka çalışmada (38) ise 45.2 mmol.kg kuru kas⁻¹'tan 102.2 mmol.kg kuru kas⁻¹'a yükselmiştir. Bu çalışmaların sonuçları tekrarlı sprint egzersizlerinin metabolizma üzerinde oldukça etkili olduğunu göstermektedir.

2.3.5. Tekrarlı Sprint Becerisini Geliştirmek İçin Antrenman Yöntemleri

Sporda başarıyı arttırmada önemi kanıtlanmış tüm performans faktörlerini maksimum seviyeye çıkarmak için çeşitli stratejiler kullanılmaktadır (20, 209). Takım sporlarında kritik bir öneme sahip olan tekrarlı sprint becerisini ölçmek için de çok sayıda test geliştirilmiş olmasına rağmen, bu beceriyi geliştirmek için antrenman stratejileri konusunda sınırlı sayıda çalışma vardır. Tekrarlı sprint becerisini geliştirmek için önerilen başlıca metotlardan birisi yine tekrarlı sprint antrenmanlarıdır. Ayrıca, tekrarlı sprint becerisini sınırlayan etmenlerin geliştirilmesine yönelik antrenman yapmanın tekrarlı sprint becerisini geliştirmek için bir çözüm olabileceği belirtilmiştir (5, 14). Tekrarlı sprint becerisini geliştirmek için başlıca öneriler; tek bir sprintte maksimum performans elde edebilmek için gerekli hız, güç ve kuvvet bileşenlerini geliştirmek, sprintler arasında maksimum toparlanma sağlamaya yönelik antrenmanlar yapmak, VO_{2maks}'ın %80-90'ında ya da daha yüksek şiddette aralıklı antrenman uygulamak ve OBLA eşiğini artırmaktır. Böylece hem sprint uygulamaları sırasında maksimum performans elde edebileceği hem de dinlenmeler sırasında maksimum toparlanma sağlanarak performansın sürdürülebileceği belirtilmektedir (5, 14, 18, 25). Tekrarlı sprint becerisini geliştirmek için antrene

edilmesi gereken faktörler görsel olarak Bishop ve ark.(14) tarafından sunulmuştur (Şekil 2.1.).



Şekil 2.2. Tekrarlı sprint becerisini geliştirmek için antrene edilmesi gereken özellikler.

Tek bir sprint performansının geliştirilmesi için uygulanabilecek antrenman yöntemlerinin aynı zamanda tekrarlı sprint becerisini geliştirmede de etkili olabileceği belirtilmektedir (14, 18). Örneğin güç/kuvvet antrenmanları ya da anaerobik sistemin etkinliğini artırabilecek uzun süreli sprintlerin (10-30 s) uzun dinlenme aralıkları (3-10 dk) ile uygulanması tek bir sprint performansını arttırabilir ve bu beceri tekrarlı sprint performansına yansıtılabilir (14). Tekrarlı sprintler sırasında yorgunluğa karşı direncin geliştirilmek istendiği bir tasarımda ise yüksek şiddetli ve aralıklı antrenman uygulamalarının kullanılabilirliği belirtilmektedir. Örneğin VO_{2maks} 'ın %80-90 şiddetindeki egzersizlerin 1:1, 1,5:1 ya da 2:1 yüklenme:dinlenme oranları ile uygulanması (örneğin 1 dk koşu, 1 dk dinlenme veya 2 dk koşu, 1 dk dinlenme) anaerobik ve aerobik kapasiteyi geliştirebilir. Böylece tekrarlı sprintler sırasında laktat daha hızlı uzaklaştırılabilir ve dinlenmeler arasında yüksek enerjili fosfat depolarının daha çabuk yenilenmesi sağlanabilir (14, 210, 211).

Direnç antrenmanlarının sağladığı kuvvet gelişimi sayesinde tek bir sprintteki performansın %8-9 oranında artabileceği aynı zamanda performans düşüşünde anlamlı bir gelişme sağlanabileceği belirtilmektedir (14). Ayrıca, direnç antrenmanlarının daha kısa dinlenme aralıkları (yaklaşık 20 s) ile uygulanması durumunda daha fazla

metabolik yük gerektirdiği, böylece tekrarlı sprint becerisini geliştirmek için daha uygun olabileceği belirtilmektedir (14, 212, 213). Bir çalışmada 6 haftalık direnç ve yön değiştirme egzersizi içeren kombine antrenman programının tekrarlı sprint testinden elde edilen ortalama ve en iyi sprint zamanını anlamlı derecede geliştirdiği bulunmuştur (201). Bir başka çalışmada direnç egzersizlerinin tekrarlı bir şekilde uygulanmasının ATP ve PCr depolarında %20 civarında bir artışa sebep olduğu gösterilmiştir (214). Diğer taraftan 4 hafta boyunca, haftada 4 kez skuat antrenmanı uygulanan bir başka çalışmada ortalama sprint süresinde %5 civarında bir artış olduğu, ancak bu artışın istatistiksel açıdan anlamlı olmadığı rapor edilmiştir (215).

Tekrarlı sprint becerisini geliştirmek için tasarlanan bir çalışmada sekiz haftalık pliometrik antrenmanın etkili olduğu bulunmuştur (200). Bir başka çalışmada 7 hafta boyunca haftada iki kez uygulanan tekrarlı sprint antrenmanlarının hem tekrarlı sprint performansına hem de dayanıklılık performansına etkisi incelenmiştir (51). Çalışma protokolünde, 6 x 40 m, 180° derece yön değiştirmeli sprintlerin 3 set olarak uygulanmıştır. Dinlenme süresi setler arasında 4 dk, sprintler arasında 20 s olarak belirlenmiştir. Araştırmanın sonunda hem tekrarlı sprint performansında hem de dayanıklılık performansında anlamlı bir gelişme sağlandığı raporlanmıştır. Dar alan oyunlarının 10 hafta boyunca haftada iki kez uygulanmasını içeren bir çalışmada, tekrarlı sprint testinden elde edilen en iyi sprint ve ortalama sprint süresinde anlamlı derecede iyileşme görüldüğu bildirilmiştir (216). Diğer taraftan, bir başka çalışmada 7 hafta süreyle oynanan futbola özgü dar alan oyunlarının tekrarlı sprint becerisinde anlamlı bir değişime sebep olmadığı bulunmuştur (217).

Özetle yapılan çalışmalarda tekrarlı sprint performansını geliştirmek için yine tekrarlı sprintlerden oluşan antrenmanlar önerilmektedir. Ayrıca doğrusal sprintlerde performansı belirleyen kuvvet, güç, elastik kuvvet, adım uzunluğu, adım frekansı gibi özelliklerin geliştirilmesinin tekrarlı sprint becerisine yansiyacağı belirtilmektedir (14, 18). Fizyolojik olarak öncelikle mevcut ATP ve PCr depolarını hızlı bir şekilde tüketecek sinir-kas uyumunu geliştirmek, ATP ve PCr depolarının miktarını ve toparlanma dönemlerindeki yenilenme hızını arttırmak, glikoliz yoluyla enerji üretimini ve laktatın uzaklaştırılmasını sağlayan sistemlerin etkinliğini arttırmak tekrarlı sprint becerisini geliştirmenin temel prensiplerini oluşurmaktadır (13, 76).

2.3.6. Antrenman Yöntemi Olarak Tekrarlı Sprint Uygulamaları

Bazı spor dalları için laboratuvar ortamlarında gerçek oyun özelliklerine benzer koşullar sağlanabilirken, özellikle takım sporlarında bu koşulları sağlamak oldukça zordur (55). Bu açıdan tekrarlı sprint protokolleri özellikle takım sporları için geçerliliği yüksek antrenman yöntemleri olarak kabul edilmektedir (9, 13, 76, 88). Tekrarlı sprint uygulamalarının yüksek şiddetli egzersizlere karşı toleransı arttırdığı ve sakatlanma riskini düşürdüğü belirtilmiştir (218). Ayrıca, tekrarlı sprint içeren antrenmanların ivmelenme, hız, patlayıcı alt ekstremite gücü, aerobik güç ve yüksek şiddetli koşu performansı gibi takım sporları için kritik bileşenlerin geliştirilmesinde etkili olduğu raporlanmıştır (76). Ancak çok sayıda tekrarlı sprint egzersizi geliştirilmiş olmasına karşın hangisinin daha etkili olduğuna dair bir kıyaslama yapmak mümkün değildir. Bu sebeple, antrenman ya da test amacıyla tasarlanacak tekrarlı sprint protokollerinin çalışma grubunun özellikleri göz önünde bulundurularak düzenlenmesi kabul gören en genel yaklaşımdır (5, 13, 14, 18).

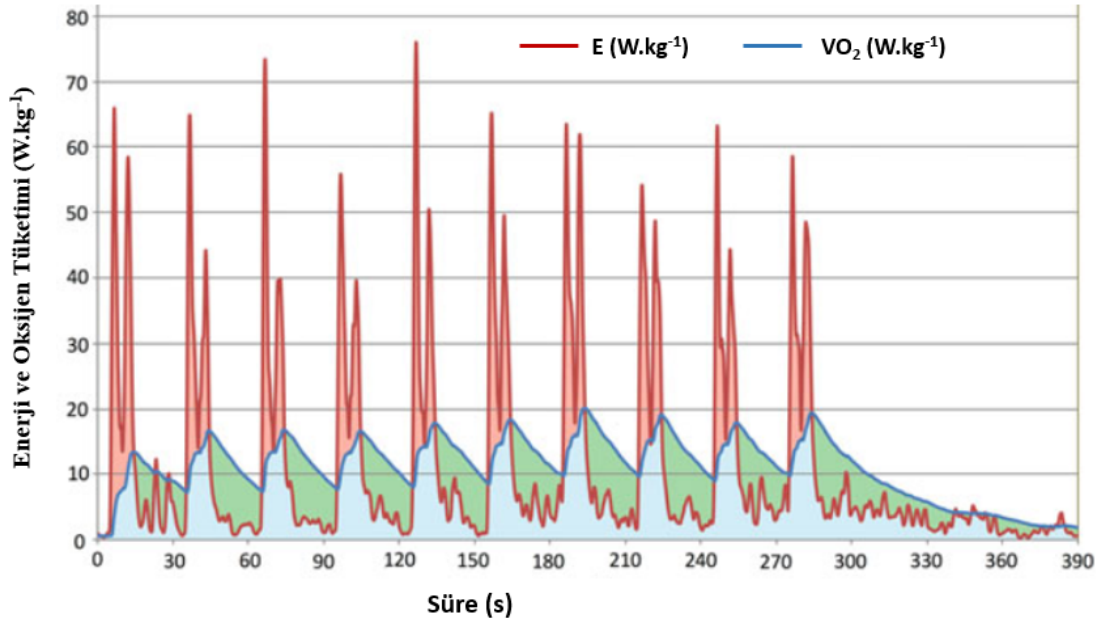
Tekrarlı sprint uygulamalarının üç enerji sistemini için de bir gelişim sağlayabileceği düşünülmektedir (14). ATP ve PCr depolarının tüketilmesinin ve yeniden sentezlenmesinin hem bu enerji depolarının hacminde hem de yenilenme hızında bir artış sağlayabileceği için alaktik sistemin geliştirilmesine katkı sağlayabilir (45). Yüksek metabolik stres içeren tekrarlı sprintler aynı zamanda glikoliz yoluyla enerji üretme ve bu sürecin yan ürünü olan laktatın uzaklaştırılmasında etkili olabilir (14). Ayrıca, özellikle dinlenmeler sırasında aerobik sistemin etkinliğini sürdürmesi ve oksijeni kullanma kapasitesinin artması yönünde bir adaptasyon sağlayabilir (199, 205). Enerji metabolizmasındaki bu gelişim hedefleri futbol gibi takım oyunlarında gerekli metabolik taleplerin karşılanması için önemli avantajlar oluşturmaktadır.

Alaktik sistem, takım oyunlarında şut atma, sıçrama ve sprint gibi oyunu etkileyen başlıca hareketler için gerekli enerjiyi sağlar. Dolayısıyla alaktik sistemi geliştirmek takım sporlarındaki oyuncular için en önemli performans faktörlerinden birisidir. Birçok deneysel araştırmanın bulgularından yola çıkarak elde edilen bir çalışmada şiddetli egzersizler sırasında 15 saniyeden sonra alaktik sistemin katkısının olmadığı belirtilmiştir (28). Başka bir çalışmada 30 s Wingate egzersizi sırasında 7.5 saniyeden sonra hiç alaktik katkının olmadığı rapor edilmiştir (43). Dolayısıyla 15 s, 60 s ya da daha uzun süreli maksimal egzersizlerin tümünde fosfojen sistemin

katkısının benzer olduğu kabul edilir. Bu katkının artırılabilmesi için kısa süreli egzersizlerin belli dinlenme aralıklarıyla tekrar edilmesi gerekmektedir.

Teorik olarak 60 saniyelik maksimal bir egzersiz sırasındaki fosfojen sistemin net katkısı, 6 saniyelik bir sprint sırasındaki katkıdan yaklaşık 2 kat daha fazladır (13, 43, 78, 219). Dolayısıyla süre açısından 10 kat fazla olan 60 saniyelik bu egzersizin tek seferde uygulanması alaktik sistem açısından verimsiz bir yöntemdir. Ancak, 6 saniyelik ilk sprintte yaklaşık 45 mmol.kg kuru kas⁻¹; 30 s dinlenme aralıkları ile uygulanan 10. sprintte yaklaşık 25 mmol.kg kuru kas⁻¹ PCr kullanıldığı gösterilmiştir (36). Aralardaki sprintler (2-9. sprintler) sırasındaki enerji katkısı hakkında bir rapor olmamasına rağmen, PCr kullanımı tekrar başına 30-35 mmol.kg kuru kas⁻¹ olarak düşünülürse toplamda 300-350 mmol.kg kuru kas⁻¹ PCr'nin dönüşümlü olarak tüketilebildiği hesaplanabilir. Bu sonuçlara göre bahsedilen protokoldeki toplam PCr katkısı, ilk sprintteki PCr katkısının (45 mmol.kg kuru kas⁻¹) yaklaşık 7-8 katı kadardır. Bu sebeple tekrarlı sprint egzersizlerinin birçok takım sporu için daha makul bir antrenman stratejisi olduğu düşünülmektedir (9, 19, 45, 76).

ATP ve PCr depolarının yenilenmesine ilişkin araştırma sonuçları (36, 37, 40, 48, 195) değişkenlik gösterse de 20-30 s arasında %50 sinin, 3 dk içinde tamamının yenilenmesinin mümkün olduğu belirtilmektedir (28). Dolayısıyla şiddetli bir egzersizin ardından ilk 30 s ile sonraki 2.5 dakikalık toparlanma sürecinde tüketilen oksijen miktarının eşit olduğu düşünülürse tekrarlı sprintler kısa dinlenme aralıklarında en verimli süre zarfını değerlendirip tekrar yüklenmeye imkan vermektedir. Böylece aerobik sistemin yapılan iş için gerekli enerjiyi üretmenin yanı sıra dinlenme dönemlerinde de etkin rol oynaması birçok fizyolojik adaptasyon sağlayabileceği uygun bir strateji oluşturulur (14, 18).



Şekil 2.3. Tekrarlı sprintler sırasında metabolik güç ve oksijen tüketiminin tahmini.

Teorik olarak 10 x 50 m (25+25 m, 180° yön değiştirmeli, 20 s dinlenme aralıkları) tekrarlı sprint egzersizinin tekrarlı uygulanması sırasındaki enerji talebi ve oksijen tüketimi tahmini olarak sunulmuştur. Kırmızı çizgiler yapılan işe karşılık gelen enerji talebini gösterirken, mavi çizgiler aerobik sistemin katkısını göstermektedir (141).

Şekil 3’de toplam 500 m mesafeli bir tekrarlı sprint egzersizi sırasında enerji talebi ve oksijen tüketimi teorik olarak sunulmuştur (141). Bahsedilen protokol, 10 x 50 m (25 + 25 m, 180° yön değiştirmeli) tekrarlı sprintlerin 20 s dinlenme aralıkları ile uygulanmasını esas almaktadır. Sprintler sırasındaki enerji talebinin büyük bir kısmının (kırmızı çizgilerin mavi çizgilere göre üstünde kalan bölümü) anaerobik sistemler ile karşılandığı görülmektedir. Ancak dinlenme aralıkları sırasında minimum enerji gerektiren bir işe göre (ayakta durma, yürüme) oksijen tüketiminin yüksek olması (kırmızı çizgilerin mavi çizgilere göre altta kalan bölümü) yüksek enerjili fosfat depolarının yenilenmesi işlemini göstermektedir. Bu çalışma, tekrarlı sprintler sırasındaki enerji sistemlerinin etkileşimi hakkında kolay anlaşılabilir bir görsel sunmaktadır. Ancak çalışmada maksimum sprint uygulaması yerine 25 m mesafenin 5 s sürede (18 km.saat⁻¹ hız) tamamlanması esas alınmıştır. Dolayısıyla maksimum sprintlerin uygulandığı bir tasarımda bu grafiğin aksine son sprintteki enerji üretiminin ilk sprinte göre %50 oranında düşmesi beklenir (36).

Tekrarlı sprint antrenmanlarının aerobik kapasitenin değerlendirilmesinde en yaygın kullanılan VO_{2maks} değerinde %5-6 civarında artış sağlayabildiği belirtilmektedir (14, 199). Ayrıca 7-8 haftalık tekrarlı sprint uygulamalarının

ivmelenme, en iyi sprint süresi ve ortalama sprint süresi değişkenlerinde anlamlı gelişim sağladığı raporlanmaktadır (51, 197, 220). Basketbolcularda 8 hafta boyunca 3 set 6 x 20 m (tekrarlar arası 20 s dinlenme, setler arası 4 dk dinlenme) tekrarlı sprint antrenmanı uygulanan bir çalışmada çeviklik, dayanıklılık ve ivmelenme değerlerinde anlamlı artış olduğu tespit edilmiştir (190).

Tekrarlı sprintlerin aerobik ve anaerobik kapasiteye ek olarak kaslarda, enzimatik aktiviteyi, PCr ve glikojen depolarını artırabileceği, laktat tamponlama mekanizmalarını geliştirebileceği, sinir uyarılarının frekansının ve kas liflerinin kasılma sürecine katılımını artırabileceği, motor ünite senkronizasyonu geliştirebileceği, sarkoplazmik retikulumun hacmini ve kas kesit alanını artırabileceğini ortaya koyan çalışmalar vardır (9, 14, 76). Bir çalışmada 30-80 m mesafeli sprintler 1:6 – 1:4 dinlenme oranlarıyla 6 hafta süreyle 20-40 tekrar olarak uygulanmış ve kas biyopsisi yöntemiyle vastus lateralis kasından doku örnekleri alınmıştır (221). Bu antrenman periyodunun aerobik kapasiteyi (VO_{2maks} : 57.0'den 60.5 ml.kg⁻¹.dk⁻¹ ya), doğrusal sprint becerisini (40 m: 5.50'den 5.37 saniyeye) ve tekrarlı sprint becerisini (6 x 40 m, 24 s dinlenme aralıkları, toplam süre: 35.66'dan 34.88'e) geliştirdiği gösterilmiştir. Ancak ATP (26.1 ve 25.7 mmol.kg kuru kas⁻¹) ve PCr (80.5 ve 81.2 mmol.kg kuru kas⁻¹) depolarında anlamlı bir fark bulunmamıştır. Ayrıca fosforilaz enzim aktivitesi anlamlı şekilde artmış, buna karşılık sitratsentaz aktivitesi düşmüş, myokinaz ve fosfofruktokinaz aktivitelerinde ise anlamlı bir değişim gözlenmemiştir. Çalışmanın en önemli bulgularından birisi ise Tip II kas liflerinin oranı %54.2'den %63.8'e anlamlı şekilde artmasıdır. Böylece tekrarlı sprint becerisinin hem yapısal hem de metabolik adaptasyonlar sağlayarak performansa önemli katkılar sağlayabileceği gösterilmiştir.

2.3.7. Tekrarlı Sprint ve Futbol Arasındaki İlişki

Özellikle takım sporlarında sprint aktivitelerinin kritik bir rol oynadığı bilinmektedir (2, 12). Sprint, alt ekstremitede hız, güç ve kuvvet gibi temel özellikleri barındıran anaerobik bir performans göstergesi olarak kabul edilmektedir (120, 181, 182). Uluslararası düzeyde oynayan futbolcuların, daha düşük standartlara sahip profesyonel futbolculara göre %28 oranında daha fazla yüksek şiddetli koşu, %58 oranında daha fazla sprint gerçekleştirdiği raporlanmıştır (15). Bir başka çalışmada

amatör ve profesyonel futbolcular arasında tek bir sprint performansı açısından anlamlı bir fark olmamasına rağmen, tekrarlı sprint performansı açısından profesyonel futbolcuların daha başarılı olduğu gösterilmiştir (54).

Yapılan bir çalışmada 13, 14, 15, 16, 17 ve 18 yaş altı takımları (U-13, -14, -15, -16, -17) arasındaki tekrarlı sprint analizleri GPS kullanılarak değerlendirilmiştir (52). Bu çalışma tekrarlı sprint becerisinin maç sırasındaki bazı metodolojik tercihlerin sonuçlar üzerinde oldukça çeşitliliğe sebep olabileceğini göstermiştir. Örneğin sprint kriteri mutlak olarak değerlendirildiğinde (19 km.saat^{-1}) beklenildiği gibi büyük yaş gruplarında tekrarlı sprint sayısının anlamlı derecede daha fazla olduğu bulunmuştur. Ancak aynı sonuçlar her sporcunun maksimum koşu hızının belli bir yüzdesine göre değerlendirildiğinde (maksimum hızın %61'inden daha fazla) tekrarlı sprint sayısının en fazla U-13, daha sonra U-14 yaş altı takımlarda olduğu görülmüştür. Bunun yanında genellikle merkez orta saha oyuncularının diğer pozisyonlarda oynayan futbolculara göre daha az sayıda, kanat-hücum pozisyonunda oynayan futbolcuların daha fazla sayıda tekrarlı sprint gerçekleştirdiği gösterilmiştir. Ayrıca yaş grupları arasında pozisyona göre farklılığın çok az olduğu belirtilmiştir.

Tekrarlı sprint egzersizleri hem yüksek enerjili fosfatların depo hacmini hem de toparlanma hızını geliştirmede etkili olduğu için alaktik sistemin baskın enerji kaynağı olarak kullanıldığı sprint, şut atma, sıçrama ve ivmelenme gibi hareketlerde yüksek performansın sürdürülmesinde etkili olabilir (14, 45, 76). Tekrarlı sprint egzersizleri aynı zamanda anaerobik glikoliz yoluyla enerji üretim kapasitesini artırırken diğer taraftan bu sistemin metabolik yan ürünü olan laktik asidin uzaklaştırılmasındaki mekanizmaları da geliştirebilir (5, 14, 18, 67). Böylece bir futbol maçında enerji metabolizmalarının dengeli ve verimli işleyişi için uygun bir fizyolojik profil oluşturulabilir.

Tekrarlı sprint aynı zamanda futbolda önemli olan aerobik kapasiteyi artırır, böylece daha fazla mesafe kat edebilmek mümkün olur (7, 13, 14). Ayrıca ivmelenme, adım uzunluğu ve adım frekansı gibi sürat temelli teknik becerilerde gerekli kas-sinir sistemi uyumunu artırır (7, 10, 51). Böylece yer ile daha kısa temas sürelerinde daha fazla kuvvet uygulanabilir. Hız becerisinin futbolun temel motorik özellikleri arasında

büyük önem taşıdığı düşünöldüğünde sadece koşu tekniğinin geliştirilmesi bile futbolcular için önemli bir avantaj olacaktır (164, 180).

3. YÖNTEM

3.1. Araştırma Grubu

Bu çalışmanın araştırma grubu düzenli olarak haftada en az iki gün antrenman yapan ve en az beş yıldır aktif olarak futbol oynayan 24 erkek futbolcudan oluşturulmuştur. Hastalık ve sakatlık gibi sağlık problemleri (2 sporcu), ardışık iki ölçümün yedi gün içinde tamamlanamaması (3 sporcu) veya katılımcının araştırmaya devam etmekten vazgeçmesi (3 sporcu) nedeniyle toplam sekiz katılımcı araştırma dışı bırakılmış ve çalışma 16 futbolcu ile tamamlanmıştır. Araştırma için Hacettepe Üniversitesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulundan izin alınmıştır (GO 18/646-48). Çalışmaya katılmadan önce tüm futbolcu ve antrenörler çalışmaya ait tüm prosedürler ve olası riskler hakkında detaylı olarak bilgilendirilmiş ve katılımcıların ıslak imzalı aydınlatılmış onamları alınmıştır.

3.2. Veri Toplama Araçları

3.2.1. Antropometrik ölçümler

Sporcuların boy uzunlukları ± 0.1 cm hassasiyetle ölçüm yapan duvara monte edilmiş bir stadiometre (Holtain, İngiltere) ile belirlenmiştir. Vücut ağırlığı ± 0.1 kg hassasiyetle ölçüm yapan elektronik bir baskül (Tanita TBF 401A, Japonya) ile ölçülmüştür. Vücut kompozisyonu ayaktan ayağa biyoelektrik impedans yöntemi ile 50 kHz tek frekans ve 500 μ A akım veren bir tetrapolar analizörde (Tanita TBF 401A, Japonya) belirlenmiştir.

3.2.2. Oksijen Tüketimi

Katılımcıların oksijen tüketimi portatif bir gaz analizörü (Cosmed K4b², İtalya) ile ölçülmüştür. Her ekspirasyon havasından otomatik gaz analizi yapabilen analizörün toplam ağırlığı (ana ünite, tribün, kablolar, sabitleme aparatları ve batarya) 550 gr'dır. Gaz analizörünün kalibrasyonu her ölçümden önce üretici firmanın kullanım yönergelerine uygun olarak yapılmıştır. Gaz kalibrasyonu için içerisinde konsantrasyonları bilinen (O₂: %15.70, CO₂: % 5.00, N₂ balans) referans gaz

kullanılmıştır. Ayrıca her ölçümden önce 3 litrelik sertifikalı bir hava şırıngası (Cosmed, İtalya) ile türbin kalibrasyonu yapılmıştır.

3.2.3. Laktik Asit Konsantrasyonu

Katılımcıların kan laktat konsantrasyonu el parmak ucundan alınan bir damla kapiler kan örneğinden yaklaşık 15 saniyede elektroenzimatik yöntemle ölçüm yapabilen ağırlığı 80 gr olan portatif bir el analizörü (Lactate Scout+, SensLab GmbH, Leipzig, Almanya) ile belirlenmiştir. Kan örnekleri almak için lanset ve lanset tabancası (Vital Plus, Çin) kullanılmıştır.

3.2.4. Kalp Atım Hızı

Katılımcıların kalp atım hızları testler sırasında birer saniye aralıklarla ölçüm yapabilen bir telemetrik kalp atım hızı monitörü (Polar RS800, Finlandiya) ile ölçülmüştür. Kalp atım monitörü ile oksijen analizörü senkronize edilerek kayıt alınmıştır.

3.2.5. Algılanan Zorluk Derecesi

Katılımcıların tüm protokollere ait algıladıkları zorluk derecesi 6-20 arasında ölçeklendirilen Borg skalası ile belirlenmiştir (60). Skalada 6 derece egzersizin çok hafif; 20 derece egzersizin çok çok zor olduğunu göstermektedir.

3.2.6. Sprint Süreleri

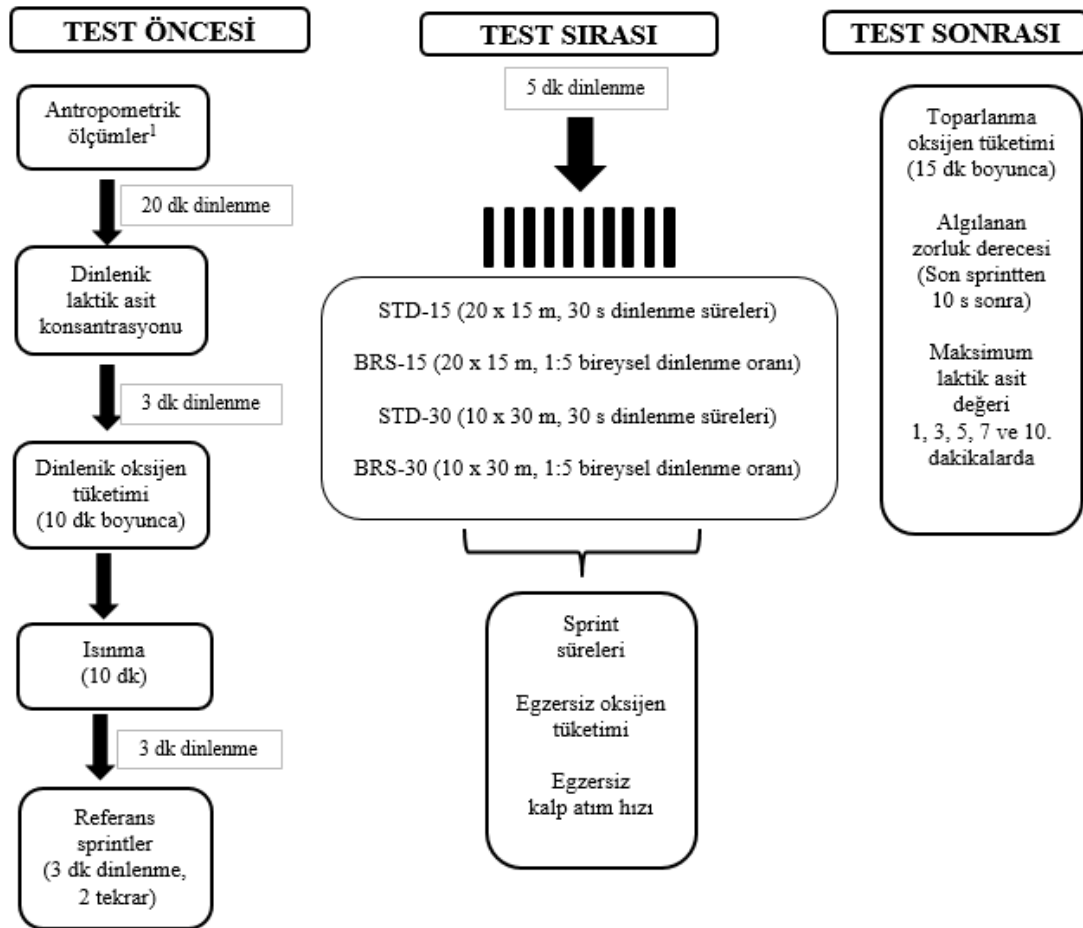
Katılımcıların her tekrarlı sprint protokolündeki tüm sprint süreleri çift kapılı elektronik fotosel kronometre sistemi (Fusion Sport Smart Speed Photocell, Avustralya) ile ölçülmüştür.

3.3. Verilerin Toplanması

Katılımcılar en az iki en fazla yedi gün ara ile toplamda dört farklı günde laboratuvarımızı ziyaret etmişlerdir. Katılımcıların boy uzunlukları ve vücut kompozisyonları ilk test gününde, vücut ağırlıkları ise her test gününde kaydedilmiştir. Katılımcılara toplam mesafesi sabit (300 m) olan 10 x 30 m ve 20 x 15 m tekrarlı sprint

protokolleri, dinlenme süresinin hem standart olduğu hem de bireysel olarak belirlendiği toplam dört farklı şekilde rastgele sıra ile uygulanmıştır. Tüm tekrarlı sprint testleri kapalı atletizm salonunda tartan pistte yapılmıştır. Katılımcılar tekrarlı sprint testlerinden önce 20 dakika oturur pozisyonda dinlendirildikten sonra testlerden önce (dinlenik), testler sırasında ve testlerin sonrasında (toparlanma) KAH ve VO₂ ölçülmüştür. Oturur pozisyonda dinlenme ve tekrarlı sprint testleri sonrasında kan laktik asit analizi yapılmıştır. Katılımcılar, tüm testlere aynı giysi (ayakkabı, şort, forma) ile girmişlerdir. Sirkadiyen ritmin fizyolojik ve performans üzerine etkisini sabitlemek için tüm ölçümler 13.00 – 17.00 saatleri arasında ve son yemekten en az üç saat sonra yapılmıştır (222, 223). Bir katılımcının tüm ölçümlerine günün aynı saatinde başlanmıştır.

Tekrarlı sprint protokollerinde yapılan ölçümler, ölçüm sırası ve dinlenme aralıkları şematik olarak aşağıda sunulmuştur.



Şekil 4. Test günlerinde veri toplama tasarımı

Testler ile ilgili kaydedilen AZD ve LA_{maks} değeri doğrudan fizyolojik yanıt olarak kullanılmıştır. Ancak VO_2 ve KAH verileri, ilgili yazılımlar kullanılarak cihazlardan bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Üç nokta smooting (düzleştirme) işlemi yapılan VO_2 , vücut ağırlığı ve delta laktat ($LA_{delta} = LA_{maks} - LA_{dinlenik}$) değeri kullanılarak OriginPro 8.0 (OriginLab Corp., Northampton, USA) yazılımı yardımı ile enerji sistemlerinin katkısı hesaplanmıştır. Egzersiz süresince kayıt edilen KAH'ın maksimum ve hesaplanan ortalama değerleri fizyolojik yanıtlar olarak değerlendirilmiştir.

3.3.1. Boy Uzunluğu ve Vücut Ağırlığı: Katılımcıların boy uzunlukları duvara monte stadiyometrede ayakkabısız, anatomik duruşta ve normal bir

inspirasyondan sonra bir kez, vücut ağırlıkları standart spor kıyafeti ile (şort, atlet) her test günü tekrarlı sprint uygulamasından önce elektronik baskülde kayıt edilmiştir.

3.3.2. Vücut Kompozisyonu: Katılımcıların vücut kompozisyonu ilk test günü boy uzunluğu ölçümünden sonra yapılmıştır. Katılımcılar üzerindeki tüm metal eşyaları çıkardıktan sonra çıplak ayak ile analizörün tablasındaki elektrotların üzerine basarak hareketsiz durması istenmiştir. Üretici firmanın kullandığı kestirim formülünden vücut yağ yüzdesi ve yağsız vücut kütlesi değerleri cihazın yazıcısından otomatik çıktı alınarak kaydedilmiştir.

3.3.3. Tekrarlı Sprint Testleri

Katılımcılara toplam mesafesi sabit olan (300 m) iki farklı tekrar sayısı – mesafe ve iki farklı toparlanma süresi kombinasyonu içeren: 20 x 15 m 30 saniye standart toparlanmalı (STD-15), 10 x 30 m 30 saniye standart toparlanmalı (STD-30), 20 x 15 m bireysel toparlanmalı (BRS-15) ve 10 x 30 m bireysel toparlanmalı (BRS-30) olmak üzere toplamda 4 farklı tekrarlı sprint test protokolü uygulanmıştır. Düz bir hat üzerinde belirlenen 15 veya 30 m mesafenin başlangıç ve bitiş noktalarına yerden 90 cm yükseklikte ± 0.001 saniye hassasiyetle çift yönlü ölçüm yapan iki kapılı fotoselli elektronik kronometre sistemi yerleştirilmiştir. Katılımcılar test parkurlarının başlangıç çizgisinin 50 cm arkasından bir ayak önde olacak şekilde çıkış yapmışlardır.

Katılımcılar standart toparlanmalı protokollerde her tekrar sonrasında 30 saniye dinlenmiştir. Bireysel toparlanmalı protokollerde her katılımcı için 1:5 yüklenme:dinlenme oranı kullanılmıştır. Her katılımcının kendisine ait toparlanma süresini belirlemek için 20 x 15 m protokolünde en iyi 15 m sprint süresinin, 10 x 30 m protokolünde ise en iyi 30 m sprint süresinin beş katı hesaplanmıştır. BRS-15 protokolü için toparlanma süresi ortalama 12.29 ± 0.39 saniye, BRS-30 protokolü için ortalama 21.04 ± 0.54 saniyedir.

Katılımcılar en az iki, en fazla yedi gün arayla dört farklı tekrarlı sprint testini tamamlamıştır. Her katılımcı için tüm testlerin başlama saati ± 30 dakikalık bir değişkenlik içermektedir. Tekrar sayısı ya da dinlenme süresi haricindeki tüm bileşenler (ısınma, referans sprint uygulamaları, toparlanma vb.) dört protokolde de aynı şekilde gerçekleştirilmiştir. Portatif gaz analizörü ve telemetrik KAH monitörü katılımcıların hareketliliklerini kısıtlamayacak şekilde sabitlendikten sonra ilk beş

dakikası jog temposunda aerobik koşu, son beş dakikası 20 m mesafeli dinamik ısınma egzersizleri (sıçramalar, diz ve topuk çekmeler, yatay ve dikey eksenli bacak salınımları vb.) içeren 10 dakikalık standart bir ısınma uygulanmıştır (224). Isınmayı takiben üç dakika pasif dinlenme sonrasında 15 veya 30 m en iyi sprint süresini belirlemek için üç dakika ara ile iki sprint testi uygulanmış ve en kısa sprint süresi (en hızlı) en iyi sprint süresi olarak kabul edilmiştir. En iyi sprint süreleri 10 x 30 veya 20 x 15 m tekrarlı sprint testlerinin başlangıcında referans değer olarak kullanılmıştır. Katılımcılar 5 dakika dinlendikten sonra tekrarlı sprint testleri uygulanmıştır. Tekrarlı sprint testlerinde ilk sprint süresi, test mesafesine göre (15 veya 30 m) önceden belirlenen en iyi sprint süresinin % 95'inden daha yavaş olması halinde katılımcının koşu stratejisi geliştirdiği veya performansını sakladığı kabul edilmekte ve beş dakikalık bir dinlenmenin ardından testin yeniden başlatılması gerekmektedir (13, 225). Ancak bu çalışmada testin tekrar başlatılması gereken bir durum ile karşılaşılmamıştır. Tekrarlı sprint testlerinde iki yönlü fotoselli kapılar kullanıldığı için sprint koşularında bir sprintin bitiş çizgisi, bir sonraki sprintin başlangıç çizgisi olacak şekilde çift yönlü uygulanmıştır. Sprintler arasındaki pasif dinlenme periyotlarının son 10 saniyesinde katılımcılara yerlerini almaları hatırlatılmış ve son üç saniyeyi geriye doğru sayan elektronik fotosel kronometre sisteminin uyarı ışıklarını takip ederek çıkış yapmaları sağlanmıştır. Katılımcılar son sprinti tamamladıktan sonra 15 dakika oturur pozisyonda dinlendirilmiştir.

3.3.4. Oksijen Tüketimi Ölçümü

Tekrarlı sprint protokollerinde enerji sistemlerinin katkısını belirlemek için katılımcıların VO_2 değerleri tüm testlerden önce (dinlenik), testler sırasında ve testlerden sonra (toparlanma) ölçülmüştür. Testlerden önce ölçülen VO_2 10 dakika süreyle ve hareket mekaniğine uygun olarak ayakta duruş pozisyonunda, testlerden sonra ölçülen VO_2 ise 15 dakika boyunca oturur pozisyonda kayıt edilmiştir (55, 226). Dinlenik, egzersizin başlangıç ve bitişinden hemen sonra ve toparlanma dönemi VO_2 değerleri için analizör üzerinde işaret koyularak birbirinden ayırt edilmiştir. Gaz analizörünün kalibrasyonu her ölçümden önce üretici firmanın kullanım yönergelerine uygun olarak yapılmıştır. Gaz kalibrasyonu için içerisinde konsantrasyonları bilinen (O_2 : %15.70, CO_2 : % 5.00, N_2 balans) referans gaz kullanılmıştır. Ayrıca her ölçümden

önce 3 litrelik sertifikalı bir hava şırıngası (Cosmed, İtalya) ile türbin kalibrasyonu yapılmıştır. Gaz analizöründen bilgisayar ortamına aktarılan veriler cihazın kendine ait yazılımı (Software of Cosmed K4b², İtalya) ile üç nokta smooting (düzleştirme) işlemi yapıldıktan sonra enerji sistemlerinin katkısının hesaplanmasında kullanılmıştır.

3.3.5. Kalp Atım Hızı Ölçümü

KAH tüm test boyunca telemetrik KAH monitörü ile her saniye kaydedilmiştir. Telemetrik KAH monitörü ve portatif gaz analizörünün aynı anda kayıt yapması sağlanarak senkronize edilmiştir. Bir test süresince elde edilen kalp atım hızının ortalaması (KAH_{ort}) ve ulaşılan en yüksek kalp atım hızı (KAH_{maks}) değerleri istatistiksel analizlerde fizyolojik yanıt olarak kullanılmıştır.

3.3.6. Laktik Asit Ölçümü

Katılımcıların her bir tekrarlı sprint protokolü öncesinde (dinlenik) ve sonrasında 1., 3., 5., 7. ve 10. dakikalarda kan laktat konsantrasyonları ölçülmüştür. Parmak ucu bir lanset tabancası (Vital Plus, Çin) ile delindikten sonra ilk çıkan kan pamukla silinmiş, alınan kan örneği doğrudan el analizörünün ölçüm çubuğunun haznesine aktarılmış ve kan laktat konsantrasyonu belirlenmiştir. Analizör her test öncesinde üretici firmanın yönergelerine uygun olarak 2 mmol.L⁻¹ düşük (ranj = 1.8-2.2 mmol.L⁻¹) ve 10 mmol.L⁻¹ yüksek (ranj = 8.9-11.0 mmol.L⁻¹) yoğunluklu standart laktik asit solüsyonları ile yapılmıştır. Katılımcı 20 dakika oturur pozisyonda dinlendirildikten sonra dinlenik laktik asit konsantrasyonu ölçülmüştür. Testler sona erdikten sonra kan laktik asit konsantrasyonu ardışık iki ölçüm noktasında üst üste düşüş gösterene kadar ölçülerek (1., 3., 5., 7. ve 10. dakika) en yüksek kan laktik asit konsantrasyonu belirlenmiştir. Testler sonrasındaki ölçüm sonuçlarından elde edilen en yüksek laktik asit değeri maksimum laktat (LA_{maks}) olarak kabul edilmiştir. LA_{maks} değerleri hem istatistiksel analizlerde fizyolojik yanıt olarak hem de enerji sistemlerinin katkısının belirlenmesi için yapılan hesaplamalarda kullanılmıştır.

3.3.7. Algılanan Zorluk Derecesi

Algılanan zorluk derecesi (AZD), her testin son sprintinin sona ermesinin hemen ardından (yaklaşık 10 saniye) katılımcılara görsel olarak Borg skalası sunulmuş (60), verilen cevaplar kaydedilmiştir. Kaydedilen AZD değerleri istatistiksel analizlerde fizyolojik yanıt olarak kullanılmıştır.

3.3.8. Performans Değişkenlerinin Hesaplanması

Tekrarlı sprint protokollerinde performans değişkenleri olarak en iyi sprint süresi, toplam sprint süresi, toplam egzersiz süresi kaydedilmiş ve performans düşüş yüzdesi hesaplanmıştır.

En yavaş sprint süresi: Bir protokoldeki tekrarlı sprintler arasındaki en yavaş (uzun) derece olarak kabul edilmiştir.

Toplam sprint süresi: Bir protokoldeki tüm sprint süreleri toplanarak elde edilmiştir.

Toplam egzersiz süresi: Bir protokoldeki toplam sprint süreleri ile toplam dinlenme süreleri toplanarak elde edilmiştir.

Performans düşüş yüzdesi: Performans düşüş yüzdesi aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır (227).

$$\left(\frac{\text{Toplam süre} \times 100}{\text{İdeal toplam süre}} \right) - 100$$

Formülde yer alan ideal toplam süre her protokoldeki en iyi sprint süresinin tekrar sayısı ile çarpımından elde edilmiştir.

3.3.9. Enerji Sistemlerinin Katkısının Hesaplanması

Enerji sistemlerinin katkısının hesaplanmasında vücut ağırlığı, laktik asit, test öncesi, sırası ve sonrasında ölçülen VO₂ değerleri kullanılmıştır. Dinlenik ve egzersiz fazlarında ölçülen VO₂ aerobik sistemin katkısını, toparlanma fazında ölçülen VO₂ alaktik anaerobik metabolizmanın katkısını hesaplamak için kullanılmıştır. Dinlenik LA ve egzersiz sonrası LA_{maks} değerleri ise, vücut ağırlığı ile birlikte laktik anaerobik sistemin katkısını hesaplamak için kullanılmıştır. Enerji sistemlerinin katkısının hesaplanmasıyla ilgili tüm işlemler OriginPro 8.0 (OriginLab Corp., Northampton, USA) yazılımı ile yapılmıştır (26, 56, 69, 228, 229).

Toplam enerji harcaması (TEH) üç farklı enerji sisteminin spesifik katkısının toplanmasıyla elde edilmiş ve kJ cinsinden sunulmuştur. Relatif enerji harcaması (REH), her protokole ait TEH değeri aynı protokolün toplam egzersiz süresine bölünerek hesaplanmış ve kJ.dk⁻¹ cinsinden sunulmuştur. O₂ talebi bir protokol süresince enerji üretmek için gereken toplam O₂ miktarını göstermektedir ve TEH değerinin 20.92'ye (1 L O₂ = 20.92 kJ) bölünmesiyle elde edilmiştir. Başka bir deyişle bir protokol sırasındaki O₂ talebinin bir kısmı aerobik sistem ile karşılanır, ancak enerji talebinin aerobik sistemin kapasitesinin üstünde olduğu durumlarda bu talep anaerobik yollar ile karşılanır. Dolayısıyla aerobik sistem, enerji talebinin O₂ tüketimi ile karşılanabilen miktarı hakkında bilgi verirken, alaktik ve laktik sistem ise karşılanamayan miktarını temsil etmektedir.

Aerobik Sistem Katkısı

Aerobik sistem katkısını hesaplamak için her testten önce 10 dakika süreyle ayakta durur pozisyonda (hareket mekaniğine uygun olarak) ölçülen VO₂'nin son 5 dakikasının ortalaması 'dinlenik metabolik değer' olarak kabul edilmiştir. Daha sonra her testin başlama-bitiş noktaları arasında oluşan VO₂ 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 (26, 55, 69, 226).

$$\text{Aerobik sistem katkısı (kJ)} = (\text{Egzersiz VO}_2 - \text{Dinlenik VO}_2) \times 20.92$$

Laktik Sistem Katkısı

Laktik sistemden (anaerobik glikoliz) gelen enerji katkısını hesaplamak için egzersiz öncesi (dinlenik) ve sonrası LA_{maks} değerleri kullanılmıştır. Laktik sistemin katkısını hesaplamak için "dinlenik durumun üstündeki her 1 mmol laktat değeri için vücut ağırlığı kilogramı başına 3 ml oksijen tüketilir" denkliğinden yararlanılmıştır (74). Bunun için önce dinlenik ve LA_{maks} değerleri arasındaki fark delta laktik asit değeri (LA_{delta}) olarak belirlenmiş ve laktik anaerobik sistemden gelen enerji katkısı

aşağıdaki formül ile ‘ml O₂’ cinsinden hesaplanmış, daha sonra 20.92 (1 L O₂ = 20.92 kJ) ile çarpılarak kJ birimine dönüştürülmüştür (69, 73, 74, 226).

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

Alaktik Sistem Katkısı

Alaktik sistemden gelen katkıyı hesaplamak için her test sonrası oluşturulan ‘egzersiz sonrası fazladan oksijen tüketimi (ESFOT)’ kinetiği kullanılmıştır. Bunun için testlerden sonra 15 dakika boyunca VO₂ ölçülmeye devam edilmiştir. ESFOT kinetiğinin hızlı bölümünde egzersiz sebebiyle boşalan fosfat depolarının yeniden sentezinin gerçekleştiği bilindiği için toparlanma oksijen kinetiğinin hızlı ve yavaş bölümlerini açıklayan mono- ya da bi-eksponensiyal (üstel) modeller oluşturulmuştur. Aşağıda formülü gösterilen mono-eksponensiyal model, ESFOT kinetiğinin hızlı ve yavaş bölümlerini daha iyi açıkladığı için analizlerde kullanılmıştır (26, 69, 79).

$$\dot{V}O_2(t) = A_1 [e^{- (t - \delta) / t_1}] + VO_2 \text{ (dinlenik)}$$

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

Modelde yer alan VO₂(t), t zamandaki oksijen tüketimini; VO₂ (dinlenik), dinlenik durumdaki oksijen tüketimini; A, genliği; δ, zaman gecikmesini; t, zaman sabitini temsil etmektedir. Origin Pro 8.0 programının sunduğu modelde yer alan A₁ ve t₁ değerleri (STD-15 için t₁ = 74.8 ± 6.7 s; A₁ = 2234.6 ± 328.4; R² = 0.91 ± 0.04, BRS-15 için t₁ = 75.4 ± 5.4 s; A₁ = 2610.9 ± 295.8; R² = 0.93 ± 0.03, STD-30 için t₁ = 77.4 ± 9.6 s; A₁ = 2352.6 ± 361.3; R² = 0.93 ± 0.02, BRS-30 için t₁ = 74.5 ± 9.3 s; A₁ = 2509.4 ± 249.7; R² = 0.93 ± 0.03) çarpılarak ESFOT kinetiğinin hızlı safhasında gerçekleşen oksijen tüketimi hesaplanmış, daha sonra 20.92 ile çarpılarak kJ değerine dönüştürülmüştür.

Ayrıca dinlenme aralıklarında gerçekleşen alaktik sistemin katkısını hesaplamak için yine son sprinti takiben oluşturulan mono-eksponensiyal modelin sağladığı değerlerden yararlanılmıştır (228). Model hızlı ve yavaş bölümlerin hesaplanmasını sağlayan eğrileri birbirinden ayırdığı gibi, aynı zamanda belli bir

zaman noktasına karşılık gelen değerleri de sunmaktadır. ESFOT kinetiğinin başlangıç aşamasındaki hızının en yüksek olduğu ve hızlı bölüm tamamlanıncaya kadar giderek azaldığı bilinmektedir (55, 63, 65, 77). Bir başka deyişle, tekrarlı sprint protokollerinde dinlenme aralıklarının çok kısa olması nedeniyle dinlenme dönemlerinde VO_2 'yi ayırt etmek zor olduğu için her bir sprinte ait alaktik sistemin katkısını hesaplamak için son sprint sonrasında ESFOT kinetiğinden elde edilen modelden yararlanılmıştır. Böylece standart protokoller için ESFOT kinetiğinin ilk 30 s; BRS-15 protokolü için ESFOT kinetiğinin yaklaşık ilk 12 s ve Bireysel 30 m protokolü için ESFOT kinetiğinin yaklaşık ilk 21 saniyesinde gerçekleşen oksijen tüketimi verileri kullanılmıştır. Böylece her protokole ait dinlenme aralığı referans alınarak modelin aynı süre zarfı içindeki oksijen tüketimi karşılığı kullanılmış ve alaktik sistemin dinlenme aralıklarındaki katkısı hesaplanmıştır.

3.4. Verilerin Analizi

Tanımlayıcı istatistik yöntemleri ile ortalama ve standart sapma değerleri hesaplandıktan sonra verilerin 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, $\epsilon > 0.75$ ise Huynh-Feldt düzeltmesi uygulanmıştır (230, 231). Dört farklı tekrarlı sprint protokolünün fizyolojik ve performans değişkenleri üzerine etkisi Tekrarlı Ölçümlerde Varyans Analizi ile test edilmiştir. F istatistiği anlamlı çıktığında farklar Bonferroni Post Hoc Test ile belirlenmiştir. Deneme etkisinin boyutu için kısmi eta kare (η^2) hesaplanmıştır. Kısmi η^2 ; 0.01 = küçük, 0.06 = orta ve 0.14 = büyük etki olarak sınıflandırılmıştır (232).

Tekrar sayısı eşit olan tekrarlı sprint protokolleri (Standart Toparlanmalı x Bireysel Toparlanmalı) arasındaki karşılaştırmalarda Eşli Örneklem t-testi kullanılmıştır. Benzer şekilde her protokolde ilk sprint ile sonraki sprintler arasındaki tekrarlı karşılaştırmalar için de Eşli Örneklem t-testi kullanılmıştır. Tekrarlı karşılaştırmalarda Bonferroni düzeltmesi uygulanmıştır (10 x 30 m protokollerinde $p=0.05/9 = 0.0055$, 20 x 15 m protokollerinde $p=0.05/19 = 0.0026$). Eşli Örneklem t-testinde etki boyutu (Effect Size) için Cohen's d istatistiği kullanılmıştır. Cohen's d \leq

0.2 ise önemsiz, ≤ 0.6 ise küçük, ≤ 1.2 ise orta, ≤ 2.0 ise büyük, ≤ 4.0 ise çok büyük, > 4.0 ise mükemmelere yakın bir etki boyutu olarak değerlendirilmiştir (233).

4. BULGULAR

Bu araştırmada 16 aktif erkek futbolcu dört farklı tekrarlı sprint protokolünü tamamlamıştır. Araştırmada katılımcıların antropometrik ölçümlerinin yanı sıra sprint süreleri, O₂ tüketimleri, kan laktat değerleri, kalp atım hızları ve algılanan zorluk dereceleri ölçülmüştür. Ayrıca enerji harcaması ve enerji sistemlerinin katkısı da fizyolojik veriler kullanılarak matematiksel yöntemler ile hesaplanmıştır. Katılımcıların tanımlayıcı zellikleri Tablo 4.1’de sunulmuştur.

Tablo 4.1. Katılımcıların tanımlayıcı özellikleri (n= 16)

	Ort \pm SS	Minimum	Maksimum
Yaş (yıl)	19,18 \pm 2,34	18,0	27,0
Boy uzunluğu (cm)	176,13 \pm 5,09	169,2	185,0
Vücut ağırlığı (kg)	69,57 \pm 6,09	58,1	77,5
Vücut yağ yüzdesi	7,79 \pm 2,68	3,0	12,1
Antrenman yaşı (yıl)	7,37 \pm 2,63	3,0	12,0

4.1. Performans Değişkenleri ile İlişkili Bulgular

Katılımcılara uygulanan dört farklı tekrarlı sprint protokolünden elde edilen performans bileşenleri Tablo 4.2’de sunulmuştur. Tekrarlı lmlerde ANOVA sonuçları, toplam mesafe sabit olmasına rağmen tekrar sayısı, dinlenme aralığı veya sprint mesafesi farklı olan protokollerin TSS zerine etkisinin anlamlı derecede farklı olduğunu göstermiştir ($F_{3,45}=281.14$; $p=0.000$, $\eta^2=0.95$). Bonferroni post hoc analizi sonuçları STD-30 ve BRS-30 protokollerinde llen TSS’nin STD-15 ve BRS-15 protokollerinden; STD-15 protokolünün de BRS-15 protokolünden anlamlı derecede kısa olduğunu göstermiştir ($p<0.001$). Benzer Şekilde protokollerin TES zerine etkisi de anlamlı derecede farklıdır ($F_{1,67;25,10}=22611.75$; $p=0.000$, $\eta^2=0.99$) (Tablo 4.2). Bonferroni post hoc analizi dört farklı protokolün TES’lerinin birbirinden anlamlı derecede farklı olduğunu göstermiştir ($p<0.001$). STD-15 protokolü en uzun, BRS-30 en kısa TES’e sahiptir (Tablo 4.2). Ek olarak tekrarlı sprint protokollerinin PDY zerine etkisi de anlamlı bulunmuştur ($F_{3,45}=16.58$; $p=0.000$, $\eta^2=0.53$). STD-15

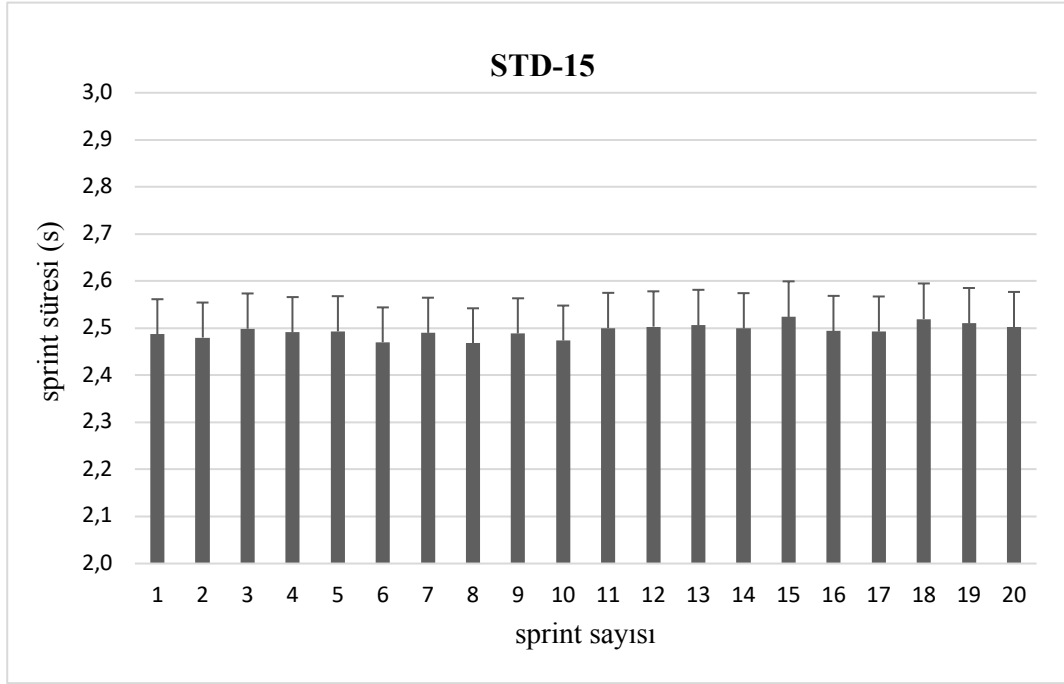
protokolünde hesaplanan PDY, diğer protokollerde hesaplanan değerlerden anlamlı derecede küçüktür ($p < 0.042$).

Tablo 4.2. Protokollerden Elde Edilen Performans Bileşenleri

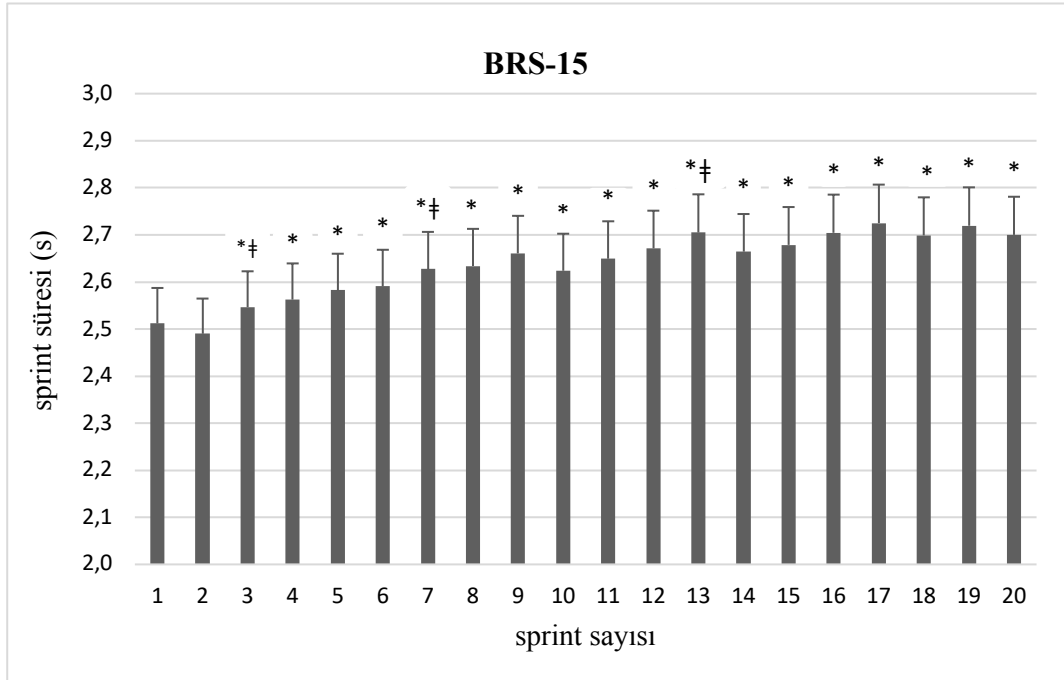
	STD-15	BRS-15	STD-30	BRS-30
TSS (s)	49,91 ± 1,21	52,70 ± 1,30 ^a	44,91 ± 1,21 ^{ab}	45,8 ± 1,11 ^{ab}
TES (dk)	10,33 ± 0,02	4,77 ± 0,14 ^a	5,25 ± 0,02 ^{ab}	3,92 ± 0,09 ^{abc}
PDY (%)	3,59 ± 1,79	8,71 ± 2,83 ^a	7,13 ± 3,77 ^a	9,30 ± 2,30 ^a

TSS: toplam sprint süresi, TES: toplam egzersiz süresi (dinlenmeler dahil), PDY: performans düşüş yüzdesi, ^a STD-15'den anlamlı derecede farklı ($p < 0.05$), ^b BRS-15'den anlamlı derecede farklı ($p < 0.05$), ^c STD-30'den anlamlı derecede farklı ($p < 0.05$).

Katılımcılara uygulanan dört farklı tekrarlı sprint protokolünden elde edilen sprint süreleri STD-15, BRS-15, STD-30 ve BRS-30 için sırasıyla Şekil 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4'de gösterilmiştir. STD-15 protokolünde ilk sprint ile sonraki sprintlerin tümü arasında anlamlı fark saptanmamıştır ($p \geq 0.129$, adı geçen ikili karşılaştırmalardaki p değerlerinin tümü 0.129 ve daha büyüktür) (Şekil 4.1.). Buna karşılık BRS-15 protokolünde üçüncü ve daha sonraki sprintlerin ilk sprinte göre anlamlı derecede daha yavaş olduğu görülmüştür ($p \leq 0.021$, adı geçen ikili karşılaştırmalardaki p değerlerinin tümü 0.021 ve daha küçüktür) (Şekil 4.2.). Diğer taraftan 10 x 30 m protokollerinin her ikisinde de ikinci ve daha sonraki sprintler (9 sprint) ilk sprintten anlamlı derecede daha yavaştır ($p \leq 0.004$) (Şekil 4.3. ve Şekil 4.4.).

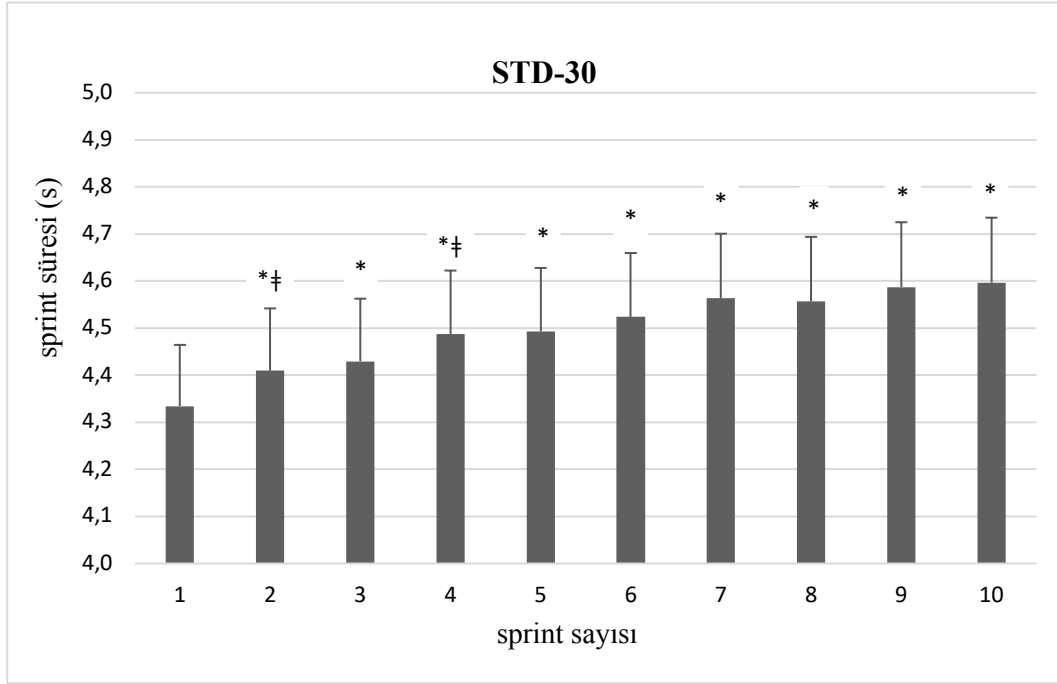


Şekil 4.1. STD-15 protokolünde ölçülen sprint süreleri.



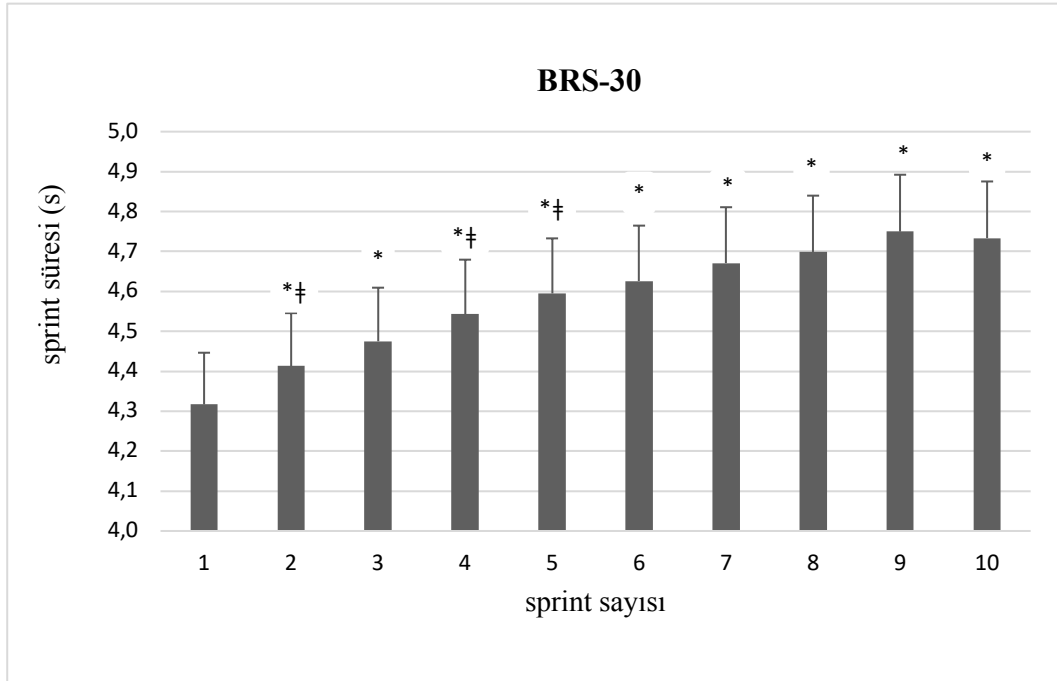
Şekil 4.2. BRS-15 protokolünde ölçülen sprint süreleri.

*birinci sprinte göre anlamlı derecede daha yavaş ($p < 0.05$), † kendinden önceki sprinte göre anlamlı derecede daha yavaş ($p < 0.05$).



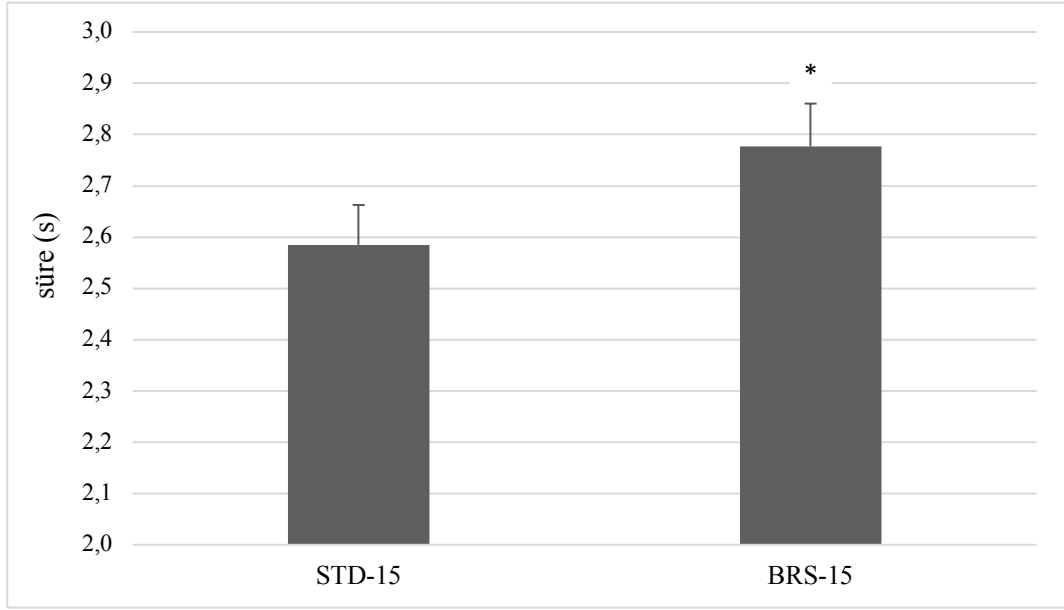
Şekil 4.3. STD-30 protokolünde ölçülen sprint süreleri.

*birinci sprinte göre anlamlı derecede daha yavaş ($p < 0.05$), † kendinden önceki sprinte göre anlamlı derecede daha yavaş ($p < 0.05$).

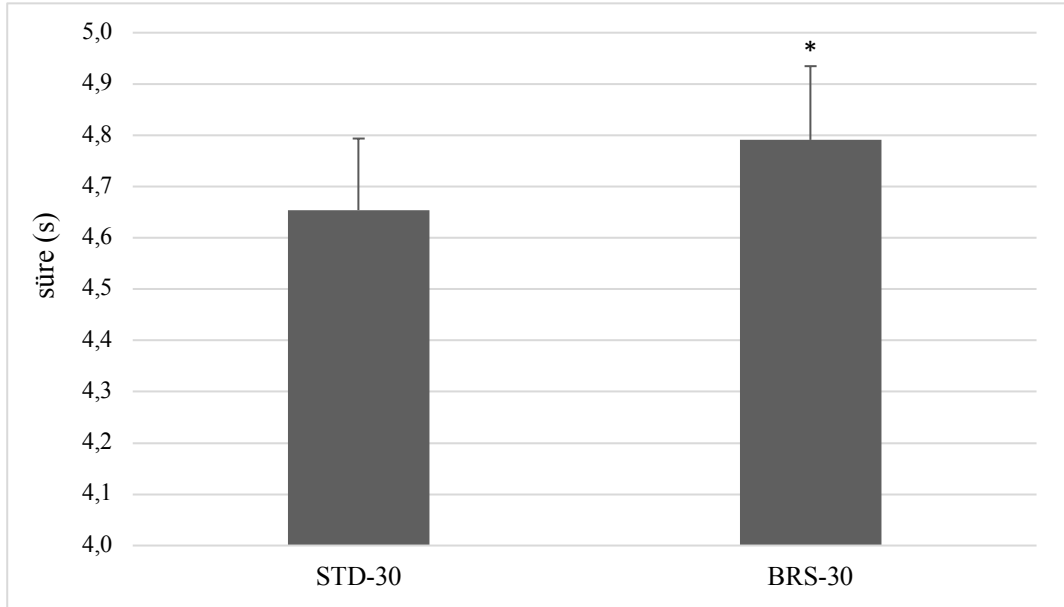


Şekil 4.4. BRS-30 protokolünde ölçülen sprint süreleri.

*birinci sprinte göre anlamlı derecede daha yavaş ($p < 0.05$), † kendinden önceki sprinte göre anlamlı derecede daha yavaş ($p < 0.05$).



Şekil 4.5. STD-15 ve BRS-15 protokollerinde ölçülen en yavaş sprint süreleri.
*STD-15 protokolüne göre anlamlı derecede daha yavaş ($p<0.05$).



Şekil 4.5. STD-30 ve BRS-30 protokollerinde ölçülen en yavaş sprint süreleri.
*STD-30 protokolüne göre anlamlı derecede daha yavaş ($p<0.05$).

Şekil 4.5’de 15 m protokolleri, Şekil 4.6’da ise 30 m protokollerinde ölçülen en yavaş sprint süreleri gösterilmiştir. BRS-15 protokolünde ölçülen en yavaş sprint süresi ortalaması (2.78 ± 0.11 s), STD-15 protokolünde ölçülenden (2.58 ± 0.07 s) anlamlı derecede daha yavaştır ($t_{(15)}=7.93$; $p=0.000$, $EB=2.17$). Benzer şekilde BRS-30 protokolünde ölçülen en yavaş sprint süresi ortalaması (4.79 ± 0.15 s), STD-30 protokolünde ölçülenden (4.65 ± 0.11 s) anlamlı derecede daha yavaştır ($t_{(15)}=4.05$; $p=0.001$, $EB=1.06$).

4.2. Fizyolojik Yanıtlar ile İlişkili Bulgular

Katılımcılara uygulanan dört farklı tekrarlı sprint protokolünden elde edilen fizyolojik yanıtlar Tablo 4.3’de verilmiştir. Buna göre protokollerin $KAH_{(ort)}$ yanıtları üzerine etkisi anlamlı derecede farklıdır ($F=6.923$; $p=0.001$, $\eta^2=0.32$). BRS-15 ve BRS-30 protokollerinde $KAH_{(ort)}$ yanıtları benzer, ancak her iki protokol STD-15 protokolünden anlamlı derecede yüksektir ($p \leq 0.029$). Buna karşılık bireysel protokollerdeki $KAH_{(ort)}$ yanıtları STD-15 protokolünden yüksek olmakla birlikte istatistiksel olarak anlamlı değildir ($p \geq 0.094$). Ayrıca standart protokollerde kaydedilen $KAH_{(ort)}$ yanıtları benzerdir ($p \geq 0.558$). $KAH_{(ort)}$ ’un aksine tekrarlı sprint protokollerinin $KAH_{(maks)}$ üzerine etkisi benzer bulunmuştur ($F=0.763$; $p=0.561$, $\eta^2=0.05$).

Tablo 4.3. Tekrarlı sprint protokollerinde ölçülen fizyolojik yanıtlar

	STD-15	BRS-15	STD-30	BRS-30
$KAH_{(ort)}$ (atm.dk^{-1})	$168,1 \pm 9,1$	$177,8 \pm 11,4^a$	$172,4 \pm 10,1$	$177,8 \pm 8,3^a$
$KAH_{(maks)}$ (atm.dk^{-1})	$186,4 \pm 9,1$	$190,4 \pm 10,5$	$190,6 \pm 12,5$	$190,4 \pm 11,5$
$LA_{(maks)}$ (mmol.L^{-1})	$9,1 \pm 3,0$	$14,9 \pm 3,7^a$	$15,0 \pm 4,1^a$	$16,9 \pm 3,5^a$
AZD	$11,5 \pm 2,9$	$16,3 \pm 1,9^a$	$13,9 \pm 2,4^{ab}$	$15,8 \pm 2,9^a$

AZD: algılanan zorluk derecesi, ^a STD-15’den anlamlı derecede farklı ($p < 0.05$), ^b BRS-15’den anlamlı derecede farklı ($p < 0.05$).

Tekrarlı ölçümlerde ANOVA sonuçları tekrarlı sprint protokollerinin hem $LA_{(maks)}$ ($F=39.72$; $p=0.000$, $\eta^2=0.73$) hem de AZD ($F=28.64$; $p=0.000$, $\eta^2=0.66$) üzerine etkisinin anlamlı derecede farklı olduğunu göstermiştir (Tablo 4.3.). Diğer protokoller ile karşılaştırıldığında STD-15 protokolünde ölçülen $LA_{(maks)}$ değeri anlamlı derecede düşüktür ($p<0.001$). En yüksek $LA_{(maks)}$ BRS-30 protokolünde ölçülmüş olmakla beraber, BRS-15 ve STD-30 protokollerinden istatistiksel olarak farklı değildir ($p\geq 0.077$) (Tablo 4.3.).

Benzer şekilde STD-15 protokolünde belirlenen AZD değerleri de diğer protokollerden anlamlı derecede düşüktür ($p\leq 0.007$). Ek olarak BRS-15 protokolünde AZD değeri BRS-30 ile benzer ($p=0.999$), ancak STD-30 protokolünden anlamlı derecede yüksektir ($p=0.001$). Ayrıca BRS-30 protokolünde AZD değeri STD-30 protokolüne göre yüksek olmasına rağmen bu fark istatistiksel açıdan anlamlı değildir ($p=0.052$) (Tablo 4.3.).

4.3. Tekrarlı Sprint Protokollerine Enerji Sistemlerinin Katkısı ile İlişkili Bulgular

Tablo 4.4. Protokollerde enerji harcaması, enerji talebi ve ölçülen oksijen tüketimleri

	STD-15	BRS-15	STD-30	BRS-30
TEH (kJ)	937,1 ± 103,4	614,6 ± 50,7 ^a	587,5 ± 75,1 ^a	523,6 ± 53,5 ^{ab}
REH (kJ.dk ⁻¹)	90,7 ± 10,1	128,8 ± 10,7 ^a	111,9 ± 14,5 ^{ab}	133,5 ± 13,0 ^{ac}
O ₂ talebi (L)	44,8 ± 4,9	29,4 ± 2,4 ^a	28,1 ± 3,6 ^a	25,0 ± 2,6 ^{abc}
ESFOT _{hızlı} (L)	2,78 ± 0,49	3,28 ± 0,43 ^a	3,06 ± 0,69	3,13 ± 0,59
Dinlenme aralığı VO ₂ (L.dk ⁻¹)	2,00 ± 0,30	2,56 ± 0,23 ^a	2,33 ± 0,36 ^{ab}	2,52 ± 0,26 ^a

TEH: toplam enerji harcaması, REH: relatif enerji harcaması, ESFOT_{hızlı}: egzersiz sonrası fazladan oksijen tüketiminin hızlı safhası, ^a STD-15'den anlamlı derecede farklı ($p<0.05$), ^b BRS-15'den anlamlı derecede farklı ($p<0.05$), ^c STD-30'den anlamlı derecede farklı ($p<0.05$). Not: Tekrarlar arası dinlenme aralığı VO₂ mono-eksponensiyal modeller kullanılarak hesaplanmıştır.

Dört farklı tekrarlı sprint protokolünde TEH, REH, toplam O₂ talebi, ESFOT'un hızlı safhasındaki VO₂ ve dinlenme aralıklarındaki VO₂ Tablo 4.4'te gösterilmiştir. Tekrarlı sprint protokollerinin tüm değişkenler üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı derecede farklıdır (TEH için F=249.2; p=0.000, $\eta^2=0.94$, REH için F=101.6; p=0.000, $\eta^2=0.87$, O₂ talebi için F=249.4; p=0.000, $\eta^2=0.94$, ESFOT_{hızlı} VO₂ için F=4.723; p=0.006, $\eta^2=0.24$, Dinlenme aralığı VO₂ için F=42.72; p=0.000, $\eta^2=0.75$).

TEH değeri, STD-15 protokolünde diğer protokollerden (p<0.001), BRS-15 protokolünde ise BRS-30 protokolünden anlamlı derecede daha yüksektir (p=0.000). Bunun yanında STD-30 ve BRS-30 protokolleri arasında TEH benzer bulunmuştur (p=0.348). TEH'in aksine STD-15 protokolünde REH, diğer protokollerden anlamlı derecede daha düşüktür (p≤0.001). Bireysel protokollerde (BRS-15 ve BRS-30) REH benzer (p=0.624); her ikisi STD-30 protokolünde ölçülen REH değerinden anlamlı derecede yüksektir (p<0.001) (Tablo 4.4.).

STD-15 protokolünde O₂ talebi diğer protokollerden anlamlı derecede daha yüksek (p≤0.001); BRS-30 protokolünde ise diğer protokollerden anlamlı derecede daha düşüktür (p≤0.007). Bunun yanında BRS-15 ve STD-30 protokolleri arasında O₂ talebi benzer bulunmuştur (p=0.347). BRS-15 protokolünde ESFOT_{hızlı} değeri STD-15 protokolünden anlamlı derecede yüksek (p=0.003), her ikisi 30 m protokollerine benzerdir (sırasıyla p>0.787, p≥0.156). STD-15 protokolünde dinlenme aralığı VO₂, diğer protokollerden anlamlı derecede daha düşüktür (p=0.000). BRS-15 protokolünde dinlenme aralığı VO₂ ise BRS-30 protokolüne benzer (p=1.000), STD-30 protokolünden anlamlı derecede daha yüksektir (p≤0.006). Ayrıca BRS-30 protokolünde dinlenme aralığı VO₂ STD-30 protokolünden daha yüksek olmakla beraber bu fark istatistiksel açıdan anlamlı değildir (p=0.077) (Tablo 4.4.).

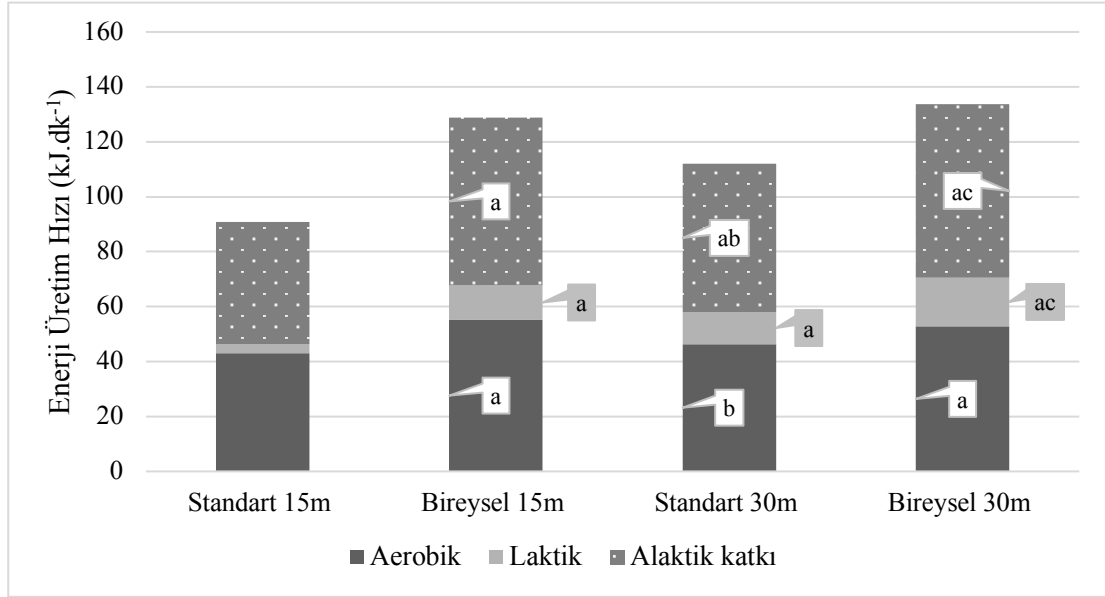
Dört farklı tekrarlı sprint protokolünde enerji sistemlerinin katkıları Tablo 4.5'te gösterilmiştir. Tekrarlı sprint protokollerinde laktik ve aerobik enerji sistemlerinin toplam enerji harcaması içindeki yüzdeleri arasında anlamlı farklar saptanmıştır (laktik katkı (%) için F=88.5, p=0.000, $\eta^2=0.86$; aerobik katkı (%) için F=28.1, p=0.000, $\eta^2=0.65$). Buna karşılık alaktik sistemin tüm protokollerdeki enerji katkısı (%) benzer bulunmuştur (F=0.093; p=0.764, $\eta^2=0.11$). STD-15 protokolünde

aerobik katkı (%), diğer protokollerden anlamlı derecede yüksektir ($p<0.004$). Bunun yanında BRS-15 protokolünde aerobik katkı (%), STD-30 protokolü ile benzer ($p=0.758$); BRS-30 protokolünden anlamlı derecede daha yüksektir ($p=0.000$). Ayrıca 30 m protokolleri arasında da aerobik katkı (%) benzer bulunmuştur ($p=0.526$). Laktik katkı (%) BRS-30 protokolünde diğer protokollerden yüksek ($p\leq 0.007$); STD-15 protokolünde diğer protokollerden düşük ($p=0.000$); BRS-15 ve STD-30 protokolü arasında benzer bulunmuştur ($p=1.000$). Alaktik katkı (%) ise tüm protokoller arasında benzerdir ($p\geq 0.384$) (Tablo 4.5. ve Şekil 4.8.).

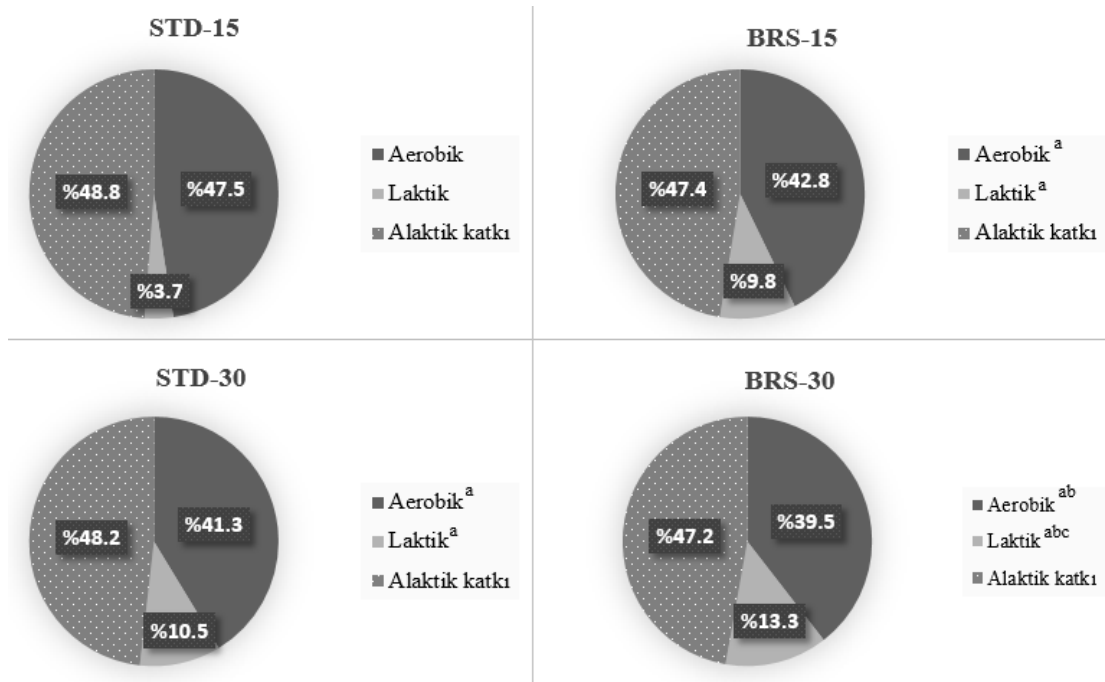
Tablo 4.5. Tekrarlı sprint protokollerinde enerji sistemlerinin katkısı ve enerji üretim hızı.

	STD-15	BRS-15	STD-30	BRS-30
Aerobik katkı (%)	47,48 ± 4,46	42,8 ± 2,21 ^a	41,31 ± 3,63 ^a	39,49 ± 2,09 ^{ab}
Laktik katkı (%)	3,68 ± 1,53	9,81 ± 2,71 ^a	10,47 ± 3,45 ^a	13,32 ± 3,02 ^{abc}
Alaktik katkı (%)	48,85 ± 4,62	47,39 ± 3,01	48,2 ± 4,59	47,19 ± 2,76
Aerobik sistem enerji üretim hızı (kJ.dk ⁻¹)	43,08 ± 6,23	55,17 ± 5,61 ^a	46,35 ± 7,77 ^b	52,76 ± 6,05 ^a
Laktik sistem enerji üretim hızı (kJ.dk ⁻¹)	3,29 ± 1,27	12,64 ± 3,63 ^a	11,57 ± 3,38 ^a	17,77 ± 4,77 ^{abc}
Alaktik sistem enerji üretim hızı (kJ.dk ⁻¹)	44,33 ± 6,56	61,03 ± 6,10 ^a	54,05 ± 8,96 ^{ab}	62,99 ± 6,94 ^{ac}

^a STD-15'den anlamlı derecede farklı ($p<0.05$), ^b BRS-15'den anlamlı derecede farklı ($p<0.05$), ^c STD-30'den anlamlı derecede farklı ($p<0.05$).



Şekil 4.6. Tekrarlı sprint protokollerinde metabolik sistemlerin enerji üretim hızı. ^a STD-15'den anlamlı derecede farklı ($p<0.05$), ^b BRS-15'den anlamlı derecede farklı ($p<0.05$), ^c STD-30'den anlamlı derecede farklı ($p<0.05$).



Şekil 4.7. Dört farklı tekrarlı sprint protokolünde enerji sistemlerinin relatif katkısı. ^a STD-15'den anlamlı derecede farklı ($p<0.05$), ^b BRS-15'den anlamlı derecede farklı ($p<0.05$), ^c STD-30'den anlamlı derecede farklı ($p<0.05$).

Tekrarlı sprint protokollerinde metabolik sistemlerin enerji üretim hızı da (kJ.dk^{-1}) anlamlı derecede farklıdır (Aerobik sistem için $F=28.89$; $p=0.000$, $\eta^2=0.61$,

laktik sistem için $F=119.6$; $p=0.000$, $\eta^2=0.89$, alaktik sistem için $F=72.9$; $p=0.000$, $\eta^2=0.83$). STD-15 protokolünde aerobik sistemin enerji üretim hızı (kJ.dk^{-1}) BRS-15 ve BRS-30 protokollerinden daha düşük ($p\leq 0.001$), STD-30 protokolü ile benzerdir ($p=0.113$). BRS-15 protokolünde aerobik sistemin enerji üretim hızı ise STD-15 ve STD-30 protokollerinden daha yüksek ($p\leq 0.001$), BRS-30 protokolü ile benzerdir ($p=0.483$). Ayrıca BRS-30 protokolünde aerobik sistemin enerji üretim hızı STD-30 protokolünden daha yüksektir, ancak bu fark istatistiksel açıdan anlamlı değildir ($p=0.056$). Laktik sistemin enerji üretim hızı (kJ.dk^{-1}) STD-15 protokolünde diğer protokollerden düşük ($p=0.000$); BRS-30 protokolünde ise diğer protokollerden anlamlı derecede daha yüksektir ($p=0.000$). Buna karşılık laktik sistemin enerji üretim hızınının BRS-15 ve STD-30 arasında benzer olduğu bulunmuştur ($p=0.593$). STD-15 protokolünde alaktik sistemin enerji üretim hızı (kJ.dk^{-1}), diğer protokollerden anlamlı derecede düşüktür ($p=0.000$). Bunun yanında bireysel protokoller arasında alaktik sistemin enerji üretim hızı (kJ.dk^{-1}) benzer ($p=1.000$); her ikisi (BRS-15 ve BRS-30) standart protokollerden (STD-15 ve STD-30) anlamlı derecede daha yüksektir ($p\leq 0.001$) (Tablo 4.5. ve Şekil 4.7.).

5. TARTIŞMA

Bu çalışmanın amacı toplam sprint mesafesi (300 m) sabit tutulduğunda farklı dinlenme süresi, sprint mesafesi ve tekrar sayısının tekrarlı sprint performans değişkenleri, fizyolojik yanıtlar ve enerji sistemlerinin katkısı üzerine etkisini incelemektir. Bu amaçla 10 x 30 m standart dinlenmeli (30 s), 10 x 30 m bireysel dinlenmeli (1:5 yüklenme:dinlenme oranı), 20 x 15 m standart dinlenmeli (30 s) ve 20 x 15 m bireysel dinlenmeli (1:5 yüklenme:dinlenme oranı) olmak üzere 4 farklı tekrarlı sprint protokolü uygulanmıştır. Bu çalışmanın sonuçları farklı dinlenme süresi, sprint mesafesi ve tekrar sayısının araştırmamızda kullanılan tekrarlı sprint protokollerinde: 1) toplam sprint süresi, toplam egzersiz süresi ve performans düşüş yüzdesi; 2) ortalama kalp atım hızı, kan laktat konsantrasyonu ve algılanan zorluk derecesi ve 3) toplam enerji harcaması, alaktik, laktik ve aerobik enerji sistemlerinin üzerine etkisinin anlamlı derecede farklı olduğunu ortaya koymuştur.

5.1. Fizyolojik Yanıtlar

Tekrarlı sprint protokolleri özellikle takım sporcuları için önemli bir motorik beceri olarak kabul edilmekte ve fizyolojik etkisi araştırmalarda sıkça incelenmektedir (5, 13, 14, 18, 196, 234). Ayrıca rekreasyonel amaçlı spor yapanlar için de yüksek şiddetli ve aralıklı egzersizlerin hem zaman açısından daha avantajlı olması hem de sonrasında metabolik hızın belli bir süre yüksek seyretmesi sebebiyle son yıllarda oldukça tercih edilir hale gelmiştir (16, 88). Örneğin, submaksimal şiddette aralıklı olarak uygulanan koşu egzersizlerinin VO_2 , KAH ve dakika ventilasyonu gibi fizyolojik yanıtların, benzer sürede sabit bir ortalama hız ile yapılan aralıksız koşu egzersizine göre daha yüksek olduğu bulunmuştur (154). Ek olarak, tekrarlı sprint egzersizleri birçok takım sporunun gerektirdiği, aerobik aktiviteler ve dinlenmeler arasında gerçekleşen anaerobik temelli becerileri geliştirmek için optimal bir antrenman yöntemi olarak değerlendirilmektedir (5, 13, 188). Bizim çalışmamız takım sporlarına özgü hareket profilini yansıtmaması bakımından literatürde (19, 49, 76, 144) yer alan ilgili sprint mesafeleri, tekrar sayıları ve dinlenme süreleri dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.

Toplam mesafe sabit tutulduğunda (300 m) anaerobik metabolizmanın bir göstergesi olan kan LA konsantrasyonunun kısa mesafeli ve çok tekrarlı ancak dinlenme oranı en yüksek olan STD-15 protokolü hariç diğer protokoller arasında benzer olması (Tablo 4.1), tekrar sayısından bağımsız olarak dinlenme süresinin kısalmasının veya tekrarlanan sprint mesafesinin uzamasının kas içi anaerobik glikolitik aktivitenin benzer düzeyde gerçekleştiğini göstermektedir. Bununla beraber, uzun sprint mesafesi ve kısa dinlenme süresine sahip olan tekrarlı sprint protokolünde (BRS-30) LA yanıtı en yüksek düzeyde olmakla beraber diğer protokoller ile karşılaştırıldığında istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır (Tablo 4.1). Benzer şekilde BRS-30 protokolünün laktik sistemin katkısı açısından daha yüksek ve TES açısından daha kısa olması da, anaerobik glikolitik aktivitenin artmasını sağlayan bir fizyolojik strese sebep olduğunu göstermektedir. Laktik sistemin en yüksek çalışma hızının 5-6 s süreli egzersizlerde gerçekleştiğinin rapor edilmesi araştırmamızın bu sonuçlarını desteklemektedir (13, 27, 46). Çalışmamızda yer alan STD-30 ve BRS-30 protokollerindeki ortalama sprint sürelerinin (yaklaşık 4.6 – 4.8 s) laktik sistemin en yüksek çalışma hızına yakın olması ve BRS-30 protokolünün aynı zamanda STD-30 protokolüne göre daha kısa dinlenme süresi içermesi bu protokol sonunda gözlenen daha yüksek LA yanıtlarını açıklamaktadır.

Toplam mesafe sabit tutulduğunda LA yanıtlarına benzer şekilde $KAH_{(ort)}$ yanıtları, fizyolojik stresin düşük olduğu protokolde (STD-15) anlamlı derecede daha düşüktür (Tablo 4.1). Buna karşılık LA yanıtlarının aksine tüm protokollerde $KAH_{(maks)}$ yanıtları benzer bulunmuştur. Bu bulgular toplam mesafesi aynı ancak sprint mesafesi, tekrar sayısı ve dinlenme aralığı açısından farklı içerikte olan tekrarlı sprint egzersizlerinin metabolik taleplere paralel olarak sempatik aktiviteyi aynı düzeyde uyardığını ancak ulaşılan en yüksek kardiyak stres açısından benzer etki yarattığını göstermektedir. Araştırmamızın AZD, PDY ve REH gibi sonuçları da göz önünde bulundurulduğunda fizyolojik belirteçler arasında LA ve $KAH_{(ort)}$ yanıtlarının tekrarlı sprint protokollerine ait genel fizyolojik stresi daha iyi yansıttığı görülmektedir. $KAH_{(maks)}$ yanıtlarının bir egzersizin belirli bir periyodundaki geçici bir yüklenme ile artabileceği ancak bu değerlerin protokolün geneline ilişkin bir fizyolojik gösterge olarak kullanılmasının uygun olmadığı literatür tarafından da desteklenmektedir (1, 68, 71, 88). Buna karşılık, AZD, katılımcıların bir egzersiz sırasındaki gösterdikleri efora

ilişkin algısal bir ölçüm skalası olmasına rağmen araştırmalarda fizyolojik yanıtlar içerisinde sıkça değerlendirilmektedir (1, 23, 53). BRS-15 ve BRS-30 protokollerinde AZD yanıtlarının daha yüksek olması AZD üzerindeki ana etkinin dinlenme süreleri ile ilişkili olduğunu göstermektedir. Ek olarak, istatistiksel açıdan anlamlı olmasa da BRS-30 protokolünde LA yanıtının BRS-15 protokolünden yüksek; AZD yanıtının ise tam tersi şekilde sonuçlanması, BRS-15 protokolünde kullanılan çok kısa (yaklaşık 12 s) dinlenme süresinin ekstra bir psikolojik etki yarattığını göstermektedir. Bu durumun koşu egzersizleri içeren tekrarlı sprintlerde görülen yavaşlama, durma ve tekrar başlangıç çizgisine dönme aktivitelerinde harcanan zaman sebebiyle katılımcıların psikolojik olarak dinlenmediklerini düşünmesinden kaynaklandığı rapor edilmiştir (1, 123).

Bizim tekrarlı sprint tasarımlarımıza oldukça benzer olan bir çalışmada profesyonel futbolcular (n=6) üzerinde dört farklı tekrarlı sprint protokolünün fizyolojik yanıtlara etkisi incelenmiştir (1). Çalışmada toplam mesafesi 600 m olan dört farklı tekrarlı sprint protokolü uygulanmıştır. Bu protokoller 15 x 40 m ve 40 x 15 m mesafelerinin 1:4 ve 1:6 yüklenme:dinlenme aralığı kombinasyonlarıyla uygulanmasını içermektedir. Bu çalışmada 1:4 dinlenme oranının kullanıldığı iki protokolün (40 x 15 m ve 15 x 40 m) fizyolojik yanıtlar üzerinde daha fazla artışa sebep olduğu bulunmuştur. Araştırmada 40 x 15 m ve 1:4 yüklenme:dinlenme oranının uygulandığı protokolde $KAH_{(ort)}$, LA ve AZD sırasıyla %89.3, 13.0 mmol.L⁻¹ ve 18.8 olarak bulunmuştur. Aynı değerler, 15 x 40 m ve 1:4 yüklenme:dinlenme oranının uygulandığı protokolde %89.2; 14.1 mmol.L⁻¹ ve 17.1; 40 x 15 m ve 1:6 yüklenme:dinlenme oranında %86.8; 8.8 mmol.L⁻¹ ve 17.3; 15 x 40 m ve 1:6 yüklenme:dinlenme oranında %85.8; 9.6 mmol.L⁻¹ ve 14.4 olarak raporlanmıştır (1). Bu araştırmanın sonuçları bizim bulgularımıza benzer şekilde çok tekrarlı ve kısa dinlenmeli protokolde (40 x 15 m, 1:4) AZD yanıtlarının daha yüksek; az tekrarlı ve kısa dinlenmeli (15 x 40 m, 1:4) protokolde ise LA yanıtlarının daha yüksek olduğunu göstermiştir. Adı geçen çalışma ve bizim çalışmamız dinlenme süresinin çok kısa olmasının ana etkisinin AZD üzerine olduğunu, sprint mesafesinin uzun olmasının ana etkisinin ise LA üzerine olduğunu göstermektedir. Bu doğrultuda bahsedilen çalışma ile birlikte bu çalışmanın bulguları tekrarlı sprint egzersizlerinde toplam mesafe sabit tutulduğunda 30-40 m mesafeli (5-6 s süreli) sprintler kullanmanın AZD yanıtlarını

artırmadan daha yüksek LA yanıtları oluşturabileceğini göstermektedir. Buna karşılık bizim çalışmamızda LA ve $KAH_{(ort)}$ değerlerinin daha yüksek olması, bahsedilen çalışmada seçilen sporcuların profesyonel bizim çalışmamızda ise amatör ve yarı-profesyonel olması ile açıklanabilir. Ek olarak bu çalışmada AZD'nin daha düşük olması ise toplam mesafenin bahsedilen çalışmada 600 m olması ile açıklanabilir. Bununla birlikte, bizim çalışmamızda bireysel protokollerin (BRS-15 ve BRS-30) toparlanma sürelerinin hesaplanmasında her katılımcının kendine ait sprint süreleri kullanılırken, bahsedilen çalışmada katılımcıların bireysel performansları göz ardı edilerek önceki araştırmalardan elde edilen ortalama sprint süreleri kullanılmıştır.

Dinlenme süresinin etkisini ortaya koymak amacıyla yapılan bir araştırmada 15 x 40 m tekrarlı sprint protokolü 120, 60 ve 30 s dinlenme aralıkları ile uygulanmıştır (88). Altıncı sprintten sonra ölçülen laktat konsantrasyonları arasında anlamlı bir fark saptanmamış (sırasıyla 10.0; 9.8 ve 10.2 mmol/L) ancak test sonunda ölçülen laktat konsantrasyonunun 30 s dinlenme aralığı uygulanan protokolde (17.2 mmol.L^{-1}), 120 s ve 60 s protokolüne göre (sırasıyla 12.1 ve 13.9 mmol.L^{-1}) anlamlı derecede daha yüksek olduğu bulunmuştur. Bunun yanında, ilk sprintin sonunda KAH yanıtları anlamlı derecede yükselmiş, ancak protokoller arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır. Dahası, 120 s dinlenme aralığı uygulanan protokolde KAH açısından ilerleyen tekrarlarda anlamlı bir artış görülmezken; 60 s ve 30 s protokolünde üçüncü sprintin sonunda anlamlı olarak yükselmiş (sırasıyla 165.9 ve 172.6) ve sabit kalmıştır (88). Adı geçen çalışma dinlenme süresinin farklı olduğu tekrarlı egzersizlerde, LA birikimi bir süre elimine edilse bile tekrarlar arttıkça kısa dinlenme aralığının kullanıldığı egzersizlerin daha fazla LA yanıtına sebep olduğunu göstermektedir. Bizim çalışmamız, bu sonuçları desteklemekle birlikte, toplam mesafe sabit tutulduğunda sprint mesafesinin uzun olmasının (dolayısıyla tekrar sayısının az olmasının) LA yanıtlarını artırabileceğini ortaya koymaktadır. Ayrıca adı geçen çalışmanın kısa dinlenme aralığının daha yüksek $KAH_{(ort)}$ yanıtlarına sebep olduğunu ortaya koyması çalışmamızdaki benzer sonuçları desteklemektedir.

Yapılan çalışmaların sonuçlarından yola çıkarak LA değerlerinin tekrarlı egzersizlerin aksine aralıksız egzersizlerde mesafe artışına paralel olarak artmadığı görülmektedir. Duffield ve ark. farklı çalışmalarda (61, 68, 71), 100, 200, 400, 800,

1500 ve 3000 m mesafelerinden sonra LA seviyelerini sırasıyla 9.0, 10.4, 13.9, 12.4, 11.5 ve 8.6 mmol.L⁻¹ olarak raporlamıştır (61, 68, 71). Buna karşılık, 30 s dinlenme aralıklarıyla 30 m yön değiştirmeli (2 x 15 m) sprint protokolünün 1-10 arasındaki tekrar sayılarıyla ayrı ayrı uygulandığı bir çalışmada üçüncü sprintin sonunda LA değerlerinin (9.4 mmol.L⁻¹) dinlenik duruma (1.8 mmol.L⁻¹) göre beş kat arttığı bulunmuştur. Ek olarak, LA değerleri beşinci sprint sonunda 10.5 mmol.L⁻¹; 10. sprint sonunda 12.7 mmol.L⁻¹ olarak ölçülmüştür (21). Bir başka çalışmada bisiklet ergometresinde uygulanan 30 s süreli sprintin LA seviyesini dinlenik duruma göre 18.6 kat artırdığı, dört dakikalık dinlenmenin ardından uygulanan ikinci 30 s süreli sprintin ise laktat seviyesini dinlenik duruma göre 22.6 kat artırdığı bulunmuştur (37). Bu araştırmaların sonuçları yüksek LA değerlerinin sabit hızda yapılan aralıksız egzersizlere kıyasla tekrarlı sprintler kullanılarak daha kısa toplam mesafelerde elde edilebileceğini desteklemektedir.

Yapılan bir çalışmada anaerobik koşu testi için 1:5 yüklenme:dinlenme oranı (20 s koşu:100 s dinlenme) katılımcıların fiziksel durumuna göre 8-12 tekrar sayısı ile uygulanmış ve LA konsantrasyonu 15 mmol.L⁻¹ olarak bulunmuştur (77). Benzer şekilde Gharbi ve ark. (21) 20 s koşu ve 100 s dinlenme uygulayarak katılımcıların yorgunluk sebebiyle testi kendilerinin sonlandırmasını içeren bir protokolda 13.1 mmol.L⁻¹ LA yanıtı raporlamıştır. Yapılan başka bir çalışmada bisiklet ergometresinde 5 x 6 s tekrarlı sprint protokolü 24 s (1:4 yüklenme:dinlenme) dinlenme süreleri ile uygulandığında LA yanıtı kadınlarda 9.4 mmol.L⁻¹, erkeklerde 12.0 mmol.L⁻¹ olarak belirlenmiştir (23). Bu çalışmalar yüklenme:dinlenme oranları açısından bizim çalışmamızda kullanılan bazı protokollere benzer tasarımlar içermektedir. Ancak, sadece yüklenme:dinlenme oranları ile tekrarlı sprint egzersizlerindeki fizyolojik farklılıkları açıklamanın yeterli olmadığı görülmektedir. Çünkü özellikle takım sporcuları için 40 m'den (yaklaşık 6 s) daha uzun mesafeli sprintler içeren protokollerin gerçek oyun performansında karşılığının olmadığı düşünülmektedir (2, 10, 47). Bu sebeple bu çalışmada 15 ve 30 m gibi takım sporlarında en sık görülen mesafeler tercih edilmiş ve tüm katılımcılara aynı yüklenme:dinlenme oranları kullanan çalışmaların aksine her katılımcının kendisine ait sprint derecesi oranında dinlenme süreleri uygulanmıştır. Çünkü özellikle homojen olmayan gruplarda ortak

oranlı dinlenme sürelerinin kullanılması sporcularda ölçülen performans çıktısının özgün bireysel değerleri yansıtmasını engelleyebilir.

Gharbi ve ark. farklı yıllarda (2014 ve 2015) gerçekleştirmiş olduğu iki farklı çalışmada (21, 22) takım sporcularına 10 x 30 m 180° yön değiştirmeli sprint protokolünü 30 s dinlenme aralıklarıyla uygulamıştır. Birinci çalışmada (n= 20) LA değerlerini 12.7 mmol.L⁻¹ olarak; ikinci çalışmada (n= 16) 15.3 mmol.L⁻¹ olarak raporlamıştır. 10 x 30 m (2 x 15 m) 180° yön değiştirmeli ve 10 x 30 m (6 x 5 m) çoklu yön değiştirmeli sprint protokolü 30 s dinlenme aralıklarıyla uygulandığı bir diğer çalışmada LA yanıtı sırasıyla 9.99 ve 11.12 mmol.L⁻¹ olarak ölçülmüştür (218). Yukarıda bahsedilen dört farklı protokolde toplam sprint mesafesi (300 m), tekrar sayısı (10 tekrar) ve dinlenme süreleri (30 s) gibi değişkenlerin benzer olmasına rağmen LA yanıtlarının farklı olduğu görülmektedir. Bizim çalışmamızda kullanılan 10 x 30 m (yön değiştirmesiz) ve 30 s dinlenme aralıkları içeren protokolde (STD-30) LA yanıtları 15.0 mmol.L⁻¹ olarak belirlenmiştir. Gharbi ve ark. çalışmasında (22), bizim çalışmamız ile aynı örneklem büyüklüğü (n=16) ve benzer profile sahip katılımcılar (aktif, antrenmanlı ve takım sporcusu) kullanmıştır. Adı geçen çalışmada LA yanıtlarının (15.3 mmol.L⁻¹) bu çalışmaya (15 mmol.L⁻¹) benzer, diğer çalışmalarda ise daha düşük (9.9 – 12.7 mmol.L⁻¹) olduğu görülmektedir. Yukarıda bahsedilen çalışmalar ile birlikte bizim çalışmamızın sonuçları LA yanıtlarının antrenman durumundan ve sprint egzersizlerinin yön değiştirme içerip içermemesinden etkilenebildiğini göstermektedir.

Bununla birlikte daha kısa toplam mesafe (150 m) içeren tekrarlı sprint protokollerinin doğrusal, 180° yön değiştirmeli ve 100° yön değiştirmeli olarak 25 s toparlanma süreleriyle uygulandığı bir çalışmada protokoller arasında fizyolojik yanıtlar açısından anlamlı farklar bulunmamasına rağmen, doğrusal tekrarlı sprintler içeren protokolde daha iyi performans yanıtlarına ulaşılmıştır (53). Yetişkin basketbolcu erkekler üzerinde gerçekleştirilen bu çalışmada KAH_{maks} (185-187), KAH_{ort} (168-170), LA_{maks} (14-16 mmol.L⁻¹) ve AZD yanıtları çalışmamızdan elde edilen bulgulara oldukça benzerdir. Adı geçen çalışma yön değiştirme açısından farklılıklar içeren tekrarlı sprint protokollerinin eşit dinlenme süresi (25 s) ve eşit tekrar sayısı (6 tekrar) ile uygulanması durumunda benzer fizyolojik yanıtlar elde

edilebileceğini göstermektedir. Bizim çalışmamız, yön değiştirmenin fizyolojik yanıtlarda etkisinin olmadığını ortaya koyan bu çalışmaya ek olarak, tekrar sayısı, dinlenme süresi ve sprint mesafesinin KAH_{maks} dışındaki fizyolojik yanıtlar üzerinde etkili olduğunu göstermektedir.

Yapılan çalışmalar, diğer değişkenler sabit tutulduğunda dinlenme aralıklarının kısalmasının veya sprint mesafesinin uzamasının (dolayısıyla tekrar sayısının azalması) LA yanıtlarının artmasına sebep olduğunu göstermektedir. 6 x 40 m tekrarlı sprint protokolünün 15, 20 ve 25 s dinlenme süreleri ile uygulandığı bir çalışmada LA yanıtları sırasıyla 14.5, 12.7 ve 8.0 mmol.L⁻¹ olarak ölçülmüştür (49). Bir başka çalışmada 25 s aralıklar ile 7 x 34.2 m tekrarlı sprint protokolü sonunda 15.4 mmol.L⁻¹ LA yanıtı bulunmuştur (25). Bir çalışmada 6 x 40 m yön değiştirmeli tekrarlı sprint protokolü 20 s dinlenme süresi ile uygulanmış ve 17.6 mmol.L⁻¹ LA yanıtı elde edilmiştir (188). Basketbolcular üzerinde yapılan bir çalışmada 20 s aktif ve pasif dinlenme aralıkları ile uygulanan 12 x 20 m yön değiştirmeli ve tekrarlı sprint protokolünün yaklaşık 6.0 ve 8.0 mmol.L⁻¹ LA yanıtlarına sebep olduğu rapor edilmiştir (194). Çalışmamızda kullanılan mesafeler (15 ve 30 m) ve dinlenme süreleri (30 s ve daha kısa) bahsedilen çalışmalar ile benzerlik göstermektedir. Araştırmamızın sonuçları BRS-15, BRS-30 ve STD-30 protokollerinde LA yanıtlarının STD-15 protokolüne göre daha yüksek olması bakımından yukarıdaki çalışmaları desteklemekle birlikte, dinlenme oranının (1:5) sabit olduğu protokoller arasında sprint mesafesi daha yüksek olan protokolde (BRS-30) anlamlı olmasa da en yüksek LA yanıtlarının elde edilmesine ilişkin önemli bilgiler sunmaktadır. Ayrıca laktik sistemin katkısının BRS-30 protokolünde en yüksek olması, toplam sprint mesafesi sabit tutulduğunda kısa dinlenme ve uzun sprint mesafesi kombinasyonunun LA yanıtlarını (aynı zamanda laktik sistemin katkısını) arttırmada en etkili tasarım olduğunu ortaya koymaktadır.

5.2. Performans Değişkenleri

Tekrarlı sprint uygulamaları içeren testlerde sprint hızının yüksek olmasının yanında bu hızın ardışık sprintler sırasında korunması beklenir. Ancak özellikle dinlenme süresinin kısa olduğu durumlarda yorgunluk etkisine bağlı olarak performansın düşmesi doğal bir sonuçtur. Takım sporcuları için belli bir yorgunluğa

sebepler olacak tekrarlı egzersiz protokollerinin gerçek oyun profiline uygun PDY değerlerini yansıtmaları gerektiği göz önünde bulundurulmalıdır (4, 13, 14). Ancak benzer tekrarlı egzersiz tasarımları içeren çalışmalarda PDY'nin oldukça değişken olduğu görülmektedir. Özellikle kısa süreli (2-3 s) ardışık sprintlerde yorgunluk haricindeki birçok değişken sprint süresini etkilemekte ve bu değişkenlerin etkisi nispeten küçük olmasına rağmen sprint süresi oldukça kısa olduğu için daha büyük oranda etki edebilmektedir (9). Dolayısıyla bu tür tasarımlarda performans düşüşünün yorgunluktan kaynaklandığının net olarak tespit edilmesi için fizyolojik belirteçler ile desteklenmesi gerektiği düşünülmektedir (9, 13, 18). Bizim çalışmamızda STD-15 protokolündeki performans düşüşünün (%3.6), BRS-15 (%8.7), STD-30 (%7.3) ve BRS-30 (%9.3) protokollerine göre anlamlı derecede daha düşük olduğu tespit edilmekle beraber bu sonuçlar fizyolojik yanıtlar ile desteklenmektedir.

Özellikle bireysel toparlanma içeren protokollerde tekrarlı sprintler arasındaki toparlanma süresinin çok kısa olması (yaklaşık 11 s ve 21 s) tekrarlı sprint performansında önemli düşüşün nedeni olabilir. PDY'nin (sprint sürelerinin uzaması) bireysel toparlanmalı protokoller arasında benzer ancak standart toparlanmalı protokollerden daha yüksek olması, tekrarlı sprint performansının sürdürülebilirliğinin sprint mesafesi ve tekrar sayısından çok tekrarlar arasındaki toparlanma süresine bağlı olduğunu göstermektedir. Ek olarak bireysel toparlanmalı tekrarlı sprint sırasında eksik toparlanma nedeniyle fosfojen sistemin katkısının zayıflaması ve laktat sistemin katkısının artmasına bağlı olarak kas ve kanda biriken laktatın eliminasyonu birkaç saat gibi daha uzun zamanda gerçekleşmesi performans düşüşünde önemli bir başka faktördür (235). Birçok takım sporunda olduğu gibi tekrarlı sprint egzersizlerinde ardışık sprintler arasında birkaç dakikadan daha kısa zaman aralığı olması nedeniyle sprintler öncesinde ATP - PCr depoları kısmen yenilendiği için performans düşer (6, 8, 181, 190). Ek olarak ATP-PCr depoları yüksek şiddetli tekrarlı egzersizlerde aşamalı olarak azaldığı için (36, 236) anaerobik glikolizin önemi artar (13, 46).

120, 60 ve 30 s aralıklar ile uygulanan 15 x 40 m tekrarlı sprint protokolünde aralığı 120 s olan protokolde 15 sprintin sonunda anlamlı bir performans düşüşü bulunmazken, 60 s dinlenme aralığında 11. sprintte, 30 s dinlenme aralığında ise

üçüncü sprintte performans anlamlı şekilde düşmüştür. Araştırmada 0-15 m mesafe ivmelenme (akselerasyon) fazı olarak değerlendirilmiş ve sadece 30 s dinlenme aralığının kullanıldığı durumda anlamlı düşüş görülmüştür. Çalışmada ayrıca 30-40 m mesafe arasındaki ortalama hız analiz edilmiş ve dinlenme aralığı 120 s kullanıldığında 11. Sprintte, 60 s kullanıldığında yedinci sprintte, 30 s kullanıldığında ise üçüncü sprintte anlamlı düşüş bulunmuştur (88). Bu çalışma, dinlenme aralığı kısaldıkça PDY'nin ve akselerasyon evresindeki hız düşüşünün artacağını, aynı zamanda maksimum hız evresindeki performansın daha az sayıdaki sprintlerde düşebileceğini göstermektedir. Bizim çalışmamız, adı geçen çalışmalara paralel olarak 20 x 15 m protokollerinde kısa dinlenme süresinin (yaklaşık 12 s) kullanıldığı protokole (BRS-15) 30 s dinlenme süresinin kullanıldığı protokole göre (STD-15) PDY daha yüksektir (Tablo 4.2.). Ek olarak STD-15 protokolünde sprint süreleri arasında anlamlı bir fark bulunmazken, 1:5 yüklenme:dinlenme oranının (yaklaşık 12 s) kullanıldığı durumda üçüncü sprintten itibaren performansın anlamlı şekilde düştüğü belirlenmiştir (Şekil 4.1. – 4.4.). Bununla birlikte BRS-30 protokolünde (dinlenme süresi yaklaşık 21 s) PDY'nin STD-30 protokolüne göre (dinlenme süresi yaklaşık 30 s) daha yüksek olduğu, ancak bu farkın (%7.1 ve %9.3) istatistiksel açıdan anlamlı olmadığı görülmüştür. Dinlenme süreleri arasındaki farkın 30 m protokollerine (21 s ve 30s) göre 15 m protokollerinde (12 s ve 30 s) daha fazla olmasına bağlı olarak PDY'nin 15 m protokollerinde arasında anlamlı derecede farklılaştığı görülmektedir.

Dinlenme süresinin tekrarlı sprint performansına etkisini belirlemek amacıyla yapılan bir araştırmada 12 x 20 m protokolü aralıksız ve 15, 30 ve 45 s dinlenme aralıkları ile uygulanmıştır. Çalışmanın bulguları dinlenme süresinin kısa olduğu durumlarda PDY'nin daha yüksek olduğunu göstermiştir (196). Profesyonel futbolcular (n= 6) üzerinde yapılan bir başka çalışmada toplam mesafesi 600 m olan dört farklı tekrarlı sprint protokolü uygulanmıştır. Bu protokoller 15 x 40 m ve 40 x 15 m mesafelerinin 1:4 ve 1:6 yüklenme:dinlenme aralığı ile uygulanmasını içermektedir. Çalışmada 40 x 15 m, 1:4 yüklenme:dinlenme aralığının uygulandığı protokole PDY'nin (son sprint ilk sprinte göre %15.9 daha düşük) en yüksek olduğu bulunmuştur (1). 15 x 40 m, 1:4, 40 x 15 m, 1:6 ve 15 x 40 m, 1:6 yüklenme:dinlenme oranının kullanıldığı protokollerde performans düşüşü sırasıyla %11.1, %7.5 ve %4.1 olarak raporlanmıştır (1). Adı geçen çalışma, diğer değişkenler sabit tutulduğunda

dinlenme aralığının kısa olduğu veya tekrar sayısının az olduğu tasarımların daha yüksek PDY sonuçlarına yol açtığını ortaya koymaktadır. Bizim çalışmamız, 20 x 15 m protokollerinde bu sonuçları desteklerken, 30 m protokollerinde performans düşüşü açısından anlamlı fark olmadığı bulunmuştur. Bu farklılık, çalışmamızda dinlenme sürelerinin 15 m protokolleri arasında yaklaşık 2.4 kat (13 ve 30 s), 30 m protokolleri arasında 1.4 kat (22 ve 30 s) olmasından kaynaklanmaktadır.

Bir çalışmada 7 x 30 m tekrarlı sprint protokolü 25 s dinlenme aralıkları kullanılarak uygulanmıştır. Çalışmada ikinci sprintten itibaren performansta anlamlı düşüş (%2) bulunmuştur. Performanstaki düşüşün üçüncü, dördüncü ve beşinci sprintlerde anlamlı şekilde artarak devam ettiği bulunurken; altıncı ve yedinci sprintlerde anlamlı bir değişim bulunmamıştır. Son sprintteki performans düşüşünün ilk sprinte göre %6 olduğu belirtilmiştir. Çalışmada ayrıca ilk 5 m ve ilk 10 m performansları da değerlendirilmiştir. Araştırmanın sonucuna göre. 0-5 m, 0-10 m ve 30 m performanslarında sırasıyla dördüncü, üçüncü ve ikinci sprintten itibaren anlamlı düşüş olduğu bulunmuştur. Bir başka deyişle 25 s dinlenme aralıklarıyla yapılan 30 metrelik sprintin ilk üç tekrarı arasında performansın anlamlı derecede düştüğü belirlenirken bu tekrarların ilk 5 m mesafesindeki performanslar arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır. Özetle 30 m'lik bir sprint, 25 s dinlenmenin ardından bir sonraki 30 metrelik performansı olumsuz etkilerken ilk 5 ve 10 m'lik performansı etkilememiştir (16). Bu çalışmaya ek olarak bizim çalışmamız 30 m mesafeli sprintlerin 1:5 yüklenme:dinlenme oranıyla (yaklaşık 21 s) ve 30 s ile uygulandığı tekrarlı sprint tasarımlarında performansın anlamlı şekilde düştüğünü, ancak iki dinlenme süresi arasında istatistiksel açıdan anlamlı fark olmadığını göstermektedir.

Yapılan bir çalışmada 25 s aralıklar ile 7 x 34.2 m tekrarlı sprint protokolü uygulanmış ve %4'lük performans düşüşü gözlenmiştir. Çalışmada ilk üç sprint arasındaki performanslarda anlamlı bir fark bulunmazken dördüncü sprintten itibaren performansın anlamlı şekilde düştüğü bulunmuştur (25). Yapılan bir diğer çalışmada 6 x 40 m tekrarlı sprint protokolü 15, 20 ve 25 s dinlenme süreleri ile uygulanmış ve yorgunluk indeksi sırasıyla %4.45, %3.03 ve %1.92 olarak belirlenmiştir. Ayrıca çalışmada her protokolün sonunda sporcuların aktif sıçrama performansı ölçülmüş ve 15 s protokolünde (35.63 cm) sıçrama performansının, 20 ve 25 s protokolüne (37.47

ve 38.28 cm) göre anlamlı derecede düşük olduğu bulunmuştur (49). Bir başka çalışmada 6 x 40 m yön değiştirmeli tekrarlı sprint protokolü 20 s dinlenme süresi ile uygulanmış ve performans düşüş yüzdesi %5.2 olarak bulunmuştur (188). Veteran futbolcular üzerinde yapılan bir çalışmada 5 x 40 m (60 ve 180° yön değiştirmeli) tekrarlı sprint protokolü 60 s dinlenme aralıkları ile toplu ve topsuz olarak uygulanmış ve performans düşüş yüzdesi sırasıyla %2.43 ve %2.87 olarak bulunmuştur (175). Bu çalışmalarda kullanılan mesafeler çalışmamızda yer alan mesafelerden daha uzundur, ancak sonuçlar dinlenme süresinin azalmasına bağlı olarak PDY'nin artması bakımından çalışmamızın bulguları ile benzerlik göstermektedir.

Yapılan çalışmalar PDY'nin tekrarlı sprint egzersizlerinde en fazla değişkenlik gösteren belirteç olduğunu göstermektedir. Bir çalışmada 30 s dinlenme aralıklarıyla 30 m yön değiştirmeli tekrarlı sprint protokolü 1-10 arasındaki tekrar sayılarıyla ayrı ayrı uygulanmıştır. Çalışmada 3 x 30 m protokolünün uygulandığı durumda performans düşüş yüzdesi %1.5, 5 x 30 m protokolünde %2.6, 10 x 30 m protokolünde ise %4.5 olarak bulunmuştur (21). Bir diğer çalışmada 10 x 30 m yön değiştirmeli (2 x 15 m, 180°) ve 10 x 30 m (6 x 5 m) çoklu yön değiştirmeli sprint protokolü 30 s dinlenme aralıklarıyla uygulanmış ve yorgunluk indeksi sırasıyla %9.32 ve %12.34 olarak belirlenmiştir (218). Bu çalışmalar tekrar sayısı, dinlenme süresi ve yön değiştirme içermesi bakımından oldukça benzer tasarımlara sahip olmasına rağmen PDY sonuçları oldukça farklıdır. Bizim çalışmamızda kullanılan 10 x 30 m protokolleri, bu çalışmalardan farklı olarak yön değiştirme içermemektedir ve 1:5 yüklenme:dinlenme oranı (yaklaşık 12 s) kullanıldığında %9.3; 30 s dinlenme aralığı kullanıldığında %7.13 performans düşüşüne neden olmuştur. İlgili literatürden yola çıkarak, PDY ya da yorgunluk indeksinin benzer tasarıma sahip tekrarlı sprint egzersizleri arasında en fazla değişkenlik gösteren belirteç olduğu dolayısıyla fizyolojik yanıtlar ile desteklenmediği takdirde geçerliliği konusunda tartışmalı olduğu söylenebilir (9).

Tekrarlı sprint egzersizleri arasındaki dinlenme periyotlarının aktif ve pasif veya bisiklet ya da koşu egzersizi olarak uygulanmasında PDY'nin farklılaşabileceği görülmektedir. Yapılan bir çalışmada bisiklet ergometresinde 5 x 6 s tekrarlı sprint protokolü 24 s pasif dinlenmeler ile uygulanmış ve PDY kadınlarda %8.46, erkeklerde

%9.86 olarak bulunmuştur (23). Bu çalışmada kullanılan dinlenme süreleri çalışmamızda kullanılan dinlenme sürelerine (30 s ve daha kısa) benzerdir, ancak hareket profili ve tekrar sayısı gibi faktörler açısından çalışmamızdan farklıdır. Bu farklılıklara rağmen PDY açısından çalışmamızda yer alan özellikle BRS-15 (%8.7), STD-30 (%7.1) ve BRS-30 (%9.3) protokolüne oldukça benzer sonuçlara sahiptir. Diğer taraftan, yapılan bir çalışmada pasif toparlanmanın aktif toparlanmaya göre PDY açısından daha etkili bir strateji olduğu bulunmuştur (237). Bu çalışmada bisiklet ergometresinde 6 x 4 s sprintler, 21 saniyelik dinlenme aralıklarıyla uygulanmıştır. Dinlenme sürelerinin pasif olarak kullanıldığı durumda ortalama hızın daha yüksek, PDY'nin daha düşük olduğu bulunmuştur (237). Bu açıdan bakıldığında çalışmamızda sprintler arasındaki dinlenmeler pasif olarak uygulanmıştır, ancak dinlenme süresinin çok kısa olduğu durumlarda kişinin bir sprinti takiben bitiş çizgisinden sonra aniden yavaşlaması, durması ve tekrar yerini alması gerektiği için dinlenme süresinin büyük bir bölümünü aktif olarak geçirmektedir. Bisiklet egzersizlerinde bu durum görülmediği için kısa dinlenme sürelerinin uygulandığı durumlardaki performans düşüşü, bisiklet ve koşu egzersizlerinin uygulanış biçiminden dolayı farklılık gösterebilir.

Yapılan çalışmalar tekrarlı sprint egzersizlerinde toplam süreyi etkileyen temel değişkenin dinlenme süresi olduğunu göstermektedir (1, 13, 24, 88). Toplam mesafenin 600 m olduğu tekrarlı sprint protokollerini içeren iki çalışmada (1, 88) kısa dinlenme aralığının sprint sürelerinde anlamlı derecede artışlara (dolayısıyla performans düşüşlerine) yol açtığı bulunmuştur. Sprintler arasındaki toparlanmanın kısa olduğu durumlarda PCr depolarının yeterince depo edilememesi ve H⁺ iyonlarının birikmesi gibi yorgunluk faktörleri nedeniyle yüksek performansın sürdürülmesi mümkün olmaz (13, 14, 18). Bizim çalışmamızda BRS-15 protokolü STD-15 protokolüne göre; BRS-30 protokolü ise STD-30 protokolüne göre daha kısa dinlenme süresine sahiptir. Elde edilen bulgular toplam mesafe, tek sprint mesafesi ve tekrar sayısı değişkenlerinin eşit olmasına rağmen dinlenme süresinin daha kısa olduğu bireysel toparlanmalı protokollerde (BRS-15 ve BRS-30) en yavaş sprint süresinin standart toparlanmalı protokollerden (STD-15 ve STD-30) daha yüksek olduğunu göstermektedir. Bu sebeple çalışmamızın sonuçları dinlenme süresinin hem PDY hem

de en yavaş sprint süresi değişkenlerinde etkili bir faktör olduğunu ortaya koymaktadır.

Yorgunluk, tekrarlı sprint protokollerinde toplam ya da ortalama sprint süresinin uzamasına sebep olan başlıca fizyolojik faktör olmakla birlikte, ivmelenme ise benzer etkiye sahip olan başlıca mekanik faktördür. Başka bir deyişle daha çok ivmelenme gerektiren protokollerde TES daha uzundur. Toplam mesafe (150 m) ve dinlenme süresi (25 s) değişkenlerinin sabit tutulduğu tekrarlı sprint egzersizlerinde 100° ve 180° yön değiştirme içeren protokollerde TES, doğrusal protokole göre daha yüksek olduğu bulunmuştur (53). Bizim çalışmamız hem kısa dinlenme sürelerinin hem de daha fazla ivmelenmenin TES'i arttırması açısından adı geçen çalışmaları desteklemektedir (Şekil 4.5, Şekil 4.6. ve Tablo 4.2.).

5.3. Enerji Sistemlerinin Katkısı

Fiziksel bir aktivitenin gerçekleştirilebilmesi için gerekli tüm enerji talebi biyolojik sistemlerin çeşitli orandaki katkıları ile karşılanmaktadır. Aerobik (oksidatif) sistem, laktik (anaerobik glikoliz) sistem ve alaktik (ATP-CP) sistem, uygulanan egzersizin çeşitli bileşenlerine göre farklı oranlarda katkı sağlamaktadır (28, 45, 50, 229). Spor branşlarındaki çeşitli aktiviteler için gerekli enerji talebi ya da bu aktivitelerde performans ve enerji metabolizması arasındaki ilişki egzersiz fizyolojisinin temelini oluşturan konular arasında yer almaktadır. Egzersizde enerji sistemlerinin katkısının belirlenmesi ile ilgili çok farklı yöntemsel yaklaşımlar mevcuttur. İlk kullanılan yöntemlerden birisi kas biyopsisinden yapılan kimyasal analizleri içermektedir. Bu sebeple birçok çalışma 20-30 yıl önceki kas biyopsisi ile yapılmış olan çalışmaları referans almaktadır (36-40). Kas biyopsisinin uygulamadaki zorluğu, tıbbi uzmanlık gerektirmesi ve sadece alınan kastaki lokal bir bölgeye ait bilgi vermesi gibi faktörlere rağmen uzunca bir süre üç farklı enerji sistemini ayırt edebilen tek yöntem olarak kullanılmıştır. Daha sonraki yıllarda aerobik ve anaerobik enerji sistemlerinin katkısı bir indirekt kalorimetrik yöntem olan maksimal birikmiş oksijen açığı (Accumulated Oxygen Deficit, AOD) ile belirlenmeye çalışılmıştır. Bu yöntemin pratik kullanım değeri yüksek olmakla beraber, anaerobik enerji sisteminin alaktik ve laktik bileşenlerini birbirinden ayıramamaktadır. Örneğin birikmiş oksijen açığı metodu ile 200, 400, 800 ve 1500 m koşularında aerobik ve anaerobik enerji

sistemlerinin katkısının belirlendiği bir çalışmada aerobik enerji sisteminin katkısı sırasıyla %23, %43, %66 ve %84 olarak belirlenmiş, ancak alaktik ya da laktik anaerobik enerji sistemlerinin spesifik katkısının ne olduğu hesaplanamamıştır (97).

Diğer taraftan son birkaç yıldır karmaşık bazı matematiksel modeller içeren, oksijen tüketimi, kan laktat değeri ve vücut ağırlığı gibi fiziksel ve fizyolojik verileri kullanarak enerji sistemlerinin katkısını ayırt edebilen alternatif bir yöntemin kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır (45, 56, 72, 79, 80). Bu yöntemde aerobik sistemin katkısı klasik oksijen tüketimi yoluyla indirekt olarak hesaplanabilmektedir (69). Laktik sistemin katkısını hesaplamak için “vücut ağırlığı kilogramı başına her 1 mmol.L⁻¹ değeri için 3 ml oksijen tüketimi” denkleğinden yararlanılmaktadır (74). Alaktik sistemin katkısı için ESFOT kinetiğinin hızlı ve yavaş bölümlerini ayırt edebilen bir mono- ya da bi-eksponensiyal (üstel) model oluşturulmaktadır (26). Bu model ile ESFOT kinetiğinin hızlı safhasını açıklayan eğriden yola çıkılarak alaktik sistemin katkısı hesaplanmaktadır. Enerji sistemlerinin katkısında indirekt hesaplamaların referans yöntemi olan kas biyopsisi fizyolojik olarak detaylı bilgiler sunarken uygulamada oldukça güçlükler barındırmaktadır. Bu yöntem ile yapılan çalışmalarda egzersizden hemen sonra şeklinde sunulan bulgular, egzersiz sonlandıktan yaklaşık 10 s sonra alınan örneklere dayalıdır (36-40). Toparlanmanın hızlı fazı sırasında 10. ve 30. saniyelerde alınan örneklerden yola çıkarak 20 saniyelik toparlanma süresince PCr depolarının yeniden sentezlenme oranının yüksek olması (38), ilk 10 saniye gibi kısa bir süre içerisinde önemli ölçüde veri kaybı olduğunun bir göstergesidir. Bunun yanında AOD yöntemi laktat değerlerine ihtiyaç duymadığı için uygulamada bir avantaj sağlarken, alaktik ve laktik katkıyı birbirinden ayıramadığı için büyük bir dezavantaja sahiptir. Enerji sistemlerinin katkısını tespit etmek için kullanılan en yaygın üç farklı yöntemin uygulamada farklılıkları olsa da sonuçları büyük ölçüde benzerdir.

Oksijen tüketimi ve laktat değerlerini temel alarak enerji sistemlerini ayırt eden yöntemi (oksijen-laktat) kullanan çalışmaların sonuçları (66, 78, 219) kas biyopsisi yöntemi ile yapılan çalışmalarla (36-40, 42, 43, 75) büyük oranda tutarlılık göstermektedir. Bunun yanında oksijen-laktat yöntemi ile birikmiş oksijen açığı yöntemini karşılaştıran bir çalışmada da enerji sistemlerinin katkısı açısından bir fark olmadığı gösterilmiştir (56). Çalışmamızda günümüz itibariyle üç farklı enerji

sistemini ayrı ayrı hesaplayabilen tek indirekt yöntem olarak kabul edilen bu yöntem tercih edilmiştir. Aynı rotayı uygulayan elit ve rekreasyonel kaya tırmanıcılarda yapılan çalışmada alaktik, laktik ve aerobik sistemin anlamlı derecede farklı olması (elit sporcular için sırasıyla %41.1, %17.5 ve %41.5; rekreasyonel sporcular için sırasıyla %34.0; %26.3 ve %39.7) tercih ettiğimiz bu yöntemin farklı antrenman seviyesinin neden olduğu metabolik değişimleri enerji sistemlerinin katılımı seviyesinde ayırt ettiğini gösterir (81). Ek olarak bisiklet egzersizi (66, 78), yüzme (62, 238), koşu (26, 50, 56, 228) ve judo (63) gibi egzersiz türlerini içeren bazı çalışmalarda da bu yöntem kullanılarak enerji sistemlerinin katkısının hesaplanmış olması çalışmamızda tercih ettiğimiz bu yöntemin, farklı branşlarda ve farklı egzersiz türlerinde enerji sistemlerinin katkısını ayırt etmek için kullanıldığını ortaya koymaktadır.

Toplam mesafesi aynı olan tekrarlı sprint protokollerinde TEH'in tekrar sayısı fazla ve toparlanma süresi uzun olan protokolde (STD-15) diğer protokollerden %53-80 oranında ve anlamlı derecede yüksek olması, toparlanma döneminde oksijen tüketim süresinin toplam enerji maliyetinde önemli bir faktör olduğunu göstermektedir. Bireysel toparlanmalı protokollerle karşılaştırıldığında standart toparlanmalı protokollerde, özellikle de STD-15'de, dinlenme süreleri yüklenme sürelerine göre daha uzun (STD-15 için 1:~12 yüklenme:dinlenme oranı, STD-30 için 1:~7 yüklenme:dinlenme oranı) olduğu için toplam egzersiz süresi (STD-15 % 95-167 daha fazla) anlamlı derecede daha yüksektir (Tablo 4.2.). Tekrarlı sprint protokollerinde ESFOT_{hızlı} fazında ve dinlenme aralığındaki VO₂ kinetiği de etkili olmakla beraber (Tablo 4.4.), O₂ talebinin özellikle STD-15 protokolünde diğer protokollerden anlamlı derecede yüksek olması TEH üzerinde toplam egzersiz süresinin belirleyici olduğunu desteklemektedir.

Diğer taraftan enerji maliyeti relatif olarak değerlendirildiğinde (kJ.dk⁻¹), bir başka deyişle TES'e göre düzeltildiğinde tekrarlı sprint protokollerinin enerji profili önemli ölçüde değişmiştir (Tablo 4.4.). Birim zamanda harcanan enerji güç çıktısı olarak tanımlandığı için (1 kJ.dk⁻¹ = 16.7 Watt) en yüksek enerji maliyetine sahip olan STD-15 protokolü diğer protokollerden anlamlı derecede daha düşük güç çıktısına (enerji harcama hızına) sahiptir (Tablo 4.4.). Genel olarak değerlendirildiğinde toplam

mesafe sabit tutulduğunda sprint mesafesi ve tekrar sayısı farklı olsa dahi yüklenmeye göre dinlenme süresi kısa olan bireysel dinlenmeli protokollerin güç çıktısı (yani enerji harcaması) standart dinlenmeli protokollerden yüksektir. Bu bulgu yüklenme dinlenme oranı 1:5 şeklinde düzenlenen tekrarlı sprint protokollerinin daha uzun dinlenme süresi içeren protokollere göre daha yüksek bir fizyolojik strese neden olduğunu gösterir. Tekrarlı sprint protokollerine verilen KAH, LA ve AZD yanıtları da bu bulguyu kısmen desteklemektedir. Panissa ve ark. (56) fiziksel olarak aktif erkeklerde VO_{2maks} 'a karşılık gelen koşu hızında 1 dakika dinlenmeli 10 x 1 dakika (1:1 yüklenme:dinlenme oranı) yüksek şiddetli koşu egzersizlerinin dinlenme aralıklarında ortalama $2.3 L.dk^{-1}$, ESFOT'un hızlı safhasında ise $2.9 L VO_2$ rapor etmişlerdir. Egzersiz protokolü (uzun koşu mesafesi ve uzun dinlenme aralığı) bizim çalışmamızdan farklı olmakla beraber enerji harcaması ve VO_2 için aynı yöntemi uyguladıkları çalışmalarında dinlenme aralıklarındaki VO_2 kinetiği benzer ancak ESFOT'un hızlı safhasındaki VO_2 'nin güç çıktısı düşük protokolden yüksek, güç çıktısı yüksek protokollerden düşük olması (Tablo 4.4.) kısa toparlanma süreli ve kısa mesafeli tekrarlı sprint egzersizlerinde enerji metabolizmasının farklı olduğunu göstermektedir.

Toplam egzersiz süresi 20 dakika olan aynı çalışmada enerji maliyeti ortalama 1368 kJ olarak hesaplanmıştır (Enerji harcama hızı $\sim 70 kJ.dk^{-1}$) (65). Benzer şekilde bu çalışmada kullanılan yöntemi kullanan Latzel ve ark. (228), 8-10 saniye dinlenme aralıklı koşma, yön değiştirme ve sıçrama gibi egzersizler içeren 20 ardışık efordan oluşan yaklaşık 10 dakika süreli bir basketbol simülasyon testinde toplam enerji harcamasını 761 kJ olarak hesaplamışlardır. Kullandığımız protokollerden farklı bir tasarıma sahip olan çalışma, TES açısından STD-15 protokolü; tekrar sayısı-dinlenme aralığı bakımından BRS-15 protokolü ile benzerlik göstermekle beraber, güç çıktısı (enerji harcama hızı) dikkate alındığında en düşük güç çıktısına sahip olan çok tekrarlı ve kısa mesafeli ancak uzun dinlenme aralıklı (STD-15) tekrarlı sprint protokolünden daha düşüktür. Adı geçen iki güncel çalışmada (56, 228), enerji harcama profilini belirlemede bizim çalışmamız ile aynı yöntemin kullanılmış olması önemlidir. Bu çalışmaların her ikisi de sprint egzersizi içermemesine rağmen, tekrarlı egzersizler sırasındaki enerji talebi ve bu talebin karşılanmasına ilişkin önemli katkılar sunmaktadır. Bu çalışmada ve adı geçen çalışmalarda elde edilen bulgular, farklı

egzersiz türleri ve aktivite profillerinde muhtemelen değişik kas gruplarında farklı kasılma tipleri gerçekleştiği için metabolik gereksinimlerin ve/veya enerji üretme hızının değiştiğini göstermektedir (239). Bunun yanında mevcut bulgular ile bu çalışmadan elde edilen bulgular toplam iş yükü (mesafesi) aynı ancak sprint mesafesi, tekrar sayısı ve toparlanma süresi farklı olan egzersizlerde enerji maliyetinin egzersizin süresine; enerji harcama hızının ise tekrar sayısından çok toparlanma süresine bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. Ancak bizim çalışmamız tekrarlı sprintler için kritik bir metabolik unsur olarak kabul edilen alaktik ve laktik sistemlerin geliştirilmesi için yeni alternatifler sunmaktadır.

Sabit bir ortalama hızda aralıksız yapılan egzersizlerle karşılaştırıldığında ardışık olarak uygulanan kısa süreli ve yüksek şiddetli aktivitelerin enerji metabolizmaları arasında önemli farklar vardır. Enerji sistemlerinin katkısını hesaplayan ve bizim çalışmamıza benzer tekrarlı koşu protokolleri kullanan çalışma sayısı oldukça sınırlıdır. Bisiklet, yüzme ve koşu egzersizleri enerji sistemlerinin katkısını hesaplamak için en sık tercih edilen egzersizleri oluşturmaktadır. Genel olarak 30 s süreli tek bir maksimal bisiklet egzersizi içeren protokoller, uygulamada sağladığı kolaylıklar nedeniyle sıkça tercih edilmiş ve enerji sistemlerinin katkıları belirlenmiştir (36, 38, 40, 45, 66, 78). Adı geçen çalışmalarda enerji sistemlerinin katkısının egzersizin şiddetine ve süresine, egzersizin tipine, tekrar sayısına ve aktifleşen kas kitlesine göre önemli ölçüde değişkenlik gösterdiği saptanmıştır (36, 38, 40, 42, 45, 65, 66, 69, 78, 153, 206). Örneğin bu çalışmada 1:5 yüklenme:dinlenme oranı uygulanan BRS-15 ve BRS-30 tekrarlı sprint protokollerinde alaktik, laktik ve aerobik enerji sistemlerinin katkısı, 100 s dinlenme süresi içeren 8-12 tekrarlı 20 saniyelik maksimal koşu egzersizlerinde (1:5 yüklenme/dinlenme oranı) rapor edilenden farklıdır. Bu bulgular yüklenme dinlenme oranı benzer olsa dahi tekrarlı sprint protokollerinin içeriğinin enerji sistemlerinin katkısında önemli rol oynadığını göstermektedir.

Bu çalışmada toplam mesafesi sabit tutulan ancak sprint mesafesi, tekrar sayısı ve toparlanma süresi açısından farklı içerikte uygulanan tekrarlı sprint egzersizleri sırasında aktif kaslarda enerji metabolizmasının alaktik bileşeni benzer, ancak laktik ve aerobik bileşenlerinin önemli ölçüde değiştiği saptanmıştır (Tablo 4.5). Hem

toparlanma zamanları standart, ancak farklı sprint mesafesi ve tekrar sayısı içeren tekrarlı sprint egzersizlerinde (STD-15 ve STD-30) hem de toparlanma zamanları farklı, ancak aynı sprint mesafesi ve tekrar sayısı (STD-15 – BRS-15 veya STD-30 – BRS-30) içeren tekrarlı sprint egzersizlerinde alaktik enerjinin toplam enerji harcaması içerisindeki yüzdesi benzerdir. Tekrarlı sprint egzersizlerinde uygulanan dinlenmeler genellikle 30 s ve daha kısa sürelidir ve bu sürelerde ATP-PCr depolarının tamamen yenilenmesinin mümkün olmadığı bilinmektedir (36, 37, 40, 48, 78). Yüksek şiddetli bir egzersiz sonrasında ATP-PCr depolarının aerobik kapasiteye bağlı olarak 3-5 dakikada yenilediği (37) göz önüne alınırsa alaktik katkının sabit olması eksik toparlanma durumunda (~ 15 – 30 s) fosfojenlerin yıkım/yeniden sentez döngüsünün sınırlı miktarda gerçekleştiğini gösterir. Bu bulgu aynı zamanda dinlenme aralıklarında ve ESFOT'un hızlı fazında hesaplanan ATP-PCr'nin yeniden depo edilmesinin dinlenme süresi, sprint mesafesi ve tekrar sayısından bağımsız olarak sınırlı miktarda gerçekleştiği şeklinde bir sonuca ulaşırsa da alaktik sistemin toparlanma döneminde birim zamandaki enerji döngüsü ($\text{kJ}\cdot\text{dk}^{-1}$) anlamlı derecede farklıdır (Tablo 4.5). Toparlanma döneminde birim zamandaki enerji döngüsü alaktik sisteminin ortalama gücü (ATP-PCr sentez hızı) olarak değerlendirildiğinde genel olarak bireysel toparlanmalı tekrarlı sprint egzersizleri (BRS-15 ve BRS-30) sonrasında alaktik sistemin katkısı, standart toparlanmalı tekrarlı sprint egzersizlerinden (STD-15 ve STD-30) anlamlı derecede yüksektir. Bu bulgu, ATP-PCr'nin toparlanmanın erken döneminde (~ 15 s) en yüksek hızda yenilediğini; toparlanma süresi uzadıkça (30 s) O_2 tüketimindeki düşüşe bağlı olarak sentez hızının azaldığını göstermektedir. Elde edilen bulgular sprint mesafesi, tekrar sayısı ve toparlanma süresi farklı olan tekrarlı sprint egzersizlerinde alaktik sistemin toplam enerji harcaması içerisindeki katkısının sabit ancak toparlanma dinamiğinin farklı olduğu şeklinde yorumlanabilir.

Alaktik sistemin aksine sprint mesafesi, tekrar sayısı ve toparlanma süresinin alaktik sisteminin toplam enerji harcamasına hem mutlak hem de relatif (%) katkısını önemli ölçüde değiştirdiği gözlenmiştir. Diğer protokollerle karşılaştırıldığında BRS-30 protokolünde anaerobik metabolizma anlamlı derecede daha yüksek, aerobik metabolizma ise daha düşüktür (Tablo 4.5). Bu bulgu uzun mesafeli ancak kısa toparlanma süreli tekrarlı sprint egzersizlerinin anaerobik metabolizmayı en üst

düzye uyardığını göstermektedir. Bunun yanında sprint mesafesi kısa ve tekrar sayısı fazla ancak toparlanma süresi çok kısa olan tekrarlı sprint egzersizinde (BRS-15) laktik enerji sisteminin katkısının aynı mesafe ve tekrar sayısında ancak daha uzun toparlanma süresi içeren tekrarlı sprint egzersizinden (STD-15) yüksek olması tekrarlı sprint egzersizleri sonrasında toparlanma süresinin laktik sistemin katkısında önemli rol oynadığını gösterir. BRS-30 tekrarlı sprint egzersizinde laktik enerji sisteminin standart toparlanmalı aynı egzersizden (STD-30) daha yüksek olması da toparlanma süresinin laktik enerji sisteminin katkısı üzerine etkisini desteklemektedir. Birkaç saniye süren tek bir yüksek şiddetli egzersizde ATP - PCr depoları önemli ölçüde azalmakla beraber, egzersizin süresi uzadığında veya tekrarlı yapıldığında enerji sağlamak için laktik sistem önem kazanır (36, 38, 40). Belli mesafelerde maksimal yüklenmeler içeren protokollerin kısa dinlenme aralıklarıyla tekrarlı bir şekilde uygulanması anaerobik katkının toplam egzersiz içerisindeki payını arttırdığı için avantaj sağlamaktadır. Örneğin Duffield ve ark. (68), 1500 m (yaklaşık 4.5 dk) ve 3000 m (yaklaşık 10 dk) mesafelerdeki anaerobik enerji sistemlerinin katkısını sırasıyla %19 ve %7 olarak raporlamıştır. Bizim çalışmamızda yer alan STD-15 (yaklaşık 10 dk), BRS-15 (yaklaşık 5 dk), STD-30 (yaklaşık 5 dk) ve BRS-30 (yaklaşık 4 dk) protokollerinde anaerobik sistemlerinin katkısı (alaktik + laktik sistem) sırasıyla % 53, %57, %59 ve %60 olarak bulunmuştur (Tablo 4.5). Böylece bu çalışmanın bulguları benzer süreli sabit egzersizlere göre tekrarlı sprint protokollerinde anaerobik enerji sistemlerinin katkısının daha yüksek olduğunu göstermektedir.

Farklı tekrarlı sprint protokollerinde anaerobik glikolitik aktivitenin katkısına bağlantılı olarak aerobik enerji sisteminin katkısının da anlamlı derecede değişkenlik gösterdiği saptanmıştır (Tablo 4.5). Laktik enerji sisteminin katkısı arttıkça aerobik enerji sisteminin katkısı azalmıştır. En yüksek anaerobik glikolitik katkının ölçüldüğü BRS-30 tekrarlı sprint protokolünde aerobik enerji sisteminin katkısı en düşük düzeydedir. Genel olarak değerlendirildiğinde uzun sprint mesafesi ve az tekrar içeren tekrarlı sprint egzersizlerinde (STD-30 ve BRS-30) aerobik katkının, kısa mesafe çok tekrar içeren tekrarlı sprint protokollerinden (STD-15 ve BRS-15) anlamlı derecede düşük olması aerobik enerji sisteminin katkısında tekrarlı sprint sonrasındaki toparlanma süresinden çok sprint mesafesinin belirleyici olduğunu göstermektedir. Tekrarlı sprint uygulamalarında performansın korunabilmesi için alaktik sistemin

katkısının maksimum, aerobik sistemin katkısının ise minimum olması gerektiği belirtilmektedir (9, 13, 18, 41). Bununla beraber bu çalışmada olduğu gibi eksik toparlanma durumunda alaktik sistemin toplam enerji harcaması içerisindeki payının sabit olduğu düşünüldüğünde tekrarlı sprint protokollerinin içeriğinde yapılacak değişiklikler ile laktik veya aerobik sistem baskın hale getirilebilir. Böylece bu çalışmada enerji sistemlerinin katkıları ile ilgili elde edilen bulgular, spor dalının oyun yapısı içerisinde yer alan fizyolojik ve kinematik parametreleri temsil eden farklı kombinasyonlarda tekrarlı sprint protokollerinin, özellikle takım sporlarının antrenman programlarında hedeflenen enerji sistemlerinin geliştirilmesine olanak sağlayan uygulamalar olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

Tekrarlı sprint egzersizleri takım ve raket sporlarının hareket profilini yansıtması, sahada kolay uygulanabilir ve geçerli olması ve performansı artıracak birçok fizyolojik adaptasyon sağlaması nedeniyle etkili bir test ve antrenman yöntemi olarak kabul edilmektedir. Ancak dinlenme süresi, tekrar sayısı, tek ve toplam sprint mesafesi, sprint türü ve yön değiştirme gibi çok zengin bir içerik sunan çok bileşenli yapısı gereği altın standart olarak kabul edilen bir protokol mevcut değildir. Bu nedenle tekrarlı sprint egzersizleri geliştirilmesi hedeflenen özelliğe, spor branşına özgü hareket kalıplarına ve çalışma grubunun özelliklerine göre en uygun tasarımların kurgulanabileceği çok sayıda seçenek içermektedir.

Dinlenme aralıklarında ATP-PCr depolarının yenilenmesi için aerobik sistemin çok önemli bir rolü olduğunun bilinmesine rağmen, yapılan araştırmalar VO_{2maks} ve tekrarlı sprint becerisi arasında yüksek ilişkilerin bulunmadığını göstermektedir. Diğer taraftan, kas biyopsisi ile yapılan çalışmalar tekrarlı sprintler sırasında daha düşük PCr depoları ile toparlanmaya başlamanın aynı sürede daha fazla PCr yenilenmesini sağladığını ortaya koymaktadır. Bir başka deyişle PCr'nin kullanım hızı yeniden sentezi için bir uyarı oluşturmaktadır. Dolayısıyla gelişmiş bir aerobik kapasitenin avantajı ancak mevcut ATP ve PCr depoları yüksek hızda kullanıldığında ortaya çıkmaktadır. Böylece bir sporcu ATP - PCr depolarını yüksek hızda parçalayabilecek bir fizyolojik profile sahip olması durumunda daha fazla toparlanma talebi oluşturacak ve gelişmiş bir aerobik sistem daha verimli çalışacağı için önemli bir avantaj sağlayacaktır. Bunun yanında anaerobik glikoliz yoluyla enerji üretiminin artması bir taraftan tekrarlı sprintler sırasında daha yüksek bir performans çıktısı sağlarken diğer taraftan kasta daha hızlı laktat üretilmesine neden olacağı için performansın sürdürülmesini engelleyecektir. Dolayısıyla gelişmiş bir aerobik sistem aynı zamanda anaerobik glikoliz yoluyla daha fazla ATP üretimi sağlayan bir sporcuda özellikle aktif toparlanma sırasında laktatın daha hızlı uzaklaştırılmasını sağladığı için de avantaj olacaktır. Dolayısıyla üç sistemin bu karmaşık ve etkileşimli yapısı

dikkate alınarak belirlenen hedefler doğrultusunda tekrarlı sprint egzersizleri tasarlanmalıdır.

Tekrarlı sprint egzersizlerinin temel prensibi sprintler sırasındaki yüksek enerji talebine ek olarak kısa dinlenme aralıklarında da (≤ 30) metabolik talebin yüksek seviyelerde kalmasını sağlamaktır. Şiddetli bir egzersiz sonrasında ATP ve PCr depolarının yarısının yaklaşık 20-30 s içinde, kalan yarısının sonraki 2.5 dakika içinde yenilediği göz önüne alındığında, en verimli toparlanma periyodunun değerlendirilerek tekrarlı yüklenmelerin uygulanması önemli fizyolojik adaptasyonların geliştirilmesi için zengin seçenekler sunabilir. Böylece çalışmamızda kullandığımız 30 s ve daha kısa olan bireysel toparlanmalı dinlenme aralıkları, enerji metabolizmasına ilişkin önemli bilgiler sunmaktadır. Örneğin bulgularımız 30 s dinlenme aralığı için 15 m mesafelik bir tekrarlı sprint uygulamasının ısınma nitelikli, buna karşılık bireysel protokollerin (BRS-15 ve BRS-30) ise enerji metabolizması açısından oldukça yüksek düzeyde bir fizyolojik stres oluşturduğunu göstermektedir. Bu çalışmada kullanılan protokoller arasında BRS-15 ve BRS-30 protokollerinde alaktik sistem katkısı daha yüksektir. Ayrıca, BRS-30 protokolünde laktik sistem katkısı da diğer protokollerden daha yüksektir. Böylece bu çalışmanın sonuçları alaktik sistemi geliştirmek için bireysel protokollerin her ikisini, hem alaktik hem de laktik sistemi aynı anda geliştirmek için ise BRS-30 protokolünü kullanmanın uygun olduğunu göstermektedir.

Çalışmamızın bulgularına göre toplam mesafesi 300 m olan tekrarlı sprint protokollerinde 10 veya 20 tekrar sayısının bireysel 1:5 yüklenme:dinlenme oranı veya standart 30 s dinlenme aralığı ile uygulanması durumunda performans değişkenleri, fizyolojik yanıtlar ve enerji sistemlerinin katkısı aşağıdaki şekilde sonuçlanmıştır (= p değerinin 0.05'ten büyük olduğunu gösterirken; < p değerinin 0.05'ten küçük olduğunu ifade eder).

Toplam sprint süresi: (STD-30 = BRS-30) < STD-15 < BRS-15

Toplam egzersiz süresi: BRS-30 < BRS-15 < STD-30 < STD-15

Performans düşüş yüzdesi: STD-15 < (BRS-15 = STD-30 = BRS-30)

Ortalama KAH: (STD-30) = (STD-15) < (BRS-15 = BRS-30)

Maksimum KAH: STD-15 = BRS-15 = STD-30 = BRS-30

Maksimum laktat değeri: STD-15 < (BRS-15 = STD-30 = BRS-30)

Algılanan zorluk der.: STD-15 < ([STD-30 < BRS-15] = BRS-30)

Toplam Enerji Harcaması: ([BRS-30 < BRS-15] = STD-30) < STD-15

Relatif Enerji Harcaması: STD-15 < STD-30 < (BRS-15 = BRS-30)

Toplam O₂ talebi: ([BRS-30 < BRS-15] = STD-30) < STD-15

ESFOT_{hızlı} VO₂: STD-30 = BRS-30 = (STD-15 < BRS-15)

Dinlenme aralığı VO₂: STD-15 < (BRS-30 = [STD-30 < BRS-15])

Aerobik katkı (%): (STD-30 = [BRS-30 < BRS-15]) < STD-15

Laktik katkı (%): STD-15 < (BRS-15 = STD-30) < BRS-30

Alaktik katkı (%): BRS-30 = STD-30 = BRS-15 = STD-15

Aerobik sistem enerji üretim hızı (kJ.dk⁻¹): (STD-30 = STD-15) < BRS-15 = BRS-30

Laktik sistem enerji üretim hızı (kJ.dk⁻¹): STD-15 < (STD-30 = BRS-15) < BRS-30

Alaktik sistem enerji üretim hızı (kJ.dk⁻¹): STD-15 < STD-30 < (BRS-15 = BRS-30)

6.2. Öneriler

Saha ve laboratuvar testi olarak tekrarlı sprint protokolleri takım ve raket sporlarında hem performansı değerlendirmek hem de antrenman uygulaması şeklinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Saha testi olarak tekrarlı sprint uygulamaları tekrarlanan sprint mesafesi, tekrar sayısı, sprint türü (yön değiştirmeli veya değiştirmesiz), toparlanma süresi ve tipi (aktif veya pasif) gibi içeriklere göre spor dalının hareket profiline uygun bir şekilde yapılandırılacak çok zengin protokol seçenekleri sunmaktadır. Bu çalışmada toplam mesafesi aynı ancak sprint mesafesi, tekrar sayısı ve toparlanma süresi farklı yön değiştirmesiz sprint koşuları fizyolojik, performans ve enerji sistemlerinin katkısı açısından değerlendirilmiştir. Gelecekte bir saha testi olarak aşağıda belirtilen uygulamalar araştırılabilir:

1. Tekrarlı sprint egzersizleri geçerli bir test yöntemi olmasının yanı sıra etkili bir antrenman yöntemi olarak da sıkça tercih edilmektedir. Bu sebeple çalışmamızda kullanılan protokollerin antrenman yöntemi olarak kullanılmasının enerji sistemlerinin

katkısı, performans bileşenleri ve fizyolojik yanıtları nasıl değiştirdiği etkisi incelenebilir.

2. Aerobik kapasitenin tekrarlı sprintler sırasında özellikle toparlanma dönemlerinde önemli bir rol oynadığı kabul edilmektedir. Bu sebeple çalışmamızda kullanılan protokollerden elde edilen enerji sistemlerinin katkısı, performans bileşenleri ve fizyolojik yanıtların aerobik kapasite ile ilişkisi incelenebilir.

3. Ergojenik yardımcıların (kreatin yükleme, kafein, vb.) atletik performansı arttırmada önemli bir faktör olduğu bilinmektedir. Bu sebeple çalışmamızda kullanılan protokoller ergojenik yardımcıları kullanılarak uygulandığında enerji sistemlerinin katkısı, performans bileşenleri ve fizyolojik yanıtları nasıl değiştirdiği incelenebilir.

4. Kan laktat konsantrasyonunun artması tekrarlı sprintler sırasındaki en önemli fizyolojik yanıtlardan birisidir. Bu sebeple tekrarlar arasındaki laktat yanıtlarının enerji sistemlerinin katkısı, performans bileşenleri ve fizyolojik yanıtlar ile ilişkisi incelenebilir.

5. Tekrarlı sprintler sırasında yön değiştirme, takım ve raket sporlarının hareket profili içerisinde önemli yer tutmaktadır. Toplam mesafesi aynı ancak farklı sayıda yön değiştirme (negatif ve pozitif ivmelenme) içeren 20 x (7.5 + 7.5 m) tek yön değiştirmeli, 10 x (15 + 15 m) tek yön değiştirmeli ve 10 x (10 + 10 + 10 m) çift yön değiştirmeli tekrarlı sprint uygulamalarında performans bileşenleri, enerji sistemlerinin katkısı, fizyolojik yanıtlar ve kas hasarı incelenebilir.

6. Menstrual döngünün sportif performans üzerine etkisi çok açık olmamakla beraber döngünün farklı fazlarının egzersiz metabolizmasını önemli ölçüde değiştirdiği; midfoliküler fazla karşılaştırıldığında luteal fazda yağ asidi metabolizmasının baskın olduğu bilinmektedir. Böylece tekrarlı sprint uygulamalarında menstrual döngünün enerji sistemlerinin katkısı, fizyolojik yanıtlar, performans bileşenleri ve kas hasarı üzerine etkisi incelenebilir.

7. Sirkadiyen ritmin performans çıktılarını değiştirdiği bilinmektedir. Genel olarak öğleden önce ile karşılaştırıldığında öğleden sonra sergilenen güç çıktıları daha yüksektir. Bu çalışmada kullanılan protokollerde sirkadiyen ritmin performans bileşenleri, enerji sistemlerinin katkısı, fizyolojik yanıtlar ve kas hasarına üzerine etkisi incelenebilir.

7. KAYNAKLAR

1. Little T, Williams AG. Effects of sprint duration and exercise: rest ratio on repeated sprint performance and physiological responses in professional soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2007;21(2):646.
2. 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.
3. 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.
4. Mohr M, Krstrup P, Bangsbo J. Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *Journal of Sports Sciences*. 2003;21(7):519-28.
5. Dawson B. Repeated-sprint ability: where are we? *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2012;7(3):285-9.
6. Varley MC, Gabbett T, Aughey RJ. Activity profiles of professional soccer, rugby league and Australian football match play. *Journal of Sports Sciences*. 2014;32(20):1858-66.
7. Ingebrigtsen J, Dalen T, Hjelde GH, Drust B, Wisløff U. Acceleration and sprint profiles of a professional elite football team in match play. *European Journal of Sport Science*. 2015;15(2):101-10.
8. 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.
9. 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.
10. Di Salvo V, Baron R, González-Haro C, Gormasz C, Pigozzi F, Bachl N. Sprinting analysis of elite soccer players during European Champions League and UEFA Cup matches. *Journal of Sports Sciences*. 2010;28(14):1489-94.
11. 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.
12. 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*. 2018.
13. Girard O, Mendez-Villanueva A, Bishop D. Repeated-sprint ability—Part I. *Sports medicine*. 2011;41(8):673-94.
14. Bishop D, Girard O, Mendez-Villanueva A. Repeated-sprint ability—Part II. *Sports Medicine*. 2011;41(9):741-56.
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. 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.
17. 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.
18. Turner AN, Stewart PF. Repeat sprint ability. *Strength & Conditioning Journal*. 2013;35(1):37-41.

19. Silva VGd, Rocha MRCC, Gonçalves AC, Morandi RF, Oliveira ECd, Pimenta EM. Repeated-sprint ability determined in game in elite male Brazilian football players. *International Journal of Performance Analysis in Sport*. 2018;18(6):906-16.
20. 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.
21. 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.
22. 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.
23. Soydan TA, Hazir T, Ozkan A, Kin-Isler A. Gender differences in repeated sprint ability. *Isokinetics and Exercise Science*. 2018;26(1):73-80.
24. Bishop DJ. Fatigue during intermittent-sprint exercise. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*. 2012;39(9):836-41.
25. 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.
26. 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.
27. Powers SK, Howley ET. *Exercise physiology: Theory and application to fitness and performance*: McGraw-Hill New York, NY; 2007.
28. Wells GD, Selvadurai H, Tein I. Bioenergetic provision of energy for muscular activity. *Paediatric Respiratory Reviews*. 2009;10(3):83-90.
29. Farrell PA, Joyner MJ, Caiozzo V. *ACSM's advanced exercise physiology*: Wolters Kluwer Health Adis (ESP); 2011.
30. McArdle WD, Katch FI, Katch VL. *Essentials of exercise physiology*: Lippincott Williams & Wilkins; 2006.
31. Beneke R, Böning D. The limits of human performance. *Essays in Biochemistry*. 2008;44:11-26.
32. McArdle WD, Katch FI, Katch VL. *Exercise physiology: nutrition, energy, and human performance*: Lippincott Williams & Wilkins; 2010.
33. Coelho DB, Coelho LG, Mortimer LA, Condessa LA, Ferreira-Junior JB, Borba DA, et al. Energy expenditure estimation during official soccer matches. *Brazilian Journal of Biomotricity*. 2010;4(4):246-55.
34. Osgnach C, Poser S, Bernardini R, Rinaldo R, Di Prampero PE. Energy cost and metabolic power in elite soccer: a new match analysis approach. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2010;42(1):170-8.
35. Rampinini E, Bosio A, Ferraresi I, Petruolo A, Morelli A, Sassi A. Match-related fatigue in soccer players. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2011;43(11):2161-70.
36. Gaitanos GC, Williams C, Boobis LH, Brooks S. Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. *Journal of Applied Physiology*. 1993;75(2):712-9.
37. 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.
38. 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.

39. 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.
40. 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.
41. Spencer M, Bishop D, Dawson B, Goodman C. Physiological and metabolic responses of repeated-sprint activities. *Sports Medicine*. 2005;35(12):1025-44.
42. Serresse O, Lortie G, Bouchard C, Boulay M. Estimation of the contribution of the various energy systems during maximal work of short duration. *International Journal of Sports Medicine*. 1988;9(06):456-60.
43. Smith J, Hill D. Contribution of energy systems during a Wingate power test. *British Journal of Sports Medicine*. 1991;25(4):196-9.
44. Yang G, Leicht AS, Lago C, Gómez M-Á. Key team physical and technical performance indicators indicative of team quality in the soccer Chinese super league. *Research in Sports Medicine*. 2018;26(2):158-67.
45. 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.
46. Gastin PB. Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sports Medicine*. 2001;31(10):725-41.
47. Spencer M. Physiological and Metabolic Responses of Repeated-Sprint Bouts: Specific to Field-Based Team. 2006.
48. Balsom P, Seger J, Sjödín B, Ekblom B. Maximal-intensity intermittent exercise: effect of recovery duration. *International Journal of Sports Medicine*. 1992;13(07):528-33.
49. Padulo J, Tabben M, Ardigo 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.
50. 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.
51. Bravo DF, Impellizzeri FM, Rampinini E, Castagna C, Bishop D, Wisloff U. Sprint vs. interval training in football. *International Journal of Sports Medicine*. 2008;29(08):668-74.
52. 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.
53. Göveli H. Farklı Tekrarlı Sprint Testlerinin Performans ve Fizyolojik Yanıtlarının İncelenmesi. [Yüksek lisans tezi]. Ankara: Hacettepe Üniversitesi; 2019.
54. Rampinini E, Sassi A, Morelli A, Mazzoni S, Fanchini M, Coutts AJ. Repeated-sprint ability in professional and amateur soccer players. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. 2009;34(6):1048-54.
55. Artioli GG, Bertuzzi RC, Roschel H, Mendes SH, Lancha Jr AH, Franchini E. Determining the contribution of the energy systems during exercise. *Journal of Visualized Experiments: JoVE*. 2012(61).
56. 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.
57. Kraemer WJ, Fleck SJ, Deschenes MR. Exercise physiology: integrating theory and application: Lippincott Williams & Wilkins; 2011.

58. Ergen E, Demirel H, Güner R, Turnagöl H, Başoğlu S, Zergeroğlu A, et al. Editör Ergen E. Egzersiz fizyolojisi ders kitabı. Ankara: Nobel Yayın Dağıtım. 2002;3-19.
59. Yurdalan S. Klinik Egzersiz Fizyolojisi. 2018.
60. Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 1982.
61. 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.
62. 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.
63. 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.
64. 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.
65. 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(4-5):388-92.
66. 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.
67. Kenney WL, Wilmore JH, Costill DL. *Physiology of sport and exercise: Human Kinetics*; 2015.
68. 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.
69. 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.
70. 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.
71. 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.
72. 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.
73. 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. 2018.
74. 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.
75. 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.
76. 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.

77. Zagatto A, Redkva P, Loures J, Filho CK, Franco V, Kaminagakura E, et al. Anaerobic contribution during maximal anaerobic running test: correlation with maximal accumulated oxygen deficit. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2011;21(6):e222-e30.
78. Franchini E, Takito MY, Kiss MY, Dal'molin MAP. Performance and energy systems contributions during upper-body sprint interval exercise. *Journal of Exercise Rehabilitation*. 2016;12(6):535.
79. Lopes-Silva JP, Da Silva Santos JF, Artioli GG, Loturco I, Abbiss C, Franchini E. Sodium bicarbonate ingestion increases glycolytic contribution and improves performance during simulated taekwondo combat. *European Journal of Sport Science*. 2018;18(3):431-40.
80. Newell ML, Wallis GA, Hunter AM, Tipton KD, Galloway SD. Metabolic responses to carbohydrate ingestion during exercise: Associations between carbohydrate dose and endurance performance. *Nutrients*. 2018;10(1):37.
81. Bertuzzi RCdM, Franchini E, Kokubun E, Kiss MY, Dal'molin MAP. Energy system contributions in indoor rock climbing. *European Journal of Applied Physiology*. 2007;101(3):293-300.
82. 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;93(3):990-9.
83. Bishop D. Warm up I. *Sports Medicine*. 2003;33(6):439-54.
84. Hultman E, Bergström J, Anderson NM. Breakdown and resynthesis of phosphorylcreatine and adenosine triphosphate in connection with muscular work in man. *Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation*. 1967;19(1):56-66.
85. Bishop D. Warm up II. *Sports Medicine*. 2003;33(7):483-98.
86. 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):2748-50.
87. 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;277(5):E890-E900.
88. Balsom P, Seger J, Sjödin B, Ekblom B. Maximal-intensity intermittent exercise: effect of recovery duration. *International Journal of Sports Medicine*. 1992;13:528-.
89. Svedahl K, MacIntosh BR. Anaerobic threshold: the concept and methods of measurement. *Canadian Journal of Applied Physiology*. 2003;28(2):299-323.
90. Noakes T. Physiological models to understand exercise fatigue and the adaptations that predict or enhance athletic performance. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports: Review Article*. 2000;10(3):123-45.
91. Brooks GA. The science and translation of lactate shuttle theory. *Cell Metabolism*. 2018;27(4):757-85.
92. Bonen A. Lactate transporters (MCT proteins) in heart and skeletal muscles. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2000;32(4):778-89.
93. Parkhouse W, McKenzie D. Possible contribution of skeletal muscle buffers to enhanced anaerobic performance: a brief review. *Medicine and science in sports and exercise*. 1984;16(4):328-38.
94. Juel C. Current aspects of lactate exchange: lactate/H⁺ transport in human skeletal muscle. *European Journal of Applied Physiology*. 2001;86(1):12-6.
95. Tomlin DL, Wenger HA. The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise. *Sports Medicine*. 2001;31(1):1-11.
96. Delp MD. Differential effects of training on the control of skeletal muscle perfusion. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 1998;30(3):361-74.

97. Spencer MR, Gastin PB. Energy system contribution during 200-to 1500-m running in highly trained athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2001;33(1):157-62.
98. Xu F, Rhodes EC. Oxygen uptake kinetics during exercise. *Sports Medicine*. 1999;27(5):313-27.
99. Beneke R. Anaerobic threshold, individual anaerobic threshold, and maximal lactate steady state in rowing. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 1995;27(6):863-7.
100. Hoppeler H, Weibel E. Limits for oxygen and substrate transport in mammals. *Journal of Experimental Biology*. 1998;201(8):1051-64.
101. Toledo FG, Dubé JJ, Goodpaster BH, Stefanovic-Racic M, Coen PM, DeLany JP. Mitochondrial respiration is associated with lower energy expenditure and lower aerobic capacity in African American women. *Obesity*. 2018;26(5):903-9.
102. Ozmen T, Gunes GY, Ucar I, Dogan H, Gafuroglu TU. Effect of respiratory muscle training on pulmonary function and aerobic endurance in soccer players. *J Sports Med Phys Fitness*. 2017;57(5):507-13.
103. MacArthur DG, North KN. Genes and human elite athletic performance. *Human Genetics*. 2005;116(5):331-9.
104. Gielen S, Hambrecht R. Effects of exercise training on vascular function and myocardial perfusion. *Cardiology Clinics*. 2001;19(3):357-68.
105. 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.
106. Cox KL. Exercise and blood pressure: applying findings from the laboratory to the community setting. *Clinical and Experimental Pharmacology & Physiology*. 2006;33(9):868-71.
107. Szygula Z. Erythrocytic system under the influence of physical exercise and training. *Sports Medicine*. 1990;10(3):181-97.
108. Taylor AW, Bachman L. The effects of endurance training on muscle fibre types and enzyme activities. *Canadian Journal of Applied Physiology*. 1999;24(1):41-53.
109. Hoppeler H, Flueck M. Plasticity of skeletal muscle mitochondria: structure and function. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2003;35(1):95-104.
110. Jeukendrup A. Modulation of carbohydrate and fat utilization by diet, exercise and environment. Portland Press Ltd.; 2003.
111. 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.
112. Stølen T, Chamari K, Castagna C, Wisløff U. Physiology of soccer. *Sports Medicine*. 2005;35(6):501-36.
113. Aslan A, Acikada C, Güvenç A, Gören H, Hazir T, Özkara A. Metabolic demands of match performance in young soccer players. *Journal of Sports Science & Medicine*. 2012;11(1):170.
114. Nikolaidis P, Dellal A, Torres-Luque G, Ingebrigtsen J. Determinants of acceleration and maximum speed phase of repeated sprint ability in soccer players: A cross-sectional study. *Science & Sports*. 2015;30(1):e7-e16.
115. Romagnoli M, Sanchis-Gomar F, Alis R, Risso-Ballester J, Bosio A, Graziani RL, et al. Changes in muscle damage, inflammation, and fatigue-related parameters in young elite soccer players after a match. *J Sports Med Phys Fitness*. 2016;56(10):1198-205.
116. Owen AL, Lago-Peñas C, Dunlop G, Mehdi R, Chtara M, Dellal A. Seasonal body composition variation amongst elite european professional soccer players: an approach of talent identification. *Journal of Human Kinetics*. 2018;62(1):177-84.

117. Jemni M, Prince MS, Baker JS. Assessing cardiorespiratory fitness of soccer players: is test specificity the issue?—a review. *Sports Medicine-open*. 2018;4(1):28.
118. Bangsbo J, Mohr M, Krstrup P. Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *Journal of Sports Sciences*. 2006;24(07):665-74.
119. Kahraman AS. Süper lig futbol takımlarının performans verilerine göre lig sıralamasının incelenmesi: Başkent Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü. [Yüksek lisans tezi] Ankara: Başkent Üniversitesi; 2019.
120. Windt J, Ekstrand J, Khan KM, McCall A, Zumbo BD. Does player unavailability affect football teams' match physical outputs? A two-season study of the UEFA champions league. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2018;21(5):525-32.
121. Bangsbo J, Iaia FM, Krstrup P. Metabolic response and fatigue in soccer. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2007;2(2):111-27.
122. Ndlec M, McCall A, Carling C, Legall F, Berthoin S, Dupont G. Recovery in Soccer: Part I-post-match fatigue and time course of recovery. Vol. 42. *Sports Medicine*. 2012:997-1015.
123. 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.
124. Reilly T, Drust B, Clarke N. Muscle fatigue during football match-play. *Sports Medicine*. 2008;38(5):357-67.
125. Barnes C, Archer D, Hogg B, Bush M, Bradley P. The evolution of physical and technical performance parameters in the English Premier League. *International Journal of Sports Medicine*. 2014;35(13):1095-100.
126. Silva JR, Magalhães J, Ascensão A, Seabra AF, Rebelo AN. Training status and match activity of professional soccer players throughout a season. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2013;27(1):20-30.
127. Lloyd RS, Oliver JL, Myer GD, Croix MDS, Read PJ. Seasonal variation in neuromuscular control in young male soccer players. *Physical Therapy in Sport*. 2020;42:33-9.
128. Kaspis C, Thompson PD. The effects of physical activity on serum C-reactive protein and inflammatory markers: a systematic review. *Journal of the American College of Cardiology*. 2005;45(10):1563-9.
129. Guex K, Millet GP. Conceptual framework for strengthening exercises to prevent hamstring strains. *Sports Medicine*. 2013;43(12):1207-15.
130. Marshall PW, Lovell R, Jeppesen GK, Andersen K, Siegler JC. Hamstring muscle fatigue and central motor output during a simulated soccer match. *PloS One*. 2014;9(7):e102753.
131. Hoff J, Almåsbaek B. The effects of maximum strength training on throwing velocity and muscle strength in female team-handball players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 1995;9(4):255-8.
132. Komi P. *Strength and power in sport*: John Wiley & Sons; 2008.
133. Hazir T, Mahir ÖF, Açıkada C. Genç futbolcularda çeviklik ile vücut kompozisyonu ve anaerobik güç arasındaki ilişki. *Spor Bilimleri Dergisi*. 2010;21(4):146-53.
134. Sapp RM, Aronhalt L, Landers-Ramos RQ, Spangenburg EE, Wang MQ, Hagberg JM. Laboratory and Match Physiological Data From an Elite Male Collegiate Soccer Athlete. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2017;31(10):2645-51.
135. Ali A, Farrally M. Recording soccer players' heart rates during matches. *Journal of Sports Sciences*. 1991;9(2):183-9.
136. Strøyer J, Hansen L, Klausen K. Physiological profile and activity pattern of young soccer players during match play. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2004;36(1):168-74.

137. Torreño N, Munguía-Izquierdo D, Coutts A, de Villarreal ES, Asian-Clemente J, Suarez-Arrones L. Relationship between external and internal loads of professional soccer players during full matches in official games using global positioning systems and heart-rate technology. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2016;11(7):940-6.
138. Åstrand P-O, Rodahl K, Dahl HA, Strømme SB. *Textbook of work physiology: physiological bases of exercise: Human Kinetics*; 2003.
139. Verschuren O, Maltais DB, Takken T. The 220-age equation does not predict maximum heart rate in children and adolescents. *Developmental Medicine & Child Neurology*. 2011;53(9):861-4.
140. Robergs RA, Landwehr R. The surprising history of the "HRmax= 220-age" equation. *Journal of Exercise Physiology Online*. 2002;5(2):1-10.
141. Osgnach C, di Prampero PE. *Metabolic Power and Oxygen Consumption in Soccer: Facts and Theories. Biomechanics of Training and Testing: Springer*; 2018. p. 299-314.
142. Osgnach C, Paolini E, Roberti V, Vettor M, Di Prampero P. *Metabolic Power and Oxygen Consumption in Team Sports: A Brief Response to Buchheit et al. International Journal of Sports Medicine*. 2016;37(01):77-81.
143. Alghannam A. *Physiology of soccer: The role of nutrition in performance. J Nov Physiother S*. 2013;3(2).
144. Saeidi A, Khodamoradi A. *Physical and Physiological Demand of Soccer Player Based on Scientific Research. International Journal of Applied Science in Physical Education*. 2017;1(2):1-12.
145. Treeraj A, Kamutsri T, Lawsirirat C, Intiraporn C. *Matching Physiological Demand of Competitive Soccer Matches with Comprehensive Complex Training for Soccer Players. Journal of Exercise Physiology Online*. 2016;19(6).
146. Russell M, Sparkes W, Northeast J, Cook C, Bracken RM, Kilduff LP. *Relationships between match activities and peak power output and Creatine Kinase responses to professional reserve team soccer match-play. Human Movement Science*. 2016;45:96-101.
147. Silva JR, Ascensão A, Marques F, Seabra A, Rebelo A, Magalhães J. *Neuromuscular function, hormonal and redox status and muscle damage of professional soccer players after a high-level competitive match. European Journal of Applied Physiology*. 2013;113(9):2193-201.
148. Magalhães J, Rebelo A, Oliveira E, Silva JR, Marques F, Ascensão A. *Impact of Loughborough Intermittent Shuttle Test versus soccer match on physiological, biochemical and neuromuscular parameters. European Journal of Applied Physiology*. 2010;108(1):39.
149. Clarkson PM, Sayers SP. *Etiology of exercise-induced muscle damage. Canadian Journal of Applied Physiology*. 1999;24(3):234-48.
150. Friden J, Lieber RL. *Eccentric exercise-induced injuries to contractile and cytoskeletal muscle fibre components. Acta Physiologica Scandinavica*. 2001;171(3):321-6.
151. Petersen AMW, Pedersen BK. *The anti-inflammatory effect of exercise. Journal of Applied Physiology*. 2005;98(4):1154-62.
152. Gleeson M, Bishop NC, Stensel DJ, Lindley MR, Mastana SS, Nimmo MA. *The anti-inflammatory effects of exercise: mechanisms and implications for the prevention and treatment of disease. Nature Reviews Immunology*. 2011;11(9):607-15.
153. Belcastro AN, Arthur GD, Albisser TA, Raj DA. *Heart, liver, and skeletal muscle myeloperoxidase activity during exercise. Journal of Applied Physiology*. 1996;80(4):1331-5.
154. Drust B, Reilly T, Cable N. *Physiological responses to laboratory-based soccer-specific intermittent and continuous exercise. Journal of Sports Sciences*. 2000;18(11):885-92.
155. Gleeson M, Bishop NC. *Special feature for the Olympics: effects of exercise on the immune system: modification of immune responses to exercise by carbohydrate, glutamine and anti-oxidant supplements. Immunology and Cell Biology*. 2000;78(5):554-61.

156. Draganidis D, Chatzinikolaou A, Avloniti A, Barbero-Álvarez JC, Mohr M, Malliou P, et al. Recovery kinetics of knee flexor and extensor strength after a football match. *PloS One*. 2015;10(6).
157. Hader K, Mendez-Villanueva A, Palazzi D, Ahmaidi S, Buchheit M. Metabolic power requirement of change of direction speed in young soccer players: not all is what it seems. *PloS One*. 2016;11(3).
158. Brownstein CG, Dent JP, Parker P, Hicks KM, Howatson G, Goodall S, et al. Etiology and recovery of neuromuscular fatigue following competitive soccer match-play. *Frontiers in Physiology*. 2017;8:831.
159. Gathercole RJ, Sporer BC, Stellingwerff T, Sleivert GG. Comparison of the capacity of different jump and sprint field tests to detect neuromuscular fatigue. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2015;29(9):2522-31.
160. Thorlund JB, Aagaard P, Madsen K. Rapid muscle force capacity changes after soccer match play. *International Journal of Sports Medicine*. 2009;30(04):273-8.
161. Hader K, Mendez-Villanueva A, Ahmaidi S, Williams BK, Buchheit M. Changes of direction during high-intensity intermittent runs: neuromuscular and metabolic responses. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*. 2014;6(1):2.
162. Smaros G, editor Energy usage during a football match. *Proceedings of the 1st International Congress on Sports Medicine Applied to Football*; 1980: Rome: D. Guanello.
163. Gregson W, Drust B, Atkinson G, Salvo V. Match-to-match variability of high-speed activities in premier league soccer. *International Journal of Sports Medicine*. 2010;31(04):237-42.
164. Di Salvo V, Gregson W, Atkinson G, Tordoff P, Drust B. Analysis of high intensity activity in Premier League soccer. *International Journal of Sports Medicine*. 2009;30(03):205-12.
165. Rienzi E, Drust B, Reilly T, Carter JEL, Martin A. Investigation of anthropometric and work-rate profiles of elite South American international soccer players. *Journal of Sports Medicine and physical fitness*. 2000;40(2):162.
166. Van Gool D, Van Gerven D, Boutmans J. The physiological load imposed on soccer players during real match-play. *Science and Football*. 1988;1:51-9.
167. Bangsbo J, Nørregaard L, Thorsoe F. Activity profile of competition soccer. *Canadian Journal of Sport Sciences= Journal Canadien des Sciences du Sport*. 1991;16(2):110-6.
168. López-Fernández J, Gallardo L, Fernández-Luna Á, Villacañas V, García-Unanue J, Sánchez-Sánchez J. Pitch size and game surface in different small-sided games. global indicators, activity profile, and acceleration of female soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2019;33(3):831-8.
169. Altmann S, Ringhof S, Neumann R, Woll A, Rumpf MC. Validity and reliability of speed tests used in soccer: A systematic review. *PloS One*. 2019;14(8).
170. Wallace JL, Norton KI. Evolution of World Cup soccer final games 1966–2010: Game structure, speed and play patterns. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2014;17(2):223-8.
171. Dellal A, Chamari K, Wong dP, Ahmaidi S, Keller D, Barros R, et al. Comparison of physical and technical performance in European soccer match-play: FA Premier League and La Liga. *European Journal of Sport Science*. 2011;11(1):51-9.
172. Haugen TA, Tønnessen E, Hisdal J, Seiler S. The role and development of sprinting speed in soccer. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2014;9(3):432-41.
173. Faude O, Koch T, Meyer T. Straight sprinting is the most frequent action in goal situations in professional football. *Journal of Sports Sciences*. 2012;30(7):625-31.
174. Jeffreys I, Huggins S, Davies N. Delivering a gamespeed-focused speed and agility development program in an English Premier League soccer academy. *Strength & Conditioning Journal*. 2018;40(3):23-32.

175. Salleh OM, Nadzalan AM, Mohamad NI, Rahmat A, Mustafa MA, Tan K, editors. Repeated Sprint Ability with Inclusion of Changing Direction among Veteran Soccer Players. *Journal of Physics: Conference Series*; 2018: IOP Publishing.
176. Huijgen BC, Elferink-Gemser MT, Lemmink KA, Visscher C. Multidimensional performance characteristics in selected and deselected talented soccer players. *European Journal of Sport Science*. 2014;14(1):2-10.
177. Kutlu M, Yapıcı H, Yoncalık O, Çelik S. Comparison of a new test for agility and skill in soccer with other agility tests. *Journal of Human Kinetics*. 2012;33(1):143-50.
178. Russell M, Benton D, Kingsley M. Reliability and construct validity of soccer skills tests that measure passing, shooting, and dribbling. *Journal of Sports Sciences*. 2010;28(13):1399-408.
179. Keiner M, Sander A, Wirth K, Schmidtbleicher D. Long-term strength training effects on change-of-direction sprint performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2014;28(1):223-31.
180. Carling C, Le Gall F, Dupont G. Analysis of repeated high-intensity running performance in professional soccer. *Journal of Sports Sciences*. 2012;30(4):325-36.
181. Caetano FG, de Oliveira MJ, Marche AL, Nakamura FY, Cunha SA, Moura FA. Characterization of the sprint and repeated-sprint sequences performed by professional futsal players, according to playing position, during official matches. *Journal of Applied Biomechanics*. 2015;31(6):423-9.
182. Schuth G, Carr G, Barnes C, Carling C, Bradley P. Positional interchanges influence the physical and technical match performance variables of elite soccer players. *Journal of Sports Sciences*. 2016;34(6):501-8.
183. Bompa TO, Buzzichelli C. *Periodization-: theory and methodology of training*: Human Kinetics; 2018.
184. 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.
185. Buchheit M, Cormie P, Abbiss C, Ahmaidi S, Nosaka KK, Laursen P. Muscle deoxygenation during repeated sprint running: Effect of active vs. passive recovery. *International Journal of Sports Medicine*. 2009;30(06):418-25.
186. Holmyard D, Cheatham M, Lakomy H, Williams C. Effect of recovery duration on performance during multiple treadmill sprints. *Science and Football*. 1988:134-42.
187. Perroni F, Pintus A, Frandino M, Guidetti L, Baldari C. Relationship Among Repeated Sprint Ability, Chronological Age, and Puberty in Young Soccer Players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2018;32(2):364-71.
188. Baldi M, Da Silva JF, Buzzachera CF, Castagna C, Guglielmo L. Repeated sprint ability in soccer players: associations with physiological and neuromuscular factors. *J Sports Med Phys Fitness*. 2016.
189. Gatterer H, Menz V, Untersteiner C, Klarod K, Burtcher M. Physiological factors associated with declining repeated sprint performance in hypoxia. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2019;33(1):211-6.
190. 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*. 2018:1-24.
191. Brechbuhl C, Brocherie F, Millet GP, Schmitt L. Effects of Repeated-Sprint Training in Hypoxia on Tennis-Specific Performance in Well-Trained Players. *Sports Medicine international open*. 2018;2(05):E123-E32.
192. Dawson B, Ackland T, Roberts C. A new fitness test for team and individual sports. *Sports Coach*. 1984;8(2):42-4.

193. 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.
194. Madueno MC, Dalbo VJ, Guy JH, Giamarelos KE, Spiteri T, Scanlan AT. Passive Recovery Reduces Fatigue During Repeated-Change-of-Direction Sprints in Basketball Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2018:1-23.
195. 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).
196. Yılmaz A, Soydan TA, Özkan A, İşler AK. Farklı toparlanma sürelerinin tekrarlı sprint performansına etkisi. *Spor Bilimleri Dergisi*. 2016;27(2):59-68.
197. 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.
198. Glaister M, Stone MH, Stewart AM, Hughes MG, Moir GL. The influence of endurance training on multiple sprint cycling performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2007;21(2):606.
199. Schneiker K, Bishop D, Burnett A. The effects of high-intensity interval training vs intermittent sprint training on physiological capacities important for team sport performance. *Science and nutrition in exercise and sport Melbourne (VIC): Exerc Sport Sci Aust*. 2008.
200. Negra Y, Chaabene H, Fernandez-Fernandez J, Sammoud S, Bouguezzi R, Prieske O, et al. Short-Term Plyometric Jump Training Improves Repeated-Sprint Ability in Prepubertal Male Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2018.
201. Torres-Torrel 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.
202. Collins BW, Pearcey GE, Buckle NC, Power KE, Button DC. Neuromuscular fatigue during repeated sprint exercise: underlying physiology and methodological considerations. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. 2018;43(11):1166-75.
203. Aziz A, Chia M, Teh K. The relationship between maximal oxygen uptake and repeated sprint performance indices in field hockey and soccer players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 2000;40(3):195.
204. Lowery MR, Tomkinson GR, Peterson BJ, Fitzgerald JS. The relationship between ventilatory threshold and repeated-sprint ability in competitive male ice hockey players. *Journal of Exercise Science & Fitness*. 2018;16(1):32-6.
205. Baldi M, Silva J, Buzachera C, Castagna C, Guglielmo L. Repeated sprint ability in soccer players: associations with physiological and neuromuscular factors. *J Sports Med Phys Fitness*. 2017;57(1-2):26-32.
206. Boobis L, Williams C, Wootton S, editors. *Human-muscle metabolism during brief maximal exercise*. *Journal of Physiology-London*; 1983: Cambridge Univ Press 40 West 20th Street, New York, Ny 10011-4211.
207. Hultman E, Sjöholm H. Energy metabolism and contraction force of human skeletal muscle in situ during electrical stimulation. *The Journal of Physiology*. 1983;345(1):525-32.
208. Hazir T, Kose MG, Kin-Isler A. The validity of running anaerobic sprint test to assess anaerobic power in young soccer players. *Isokinetics and Exercise Science*. 2018;26(3):201-9.
209. Crowther FA, Sealey RM, Crowe MJ, Edwards AM, Halson SL. Effects of Various Recovery Strategies on Repeated Bouts of Simulated Intermittent Activity. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2018.

210. Edge J, Bishop D, Goodman C, Dawson B. Effects of high-and moderate-intensity training on metabolism and repeated sprints. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2005;37(11):1975-82.
211. Helgerud J, Engen LC, Wisløff U, Hoff J. Aerobic endurance training improves soccer performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2001;33(11):1925-31.
212. Hill-Haas S, Bishop D, Dawson B, Goodman C, Edge J. Effects of rest interval during high-repetition resistance training on strength, aerobic fitness, and repeated-sprint ability. *Journal of Sports Sciences*. 2007;25(6):619-28.
213. Edge J, Hill-Haas S, Goodman C, Bishop D. Effects of resistance training on H⁺ regulation, buffer capacity, and repeated sprints. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2006;38(11):2004-11.
214. MacDougall J, Ward G, Sale D, Sutton J. Biochemical adaptation of human skeletal muscle to heavy resistance training and immobilization. *Journal of Applied Physiology*. 1977;43(4):700-3.
215. Walklate BM, O'Brien BJ, Paton CD, Young W. Supplementing regular training with short-duration sprint-agility training leads to a substantial increase in repeated sprint-agility performance with national level badminton players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2009;23(5):1477-81.
216. Buchheit M, Laursen P, Kuhnle J, Ruch D, Renaud C, Ahmaidi S. Game-based training in young elite handball players. *International Journal of Sports Medicine*. 2009;30(04):251-8.
217. Hill-Haas SV, Coutts A, Rowsell G, Dawson B. Generic versus small-sided game training in soccer. *International Journal of Sports Medicine*. 2009;30(09):636-42.
218. Rodriguez RF, Townsend NE, Aughey RJ, Billaut F. Influence of averaging method on muscle deoxygenation interpretation during repeated-sprint exercise. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2018.
219. 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.
220. Mohr M, Krstrup P, Nielsen JJ, Nybo L, Rasmussen MK, Juel C, et al. Effect of two different intense training regimens on skeletal muscle ion transport proteins and fatigue development. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*. 2007;292(4):R1594-R602.
221. Dawson B, Fitzsimons M, Green S, Goodman C, Carey M, Cole K. Changes in performance, muscle metabolites, enzymes and fibre types after short sprint training. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. 1998;78(2):163-9.
222. Kin-Isler A. Time-of-day effects in maximal anaerobic performance and blood lactate concentration during and after a supramaximal exercise. *Isokinetics and Exercise Science*. 2006;14(4):335-40.
223. Racinais S, Connes P, Bishop D, Blonc S, Hue O. Morning versus evening power output and repeated-sprint ability. *Chronobiology International*. 2005;22(6):1029-39.
224. Thompsen AG, Kackley T, Palumbo MA, Faigenbaum AD. Acute effects of different warm-up protocols with and without a weighted vest on jumping performance in athletic women. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2007;21(1):52.
225. Hazır T, İşler AK, Kadioğlu M, Ünver E. Reliability of Performance Outputs and Formulas Related with Fatigue Index in 10 x 20 m Repeated Sprint Test. *Spor Hekimligi Dergisi/Turkish Journal of Sports Medicine*. 2019;54(4).
226. 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.
227. Oliver JL, Armstrong N, Williams CA. Relationship between brief and prolonged repeated sprint ability. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2009;12(1):238-43.

228. 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.
229. Milioni F, de Mello Leite JV, Beneke R, De Poli RAB, Papoti M, Zagatto AM. Table tennis playing styles require specific energy systems demands. *PloS One*. 2018;13(7).
230. Hazır T, Denizli G, Ulupınar S, Özgören N, Eser MC, Dumankaya FB, et al. Postüral Değişimin Dinlenik Metabolik Hız ve Yakıt Kullanımı Üzerine Etkisi. *Spor Hekimliği Dergisi*. 2018;53(4):142-51.
231. Singer W, Opfer-Gehrking TL, Mcphee BR, Hilz MJ, Low PA. Influence of posture on the Valsalva manoeuvre. *Clinical Science*. 2001;100(4):433-40.
232. Richardson JT. Eta squared and partial eta squared as measures of effect size in educational research. *Educational Research Review*. 2011;6(2):135-47.
233. Hopkins W. A scale of magnitudes for effect statistics. *A New View of Statistics [Internet]*. 2002.
234. Özdemir FM, Yılmaz A, Kin İşler A. Genç Futbolcularda Tekrarlı sprint performansının yaşa göre incelenmesi. *Spor Bilimleri Dergisi*. 2014;25(1):1-10.
235. Karlsson J, Saltin B. Oxygen deficit and muscle metabolites in intermittent exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*. 1971;82(1):115-22.
236. Yoshida T, Watari H. Metabolic consequences of repeated exercise in long distance runners. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. 1993;67(3):261-5.
237. Buchheit M, Cormie P, Abbiss C, Ahmaidi S, Nosaka KK, Laursen P. Muscle deoxygenation during repeated sprint running: Effect of active vs. passive recovery. *Int J Sports Med*. 2009;30(6):418-25.
238. 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*. 2018:1-28.
239. Paulus J, Croisier J-L, Kaux J-F, Bury T. Eccentric versus Concentric—Which Is the Most Stressful Cardiovascularly and Metabolically? *Current Sports Medicine Reports*. 2019;18(12):477-89.