



**TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**NORMOBARİK HİPOKSİK KOŞULDA YAPILAN
TEKRARLI SPRINT ANTRENMANININ
NORMOBARİK NORMOKSİK KOŞULDAKİ
TEKRARLI SPRINT YETENEĞİ
ÜZERİNE ETKİLERİ**

Abdulkadir BİROL

**SPOR BİLİMLERİ ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ**

**DANIŞMAN
Doç. Dr. Dicle ARAS**

**ANKARA
2022**

**TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NORMOBARİK HİPOKSİK KOŞULDA YAPILAN
TEKRARLI SPRINT ANTRENMANININ
NORMOBARİK NORMOKSİK KOŞULDAKİ
TEKRARLI SPRINT YETENEĞİ
ÜZERİNE ETKİLERİ**

Abdulkadir BİROL

**SPOR BİLİMLERİ ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ**

**DANIŞMAN
Doç. Dr. Dicle ARAS**

**Bu doktora tezi Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından
(Proje Kodu: 21L0665001) desteklenmiştir.**

**ANKARA
2022**

ETİK BEYAN

Ankara Üniversitesi

Sağlık Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne

Doktora tezi olarak hazırlayıp sunduğum “Normobarik Hipoksik Koşulda Yapılan Tekrarlı Sprint Antrenmanının Normobarik Normoksik Koşuldaki Tekrarlı Sprint Yeteneği Üzerine Etkileri” başlıklı tez; bilimsel ahlak ve değerlere uygun olarak tarafımdan yazılmıştır. Tezimin fikir/hipotezi tümüyle tez danışmanım ve bana aittir. Tezde yer alan deneysel çalışma/araştırma tarafımdan yapılmış olup, tüm cümleler, yorumlar bana aittir. Yukarıda belirtilen hususların doğruluğunu beyan ederim.

Ad-Soyad: Abdulkadir BİROL

Tarih:

İmza :

KABUL VE ONAY

Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü
Spor Bilimleri Anabilim Dalında
Abdulkadir BİROL tarafından hazırlanan “Normobarik Hipoksik Koşulda
Yapılan Tekrarlı Sprint Antrenmanının Normobarik Normoksik Koşuldaki Tekrarlı Sprint
Yeteneği Üzerine Etkileri” adlı tez çalışması, aşağıdaki jüri tarafından Doktora Tezi
olarak OY BİRLİĞİ ile kabul edilmiştir

Tez savunma tarihi: 19.12.2022

İmza
Prof. Dr. Filiz Fatma ÇOLAKOĞLU
Gazi Üniversitesi
Jüri Başkanı

İmza
Prof. Dr. Cengiz AKALAN
Ankara Üniversitesi
ÜYE

İmza
Prof. Dr. Hacı Ahmet PEKEL
Gazi Üniversitesi
ÜYE

İmza
Doç. Dr. Dicle ARAS
Ankara Üniversitesi
ÜYE (Danışman)

İmza
Doç. Dr. Raci KARAYİĞİT
Ankara Üniversitesi
Raportör

Tez hakkında alınan jüri kararı, Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü
Yönetim Kurulu tarafından onaylanmıştır.

İmza
Prof. Dr. Fügen AKTAN
Sağlık Bilimleri Enstitüsü Müdürü

İÇİNDEKİLER

Etik Beyan	ii
Kabul ve Onay	iii
İçindekiler	iv
Önsöz	vi
Simgeler ve Kısaltmalar	vii
Şekiller	viii
Çizelgeler	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Hipoksi ve Hipokside Antrenman Konseptleri	4
1.2. Yüksek İrtifada ya da Hipoksi Maruziyetinde Antrenman Yapmanın Amacı	6
1.3. Hipoksi Maruziyetinde Ortaya Çıkan Değişimler	8
1.4. Hipokside Ortaya Çıkan Bazı Moleküler Değişimler	12
1.5. Hipoksiye Uyumda Etkili Olan Bazı Biyokimyasal Parametreler	13
1.6. Tekrarlı Sprint Yeteneği Antrenmanı	16
1.7. Normobarik Hipokside Tekrarlı Sprint Antrenmanı	17
1.8. Amaç	18
1.9. Problem Cümlesi	19
1.10. Alt Problemler	19
1.11. Araştırma Denenceleri	19
1.12. Sayıtlar	20
1.13. Sınırlılıklar	20
1.14. Araştırmanın Önemi	20
2. GEREÇ VE YÖNTEM	21
2.1. Araştırma Grubu	21
2.2. Çalışma Tasarımı	22
2.3. Çalışma Genel Planı	22
2.4. Veri Toplama Araçları	23
2.4.1. Antropometrik Ölçümler	24
2.4.1.1. Boy Uzunluğu	24
2.4.1.2. Vücut Ağırlığı	24
2.4.2. Tekrarlı Sprint Yeteneği Testi ve Antrenmanı	24
2.4.3. Normobarik Hipoksi Maruziyeti	26
2.4.4. Kalp Hızı Değişkenliği Parametreleri	26
2.4.5. Verilerin İstatistiksel Analizi	27
3. BULGULAR	28
4. TARTIŞMA	39
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	51
ÖZET	55
ABSTRACT	56
KAYNAKLAR	57
EKLER	65

Ek-1 Etik Kurul Formu	65
Ek-2 Bilgilendirilmiş Gönüllü Olur Formu	66
ÖZGEÇMİŞ	69



ÖNSÖZ

Günümüzde yapıları itibarıyla hem dayanıklılık hem de güç ya da kuvvet gerektiren sporlarda elde edilen derecelere bakıldığında fiziksel performans ve fizyolojik kapasite bakımından sporcuların bir insanın yapabileceklerinin üst sınırlarını giderek daha da zorladığı görülmektedir. Bu bağlamda sporcular tüm kategorilerdeki ergojenik yardımcılardan kendi ekonomik imkânları ölçüsünde faydalanabilmekte ya da devletin belli düzeye gelmiş sporculara sağladığı imkânlar ölçüsünde olabildiğince en üst seviyede yararlanarak performanslarını artırmak ve var olan performanslarını korumaya çalışmaktadır. Bu bağlamda, mekanik ergojenik yardımcılar sınıfına giren ve özellikle solunumsal olarak ek fizyolojik stres sağlamaya yarayan yapay kaynaklı hipoksi maruziyeti gibi uygulamaların, olası en küçük faydalı etkisinin araştırılması ve sporcular tarafından uygulanabilecek antrenman protokolleri ve/veya konseptlerinin ortaya çıkarılması çok önemli bir konudur. Bu doktora tezi şok mikro döngüde hipoksida tekrarlı sprint antrenmanının sprint performansı üzerindeki olası kısa süreli etkileri konusunda alanyazına katkı sunmak amacıyla yapılmıştır.

Doktora eğitimim ve çalışma sürecimde benden desteğini esirgemyen danışmanım, değerli hocam sayın Doç. Dr. Dicle ARAS'a, hayatımın her döneminde her daim bana destek olmuş anneme ve babama derin şükranlarımı sunarım.

Bu doktora tezi Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından (Proje Kodu: 21L0665001) desteklenmiştir. Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne de doktora tezi projesine yaptıkları finansal katkıdan dolayı teşekkür ederim.

SİMGELER ve KISALTMALAR

pO ₂	Oksijen parsiyel basıncı
PB	Barometrik basınç
CO ₂	Karbondioksit
FiO ₂	Solunan oksijen fraksiyonu
Hb	Hemoglobin
VO ₂ max	Maksimal oksijen kapasitesi
SpO ₂	Arteriyel oksijen saturasyonu
RSH	Hipoksida tekrarlı sprint antrenmanı
KAH	Kalp atım hızı
KHD	Kalp hızı değişkenliği
AZD	Algılanan zorluk derecesi
MET	Metabolik eşdeğer
S.S.	Standart sapma
Ort.	Ortalama
W	Watt
W/KG	Göreceli watt değeri
S _{dec} %	Sprint azalma yüzdesi
HİP	Hipoksi grubu
PLA	Plasebo Grubu
KON	Kontrol grubu
SDNN	Standard deviation of NN intervals (NN aralıklarının S.S.'si
RMSSD	RR intervalleri ardışık farklar karelerinin ort. karekökü
LFnu	Normalleştirilmiş düşük frekans
HFnu	Normalleştirilmiş yüksek frekans
LF/HF ratio	Düşük frekans ve yüksek frekans oranı

ŞEKİLLER

Şekil 1.1. Çalışmalarda görülen hipoksi konseptleri ve antrenmanları	6
Şekil 1.2. Aerobik kapasiteyi belirleyen etmenler	7
Şekil 1.3. Çoklu sprint koşusu sırasında hipoksinin akut etkileri	10
Şekil 2.1. Çalışma tasarımı	23
Şekil 2.2. Tekrarlı Sprint Antrenman Protokolü	25
Şekil 3.1. Gruplara ait en yüksek rölatif zirve güç değerleri	29
Şekil 3.2. Gruplara ait ortalama rölatif zirve güç değerleri	30
Şekil 3.3. Gruplara ait rölatif zirve güç bakımından $S_{dec\%}$ değerleri	31

ÇİZELGELER

Çizelge 1.1. Solunan O ₂ Fraksiyonu ve irtifa eşdeğerleri	5
Çizelge 1.2. Farklı yüklenme dinlenme sürelerinde farklı hipoksi düzeylerinin karşılaştırıldığı bazı çalışmalar	18
Çizelge 2.1. Gönüllülere ait tanımlayıcı özellikler	22
Çizelge 3.1. Gruplara ait en yüksek mutlak ve rölatif zirve güç değerleri	29
Çizelge 3.2. Gruplara ait 20 sprint ortalama mutlak ve rölatif zirve güç değerleri	30
Çizelge 3.3. Gruplara ait mutlak ve rölatif zirve güç sprint azalma değerleri	31
Çizelge 3.4. Gruplara ait setlere göre mutlak zirve güç sprint azalma değerleri	32
Çizelge 3.5. Gruplara ait setlere göre rölatif zirve güç sprint azalma değerleri	33
Çizelge 3.6. Gruplara ait mutlak ve rölatif zirve güç yorgunluk indeksi değerleri	34
Çizelge 3.7. Gruplara ait TSY öncesi ve set sonu SpO ₂ değerleri	34
Çizelge 3.8. Gruplara ait TSY set sonu AZD değerleri	35
Çizelge 3.9. Gruplara ait Dinlenim KHD değerleri	36
Çizelge 3.10. Gruplara ait TSY sonrası KHD değerleri	37
Çizelge 3.11. Gruplara ait TSY 15 dk sonrası KHD değerleri	38

1. GİRİŞ

Spor müsabakaları, ulusal seviyede yerel takımlar ya da bireysel olarak sporcular arasında olduğu gibi, küresel ölçekte de milli takımlar ya da kulüpler arasında rekabetin oldukça yüksek olduğu bir yapıda gerçekleşebilmektedir. Ulusal müsabakalarda sporcuların başarılı derecelere/sonuçlara ulaşarak kariyerlerini uluslararası müsabakalara taşıması ve uluslararası platformda da başarılı olabilmesi, yaptığı spora özgü ulaştığı atletik performansı koruması ve bunu artırmaya devam ettirebilmesiyle yakından ilişkili olabilmektedir. Sporcuların ulaştığı performansı koruması ya da artırması sağlık durumu, antrenman kalitesi, yeterli beslenme, uyku düzeni, psikolojik durumu gibi etmenlerle yakından ilişkili olduğu gibi, sporcunun yaşadığı ve antrenman yaptığı coğrafyayla da yakından ilişkili olabilmektedir. Özellikle dayanıklılık gerektiren ya da enerji sistemlerinin karmaşık olarak ön plana çıktığı spor-disiplinlerinde, sporcuların yaşamlarını sürdürdükleri ülke ya da şehir (coğrafi bakımdan) hem antrenman hem de müsabaka performansını ciddi ölçüde etkileyebilmektedir. Ulusal yarışmaların farklı yükseltilerdeki şehirlerde yapılabilme imkânı olduğu gibi, uluslararası yarışmalar da farklı yükseltilerdeki ülkelerde/şehirlerde organize edilebilmektedir. Böyle durumlarda hali hazırda yüksek irtifada yaşayanların deniz seviyesinden yüksek irtifaya yeni çıkacak kişilere nispeten daha avantajlı olduğu aşîkardır.

Yükseltide antrenman, ilk olarak 1968 Mexico City Olimpiyat Oyunlarından başlayarak günümüze kadar ilginin giderek arttığı bir konu haline gelmiştir. Söz konusu olimpiyatlarda atletizm sprint ve atlama disiplini sporcularının kırdığı rekorlar ve orta ya da uzun mesafe koşu yarışmalarında elde edilen derecelerin o güne kadarki derecelerin/rekorların oldukça altında olması dikkat çekmiştir (Wilber, 2001). Bunun sonucunda bu konu spor bilimi alanında araştırma yürütenlerin ilgisini çekmeye başlamış ve araştırmacıların bu konudaki artan çalışmalarıyla birlikte yüksek irtifada antrenman sezon hazırlık dönemi ve sezon içi atletik performans artışı sağlamak amacıyla hem bireysel hem de takım sporu yapan sporcular için önemli bir uygulama olarak yaygınlaşmaya başlamıştır (Aughey ve ark., 2013).

İrtifada konaklama ve antrenmanın atletik performansı olumlu yönde etkilemesinden dolayı sporcular sezon hazırlık döneminde ya da belli bir yarışmaya hazırlıkları çerçevesinde irtifada konaklamakta ve antrenman yapmaktadırlar. Bu da sporcuların hazırlıklarını gerçekleştirebilecekleri tesislerin ya da imkânların onlara sağlanabilmesi konusunu ortaya çıkarmaktadır. Ülkemizdeki bu imkânlarla bakıldığı zaman oldukça kısıtlı olduğu görülmektedir. Türkiye’de Kayseri’de Erciyes Yüksek İrtifa Kamp Merkezi (1800 m), Palandöken Dağı eteklerinde (2000-2200 m) Erzurum Yüksek İrtifa Kamp Merkezi, Bursa, Isparta-Davraz, Kocaeli ve Bolu çevresi olmak üzere konaklama ve antrenman yapma imkânı sunan birkaç adet tesis bulunmaktadır. Türkiye’nin geniş yüz ölçümü düşünüldüğünde ülkenin her yerinden bu kamp merkezlerine ulaşım (özellikle sezon içerisinde) zaman ve maliyet açısından zorlayıcıdır.

Son yıllarda bazı ülkelerin doğal çevresel yüksek irtifa kamp merkezleri ve yapay kaynaklı hipoksi antrenmanı yapma imkânı sunan merkezler konusunda ciddi atılımlar yaptığı da bilinmektedir (Epthorp, 2014; Ranasinghe ve ark., 2018). Elit düzeyde sporcular için performanstaki çok küçük artışlar dahi söz konusu sporda hedeflenen başarıyı getirebilmektedir.

Diğer yandan Dünya’da spora katılımın ve spor endüstrisinin gelişmiş olduğu bilinen diğer ülkelere de bakıldığında yüksek irtifa kamp merkezleri sayısının çok fazla olmadığı görülmektedir. Zaman, maliyet ve özel yaşam koşulları bakımından yüksek irtifada konaklamak ve antrenman yapmak her zaman zorlayıcı bir konudur. Dünya’da diğer ülkelerde sporcuların antrenman kampları yaptığı bilinen başlıca yerler; La Paz-Bolivya (3600 m), Iten-Kenya (2300-2400 m), Eldoret-Kenya (2100 m), Addis Ababa-Etiyopya (2400 m), Ifrane-Fas (1820 m), Quito-Ekvador (2740 m), Sierra Nevada-İspanya (2320 m), Kunming-Çin (1860 m), Albuquerque-New Mexico (1600-1650 m), Crans Montana-İsviçre (1500 m), St. Moritz-İsviçre (1822-1850 m), Boulder-Amerika Birleşik Devletleri (1650-1700 m), Colorado Springs-Amerika Birleşik Devletleri (1860 m), Flagstaff Arizona-Amerika Birleşik Devletleri (2100-2150 m), Font-Romeu-Fransa (1800-1850 m) San Luis Potosi-Meksika (1900 m),

Potchefstroom-Güney Afrika (1550 m), Pretoria-Güney Afrika (1750 m), Belmeken-Bulgaristan (2000 m), Bogota-Kolombiya (2640 m) gibi yerlerdedir (<https://www.runnersworld.com/advanced/a20826689/training-at-altitude/> erişim tarihi: 08. Haziran. 2021).

Yukarıda bahsi geçen yerlerde sürekli bir biçimde konaklayanlar için bu hem biyokimyasal hem de performans bakımından deniz seviyesindeki müsabakalarda yerine getirilen performansta iyi bir avantaj sağlanabilmesine katkıda bulunurken, deniz seviyesinde ve deniz seviyesine yakın irtifalarda yaşayan kişiler yükseltide antrenman yapanlara göre dayanıklılık gerektiren spor disiplinlerinde dezavantajlı duruma düşebilmektedir. Sporcuların irtifa merkezlerine sezon içerisinde ya da sezona hazırlık dönemlerinde gitmeleri/konaklamaları zaman açısından olduğu kadar, maddi ve manevi bakımdan da oldukça maliyetli olabilmektedir (Levine, 2006). Bu nedenle doğal ortamda yüksek irtifada konaklama ya da antrenman her zaman herkes için mümkün olmayabilir.

Doğal çevresel koşullarda yüksek irtifa antrenman merkezlerinin kurulması da ciddi maliyetler gerektirdiğinden (Ranasinghe ve ark., 2018), son yıllarda popüler hale gelmeye başlamış olan yapay hipoksik koşullar iyi bir seçenek olarak düşünülebilir. Fiziksel performans yanında yapay kaynaklı hipoksik uygulamaların insanların sağlığını koruma ve geliştirmede de önemli bir rol oynadığı bilinmektedir. Hipoksiye maruziyetin hematolojik, solunumsal, kardiyovasküler, nöral, metabolik hastalıklar (kolesterol, obezite, diyabet vb.) üzerinde de olumlu etkileri bulunmaktadır (Verges ve ark., 2015).

Yukarıdaki söz konusu durumlara ilaveten daha önce Dünya Dopingle Mücadele Ajansı (World Anti-Doping Agency, WADA) tarafından 2006 yılında gündeme getirilmiş olan yapay hipoksik koşullar (Levine, 2006; Lippi ve ark., 2007) günümüzde sporcuların hala kullanması yasaklı olmayan fizyolojik etkisi olan mekanik bir ergojenik yardımcıdır. WADA tarafından sporcuların doping kullanımlarının dolaylı yoldan tespit edilmesini sağlayan sporcu biyolojik pasaportu programı kapsamında kullanılan hematolojik modül için halihazırda hala karıştırıcı

etken olarak tanımlanan hipoksida antrenmanın etkileri bireysel olarak hipoksiye verilen cevaplardan dolayı hala tartışmalıdır (Krumm ve Faiss, 2021). Buna ilaveten özellikle dayanıklılık sporcuları tarafından performans artışı sağlamak amacıyla otolog kan transfüzyonu yönteminin kullanılabildiği bilinmekte olup bu yöntem WADA tarafından yasaklılar listesinde yasaklı bir yöntem olarak tanımlanmıştır (WADA 2022 Prohibited List). Kan transfüzyonu yönteminin kullanılma amacı da kırmızı kan hücrelerinde (RBC) artış sağlayarak O_2 alma, kullanma ve taşıma kapasitesinde ortaya çıkacak artışla birlikte fiziksel performansın deniz seviyesinde daha iyi yerine getirilmesini sağlamaktır (Solheim ve ark., 2019) Bu nedenle yapay kaynaklı ortamda hipoksida antrenmanın etkileri (özellikle kısa süreli etkileri) sporcuları yasaklı olmayan yöntemlere teşvik etmek ve bunun yanında sporcu biyolojik pasaportu programı için hala karıştırıcı etkisi olması bakımından da üzerinde durulması gereken önemli bir konudur.

Yapılan bu çalışmanın amacı, zaman ve maliyet bakımından doğal çevresel hipoksik koşullara göre kullanımı daha kolay olan ve hipoksik koşulu hipoksi jeneratörü kullanılarak inhaler olarak normobarik ortamda sağlanabilen bu yöntemi tekrarlı sprint antrenmanı ile kombine bir biçimde uygulayarak, sprint performansı ve bazı fizyolojik parametreler üzerindeki kısa süreli etkileri hakkında alanyazına yararlı veriler sunmaktır.

1.1. Hipoksi ve Hipoksida Antrenman Konseptleri

Oksijen parsiyel basıncının (pO_2) 40 mmHg'den daha az olması hipoksi olarak değerlendirilir ve barometrik basınç (PB) ve/veya solunan oksijen fraksiyonu ile (FiO_2) belirtilir. Barometrik basıncın azaltılarak sağlandığı hipoksik koşul hipobarik hipoksi, PB'de azalma olmadan solunan O_2 fraksiyonunun azaltılmasıyla sağlanan hipoksik koşula da normobarik hipoksi denmektedir (Jain, 2017).

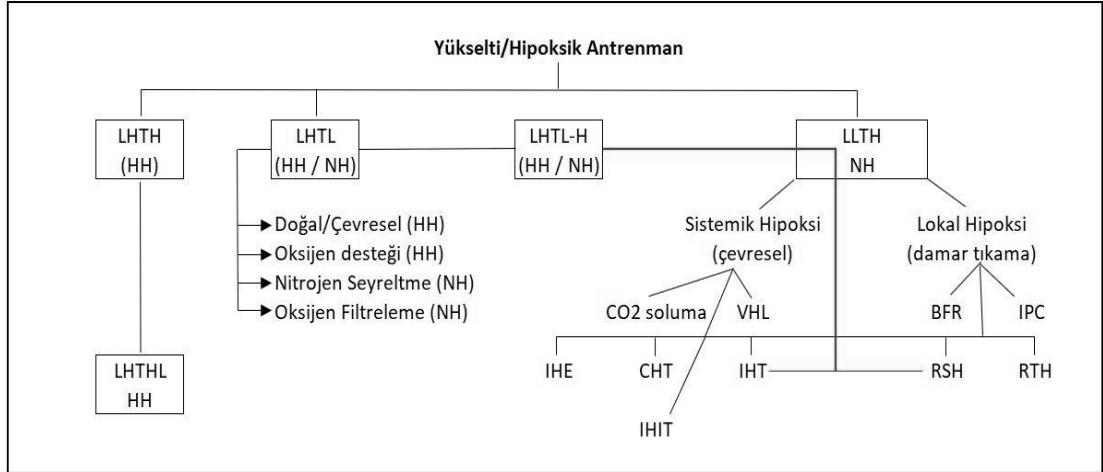
Gelişen teknolojiyle birlikte hipoksik koşul artık inhaler yolla; O₂ filtrasyonu, solunan havanın nitrojen ile seyreltilmesi ya da düşük O₂ hava karışımı yoluyla sağlanabilmektedir. Bu yöntemler aracılığıyla FiO₂'de düzenlemeler sağlanabilmekte ve irtifa düzeyi inhaler yoldan solunumsal olarak uygulanabilmektedir (Wilber, 2007). Deniz seviyesindeki FiO₂ %20,9-21 olarak kabul edilmektedir. FiO₂ azaldıkça solunan O₂ içeriği de azaldıkça hipoksinin derecesi artmaktadır (Jain, 2017; Khaosanit ve ark., 2018). Bärtsch ve ark. (2008) tarafından yapılmış irtifa sınıflaması ve irtifa sınıfına göre FiO₂ eşdeğerleri aşağıdaki gibidir:

Çizelge 1.1. Solunan O₂ Fraksiyonu ve irtifa eşdeğerleri (Bärtsch ve ark., 2018).

Sınıflama	Deniz Seviyesi	Düşük İrtifa	Orta Düzey İrtifa	Yüksek İrtifa	Aşırı Yüksek İrtifa
İrtifa (m)	<500	500-2000	2000-3000	3000-5500	>5500
FiO ₂ Eşdeğeri	19,8-20,9	16,7-19,8	14,8-16,7	10,9-14,8	<10,9

Hipoksi koşulu, çevresel doğal ortamda olduğu gibi bu amaçla kullanılan farklı cihazlarla da sağlanabilmektedir. Yaygın olarak kullanılan cihazlara bakacak olduğumuzda; PB'nin ve pO₂'nin ayarlanabildiği hipoksik bölmeler, FiO₂'nin düzenlenebildiği normobarik hipoksik bölmeler veya çadırlar ya da oksijen filtrasyonu ve/veya nitrojen seyreltme yöntemiyle hipoksinin sağlanabildiği hipoksi jeneratörleri olarak sıralanabilir (Wilber, 2007).

Hipoksinin doğal ortamda ya da yapay kaynaklı olarak sağlanması amacıyla kullanılan cihazlara göre farklı yükselti antrenmanı konseptleri ortaya çıkmaktadır. Bunlar; yükseltide konaklama + yükseltide antrenman (Live High & Train High-LHTH), yükseltide konaklama + deniz seviyesinde antrenman (Live High & Train Low-LHTL) ve deniz seviyesinde konaklama + yükseltide antrenman (Live Low & Train High-LLTH) olarak sıralanabilir (Wilber, 2007; Girard ve ark. 2017). Atletik performansta ortaya çıkması istenen hedeflere göre bu konseptlerin kullanımı değişkenlik gösterebilmektedir. Son yıllara kadar araştırma konusu olmuş ve antrenman olarak uygulanmış hipoksik yöntemler ve konseptler aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Şekil 1.1.).

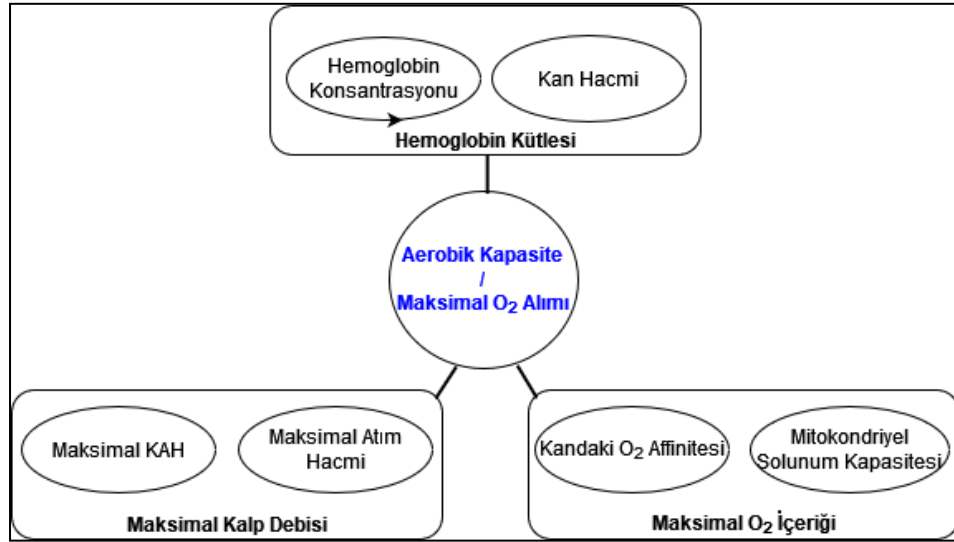


Şekil 1.1. Çalışmalarda görülen hipoksi konseptleri ve antrenmanları (Girard ve ark., 2017).

HH: hiperbarik hipoksi, NH: normobarik hipoksi, LHTH: live high-train high, LHTHL: live high-train high and low, LHTL: live high-train low, LHTL-H: live high-train low and high, LLTH: live low-train high, CO2 absorption: CO2 soluma, VHL: voluntary hyperventilation at low lung volume (alt solunum hacminde istemli hiperventilasyon) BFR: blood flow restriction (kan akışını kısıtlama), IPC: ischemic pre-conditioning (iskemik ön koşullandırma), IHE: intermittent hypoxic exposure (aralıklı hipoksik maruziyet), CHT: continuous hypoxic training (sürekli hipoksik antrenman), IHT: interval hypoxic training (interval hipoksik antrenman), RSH: repeated sprint training in hypoxia (hipoksizde tekrarlı sprint antrenmanı), RTH: resistance training in hypoxia (hipoksizde direnç antrenmanı), IHIT: IHE during interval training (interval antrenman sırasında aralıklı hipoksik maruziyet).

1.2. Yüksek İrtifada ya da Hipoksi Maruziyetinde Antrenman Yapmanın Amacı

Dayanıklılık gerektiren sporlarda (Jelkmann ve Lundby, 2011) ya da çok hızlı koşuların tekrarlı bir biçimde gerçekleştirildiği ve hızlı toparlanmayı gerektiren sporlarda (Meckel ve ark., 2009; Jones ve ark., 2013) yapılan antrenmanlardaki ana hedef O₂'nin dokulara taşınması, alınması ve kullanılmasında etkili unsurların uyarılarak bu yeteneklerinin artırılmasıdır (Şekil 1.2.). İşte tam da bu noktada deniz seviyesine nispeten organizmada daha yüksek stres yaratan daha kısa zamanda bu uyumların elde edilmesini sağlayabilen doğal çevresel irtifada konaklama ve antrenman yapma ya da yapay kaynaklı hipoksi uygulamaları daha önce bahsedilen konseptler çerçevesinde antrenman yöntemleri olarak ortaya çıkmaktadır (Girard ve ark., 2017).



Şekil 1.2. Aerobik kapasiteyi belirleyen etmenler (Jelkmann ve Lundby, 2011).

Hem doğal/çevresel yüksek irtifada hem de yapay kaynaklı hipoksi simülörleriyle sezona hazırlık döneminde antrenman yapılabilir. Bu da dopinge mücadele konseptinde sporcu biyolojik pasaportu programı kapsamında (athlete biological passport program-ABP) karıştırıcı etki (confounding factor) olarak kabul edilmektedir (Krumm ve Faiss, 2021). Bu nedenle hipoksinin kısa süreli etkileri bu bakımdan da araştırılması ve üzerinde durulması gereken bir konudur. Sporcu biyolojik pasaportu kapsamında alınan kan örnekleri için örnek almaya yetkili kuruluşların örnek alım oturumunu belgelemek için kullandıkları formlarda aşağıdaki iki soru bilirkşi değerlendirme sürecinde alınan örneklerin analiz sonuçlarıyla var ise karıştırıcı etkileri karşılaştırmak için yer almaktadır (WADA, 2021):

- Sporcu son iki hafta içerisinde 1500 m üzeri yükseltide antrenman yaptı mı, yarıştı mı ya da konakladı mı (yükselti, süre ve yer bilgileriyle birlikte)?
- Sporcu son iki hafta içerisinde herhangi bir yükselti simülasyonu kullandı mı (cihaz türü, süre, sıklık ve yoğunluk bilgileriyle birlikte)?

Sporcu biyolojik pasaportu hematolojik modülü kapsamında alınan ABP örneklerinde klinik amaçla rutin olarak bakılan parametreler adaptif model kullanılarak boylamsal olarak incelenmektedir (WADA, 2021). Bu nedenle hipoksi

uygulamalarının performansa ya da fizyolojik parametreler üzerinde olası en küçük etkiler hala araştırılması gereken bir konu olarak görünmektedir.

1.3. Hipoksi Maruziyetinde Ortaya Çıkan Değişimler

Bireyin hipoksiye maruziyeti sonucunda dolaşımda O_2 varlığında azalma ortaya çıkmakta ve bu da dokulara giden O_2 'nin azalmasıyla bazı fizyolojik süreçlere etki etmektedir. Dokularda özellikle de hayati öneme sahip organlardaki O_2 'nin de azalması sonucunda kemoreseptörler aracılığıyla dokulara O_2 sağlanabilmesi amacıyla bazı süreçler başlatılır (Richalet, 1997). Bu solunum kontrol merkezinden başlayarak kardiyovasküler kontrol merkezine kadar uzanan bir dizi süreçlerde intrinsik uyarımlarla sağlanır. Bunun sonucunda da adrenerjik sinir sistemi aracılığıyla kalpte taşikardi başlatılarak kardiyak output artar ve kandaki O_2 açığı en temelde bu şekilde kompanse edilmeye çalışılır. Hipoksik strese bağlı olarak ortaya çıkan hem akut hem de kronik etkilerde sempatik ve parasempatik sistemin bu süreçlerin yönetilmesinde çok önemli bir rolü vardır (Noakes ve ark., 2001; Favret ve Richalet, 2007).

Normal ortamda yapılan egzersizde kas kan perfüzyonunda, solunumda, O_2 tüketiminde, dokulardaki O_2 içeriğinde, kardiyak outputta ortaya çıkan değişimler hipoksik ortamda daha da şiddetlenir ve bu da nörolojik, solunumsal, kardiyovasküler ve metabolik süreçlerde stres kaynaklı bazı uyumların ya da olumsuzlukların ortaya çıkmasını sağlar (Favret ve Richalet, 2007; Jain, 2017).

Hipoksida yüksek şiddetli egzersizlerde Bohr etkisi daha da artar bu da hemoglobin (Hb) O_2 affinitesinin de artmasına neden olur. Yani kırmızı kan hücrelerine CO_2 difüzyonunda artış meydana gelir. Artan O_2 gereksinimiyle yukarıdaki söz konusu süreçler başlar (Böning ve ark., 1991). Maruz kalınan yükselti arttıkça O_2 parsiyel basıncının ya da FiO_2 azaldıkça dokulara giden O_2 'nin azalmasına bağlı olarak mitokondriyel etkinlikte azalma meydana gelmekte bu da VO_{2max} 'da azalmaya neden olmakta, yüksek şiddetli egzersizlerde toparlanmanın

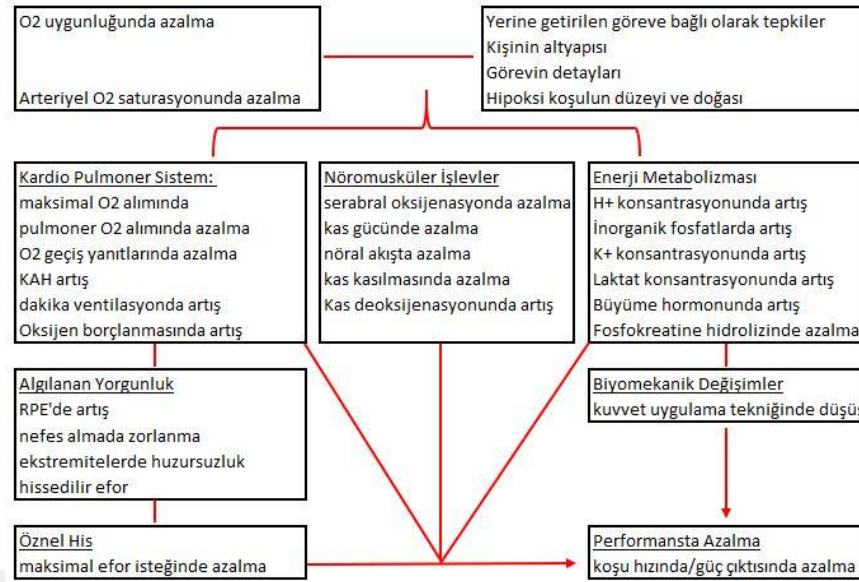
yavaşlaması sonucunda fiziksel çalışma kapasitesi de düşmektedir (Billaut ve Basset, 2007; Galvin ve ark., 2013).

Friedmann ve Bärtsch (1997) tarafından yapılan bir derlemede 1500-3450 m arasında değişen irtifada VO_2max 'da %6-20,5 arasında bir azalma olduğu, bu azalmanın da bireylerin antrenman düzeyine göre değişkenlik gösterdiği belirtilmektedir. Egzersiz sırasındaki aynı fiziksel çalışma kapasitesi dikkate alındığında, hipoksinin akut etkisi olarak her 1000 m'de VO_2max 'ın %6-8 arasında azaldığı belirtilmektedir. İki haftalık bir aklimatizasyon ile bu düşüş yarıya kadar azaltılabilmektedir (Wehrin ve ark., 2016).

VO_2max 'ta azalma irtifaya ilk çıkıldığı andan itibaren yaklaşık 2 saat sonra kan gazlarında ortaya çıkan değişimle başlamakta ve özellikle hemoglobin oksijen saturasyonundaki azalma dördüncü güne kadar sürmektedir. Dördüncü günden itibaren kan gazlarındaki azalma tekrar kompanse olmaya başlamaktadır (Wachsmuth ve ark., 2013). İrtifaya ilk çıkıldığı andan dördüncü güne kadar ortaya çıkan bu düşüş fiziksel çalışma kapasitesi üzerinde de sınırlayıcı bir rol oynamaktadır.

Diğer yandan kan gazlarındaki bu değişimin de bir sonucu olarak özellikle fiziksel yüklenme sırasında normoksik ortamda ve hipoksik ortamda egzersiz performansının araştırıldığı bir çalışmada hipoksik koşuldaki egzersiz sırasında serebral deoksijenasyonda artış olduğu ve buna bağlı olarak hipokside ortaya çıkan merkezi yorgunluğun da performansı sınırlayıcı bir rol oynadığı belirtilmektedir (Galvin ve ark., 2013).

Bu konuda son yıllarda yapılan bir derlemede, birden çok sprint koşusu sırasında hipoksinin muhtemel akut etkileri çizelge 1.3.'te verilmiştir (Girard ve ark., 2017).



Şekil 1.3. Çoklu sprint koşusu sırasında hipoksinin akut etkileri (Girard ve ark., 2017).

Tekrarlayan hipoksi maruziyetiyle birlikte organizmada fizyolojik ve biyokimyasal bazı uyumlar başlar ve bu uyumlar hipoksik koşulda egzersizin sürdürülmesinde belirleyici rol oynar. Azalan O₂ mevcudiyetiyle birlikte kandaki O₂ saturasyonunda (SpO₂) ortaya çıkan azalma sonucunda periferik O₂ varlığı azalır ve bu da dokulara O₂ sağlanabilmesi için gerekli süreçlerin başlamasında tetikleyici rol oynar (Peltonen ve ark., 2001; Smith ve Billaut, 2010). Azalan O₂'nin kompanse edilebilmesi için adrenerjik reseptörler aracılığıyla solunum ve kardiyorespiratuvar kontrol merkezlerinin uyarılması sonucunda sempatik aktivitede artış olur, solunum sıklığı ve kalp debisi artar. Organizmanın hipoksik koşula maruz kalmasıyla vasküler endotelial büyüme faktörü (VEGF), eritropoetin (EPO), hipoksi ile indüklenen faktör-1α (HIF-1α) salınımı için gerekli biyokimyasal süreçleri etkileyen moleküllerin çoğalmasıyla hipoksik koşula uyum organizma tarafından sağlanmaya çalışılır (Favret ve Richalet, 2007) Fizyolojik süreçlerin tetiklendiği bu yolla dokulardaki hipoksi düzeyi organizma tarafından azaltılmaya çalışılır (Richalet, 1997).

Hipokside uzayan ve tekrarlayan yüklenmelerle birlikte egzersiz sırasında ve dinlenimde hipoksiye uyumun sonucunda aynı ortamda yapılan yüklenmelerde

SpO₂'de artış, O₂ kullanımında ve serebral oksijenasyonda, yorgunluk süresinde, glikolitik etkinlikte, kan akımında, moleküler adaptasyonda (Galvin ve ark., 2013; Faiss ve ark., 2013a), kırmızı kan hücrelerinde, VO₂max'da (Sinex ve Chapman, 2015) ve parasempatik aktivitede artış olduğu belirtilmektedir (Boushel ve ark., 2001).

Hipoksiye ve hipokside antrenmana tepkilerin ya da uyumun düzeyinde insan etnik farklılıklarının (Feedback ve ark., 2017) veya genetik yatkınlığının da (Masschelein ve ark., 2015) belirleyici olduğu belirtilmektedir. Bu nedenle yapılan çalışmalarda veri toplamak için oluşturulan grupların etnik köken bakımından homojenize edilmesi önem taşımaktadır. Bunun yanında yapılan yüklenmenin türü, irtifa düzeyi, hipoksiye maruz kalınan toplam süre, katılımcının antrenman düzeyi ve/veya spor-disiplini ve yakın zaman içerisinde hipoksiye maruz kalınmış olma durumuna göre uyum düzeyi de değişebilmektedir.

Zelenkova ve ark. (2016) tarafından yapılan bir çalışmada sedanterler ve farklı sporlardan toplam 132 kişiyle yapılan bir çalışmada hipoksiye karşı en yüksek direncin dağcılık ve serbest dalış sporlarını icra eden kişilerde görüldüğü belirtilmiştir. Hipoksik koşul altında ortaya çıkabilecek fizyolojik ve biyokimyasal tepkilerde yapılan spor disiplinin etkili olabileceği görülmektedir.

Daha önce bu konuda yapmış olduğumuz derleme kapsamında incelenen çalışmalara bakıldığında azami ve/veya azamiye yakın şiddette yapılan egzersizlerde SpO₂'deki ortaya çıkan azalmanın FiO₂'ye göre değişkenlik gösterdiği (FiO₂: %12-14,5; SpO₂: %73-78) görülmüştür (Birol ve ark., 2018). Biyokimyasal değişimlerin günlük en az 12 saatlik maruziyetle 10-14 günlük bir sürede ortaya çıkabildiği belirtilmektedir (McLean ve ark., 2014; Brocherie ve ark., 2018). Ancak normobarik hipoksik koşulda yapılan yüksek şiddetli sprint benzeri antrenmanların etkilerine bakıldığında ise atletik performans bakımından yapılan egzersiz ve hipoksik düzeyin kombinasyonunun hipokside konaklamada pasif olarak geçirilen süreden daha belirleyici ve etkili olduğu görülmektedir (Birol ve ark., 2018). Diğer yandan doğal yükselti ortamında ilk çıkış anından başlayarak birkaç gün sürebilen disapne,

dehidrasyon, plazma hacminde azalma, solunum sıklığında artış, azalmış kalp debisi ve artan oksidatif stres (Bailey ve Davies, 1997) gibi negatif etkilerden kaçınmak bakımından (fiziksel çalışma kapasitesini de azaltan değişimler) özellikle sezon içi dönemde, yapay kaynaklı hipoksi ile LLTH yöntemi üzerinde durulması gereken ve araştırılması gereken bir konu olarak görünmektedir.

1.4. Hipokside Ortaya Çıkan Bazı Moleküler Değişimler

Asit/baz dengesindeki değişim ya da EPO salınımındaki artış kaynaklı olarak plazma hacminde irtifaya ilk çıkıştan itibaren birkaç saat içerisinde azalma meydana gelmektedir (Lundby ve ark., 2007). İrtifada geçen süreyle birlikte hipoksiye bağlı olarak organizmada uyumlar gelişmeye başlar. Bunlara örnek olarak mitokondriyel hacimde artış, oksidatif enzimlerde artış, eritrosit artışı, hemoglobin içeriğinde ve kapiller yoğunlukta artış örnek olarak gösterilebilir (Bailey ve Davies, 1997). Antrenmanlı kişilerde 30 dk'lık yüksek yoğunluklu egzersiz sırasında oksidatif streste artışı beraberinde RBC şekil değiştirebilme özelliğinde test sonrasında test öncesine göre azalma olduğu belirtilmiştir. Antrenman yüklenmesinin devamında reaktif oksijen türlerindeki (ROS) artışla birlikte RBC'lerde hasar meydana gelerek erytroz ortaya çıkmakta ya da RBC ölümü gerçekleşmektedir. Yapılan analizlerde RBC şekil değiştirme özelliğindeki azalmayla birlikte mikro parçacıklarda da (CD235 olarak isimlendirilmiş) artış olduğu ve bu artışın RBC ölümünü geciktirici etkisi olduğundan bahsedilmektedir (Nemkov ve ark. 2021). Egzersiz sırasında RBC hasarına karşılık olarak egzersiz sonrası EPO salınımında artış olduğu gibi (Nemkov ve ark. 2021), hipoksiye maruziyette EPO salınımındaki hızlı artışın sebebi de yükseltide artan çevresel ve fizyolojik stresin RBC üzerinde yarattığı hızlı hasar gösterilebilir (Mairbäurl, 2018). RBC üretimi EPO salınımına bağlı olmakla birlikte RBC şekil değiştirebilme özelliği O₂ transferi bakımından önemli bir parametredir (Grau, 2016) ve hipoksi koşulundaki akut değişimi ile birlikte belli bir antrenman programı dahilinde de ne kadar değişime/gelişime uğrayabildiği üzerinde durulması gereken bir konudur. İrtifada konaklama ve/veya antrenman yapmadaki en temel amacın da bu değişimlerin ortaya çıkmasını sağlamak olduğu ve bu değişimlerden faydalanarak deniz seviyesindeki fiziksel performansı artırmak olduğu söylenebilir.

Tekrarlı bir biçimde hipoksi maruziyetiyle gen ekspresyonları ortaya çıkar (HIF-1 α , VEGF, Heat Shock Protein 70-HSP70) ve bu da bazı moleküllerin ve/veya metabolitlerin (nitrik oksit-NO, anti-apoptopik proteinler, ATP kaynaklı potasyumlar-K_{ATP}, Protein Kinaz C-PKC) artışıyla birlikte organizmanın hipoksiye uyumunu artırır (Semenza, 2009). Hipoksiye uyumda en önemli etmen olarak, normoksidedeyken hücreler arasında düşük düzeyde olan ancak hipoksik ortamdayken hedef genlerin uyarılarak dolaşımdaki O₂'nin taşınmasındaki süreçlerin etkinliğini arttıran (demir alımı, anjiyogenez, EPO salınımı) HIF-1 α gösterilmektedir (Manalo ve ark., 2005; Semenza, 2009).

Diğer yandan sadece endotheliumdan sentezlendiği varsayılan ve öncülü L-arjinin olan nitrik oksit (NO) Hb tarafından da işlevsiz formda taşındığı ortaya konulmuş ancak daha sonra yapılan çalışmalar Hb tarafından taşınan NO'nun işlevsiz olmadığını plazma membranı ve kırmızı kan hücrelerinin stoplazmasında aktif olarak taşınabildiği ve dönüştürülebildiği ortaya konulmuştur (Kleimbongard ve ark., 2006). NO'nun kırmızı kan hücrelerinin şekil değiştirebilme özelliğini etkilediği ve kırmızı kan hücrelerinin şekil değiştirebilme özelliğinin de etkin kaslara/dokulara O₂ difüzyonunda önemli olduğu bilinmektedir (Grau ve ark., 2016). Normoksidede ve hipoksidede tekrarlı sprint egzersizinin araştırıldığı bazı çalışmalarda da hipoksik girişimle birlikte NO salınımının arttığı gösterilmiştir (Faiss ve ark., 2013b; Brocherie ve ark., 2018). Bu nedenle hipoksinin insan sağlığı ya da fiziksel performans üzerindeki etkileri araştırılırken NO salınımı da gözlenmesi gereken bir diğer parametredir.

1.5. Hipoksiye Uyumda Etkili Olan Bazı Biyokimyasal Parametreler

İrtifaya çıkıldığı andan itibaren ilk başta plazma hacmindeki azalmayla göreceli olarak yükselen Hb kütlesinin daha sonra 7-16 gün gibi bir süre içerisinde aklimatizasyonla önemli bir artış gösterdiği bilinmektedir (Ryan ve ark., 2014; Wehrlin ve ark., 2016). Buna karşın yüksek irtifadan düşük irtifaya ya da deniz seviyesine inildiğinde 7 günlük aklimatizasyon süresinde Hb kütlesinin bazal

seviyelere indiği de belirtilmektedir. Yani irtifaya çıkışta ve inişte Hb kütlesi en hızlı değişimi gösteren parametre olarak gösterilebilir (Ryan ve ark., 2014). Yüksek irtifa maruziyeti sonrasında Hb kütlesindeki azalmayla serum ferritin artışı arasında yakın bir ilişki bulunmaktadır. Bu durum yıkıma uğrayan kırmızı kan hücrelerine bağlanmaktadır. Hipoksi maruziyetinde kandaki demir düzeyi O₂'nin kullanılması ve taşınmasında etkili bir unsurdur. İrtifada yeni kırmızı kan hücrelerinin üretimi HIF-1 sinyalizasyonu yoluyla EPO salınımı ile başlamakta ve mevcut durumdaki serum ferritin düzeyi de bunu etkilemektedir. Bir dizi kampa katılan aynı sporcularla yapılan bir çalışmada, irtifada geçirilen süre içerisinde toplam Hb kütlesinde artış olurken, serum ferritin düzeylerinde azalma olduğu belirtilmektedir (Nummela ve ark., 2021). Bu da yeni kırmızı kan hücrelerinin üretiminde kanda bulunan demir içeriğinin eritropoetik süreçte kullanılıyor olduğunu doğrulayabilir bir bilgi niteliğindedir. Toplam Hb kütlesinde gerçekleşen 1 g artış ile VO₂max'da 4 ml.min⁻¹ artış olduğu bildirilmiştir (Gore ve ark., 1997; Schmidt ve Prommer, 2010).

Nummela ve ark. (2021) tarafından uzun mesafe koşucularından irtifa kamplarında toplanan verilerle yapılan çalışmanın sonuçları, irtifada her zaman aynı sonuçların alınamadığı toplam Hb ve performans üzerinde farklı parametrelerin de etkili olduğu yönündedir. Sporcuların 2000 m ve üzerindeki irtifa kamplarında toplam Hb kütlesinde sporcuların %65'lik kısmında olumlu cevap olduğu belirtilmektedir. İrtifaya rağmen toplam Hb kütlesinde negatif etkinin de ortaya çıkabildiği belirtilmektedir. Diğer yandan toplam Hb kütlesinde artış olsa dahi bunun her zaman fiziksel performansa doğrudan yansımadığı da belirtilmektedir. Dayanıklılık performansı üzerinde Hb'den çok toplam Hb kütlesinin belirleyici olduğu savunulmaktadır. Bunda plazma hacmi ile toplam Hb kütlesinin dengeli bir biçimde artış göstererek kardiyak debinin artması yoluyla ya da plazma hacmi sabit kalırken veya düşerken Hb'deki artışla birlikte toplam Hb kütlesindeki artışla arteriyovenöz O₂ farkının artmasının bir sonucu olarak iki farklı mekanizmanın etkili olduğundan bahsedilmektedir (Schmidt ve Prommer, 2010).

Hb üretiminde ya da yıkılımında serum ferritin önemli bir rol oynamaktadır. İrtifada demir emilimini ya da kandaki varlığını etkileyen ve demir homeostazisinde

rol oynayan bir diğerk etken de hepsidin hormonudur. Hipoksi maruziyeti sonucunda HIF-1 ekspresyonunda ve EPO salınımında düzenleyici etkisi olan ara metabolitlerin ortaya çıkmasıyla hepsidin düzeyinin azaldığı belirtilmektedir. Dolayısıyla demir metabolizmasında düzenleyici rolü olan hepsidin kandaki demir miktarının azalmasında ya da artmasında hipoksi maruziyeti sırasında önemli bir faktördür (Hintze ve McClung, 2011).

Toplam 79 dakikalık hipoksik maruziyet altında egzersiz yaptırılan bir çalışmada, egzersiz sonrasındaki serum hepsidin seviyesinde hipoksik ve normoksik koşul arasında bir fark bulunamadığı, her iki grupta da neredeyse aynı düzeyde serum hepsidin seviyesinin artış gösterdiği belirtilmektedir (Goto ve ark., 2017). Bu çalışmanın aksine başka bir çalışmada ise egzersizden 3 saat sonraki serum hepsidin seviyesinin hipoksik girişimde daha düşük olduğu bildirilmiştir (Badenhorst ve ark., 2014). Kandaki hepsidin düzeyi kısa süreli hipoksik girişimlerde artış ya da azalma yönünden farklılık gösterirken, hepsidin düzeyinin doğal/çevresel hipoksik koşulda 48 saat sonra baskılanma eğiliminde olduğu bilinmektedir (Goetze ve ark., 2013).

Hipoksik koşulda yapılan egzersizde azalan SpO_2 'ye bağlı olarak laktat seviyesi de normoksik ortamda yapılan egzersize göre daha yüksek olabilmektedir (Goto ve ark., 2017), hipoksik koşulun düzeyi arttıkça laktat düzeyi de artış göstermekte ve fiziksel çalışma kapasitesi de buna bağlı olarak azalabilmektedir (Goods ve ark., 2014; Bowtell ve ark., 2014; Morrison ve ark., 2015; Khaosanit ve ark., 2018). Bu da dokulardaki O_2 içeriğindeki azalmanın hipoksik düzeye göre etkilendiğini ve fiziksel performansın gelişimi için tercih edilecek hipoksik düzeyin iyi değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Laktat üzerinde katalizör etkisi olan laktat dehidrogenaz (LHD) da hipoksik koşulda yapılan egzersiz kapsamında değerlendirilebilecek bir başka parametredir. Yapay kaynaklı hipoksik koşulda 4 hafta boyunca tekrarlı sprint antrenmanı yaptırılan bir çalışmada sadece hipoksik girişim yapılan grupta LHD'nin yükseldiğine dair sonuçlar raporlanmıştır (Faiss ve ark., 2013b). Bu da hipoksik ortamda yapılan antrenmanın toparlanma üzerinde faydalı bir etkisi olabileceğini göstermektedir.

Diğer yandan hipoksi koşulunda yapılan yüklenme sırasında oksidatif stres ve nitrosatif hasarda akut olarak artışa ve redox homeostazisinde (özellikle kısa süreli yüksek yoğunluklu yüklenmede) değişikliğe neden olduğu belirtilmektedir (Maciejczyk ve ark., 2022). Özellikle yüksek şiddetli egzersizlerin bir antrenman programı dahilinde uygulanmasıyla kasların laktat tamponlama kapasitesi de bu yolla artırılabilir.

Hipoksi maruziyetinin neden olduğu oksidatif stresin araştırıldığı bazı çalışmalarda hipoksik koşulda yapılan antrenman uygulamasından sonra anti-oksidan ürünlerinin salınmasının artış gösterdiği belirtilmektedir (Faiss ve ark., 2013b; Ribon ve ark., 2016). Katılımcıların 14 gün süreyle simüle edilmiş hipoksik ortamda konaklatıldığı ve 6 seans hipoksidede tekrarlı sprint antrenmanı yaptıkları bir çalışmada hem tip 1 hem de tip 2 kaslardaki oksidatif kapasitenin arttığı belirtilmektedir (Van der Zwaard ve ark., 2018).

Yüksek şiddetli maksimal ya da maksimale yakın yüklenmelerde egzersizin yoğunluğuna da bağlı olarak kassal stres kaynaklı kas hasarı oluşabilmektedir. Bu bağlamda kreatin kinaz (CK-miyogloblin) bir belirteç olarak değerlendirilmesi gereken başka bir parametrededir (Wahl ve ark., 2015; Mathes ve ark., 2017). Fiziksel çalışma kapasitesinde azalmaya ya da toparlanma evresi için de CK önemli bir parametre olarak kullanılabilir. CK'nın da bu kapsamda değerlendirilmesi, hipoksidede yapılan antrenmanın deniz seviyesinde yapılan aynı ya da benzer modalitedeki egzersizde CK bakımından ortaya çıkan uyumun değerlendirilmesi için kullanılabilir.

1.6. Tekrarlı Sprint Yeteneği Antrenmanı

Tekrarlı sprint yeteneği (TSY) antrenmanı kısa süreli azami şiddette gerçekleştirilen yüklenmeler ve kısa süreli dinlenme aralıklarıyla gerçekleştirilen bir yüklenme yöntemidir. Yerine getirilen bir adet sprint koşusunun süresi 10 Sn.'den

daha azdır. Her bir sprint arasındaki dinlenme süresi de 60 Sn.'den daha azdır (Glaister, 2005; Girard ve ark., 2011).

TSY'nin bu karakterinden dolayı yüklenme ve toparlanmada etkili olan fosfokreatin sentezi/resentezi, oksidatif kapasite, hidrojen iyonu tamponlama kapasitesi ve dolayısıyla da kas aktivasyonunun sürdürülebilmesi yüklenmenin sürdürülmesinde önemlidir (van Someren, 2006). Hücre içi ve hücreler arası var olan metabolitlerde ortaya çıkan değişimlerde merkezi sinir sistemi aracılığıyla kaslara gönderilen uyarıların yerine ulaşmasında ve kas kasılmasının etkinliğinde belirleyici bir unsurdur. Buna bağlı olarak TSY antrenmanı ile hedeflenen amaç, bu konulardaki fizyolojik ve biyokimyasal uyumları ortaya çıkararak bu değişimler aracılığıyla sprintlerin en yüksek kalitede yerine getirilmesini sağlamaktır (Spencer ve ark., 2005; Spencer ve ark., 2006; Van Someren, 2006; Bishop ve ark., 2011). TSY'deki sprint performansının başarısını, bir adet koşulan sprintten ziyade, tüm sprintlerden ortaya çıkan toplam sprint süresi ve sprint sürelerindeki ortalama değişim yüzdesi belirlemektedir.

1.7. Normobarik Hipokside Tekrarlı Sprint Antrenmanı

TSY'nin hipokside uygulanması alanyazında hipokside tekrarlı sprint antrenmanı (repeated sprint training in hypoxia-RSH) olarak tanımlanmaktadır (Faiss ve ark., 2013b). Çalışmalara bakıldığında RSH'nin kullanılan irtifa simülatörüne bağlı olarak ayak üstünde (on-feet) ya da birbirinden farklı ergometrelerde ve farklı yüklenme/dinlenme protokolleri kullanılarak yapılabildiği görülmektedir. Bu kapsamda RSH antrenmanları sırasında motorlu/motorsuz koşu bantları veya ağırlık kefeli ya da manyetik dirençli bisiklet ergometreleri kullanılabilmektedir (Birol ve ark., 2018).

TSY'nin hipokside uygulanmasıyla birlikte tekrarlı sprint yeteneğinde normokside yapılan TSY'ye göre daha fazla gelişim olduğunu gösteren çalışmalar bulunmaktadır (Faiss ve ark., 2013b; Brocherie ve ark., 2017). RSH ile; yorgunluk

zamanının ortaya çıkmasında %40 gelişim (Faiss ve ark., 2013a), sprint düşüş yüzdesinde %27 gelişim (Galvin ve ark., 2013), ortalama sprint zamanında gelişim (Gatterer ve ark., 2015) olduğunu bildiren çalışmalar bulunmaktadır.

RSH için alanyazına bakıldığında farklı sayıda günlerde, farklı mesafelerde/sürelerde birbirinden farklı yüklenme ve dinlenme sürelerinde çalışmaların olduğu ve çalışmalarda ortaya çıkan sonuçların uygulanan egzersiz protokolü ve hipoksi düzeyine bağlı olarak değişiklik gösterdiği görülmektedir (Goods ve ark., 2014; Hamlin ve ark., 2017; Montero ve Lundby, 2017). Farklı yüklenme/dinlenme süreleri ve maruz kalınan değişen hipoksi düzeyleriyle yapılmış çalışmalar, hipoksi düzeyi arttıkça SpO₂'de ve sprint performansında normoksiye göre azalma meydana geldiğini göstermektedir (Çizelge 1.2.).

Çizelge 1.2. Farklı yüklenme dinlenme sürelerinde farklı hipoksi düzeylerinin karşılaştırıldığı bazı çalışmalar

Yazar	Hipoksi Düzeyi (FiO ₂)	Sprint Sayısı ve Süresi	Sprintler/Setler Arası Dinlenme Süresi	SpO ₂ 'deki azalma %
Bowtell ve ark. (2014)	Hipoksi: % 12, %13, % 14 ve % 15 Normoksi: % 21	10 x 6 Sn.	30 Sn.	FiO ₂ %12 = 19,9 ± 4,3 FiO ₂ %13 = 10,2 ± 11,5 FiO ₂ %14 = 14,0 ± 4,8 FiO ₂ %15 = 13,6 ± 4,2 FiO ₂ %21 = 2,9 ± 2,0
Goods ve ark. (2014)	Hipoksi: %12,7; %14,5; %16,4 Normoksi: % 21	3 x (9 x 4 Sn.)	Sprintler arası 16-36 Sn. Setler arası 3 dk.	FiO ₂ %12,7 = 20,9 FiO ₂ %14,5 = 11,4 FiO ₂ %16,4 = 6,3
Khaosanit ve ark. (2018)	Hipoksi: % 12,5; % 13,5; % 14,5	3 x (6 x 10 Sn.)	Sprintler arası 20 Sn. Setler arası 5 dk.	FiO ₂ %12,5 = 10,7 FiO ₂ %13,5 = 10,3 FiO ₂ %14,5 = 11,8 *Maruziyet öncesi değerler yoktur. Maruziyet sonrası dinlenme değerlerine göre.

1.8. Amaç

Doktora tezi kapsamında yapılmış olan bu çalışmanın amacı, normobarik hipoksida tekrarlı sprint antrenmanının fiziksel performans ve bazı fizyolojik belirteçler üzerindeki kısa süreli etkilerini araştırmaktır.

1.9. Problem Cümlesi

Normobarik hipoksik ortamda 48 saat arayla yapılan 3 adet tekrarlı sprint antrenmanı, normobarik normoksik ortamda ortaya koyulan tekrarlı sprint performansı ve bazı fizyolojik değişkenler üzerinde faydalı bir etki göstermekte midir?

1.10. Alt Problemler

Ön ve son test karşılaştırmalarına göre;

- Normobarik hipokside yapılan tekrarlı sprint antrenmanı normobarik normoksik ortamdaki TSY zirve güç çıktısı üzerinde değişime neden olur mu?
- Normobarik hipokside yapılan tekrarlı sprint antrenmanı normobarik normoksik ortamdaki TSY sprint düşüş yüzdesinde değişime neden olur mu?
- Normobarik hipokside yapılan tekrarlı sprint antrenmanı kalp hızı değişkenliği parametrelerde değişime neden olur mu?
- Normobarik hipokside yapılan tekrarlı sprint antrenmanı algılanan zorluk derecesi düzeylerinde değişime neden olur mu?
- Normobarik hipokside yapılan tekrarlı sprint antrenmanı arteriyel oksijen saturasyonu düzeylerinde değişime neden olur mu?

1.11. Araştırma Denenceleri

- Normobarik hipokside tekrarlı sprint antrenmanı yapan grubun son test sprint düşüş yüzdesinde azalma diğer gruplara göre daha fazla olacaktır.
- Normobarik hipokside tekrarlı sprint antrenmanı yapan grubun son test zirve gücünde diğer gruplara göre değişim daha yüksek olacaktır.
- Normobarik hipokside tekrarlı sprint antrenmanı yapan grubun son test algılanan zorluk derecesi düzeyleri diğer gruplara göre daha düşük olacaktır.

- Normobarik hipokside antrenman yapan grubun son test TSY testi 15 dk sonrası KHD değerleri diğer gruplara göre daha fazla gelişim gösterecektir.

1.12. Sayıtlar

- Katılımcıların testleri ve antrenmanları en üst seviyede performanslarını ortaya koyarak tamamladıkları varsayılmıştır.
- Katılımcılar aktif sporcu olduğundan yeterli düzeyde beslendikleri varsayılmıştır.
- Katılımcıların performansı artırıcı yasaklı bir madde kullanmadıkları varsayılmıştır.

1.13. Sınırlılıklar

Çalışmaya sadece Ankara Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesinde öğrenci olan orta düzeyde fiziksel olarak aktif (haftanın en az 3 günü, en az 3-6 MET şiddetinde antrenman yapan), haftada 2-3 gün, günlük 1-1,5 saat antrenman yapan erkek gönüllüler dahil edilmiştir. Çalışma kapsamında yüksek düzeyde antrenmanlı bir grup oluşturulamamıştır. Diğer yandan gönüllülerden çalışma sırasında biyokimyasal örnekler alınamamıştır. Bu nedenle hipoksiye uyum ya da atletik performans üzerinde etkili olan biyokimyasal parametreler kıyaslanamamıştır.

1.14. Araştırmanın Önemi

Alanyazında normobarik hipokside antrenmanın bir hafta süre içerisinde yoğun bir antrenman programıyla uygulanarak, fiziksel performans üzerinde etkili olup olmadığını gösteren çok sayıda çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada normobarik hipokside tekrarlı sprint antrenmanının; tekrarlı sprint performansı ve bazı fizyolojik parametreler üzerinde neden olabileceği etkiler incelenmiştir.

2. GEREÇ VE YÖNTEM

2.1. Araştırma Grubu

Çalışma için Ankara Üniversitesi Etik Kurulu başkanlığından “İnsan Üzerinde Yapılan Klinik Dışı Araştırmalar” kapsamında onay alınmıştır (Ek-1). Çalışmaya Ankara Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesinde öğrenci olan, 18-24 yaş aralığında, sigara kullanmayan, herhangi bir kronik hastalığı bulunmayan, ilaç kullanmayan, son 3 ay içerisinde 1500m ve üzerinde yükseltide konaklamamış/antrenman yapmamış ve son 6 ay içerisinde kas-iskelet yaralanması geçirmemiş fiziksel olarak aktif 24 sağlıklı erkek öğrenci gönüllü olarak katılmıştır. Yapılan bu doktora tezi araştırması için çalışmaya başlamadan önce gönüllülere çalışmayla ilgili bilgiler verilmiş, Bilgilendirilmiş Gönüllü Olur Formu okutularak imzalatılmış (Ek-2) ve çalışma boyunca Helsinki Bildirgesine riayet edilmiştir.

Çalışmaya dahil edilme kriterleri aşağıdaki gibidir:

1. 18 yaş üzeri olmak
2. Erkek cinsiyetinde olmak
3. Sağlıklı olmak
4. Çalışmaya katılmaya gönüllü olmak
5. Fiziksel olarak aktif olmak (haftanın en az 3 günü en az 3-6 MET şiddetinde antrenman yapmak)

Çalışmadan dışlanma kriterleri aşağıdaki gibidir:

1. Kronik bir rahatsızlığı/hastalığı bulunmak
2. Çalışma sırasında akut solunumsal hastalık ya da kas-iskelet yaralanması ortaya çıkması
3. Son 3 ay içerisinde 1500 m ve üzerinde konaklamış ya da antrenman yapmış olmak
4. Son 6 ay içerisinde kas-iskelet yaralanması geçirmiş olmak
5. Gönüllünün araştırmadan kendi isteği ile ayrılması

Çizelge 2.1. Gönüllülere ait tanımlayıcı özellikler.

PARAMETRE	GRUPLAR		
	HİP	PLA	KON
Kişi Sayısı (n)	9	7	8
Yaş (Yıl)	20,63 ± 1,7	22,27 ± 1,9	21,33 ± 2,1
Boy (cm)	180,45 ± 6,9	178,18 ± 7,4	182,36 ± 8,0
Kilo (Kg)	79,81 ± 6,6	78,18 ± 6,7	78,66 ± 4,4
VKİ	20,45 ± 3,8	17,27 ± 3,5	18,90 ± 3,7

2.2. Çalışma Tasarımı

Çalışmaya gönüllü olarak katılan 24 sağlıklı erkek öğrenci, ön test kapsamında yapılan antropometrik ölçümlerden sonra; normobarik hipokside tekrarlı sprint antrenmanı yapanlar (HİP, 3420 m), normobarik normokside cihaz çalıştırılarak plasebo girişim uygulananlar (PLA, 162 m) ve antrenman uygulaması yaptırılmayan kontrol grubu (KON) olmak üzere 3 gruba ayrılmışlardır. KON grubu sadece ön ve son test kapsamında alınan ölçümlere tabi tutulmuştur.

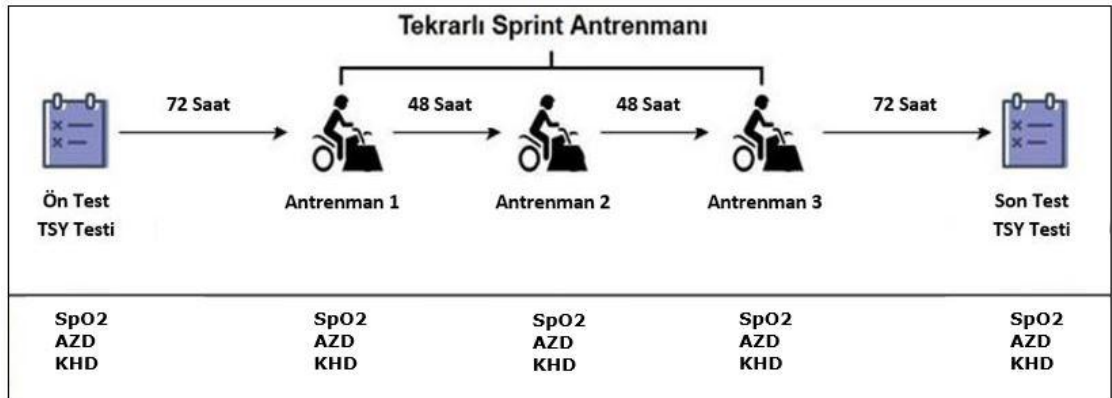
Ön test sabahı antropometrik ölçümler tamamlandıktan sonra gönüllüler randomize olarak 3 gruptan birine atanmış ve veri formuna grup kodu kaydedilmiştir. Çalışma tek-kör plasebo kontrollü çalışma tasarımında yürütülmüştür.

2.3. Çalışma Genel Planı

Hedeflenen sayıda gönüllüye ulaşıldıktan sonra ön testten 14 gün önce katılımcılarla bir araya gelinmiş, çalışma genel planı sunulmuş, çalışmaya kadar ve çalışma sırasında uyulması gereken kurallar anlatılmıştır. Katılımcılardan çalışmada yer aldıkları süre boyunca başka bir antrenman programı uygulamamaları ve yüksek şiddetli fiziksel aktivitelerden kaçınmaları istenmiştir. Katılımcılardan, uygulanacak testler ve antrenmanlardan önceki 24 saat içerisinde kafein ve alkol içeren besinleri ya da içecekleri tüketmemeleri istenmiştir. Toplantı sonunda gönüllülere

Bilgilendirilmiş Gönüllü Olur Formu okutularak imzalatılmıştır. Tüm ölçümler-uygulamalar Ankara Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi Performans Laboratuvarında yapılmıştır.

Katılımcılardan ön test sabahı ilk olarak boy uzunluğu ve vücut ağırlığı ölçümleri alınmıştır. Vücut kompozisyonu ölçümlerini takiben katılımcılar 10 dakika oturur pozisyonda dinlendirildiği zamandan itibaren performans testinin 15 dk sonrasına kadar KHD kayıtları Polar H10 (Polar, Kempele, Finland) ile alınmıştır. Katılımcılara antrenman protokolü olarak uygulatılan TSY antrenmanı aynı zamanda ön test ve son test kapsamında performans testi olarak uygulatılmıştır. Ön testten 72 saat sonra her bir antrenman seansı arasında 48 saat arayla yapılmış olan 3 seans tekrarlı sprint antrenmanı için katılımcılara gelmesi gereken günler ve saatler bildirilmiştir. Son antrenman seansından 72 saat sonra katılımcıların son testleri ön testle aynı formatta tamamlanmıştır. Kontrol grubundan sadece ön test ve son test verileri toplanmış olup herhangi bir antrenman programı uygulatılmamıştır. Çalışma tasarımı Şekil 2.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Çalışma tasarımı

2.4. Veri Toplama Araçları

Ölçümler sırasında ölçüm hatalarının oluşmaması, en az seviyeye indirgenmesi amacıyla tüm ölçümler aynı kişi tarafından yapılmıştır.

2.4.1. Antropometrik Ölçümler

Ön test ve son test sabahı katılımcılardan 12 saatlik açlığı takiben laboratuvara gelmeleri istenmiştir. Aşağıda başlıklandırılmış tüm parametreler test veri her bir gönüllü için ayrı ayrı hazırlanmış test veri formuna kaydedilmiştir.

2.4.1.1. Boy Uzunluğu

Katılımcıların boy uzunlukları ayaklar aynı hizada, baş frankfort düzlemde, omuzlar düz, baş ve vücut dik pozisyonda, tam bir inspirasyon ardından gerçekleşen ekspirasyon sırasında 1 mm hassasiyete sahip stadiometre (Seca 2013, Hamburg, Almanya) kullanılarak ölçülmüştür.

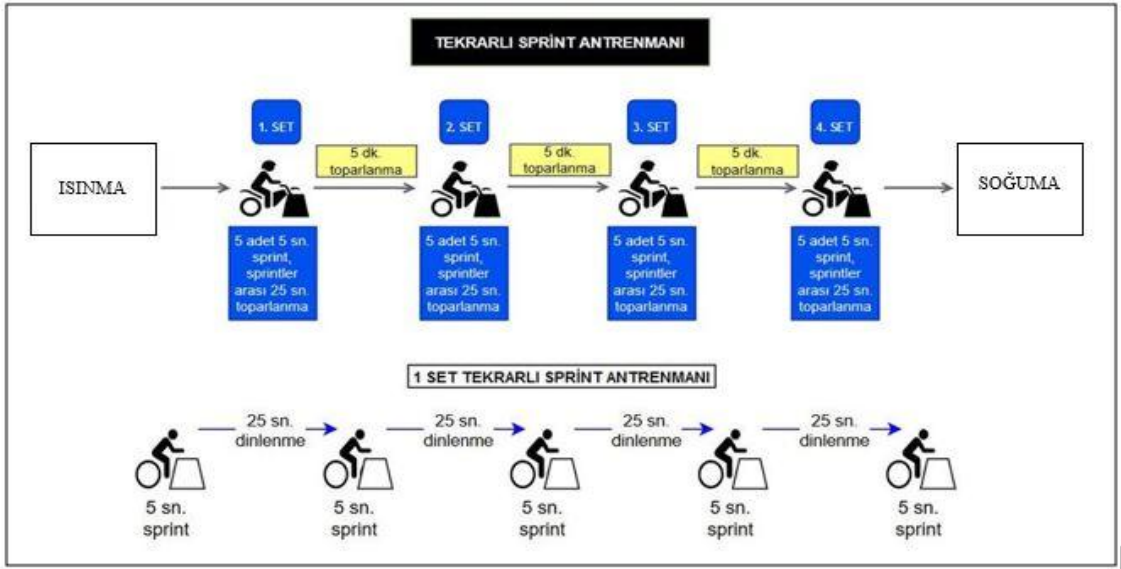
2.4.1.2. Vücut Ağırlığı

Katılımcıların vücut ağırlıkları ve vücut kompozisyonları üzerlerinde en az kıyafet olacak şekilde, çıplak ayakla Avis 333 Plus (Güney Kore) kullanılarak 0,1 Kg hassasiyetle ölçülmüştür. Katılımcılardan vücut kompozisyonu analizi tamamlanıncaya kadar kollarını vücudunun yanında dik bir şekilde 30° açıyla, cihaza bağlı el elektrotlarını avuç içlerine tam temas edecek şekilde tutarak beklmeleri istenmiştir. Ayrıca ölçüm sırasında katılımcının derisine temas edebilecek metal eşya bulunmamasına dikkat edilmiştir.

2.4.2. Tekrarlı Sprint Yeteneği Testi ve Antrenmanı

Burada açıklanan antrenman protokolü ön test ve son test kapsamında katılımcıların TSY performanslarını ölçmek amacıyla aynı zamanda test olarak kullanılmıştır. Bisiklet ergometresi sele ve gidon ayarları her bir katılımcı için sprint performansını en iyi yerine getirebileceği şekilde ayarlanmıştır. Antrenman günleri sırası gelen katılımcı için bisiklet ergometresindeki ayarlamalar kaydedildiği şekilde

yapılmıştır. Katılımcılara normobarik hipoksik veya normobarik normoksik ortamda 48 saat aralıklarla 3 ayrı günde, 3 ayrı seansta, bisiklet ergometresinde (Lode Excalibur Sport; Lode Medical Technology, Groningen, The Netherlands) vücut ağırlıklarına göre $0,075^{kg^{-1}}$ dirençle, 5 sn.'lik 5 adet sprintten ve sprintler arası 25 sn.'lik toparlanma aralıklarından oluşan 4 set (setler arası 5 dk. dinlenme) tekrarlı sprint antrenmanı yaptırılmıştır. Tüm sprintler katılımcının baskın olan ayağıyla başlatılmıştır. Gönüllülere bisiklet ergometresinde pedal çevirmeyi de içeren antrenman/test öncesi standardize edilmiş bir ısınma protokolü ve antrenman sonrası soğuma protokolü uygulanmıştır. Antrenman protokolü şekil 4.'te gösterilmiştir. Ön test ve son test kapsamında katılımcıların KHD değerleri Polar H10 kısa menzilli radio telemetriyle kaydedilmiş ve SpO2 değerleri pulse oximeter (Hypoxico HYP123 Hypoxicator, New York, USA) ile ölçülmüştür.



Şekil 2.2. Tekrarlı Sprint Yeteneği Testi/Antrenmanı Protokolü (Hamlin ve ark., 2017)

TSY'de ortaya koyulan performansın hesaplanmasında sıklıkla, aşağıda gösterilen sprint düşüş yüzdesi olarak tanımlanan formül kullanılmaktadır (Girard ve ark., 2011).

$$S_{dec}(\%) = \left\{ 1 - \frac{S_1 + S_2 + S_3 \dots + S_{Final}}{S_{best} \times n} \right\} \times 100$$

Bu çalışmada da yukarıdaki söz konusu formül TSY performansında ortaya çıkan azalmayı ortaya koyabilmek amacıyla kullanılmıştır.

2.4.3. Normobarik Hipoksi Maruziyeti

Birinci grup (HİP) 3420 m'ye eşdeğer $FiO_2 = \%13,1-13,4$ düzeyde normobarik hipoksida tekrarlı sprint antrenmanı yapmıştır. İkinci grup (PLA) körleştirmenin uygulanabilmesi amacıyla 162 m'ye eşdeğer ($FiO_2 = \%20,9$) koşulda tekrarlı sprint antrenmanı yapmıştır. Daha önce yapılan bazı çalışmalarda olduğu gibi (Faiss ve ark., 2013a; Gatterer ve ark., 2015) bu çalışmada da normoksi koşulu için simülasyon cihazı kullanılarak uygulamada körleştirme sağlanmıştır.

HİP ve PLA koşulları inhaler maskenin bağlı olduğu hipoksi jeneratörü ile sağlanmıştır (Hypoxico HYP123 Hypoxicator, New York, USA). PLA grubunun antrenmanları sırasında hipoksi jeneratörü ile normobarik normoksik koşulun sağlanmış olması cihazın ortaya çıkardığı ses aracılığıyla plasebo uygulamayı mümkün kılmıştır. Antrenmanlar sırasında katılımcıların ölçümler için kullanılan cihazların monitörlerini/kadranlarını görmemeleri sağlanmış ve kendilerine hangi grupta yer aldıkları söylenmemiştir. Hipoksik maruziyetin başından sonuna kadar katılımcıların SpO_2 değerleri izlenmiş ve set sonlarında algılanan zorluk derecesiyle (AZD) birlikte kaydedilmiştir. Algılanan zorluk derecesi için 6-20 BORG ölçeği kullanılmıştır. HİP ve PLA grubu için her bir antrenman toplam süresi yaklaşık olarak 30 dk. sürmüştür. Çalışma sonunda her bir kişi için hipoksi maruziyetindeki toplam antrenman süresi yaklaşık 90 dk olmuştur.

2.4.4. Kalp Hızı Değişkenliği Parametreleri

Ön test ve son test kapsamında KHD için elde edilen kayıtlar Kubios HRV Standard yazılımı (Kubios Oy, Kuopio, Finland) ile analiz edilmiştir. Elde edilen

kayıtlar yoluyla; SDNN, RMSSD, LFnu, HFnu ve LF/HF gibi KHD parametreleri değerlendirilmiştir.

2.4.5. Verilerin İstatistiksel Analizi

İstatistiksel veri analizleri için IBM SPSS V. 22 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) kullanılmıştır. Verilerin normallik dağılımları basıklık, çarpıklık ve normallik testleriyle saptanmıştır. Analiz sonucu normal dağılımda olan parametrelerin grup ortalamaları karşılaştırılmasında Anova testi yapılmıştır. Anova testi sonucuna göre gruplar arası anlamlı farklılık olduğu ve varyans homojenliğinin görüldüğü durumlarda Bonferroni test kullanılmıştır. Homojenliğin görülmediği koşullarda Tamhane testi kullanılmıştır. Normal dağılım görülmeyen veriler için parametrik olmayan Kruskal Wallis H test kullanılmıştır. Gruplar arası anlamlı farklılıkların saptandığı parametreler için farklılığın hangi gruptan kaynaklandığının saptanabilmesi amacıyla Bonferroni post-hoc testi yapılarak düzeltme sağlanmıştır. Normallik dağılımını sağlayan verilerin grup içi karşılaştırması için bağımlı örneklem t testi kullanılmıştır. Normallik dağılımını sağlamayan verilerin grup içi karşılaştırmalar için ise işaretli sıralar testi tercih edilmiştir. İstatistiksel analizlerde anlamlılık düzeyi alfa değeri 0,05 olarak kabul edilmiştir.

3. BULGULAR

Bu bölümde ön ve son test kapsamında bisiklet egometresinde yapılan TSY testine ait sonuçlar watt cinsinden hem mutlak hem de göreceli ortalama $\pm$ standart sapma (ort $\pm$ s.s.) değerleriyle verilmiştir. Ayrıca sprint performansının değerlendirilmesinde önemli bir hesaplama olan sprint azalma yüzdesi puanı ($S_{dec\%}$) ortalama $\pm$ standart sapma değerleriyle verilmiştir ve tüm parametrelerin ön-son testleri arasındaki farkları göstermek amacıyla yüzdelik artış ve azalmalar çizelgelerde verilmiştir.

HİP, PLA ve KON grupları arasında ön test TSY mutlak zirve gücü bakımından gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farka rastlanmamıştır. HİP, PLA ve KON grupları arasında son test TSY mutlak zirve gücü bakımından yapılan karşılaştırmada gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık tespit edilmiştir ($p = 0,027$). Mutlak zirve gücü son test parametresi için post-hoc analizine göre gruplar arasındaki istatistiksel olarak anlamlı farklılık HİP ve KON grupları arasında HİP grubu için pozitif yöndedir ($p = 0,019$). PLA grubu ile diğer iki grup arasında istatistiksel olarak pozitif ya da negatif anlamlı bir farklılık bulunmamıştır.

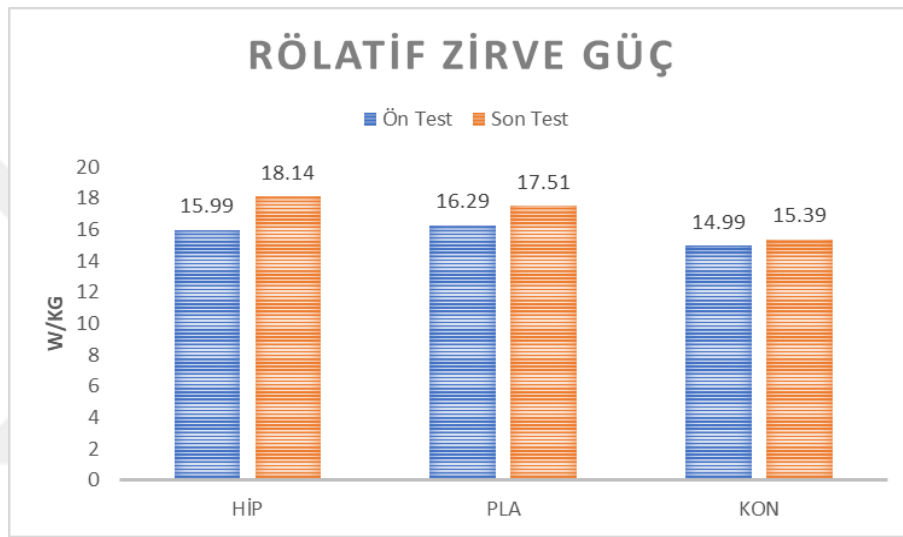
HİP, PLA ve KON grupları arasında rölatif zirve gücü ön ve son test için yapılan karşılaştırmalara göre gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamıştır ($p = 0,380$). Rölatif zirve gücü son test için gruplar arasında yapılan karşılaştırmaya göre istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir ($p = 0,059$).

Ön ve son test için yapılan karşılaştırmalarda sadece HİP grubu mutlak zirve gücü ($p = 0,020$) ve rölatif zirve gücü ($p = 0,006$) için istatistiksel olarak anlamlı düzeyde bir fark saptanmıştır. PLA ve KON grubu mutlak ve rölatif zirve gücü için ön ve son test karşılaştırmalarında istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilmemiştir (Çizelge 3.1.).

Çizelge 3.1. Gruplara ait en yüksek mutlak ve rölatif zirve güç değerleri.

TSY En Yüksek Zirve Güç Değerleri		HİP	PLA	KON	P ₋
Zirve Güç (W)	Ön-test	1203,12 ± 121,55	1255,92 ± 182,96	1075,74 ± 113,38	0,053
	Son-test	1304,66 ± 95,03	1308,09 ± 235,56	1097,7 ± 152	0,027*
	P ₋	0,020*	0,520	0,338	
	%	8,43	4,15	2,04	
Zirve Güç (W/Kg)	Ön-test	15,99 ± 1,32	16,29 ± 2,35	14,99 ± 1,97	0,380
	Son-test	18,14 ± 1,42	17,51 ± 3,62	15,39 ± 1,5	0,059
	P ₋	0,006*	0,264	0,088	
	%	13,44	7,48	2,66	

Mutlak Zirve Güç Son Test (W) = HİP > KON (0,019)



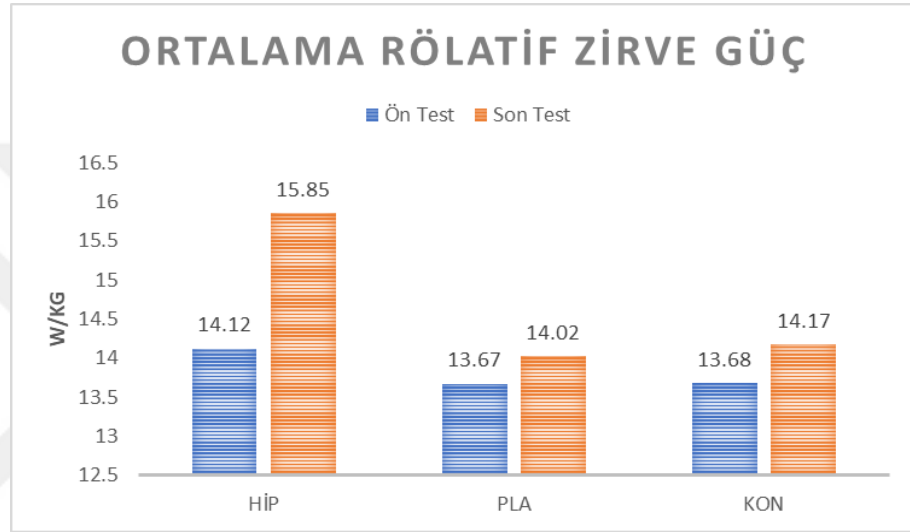
Şekil. 3.1. Gruplara ait en yüksek rölatif zirve güç değerleri.

Gruplar arasında ön ve son test 20 sprint ortalama mutlak ve rölatif zirve güç bakımından gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde bir fark bulunmamıştır.

Her bir grup için ayrı ayrı 20 sprint ortalama mutlak ve rölatif zirve güç için yapılan ön ve son test karşılaştırmasında sadece HİP grubunda ortalama mutlak zirve güç için $p = 0,003$ ve ortalama rölatif zirve güç için $p = 0,004$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı düzeyde pozitif yönde fark saptanmıştır. Diğer gruplar için ön ve son test ortalama mutlak ve rölatif zirve güç için ön ve son test bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır (Çizelge 3.2.).

Çizelge 3.2. Gruplara ait 20 sprint ortalama mutlak ve rölatif zirve güç değerleri.

20 Sprint Ortalama Zirve Güç		HİP	PLA	KON	P ₋
Zirve Güç (W)	Ön-test	1016,42 ± 150,14	1076,93 ± 155,79	934,68 ± 88,24	0,145
	Son-test	1146,03 ± 184,13	1104,70 ± 117,06	966 ± 126,82	0,057
	P ₋	0,003*	0,389	0,414	
	%	12,75	2,57	3,35	
Zirve Güç (W/Kg)	Ön-test	14,12 ± 1,07	13,67 ± 2,31	13,68 ± 1,62	0,826
	Son-test	15,85 ± 0,97	14,02 ± 1,77	14,17 ± 2,37	0,087
	P ₋	0,004*	0,412	0,337	
	%	12,25	2,56	3,58	



Şekil. 3.2. Gruplara ait ortalama rölatif zirve güç değerleri.

HİP, PLA ve KON grupları arasında ön test TSY $S_{dec\%}$ (W) için yapılan karşılaştırmada gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p = 0,261$). Gruplar arasında son test TSY $S_{dec\%}$ (W) için yapılan karşılaştırmada HİP ve PLA grubu arasında HİP grubu lehine $p = 0,035$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmuştur. Hip ve PLA grubu arasında post-hoc analizine göre $p = 0,031$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı fark vardır.

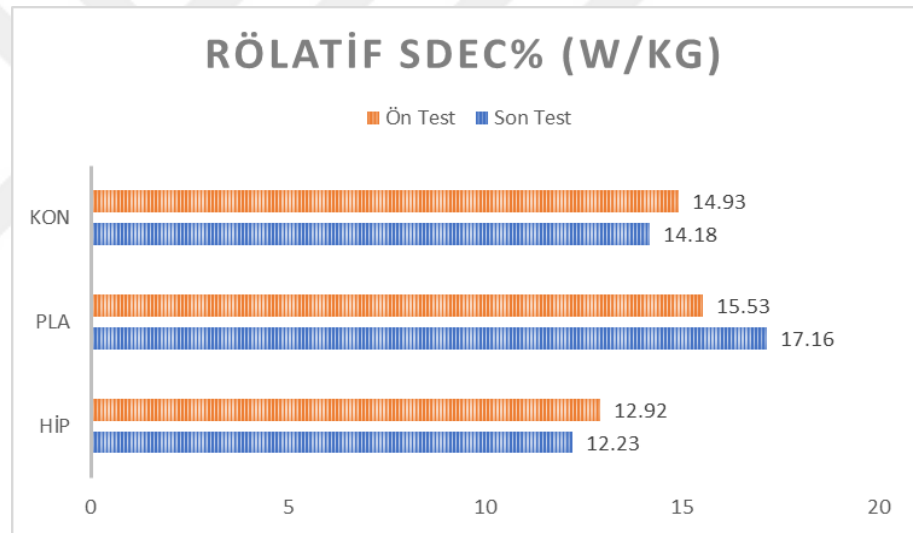
Gruplar arasında ön test TSY $S_{dec\%}$ (W/Kg) karşılaştırıldığında gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmamıştır ($p = 0,261$). Gruplar son test TSY $S_{dec\%}$ (W/Kg) için karşılaştırıldığında gruplar arasında $p = 0,035$ düzeyinde, post-hoc analizine göre ise HİP ve PLA grubu arasında, HİP grubu lehine mutlak ve rölatif $S_{dec\%}$ 'de ortaya çıkan azalmaya bağlı olarak $p = 0,031$ düzeyinde

istatistiksel olarak anlamlı düzeyde bir fark vardır. HİP ve PLA grubu TSY $S_{dec\%}$ (W/Kg) için KON grubu ile karşılaştırıldığında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur (Çizelge 3.3.).

Çizelge 3.3. Gruplara ait mutlak ve rölatif zirve güç sprint azalma değerleri.

TSY Zirve Güç $S_{dec\%}$		HİP	PLA	KON	P_{-}
$S_{dec\%}$ (W)	Ön-test	12,92 ± 4,33	15,53 ± 6,73	14,93 ± 2,36	0,261
	Son-test	12,23 ± 3,46	17,16 ± 4,53	14,18 ± 2,2	0,035*
	P_{-}	0,953	0,398	0,208	
	%	-5,34	10,49	-5,02	
$S_{dec\%}$ (W/Kg)	Ön-test	12,92 ± 4,33	15,53 ± 6,73	14,93 ± 2,36	0,261
	Son-test	12,23 ± 3,46	17,16 ± 4,53	14,18 ± 2,2	0,035*
	P_{-}	0,953	0,393	0,208	
	%	-5,34	10,49	-5,02	

$S_{dec\%}$ (W) Son Test = PLA > HİP (0,031); $S_{dec\%}$ (W/Kg) Son Test = PLA > HİP (0,031)



Şekil. 3.3. Gruplara ait rölatif zirve güç $S_{dec\%}$ değerleri.

Gruplar arasında ön test mutlak güç TSY $S_{dec\%}$ için yapılan karşılaştırmada tüm setlerde gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde bir farklılık saptanmamıştır. HİP, PLA ve KON grupları arasında son test 1. set $S_{dec\%}$ (W) için yapılan karşılaştırmada ise gruplar arasında HİP grubunun TSY $S_{dec\%}$ değerinde ortaya çıkan düşüşe bağlı olarak $p = 0,031$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilmiştir. Son test birinci set için tespit edilen anlamlı düzeydeki istatistiksel fark PLA ve KON arasında $p = 0,037$ düzeyindedir. Son test ikinci set $S_{dec\%}$ (W) için gruplar arasında yapılan karşılaştırmaya göre gruplar arasında

istatistiksel olarak $p = 0,033$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı düzeyde fark saptanmıştır. Son test 2. set $S_{dec\%}$ (W) için KON ile HİP arasında $p = 0,027$ ve PLA ile KON arasında $p = 0,028$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur.

Grupların her biri için ayrı ayrı yapılan ön ve son test karşılaştırmalarında tüm setler için ön ve son test sonuçlarında mutlak güç $S_{dec\%}$ (W) bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık saptanmamıştır. TSY 4 set için $S_{dec\%}$ (W) bulguları çizelge 3.4.'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Gruplara ait setlere göre mutlak zirve güç sprint azalma değerleri.

TSY 4 Set $S_{dec\%}$ (W)		HİP	PLA	KON	P_{-}
Set 1 $S_{dec\%}$ (W)	Ön-test	9,21 ± 4,84	10,53 ± 5,21	8,29 ± 3,02	0,628
	Son-test	7,99 ± 2,10	9,42 ± 3,77	7,88 ± 3,49	0,031*
	P_{-}	0,408	0,724	0,283	
	%	-13,24	-10,54	-4,94	
Set 2 $S_{dec\%}$ (W)	Ön-test	6,81 ± 2,85	9,12 ± 6,13	7,24 ± 2,92	0,761
	Son-test	6,86 ± 2,57	8,03 ± 3,80	7,21 ± 9,99	0,033*
	P_{-}	0,678	0,866	0,660	
	%	0,73	-11,95	-0,41	
Set 3 $S_{dec\%}$ (W)	Ön-test	8,55 ± 2,47	9,40 ± 5,65	5,54 ± 2,39	0,109
	Son-test	7,98 ± 4,36	9,15 ± 2,68	5,62 ± 3,77	0,061
	P_{-}	0,214	0,735	0,835	
	%	-6,66	-2,65	1,44	
Set 4 $S_{dec\%}$ (W)	Ön-test	6,56 ± 3,41	7,88 ± 6,37	6,61 ± 1,63	0,992
	Son-test	6,35 ± 3,17	5,97 ± 4,31	7,56 ± 3,73	0,177
	P_{-}	0,859	0,091	0,556	
	%	-3,2	-24,23	14,37	

Son Test Set 1 Mutlak Zirve Güç (W) = PLA > KON (0,037), Son Test Set 2 Mutlak Zirve Güç (W) = KON > HİP (0,027), Son Test Set 2 Mutlak Zirve Güç (W) = PLA > KON (0,028)

Gruplar arasında ön test rölatif güç TSY $S_{dec\%}$ için yapılan karşılaştırmada tüm setlerde gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde bir farklılık bulunmamıştır.

HİP, PLA ve KON grupları arasında son test 1. set $S_{dec\%}$ (W/KG) için yapılan karşılaştırmada ise gruplar arasında $p = 0,031$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmıştır. Son test birinci set için tespit edilen anlamlı düzeydeki istatistiksel fark PLA ve KON arasında $p = 0,037$ düzeyindedir.

Son test ikinci set $S_{dec\%}$ (W/KG) için gruplar arasında yapılan karşılaştırmaya göre gruplar arasında istatistiksel olarak $p = 0,033$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı düzeyde fark saptanmıştır. Son test 2. set $S_{dec\%}$ (W/KG) için KON ile HİP arasında $p = 0,027$ ve PLA ile KON arasında $p = 0,028$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur.

Grupların her biri için ayrı ayrı yapılan ön ve son test karşılaştırmalarında tüm setler için ön ve son test sonuçlarında mutlak güç $S_{dec\%}$ (W/KG) bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık saptanmamıştır. TSY 4 set için $S_{dec\%}$ (W/KG) bulguları çizelge 3.5.'de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Gruplara ait setlere göre rölatif zirve güç sprint azalma değerleri.

TSY 4 Set $S_{dec\%}$ (W/KG)		HİP	PLA	KON	P_{-}
Set 1 $S_{dec\%}$ (W/Kg)	Ön-test	9,21 ± 4,84	10,53 ± 5,21	8,29 ± 3,02	0,628
	Son-test	7,99 ± 2,10	9,42 ± 3,77	7,88 ± 3,49	0,031*
	P_{-}	0,408	0,724	0,283	
	%	-13,24	-10,54	-4,94	
Set 2 $S_{dec\%}$ (W/Kg)	Ön-test	6,81 ± 2,85	9,12 ± 6,13	7,24 ± 2,92	0,761
	Son-test	6,86 ± 2,57	8,03 ± 3,80	7,21 ± 9,99	0,033*
	P_{-}	0,678	0,866	0,660	
	%	0,73	-11,95	-0,41	
Set 3 $S_{dec\%}$ (W/Kg)	Ön-test	8,55 ± 2,47	9,40 ± 5,65	5,54 ± 2,39	0,109
	Son-test	7,98 ± 4,36	9,15 ± 2,68	5,62 ± 3,77	0,061
	P_{-}	0,214	0,735	0,835	
	%	-6,66	-2,65	1,44	
Set 4 $S_{dec\%}$ (W/Kg)	Ön-test	6,56 ± 3,41	7,88 ± 6,37	6,61 ± 1,63	0,992
	Son-test	6,35 ± 3,17	5,97 ± 4,31	7,56 ± 3,73	0,177
	P_{-}	0,859	0,091	0,556	
	%	-3,2	-24,23	14,37	

Son Test Set 1 Rölatif Zirve Güç $S_{dec\%}$ = PLA > KON (0,037), Son Test Set 2 Rölatif Zirve Güç $S_{dec\%}$ = KON > HİP (0,027), Son Test Set 2 Rölatif Zirve Güç $S_{dec\%}$ = PLA > KON (0,028)

HİP, PLA ve KON grupları arasında ön ve son test yorgunluk indeksi bakımından yapılan karşılaştırmada hem mutlak güç hem de rölatif güç yorgunluk indeksi için gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde bir fark saptanmamıştır. Diğer yandan her bir grup için ön ve son test bakımından yapılan karşılaştırmalarda da hem mutlak güç hem de rölatif güç yorgunluk indeksi bakımından ön ve son test sonuçları arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde bir fark bulunmamıştır (Çizelge 3.6.).

Çizelge 3.6. Gruplara ait mutlak ve rölatif zirve güç yorgunluk indeksi değerleri.

TSY Yorgunluk İndeksi		HİP	PLA	KON	P ₋
Yorgunluk İndeksi (W)	Ön-test	25,02 ± 6,29	29,32 ± 7,29	28,98 ± 4,47	0,294
	Son-test	25,38 ± 5,25	29,03 ± 6,44	28,86 ± 4,04	0,213
	P ₋	0,855	0,865	0,958	
	%	1,43	-0,98	-0,41	
Yorgunluk İndeksi (W/Kg)	Ön-test	25,02 ± 6,29	29,32 ± 7,29	28,98 ± 4,47	0,294
	Son-test	25,38 ± 5,25	29,92 ± 6,44	28,86 ± 4,04	0,213
	P ₋	0,855	0,865	0,958	
	%	1,43	-0,98	-0,41	

HİP, PLA ve KON grupları arasında yapılan karşılaştırmalara göre TSY öncesi ve tüm setler sonu SpO₂ parametreleri için ön ve son test sonuçları bakımından gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamıştır. Ön ve son test SpO₂ parametresi için yapılan karşılaştırmalara göre PLA grubunun sadece 1. set sonu SpO₂ değerinde p = 0,017 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmuştur. HİP grubunda tüm setler sonu SpO₂ değerleri için sırasıyla; p = 0,009; p = 0,036; p = 0,028 ve p = 0,011 düzeylerinde istatistiksel olarak anlamlı farklılık saptanmıştır. KON grubu ön-son test SpO₂ set sonu değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı bir bulguya rastlanmamıştır. Set sonu SpO₂ düzeylerindeki yüzdelik değişimler tüm gruplar için çizelge 3.7.'de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Gruplara ait TSY öncesi ve set sonu SpO₂ değerleri.

TSY Set SpO ₂ Ortalamaları		HİP	PLA	KON	P ₋
Dinlenim	Ön-test	98,55 ± 0,52	98,57 ± 0,53	98,5 ± 0,53	0,959
	Son-test	98,22 ± 0,44	98,57 ± 0,53	98,5 ± 0,53	0,329
	P ₋	0,083	1	1	
	%	-0,33	0	0	
Set 1 Sonu	Ön-test	97,66 ± 1,73	98,14 ± 0,37	97 ± 1,41	0,248
	Son-test	95,55 ± 1,74	95,42 ± 2,37	95 ± 2,32	0,859
	P ₋	0,009*	0,017*	0,09	
	%	-2,16	-2,72	-2,06	
Set 2 Sonu	Ön-test	96,55 ± 1,58	95,71 ± 1,97	96 ± 2,2	0,493
	Son-test	94,22 ± 1,78	95,42 ± 1,51	95,25 ± 0,88	0,387
	P ₋	0,036*	0,608	0,305	
	%	-2,41	-0,3	-0,07	
Set 3 Sonu	Ön-test	96,33 ± 1,65	96,28 ± 2,36	94,62 ± 1,4	0,133
	Son-test	93,00 ± 2,73	95,28 ± 1,6	94,5 ± 2,13	0,142
	P ₋	0,028*	0,498	0,944	
	%	-3,45	-1,03	-0,12	
Set 4 Sonu	Ön-test	96,11 ± 2,02	94,85 ± 2,26	93,62 ± 4,24	0,204
	Son-test	92,66 ± 1,11	93,85 ± 2,41	94,12 ± 2,35	0,297
	P ₋	0,011*	0,416	0,888	
	%	-3,58	-1,05	0,53	

HİP, PLA ve KON grupları arasında girişim koşulları bakımından AZD için yapılan karşılaştırmada gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde bir farklılık tespit edilmemiştir.

HİP grubunun AZD ön-son test sonuçlarına göre 3. set (değişim -10,29) için $p = 0,019$ ve 4. set (değişim -12,64) için $p = 0,018$ düzeylerinde AZD puanlarındaki azalmaya bağlı olarak istatistiksel olarak anlamlı farklılık tespit edilmiştir. Diğer grupların AZD ön ve son test sonuçları arasında istatistiksel anlamlı düzeyde bir değişim tespit edilmemiştir (Çizelge 3.8.).

Çizelge 3.8. Gruplara ait TSY set sonu AZD değerleri.

TSY Set Sonu BORG (6-20) AZD Ortalamaları		HİP	PLA	KON	P_{-}
Set 1 Sonu	Ön-test	12,55 ± 1,94	13,42 ± 2,82	12,87 ± 1,24	0,469
	Son-test	11,33 ± 1,73	12,14 ± 1,46	12,00 ± 0,75	0,464
	P_{-}	0,147	0,167	0,131	
	%	-9,72	-9,53	-6,75	
Set 2 Sonu	Ön-test	14,55 ± 1,94	15,28 ± 2,21	14,75 ± 1,75	0,757
	Son-test	13,22 ± 1,30	13,42 ± 1,39	14,00 ± 1,06	0,486
	P_{-}	0,073	0,066	0,378	
	%	-9,14	-12,17	-5,08	
Set 3 Sonu	Ön-test	16,22 ± 1,39	16,28 ± 2,49	15,87 ± 1,80	0,259
	Son-test	14,55 ± 1,23	14,14 ± 2,34	15,25 ± 1,16	0,416
	P_{-}	0,019*	0,127	0,395	
	%	-10,29	-13,14	-3,9	
Set 4 Sonu	Ön-test	17,55 ± 1,58	17,28 ± 2,49	16,62 ± 1,59	0,587
	Son-test	15,33 ± 1,11	14,85 ± 2,73	15,87 ± 1,12	0,537
	P_{-}	0,018*	0,056	0,131	
	%	-12,64	- 14,06	-4,51	

HİP, PLA ve KON grupları dinlenim KHD için karşılaştırıldığında koşullar bakımından KHD parametrelerinde (SDNN, RMSSD, LFnu, HFnu ve LF/HF oranı) gruplar arası istatistiksel olarak anlamlı düzeyde bir fark tespit edilmemiştir. Diğer yandan ön-son test KHD sonuçları bakımından da gruplar için istatistiksel olarak anlamlı düzeyde bir farka rastlanmamıştır (Çizelge 3.9.).

Çizelge 3.9. Gruplara ait Dinlenme KHD değerleri.

KHD Parametreleri Dinlenme Koşulu		HİP	PLA	KON	P ₋
SDNN	Ön-test	55,09 ± 30,21	81,58 ± 51,83	52,87 ± 21,76	0,249
	Son-test	71,26 ± 31,13	100 ± 80,54	72,17	0,829
	P ₋	0,242	0,605	0,222	
RMSSD	Ön-test	51,83 ± 36,54	82,39 ± 73,89	48,51 ± 30,09	0,355
	Son-test	77,86 ± 54,86	123,75 ± 142,92	80,34 ± 70,53	0,892
	P ₋	0,260	0,496	0,250	
LFnu	Ön-test	66,99 ± 11,4	69,32 ± 14,56	70 ± 16,4	0,900
	Son-test	63,36 ± 18,07	67,10 ± 16,63	66,62 ± 12,13	0,873
	P ₋	0,566	0,789	0,696	
HFnu	Ön-test	32,97 ± 11,38	30,63 ± 14,53	29,93 ± 16,34	0,897
	Son-test	36,56 ± 18,01	32,86 ± 16,63	33,33 ± 12,11	0,875
	P ₋	0,571	0,788	0,693	
LF/HF raito	Ön-test	2,48 ± 1,57	3,42 ± 3,41	3,51 ± 2,61	0,789
	Son-test	2,45 ± 1,76	2,74 ± 1,78	2,40 ± 1,39	0,912
	P ₋	0,859	1	0,263	

SDNN: NN aralıklarının standart sapması, RMSSD: ardışık RR intervalleri arasındaki ardışık farkların karelerinin ortalama karekökü, LFnu: normalleştirilmiş düşük frekans, HFnu: normalleştirilmiş yüksek frekans, LF/HF ratio: düşük frekans ve yüksek frekans oranı

Ön test TSY sonrası KHD parametrelerinde, Tek Yönlü Varyans Analizi sonuçlarına göre gruplar arasında SDNN, RMSSD, LFnu, HFnu ve LF/HF oranı için istatistiksel olarak anlamlı düzeyde bir farklılık tespit edilmemiştir.

Son test TSY sonrası KHD parametrelerinde ise, Tek Yönlü Varyans Analizi sonuçlarına göre gruplar arasında LFnu, HFnu ve LF/HF oranı bakımından istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık tespit edilmiştir. SDNN ve RMSSD parametreleri için gruplar arasında anlamlı düzeyde bir fark bulunmamıştır.

LFnu, parametresi için tespit edilen istatistiksel olarak anlamlı düzeydeki farklılık post-hoc analizine göre PLA ve KON arasında $p = 0,001$ anlamlılık düzeyindeyken HİP ve KON arasında $p = 0,016$ düzeyindedir.

TSY testi sonrası HFnu parametresi için gruplar arasında $p = 0,001$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık tespit edilmiş olup post-hoc sonuçlarına göre HİP ve KON arasında $p = 0,015$; PLA ve KON arasında ise $p = 0,001$ düzeyinde istatistiksel olarak olumlu yönde anlamlı farklılık bulunmuştur. Ortaya çıkan değişimin PLA grubundan kaynaklandığı görülmüştür.

Gruplar arasında LF/HF oranı karşılaştırıldığında PLA grubu lehine $p = 0,005$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık tespit edilmiştir. LF/HF oranı için ortaya çıkan anlamlı düzeydeki istatistiksel fark gruplar arasında sadece PLA grubunda olumlu görülmüştür.

Ön ve son testler için yapılan karşılaştırmada TSY sonrası LFnu, HFnu ve LF/HF oranı KHD parametreleri bakımından HİP ve KON gruplarında ortaya çıkmış bir değişim görülmezken, PLA grubunda ön-son test sonuçlarında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde fark bulunmuştur ($p = 0,018$). PLA grubu ön-son test sonuçlarına bakılınca LFnu'da azalma, HFnu'da artış ve LF/HF oranında azalma yönünde bir değişim olduğu görülmektedir (Çizelge 3.10.).

Çizelge 3.10. Gruplara ait TSY sonrası KHD değerleri.

KHD Parametreleri TSY Sonrası		HİP	PLA	KON	P ₋
SDNN	Ön-test	113 ± 155	85,27 ± 131	84,51 ± 134	0,927
	Son-test	123,8 ± 123,4	54,21 ± 23,94	101,11 ± 145	0,262
	P ₋	0,374	0,866	0,779	
RMSSD	Ön-test	157 ± 223	104,5 ± 155	103,13 ± 158	0,927
	Son-test	156,5 ± 139	74,11 ± 30,37	135,74 ± 198	0,346
	P ₋	0,260	0,735	0,779	
LFnu	Ön-test	45,08 ± 10,98	55,14 ± 12,89	53,15 ± 19,52	0,294
	Son-test	46,7 ± 15,07	36,02 ± 8,11	70,05 ± 19,98	0,001
	P ₋	0,594	0,018*	0,208	
HFnu	Ön-test	54,77 ± 10,97	44,66 ± 12,79	46,72 ± 19,47	0,294
	Son-test	53,11 ± 15,06	63,72 ± 7,99	29,74 ± 19,79	0,001
	P ₋	0,678	0,018*	0,263	
LF/HF ratio	Ön-test	0,9 ± 0,47	1,47 ± 1	1,96 ± 2,43	0,294
	Son-test	1,09 ± 0,88	0,58 ± 0,22	4,64 ± 4,55	0,005
	P ₋	0,678	0,018*	0,263	

SDNN: NN aralıklarının standart sapması, RMSSD: ardışık RR intervalleri arasındaki ardışık farkların karelerinin ortalama karekökü, LFnu: normalize edilmiş düşük frekans, HFnu: normalize edilmiş yüksek frekans, LF/HF ratio: düşük frekans ve yüksek frekans oranı

HİP, PLA ve KON grupları TSY testi 15 dk sonrası KHD parametreleri karşılaştırıldığında gruplar arasında ve her bir grup için ön-son test sonuçları arasında KHD parametreleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı düzeyde bir fark tespit edilmemiştir (Çizelge 3.10.).

Çizelge 3.11. Gruplara ait TSY 15 dk sonrası KHD değerleri.

KHD Parametreleri TSY 15 dk Sonrası		HİP	PLA	KON	P ₋
SDNN	Ön-test	89,13 ± 171	45,9 ± 61,34	66,4 ± 97,5	0,688
	Son-test	32,5 ± 27,98	42,85 ± 28,28	75,16 ± 116	0,563
	P ₋	0,859	0,866	0,575	
RMSSD	Ön-test	97,05 ± 220	57,7 ± 89,83	67,92 ± 110	0,688
	Son-test	34,85 ± 39,95	45,05 ± 49,36	98,54 ± 182	0,851
	P ₋	0,441	1	0,889	
LFnu	Ön-test	73,46 ± 21,57	84,11 ± 19,28	78,79 ± 28,98	0,524
	Son-test	72,86 ± 19,93	71,01 ± 21,42	68,45 ± 28,09	0,927
	P ₋	0,859	0,176	0,484	
HFnu	Ön-test	26,45 ± 21,46	15,76 ± 19,06	21,13 ± 28,86	0,524
	Son-test	27,08 ± 19,88	28,87 ± 21,25	31,46 ± 28	0,927
	P ₋	0,859	0,176	0,484	
LF/HF raito	Ön-test	8,10 ± 10,6	14,52 ± 13,73	9,62 ± 7,57	0,524
	Son-test	7,1 ± 8,97	4,26 ± 3,19	5,76 ± 5,16	0,909
	P ₋	0,678	0,128	0,263	

SDNN: NN aralıklarının standart sapması, RMSSD: ardışık RR intervalleri arasındaki ardışık farkların karelerinin ortalama karekökü, LFnu: normalleştirilmiş düşük frekans, HFnu: normalleştirilmiş yüksek frekans, LF/HF ratio: düşük frekans ve yüksek frekans oranı

4. TARTIŞMA

Bu doktora bitirme tezi kapsamında yapılan çalışmada, şok mikro döngüde; 1 hafta içerisinde, 48 saat arayla, ısınma ve soğuma periyotları da dahil yaklaşık 30 dk süren, 3 adet hipoksida tekrarlı sprint antrenmanı gönüllülere uygulatılmış, TSY fiziksel performanslarıyla birlikte SpO₂, AZD ve KHD parametreleri de ön ve son test kapsamında değerlendirilmiştir. Çalışmanın böyle bir konseptte tasarlanmasındaki temel amaç, mümkün olan en kısa süre içerisinde, yapay kaynaklı normobarik hipoksik koşulda elde edilebilecek olumlu ya da olumsuz değişiklikleri görebilmektir.

Sporcuların yüksek irtifada kamp ya da antrenman yapmalarındaki amacın dayanıklılık ve/veya toparlanmada etkili olan kırmızı kan hücrelerinde artış sağlayarak atletik performansı artırmak olduğu artık iyi bilinen bir durumdur. Alanyazına bakıldığında, dayanıklılık kapasitesi kandaki hemoglobin yoğunluğuyla yakından ilişkilidir. Kandaki Hemoglobin artışı da EPO salgılanmasına bağlıdır. Hipoksik maruziyet altında 90 dk yapılan dayanıklılık egzersizinden 3 saat sonra kandaki serum EPO seviyesinde artış olduğu belirtilmektedir (Wahl ve ark., 2013). Knaupp ve ark. (1992) tarafından FiO₂ %10,5 seviyesinde normobarik hipoksinin EPO salınımına akut etkisinin araştırıldığı çalışmada, 120 dk'lık kesintisiz hipoksi uygulamasında EPO seviyesinin 84. dk'dan itibaren artmaya başladığı ve maruziyetin başlangıcından 240 dk sonra % 52 artış gösterdiği; 240 dk'lık aralıklı hipoksi uygulamasında ise 114. dk'dan itibaren EPO seviyesinin artmaya başladığı, maruziyet başlangıcından 360 dk sonra da bazal seviyeden %50 artış gösterdiği belirtilmektedir. İki farklı yöntemle yapılan hipoksi koşul uygulamasından elde edilen sonuçlara bakılarak maruziyet şeklinin EPO salınımı üzerinde farklı etkilerinin olduğu anlaşılmaktadır.

İrtifada 3-4 haftalık konaklama ile hipoksi kaynaklı eritropoetin artışıyla birlikte deniz seviyesi dayanıklılık performansının arttığı bilinmektedir (Wilber, 2007). Yapılan bazı çalışmalarda 3-6 hafta süre boyunca hipobarik hipoksi ya da

normobarik hipoksiyle kombine olarak ya da yalnızca normobarik hipoksida (1380-3000 m) uygulanan antrenman programıyla birlikte Hb kütlesinde (Carr ve ark., 2015; Sharma ve ark., 2019), otonom sinir sistemi, hemodinamik işlevlerde (Jung ve ark., 2020) dayanıklılık performansında artış sağlanabildiği belirtilmektedir (Carr ve ark., 2015; Sharma ve ark., 2019; Jung ve ark., 2020). Hipoksida antrenmandaki temel hedef de kırmızı kan hücrelerinde ortaya çıkan artışların bir sonucu olarak, dayanıklılıkta ya da toparlanma kapasitesinde artış meydana gelmesini sağlamaktır. Bunun için her ne kadar doğal çevresel ortamda konaklama ya da antrenman yapma gerekliliği kabul görmüş olsa da (Birol ve ark., 2018), son yıllarda Live Low + Train High yönteminin simüle edilmiş ortamda hematolojik parametrelerde değişime neden olmasa dahi tekrarlı sprint performansını geliştirdiği olgusu kabul görmeye başlamış bir durumdur (Girard ve ark., 2017).

Son yıllarda yapay kaynaklı hipoksi koşulunun olası etkilerini test etmek amacıyla yapılan bazı çalışmalar dayanıklılık ya da toparlanma kapasitesiyle yakından ilişkili olan kan parametrelerinde bir değişim olmasa da fiziksel performansta artış meydana gelebildiğini göstermektedir. (Birol ve ark., 2018). Bu çalışmadaki temel hedef de Live Low + Train High konseptinde normobarik hipoksi koşulunun sağladığı fizyolojik strese ek olarak maksimal şiddette yapılan TSY antrenmanı yoluyla ortaya çıkan fizyolojik stresi sinerjik etkiyle test ederek fiziksel performans üzerindeki olası kısa süreli etkilerini incelemek oldu.

Bu çalışmada hipoksida TSY antrenmanının ön ve son test kıyaslamasına göre TSY testi sırasında elde edilen en yüksek mutlak zirve güçte %8,43 ve en yüksek rölatif zirve güçte %13,44 artış sağladığı görülmüştür. Gruplar arası son test kıyaslamasında sadece HİP grubunda kontrol grubuna göre anlamlı bir değişim görülmektedir. Ancak HİP ve PLA grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde bir fark görülmemiş olsa da HİP grubundaki artış PLA grubuna göre neredeyse iki katıdır. PLA grubu için de rölatif zirve güç ön ve son test ortalama değerleri kıyaslandığında %7,48 oranında bir artış görülmektedir. Ancak bu artış istatistiksel olarak anlamlı değildir. Bu sonuca bakılarak TSY antrenmanı ile normobarik hipoksinin sinerjik bir biçimde uygulanmasının kısa sürede dahi mutlak

ve rölatif zirve güçte normobarik normoksik koşulda yapılan aynı antrenmana göre daha fazla artış sağlayabildiği söylenebilir. Diğer yandan bu çalışmada 20 sprintten elde edilen mutlak ve rölatif zirve güç ortalaması için yapılan karşılaştırmaya göre gruplar arasında anlamlı düzeyde bir farklılık görülmemiştir. Grup içi ön ve son test sonuçlarına bakıldığında bu parametre bakımından da HİP grubunda yaklaşık olarak %12'lik bir artış olduğu görülmüştür. Bu bakımdan hipokside TSY antrenmanının maksimal eforu daha az güç kayıplarıyla sürdürebilmede de etkili olduğu düşünülebilir. Brechbuhl ve ark. (2020) tarafından 12 gün içerisinde, $FiO_2 = \%14.5$ (3000 m) düzeyinde 5 seans, 4 set 5 x 8 sn. tekrarlı sprint antrenmanı uygulatılan çalışmada; normoksik ortamda 8 x 20 m tekrarlı mekik sprint koşusu performansında son antrenmandan sonraki hafta içerisinde toplam sprint süresi bakımından % -1,9 (POST-1) ve 3 hafta sonrasında (POST-2) % -2,5 gelişim olduğu; kan perfüzyonunda POST-1 için %82,5 ve POST-2 için %137 artış olduğu, ayrıca sadece normobarik hipoksi grubunda top isabetinde %38,2 artış olduğu belirtilmektedir.

Beard ve ark. (2019) tarafından bu çalışmaya benzer konseptte ve test araçlarıyla yapılan diğer bir çalışmada, 2 hafta şok mikro döngüde 3000 m eşdeğeri hipoksi koşulda bisiklet ergometresinde toplam 4 seans TSY antrenmanı yaptırılan ragbi oyuncularının ön ve son test rölatif zirve kuvvetlerinde hipoksi grubunda (hipoksi grubu ön test $W/KG = 12,84 \pm 0,83$; son test $W/KG = 13,63 \pm 1,03$) normoksi gruba göre (normoksi grubu ön test $W/KG = 13,17 \pm 0,89$; son test $W/KG = 13,00 \pm 1,01$) anlamlı düzeyde artış olduğu belirtilmiştir. Hipoksi antrenmanı yaptırılan gruptaki artış yaklaşık %6'dır. Bu sonuç bakımından bu çalışmada elde edilen sonuçla da benzerlik göstermektedir. Fakat antrenmanlar arasında geçen süre ve toplam antrenman sayısı bakımından bir kıyaslama yapılacak olursa bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre daha kısa zamanda daha fazla artış elde edilmiştir. Buna neden olarak antrenman sıklığı ve hipoksi maruziyetin daha yüksek derecede olması gösterilebilir. Buna karşın Beard ve ark. (2019) tarafından yapılan çalışmada gruplar arasında $S_{dec\%}$ için anlamlı bir farkın bulunmadığı raporlanmıştır. Çalışmamız sonuçlarına göre ise hem rölatif hem de mutlak zirve güç bakımından sprint azalma skoru için yapılan karşılaştırmada son test sonuçları bakımından hipoksi ve plasebo

grubu arasında anlamlı düzeyde bir farklılık bulunmuştur. Fakat ortaya çıkan bu farklılığın HİP grubundaki gelişimden değil, PLA grubunda sprint azalma skorunda ortaya çıkan artıştan kaynaklandığı anlaşılmıştır. İstatistiksel olarak anlamlı düzeyde olmasa da HİP grubunun hipokside tekrarlı sprint maruziyeti sonucunda oluşan yüksek fiziksel ve fizyolojik stres sonrasında sprint azalma skorunda ortaya çıkan % - 5,34'lük azalma dikkate değerdir. Buna ilaveten, sprint azalma skoru her bir set için ayrı ayrı değerlendirildiğinde HİP grubunun son test 1. set sprint azalma skorunda ön test sonucuna göre %13,24 oranında bir düşüş olduğu görülmektedir ve gruplar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Ancak diğer setler için istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık görülmemekle birlikte sonraki setlerde ortaya çıkan mutlak ve rölatif güç üretiminde çok ciddi dalgalanmalar olduğu bu nedenle birinci setten sonraki setlerin sprint azalma skorunu değerlendirmede makul görünmemektedir.

Goods ve ark. (2015) tarafından 5 hafta boyunca, haftada 3 seans 3000 m'ye eşdeğer normobarik hipoksi koşulunda tekrarlı sprint antrenmanı uygulatılan çalışmada ise hipokside antrenmanın normobarik normokside yapılan antrenmandan daha fazla gelişim sağlamadığı belirtilmektedir. Hamlin ve ark. (2017) tarafından 3000 m'ye eşdeğer hipoksi koşulunda, 3 haftada 6 seans hipokside tekrarlı sprint antrenmanı yaptırılan çalışmanın sonuçlarına göre ise, hipokside tekrarlı sprint antrenmanının sprint azalma skorunda düşüş sağladığı ve TSY'yi geliştirici etkisi olduğu görülmektedir. Antrenman konsepti bakımından önceki çalışmayla benzerlik gösteren Pramkratok ve ark. (2022) tarafından 14 ragbi oyuncusuyla yapılan, katılımcılara 6 hafta boyunca haftada 3 gün normobarik hipoksi (FiO_2 % 14,5) ve normoksi koşulunda 10 x 6 sn. sprint antrenmanı protokolü uygulatılan çalışmada, hipokside antrenmanın yorgunluğun ortaya çıkma zamanında gecikmeye (% 17,6) ve yorgunluk indeksinde azalmaya (% - 12,3) neden olduğu bildirilmiştir.

Yukarıdaki çalışmalar ve bu çalışmada kullanılan konseptten farklı olarak daha kısa sürede daha yoğun bir TSY antrenmanı programının uygulandığı çalışmanın sonuçları da çalışmamızın sonuçlarıyla örtüşmektedir. Kasai ve ark. (2017) tarafından sprint antrenmanı geçmişine sahip 19 erkek katılımcının FiO_2 =

%14,5 düzeyinde hipoksiye maruz bırakıldığı çalışmada, ardışık 5 günde; bir adet 10 s sprint (5 dk toparlanma) ve 5 x 6 s sprintlerin 24/36 s aralıklarla (sabah ve öğle olmak üzere iki seans) 3 set yapıldığı (setler arası 8 dk toparlanma) bir antrenman programı uygulatılmıştır. Uygulanan program sonrası hipokside sprint antrenmanı yapan grubun maksimal güç çıktısında normoksi grubuna nispeten daha fazla artış gösterdiği belirtilmektedir (Kasai ve ark., 2017). Bu bakımdan söz konusu son çalışma antrenman periyodu ve elde edilen gelişime bakıldığında kısa süreli etki bakımından mevcut çalışmamızın sonucuyla örtüşmektedir. Diğer yandan tamamen sprint antrenmanı geçmişine sahip sprint sporcularından oluşan böylesine homojen bir grupta bu kadar kısa sürede gelişim ortaya çıkmış olması hipokside tekrarlı sprint antrenmanının etkili bir antrenman yöntemi olduğunu göstermektedir.

Hipokside TSY antrenmanının olası etkilerinin (özellikle de kısa süreli etkilerin) daha iyi anlaşılabilmesi bakımından farklı hipoksi düzeylerinde fiziksel performansta ya da fizyolojik göstergelerde ortaya çıkan değişimlerin iyi anlaşılması ve uygulamaya aktarılması gerekmektedir. Akut etki araştırılan çalışmalarda özellikle maksimal eforla tekrarlı biçimde yerine getirilen sprintleri sürdürebilmenin çok önemli bir husus olduğu görülmektedir. Morrison ve ark. (2015) tarafından 10 amatör takım oyuncusuyla yapılan bir çalışmada 4 setten oluşan 4 x 4 sn. tekrarlı sprint protokolü (sprintler arası 26 sn. ve setler arası 2 dk 26 sn. dinlenme) uygulatılmış ve 1. ve 2. setler için girişimler arasında doruk hız, ivmelenme ve kat edilen mesafe arasında anlamlı bir farklılık bulunmazken 3.-4. setlerde normoksi girişimde elde edilen değerlerin daha yüksek olduğu bulunmuştur. İvmelenme ortalama değeri ise sadece 4. set için normoksi girişimin lehine olduğu görülmüştür. 16. sprint sonrası laktat değeri (hipoksi: $10,2 \pm 2,5$ ve normoksi: $8,6 \pm 2,6$ mM) hipoksi girişiminde daha yüksek bulunmuştur. Bu da hipoksi koşulda yapılan maksimal yüklenmenin normoksi koşuldan daha fazla fizyolojik strese neden olarak yorgunluğun değerlendirilmesinde bir parametre olarak kullanılan laktat değerinde daha fazla artışa neden olduğu görülmektedir. Bu nedenle TSY antrenmanının hipoksi koşulda yapılmasının normoksi koşulda yapılmasından daha etkili olabileceği söylenebilir.

Hipoksi koşulunun ne derecede etki ettiğini gözlemlemek ve anlamak hatta maksimal şiddette yüklenmenin ne derecede bu koşulda yerine getirilmeye devam ettiğini görebilmek amacıyla, performansla birlikte bir diğer gözlenmesi gereken parametre de SpO_2 değeridir. Yapılan bir çalışmada FiO_2 %12-15 düzeylerinde SpO_2 'deki ve sprint performansındaki düşüşün en fazla FiO_2 %12 koşulunda olduğu ancak %13 koşulundaki SpO_2 değerinin %14 ve %15 koşullarından daha düşük olduğu görülmektedir (Bowtell ve ark., 2014). Khaosanit ve ark. (2018) tarafından yapılan çalışmanın sonuçları da (FiO_2 12,5 = %10,7 azalma; FiO_2 13,5 = 10,3 azalma; FiO_2 14,5 = %11,8 azalma) bir önceki çalışmayla benzeşmektedir. Hipoksi koşulun sağladığı düşüşe ek olarak bireyin maksimal şiddetteki fiziksel yüklenmeyi bu koşulda ne derecede devam ettirebildiği de SpO_2 'nin ne ölçüde düşebileceği konusunda etkilidir.

Yukarıdaki çalışmaların sonuçlarına bakılarak SpO_2 'nin maruz kalan hipoksi düzeyine bağlı olarak düşebildiği gibi, sprintlerin tam verimlilikle sürdürülebilmesine de bağlı olduğu anlaşılmaktadır. Kon ve ark. (2015) tarafından yapılan çalışmada iki farklı normobarik hipoksi girişiminde bisiklet ergometresinde 4 setten oluşan 30 sn tam efor tekrarlı sprint egzersizi sırasında SpO_2 'nin FiO_2 = %13,6 girişimi için %80'nin altında ve FiO_2 = 16,4 girişimi için %90'nın altına düştüğü görülmektedir. SpO_2 değeri normobarik normoksi grubu için egzersiz sırasında ortalama %93 olarak verilmiştir. Zirve ve ortalama güç çıktısındaki gelişimin en çok FiO_2 = 13,6 girişiminde olduğu belirtilmiştir. Kon ve ark. (2015) tarafından yapılan çalışma hedeflenen gelişim için hipoksi düzeyi tercihinin ne denli önemli olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada ise gönüllülerin maruz bırakıldığı hipoksi seviyesi FiO_2 = 13-13,4 düzeyleridir (3420 m). Bazı çalışmalarda sprint performansındaki düşüşün SpO_2 'deki azalmadan kaynaklı, başka bir deyişle artan O_2 ihtiyacıyla birlikte toparlanma hızındaki düşüşün sonucu olarak fosfokreatin resentezinin de yavaşlaması sebep olarak gösterilmektedir (Smith ve Billaut, 2010; Goods ve ark., 2014). TSY ve O_2 'yi kullanabilme yeteneği arasında önemli bir ilişki olduğunu gösteren başka çalışmalar da bulunmaktadır (Meckel ve ark., 2009; Jones ve ark., 2013). Bu çalışmada set sonu SpO_2 değerleri koşullar bakımından karşılaştırıldığında gruplar arasında anlamlı bir farklılık görülmemiştir ancak sadece HİP grubuna ait

SpO₂ set sonu değerlerinde ön ve son test sonuçları bakımından anlamlı farklılık tespit edilmiştir. HİP grubu için 1. setten 4. sete kadar her set sonunda SpO₂ değerinde düşüş devam etmiştir (Çizelge 3.6.). Yukarıdaki çalışmaların sonuçları ve bu çalışmadan elde edilen sonuçlar SpO₂'de ve S_{dec%}'de HİP grubunda meydana gelen düşüşler bakımından dikkate alındığında, hipokside TSY antrenmanının normoksi koşuldaki tekrarlı sprint performansını daha az güç düşüşüyle sürdürülebilmesini sağladığı ve toparlanma yeteneğini artırdığı söylenebilir. Normoksi koşulunda SpO₂'de TSY testi sırasında HİP grubunda ortaya çıkan daha fazla düşüş ve buna rağmen mutlak ve rölatif zirve güçteki artış, HİP grubunun yorgunluğa karşı daha fazla direnç oluşturabildiği ve diğer girişim gruplarına nispeten daha fazla güç üretmini daha az düşüşle yerine getirebildiği söylenebilir.

Aerobik enerji sisteminin yani O₂ tedarikinin ve etkili kullanabilme kapasitesinin çalışan kaslardaki önemi ve tekrarlı sprint yeteneğiyle ilişkili olduğu bazı çalışmalarda kanıtlanmıştır (Meckel ve ark., 2009; Jones ve ark., 2013). Galvin ve ark. (2013) tarafından 4 haftalık sürede 12 seans hipokside tekrarlı sprint antrenmanı uygulanan çalışmanın sonuçlarına göre, periferik yorgunluk üzerinde etkisi olan aynı zamanda merkezi yorgunluk için bir gösterge olarak kullanılabilen serebral deoksijenasyonda, hipokside tekrarlı sprint antrenmanı yapan grupta önemli seviyede bir düşüş olduğu belirtilmektedir. Bu da hipokside tekrarlı sprint antrenmanının serebral oksijenasyonu artırarak kaslardan geri gelen bildirimlerin daha verimli bir şekilde kullanılması yoluyla kas kontraksiyonun devam ettirilmesi ve yorgunluğun ortaya çıkış zamanının geciktirilmesi bakımından önemli bir antrenman uygulaması olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Heinonen ve ark. (2012) tarafından yapılan orta düzeyde hipoksi maruziyeti (FiO₂ %14) ile düşük yoğunluklu egzersizin araştırıldığı bir çalışmada, hipoksi sırasında çalışan kaslara glukoz alımında artış olduğu bildirilmiştir. Bu doğrultuda hipoksinin sağladığı ilave stres ile birlikte yapılacak antrenmanlarla kasların enerji kullanma ve enerji üretme yeteneğini artırılabilirdiği söylenebilir.

Bu çalışmada gruplar arasında AZD bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık görülmemiştir ancak 3. ve 4. setler için ön-son test sonuçlarına

bakıldığında HİP grubunda anlamlı farklılık bulunmuştur. Bu durum hipoksi koşulunda solunum zorluğunun artmasının bir sonucu olarak (Katayama ve ark., 2001) aynı yüklenmenin test olarak normoksi koşulunda yapılmasıyla katılımcılar tarafından iki durumun kıyaslamasına verilen sübjektif bir yanıt olarak düşünülebilir.

Brechbuhl ve ark. (2020) tarafından laktat, KHD zaman-alan parametreleri ve S_{dec} bakımından girişimler arasında bir farklılık olmadığı sunulmuştur. Hamlin ve ark. (2021) tarafından yapılan çalışmada, KHD parametrelerinin hipoksi koşulunda antrenman yapan grupta normobarik koşulda antrenman yapan gruba göre daha düşük saptandığı ve bunun da hipoksinin sağladığı ek fizyolojik stres kaynaklı olabileceği belirtilmektedir. Buchheit ve ark. (2004) tarafından hipoksi koşulunda KHD parametrelerinin hem dinlenimde hem de submaksimal şiddette fiziksel yüklenme sırasında gözlendiği çalışmada, egzersiz sırasında KHD indekslerinin büyük ölçüde düştüğü yönündedir. Bu çalışmada da elde edilen verilere göre TSY 15 dk sonrası KHD parametreleri dinlenim koşuluyla karşılaştırıldığında özellikle KHD frekans- alan indekslerinde önemli ölçüde düşüş olduğu görülmüştür. Buchheit ve ark. (2004) çalışmasında hipoksi koşulunun ilave bir düşüşe neden olmadığı belirtilirken, bu çalışmada PLA grubunda diğer gruplara göre LFnu, HFnu ve LF/HF oranı bakımından, TSY hemen sonrasında daha önemli ölçüde değişim olduğu ve sempatovagal aktivasyon artışına işaret eden bir iyileşme olduğu görülmektedir. HİP grubunda KHD parametrelerinde bir değişim olmaması, KHD parametreleri bakımından son antrenman ve son test arasındaki 72 saatlik sürenin KHD bakımından toparlanma için yeterli bir süre olmadığını düşündürmektedir. Gutknecht ve ark. (2022) tarafından yapılan başka bir çalışmada ise 1500 m, 2100 m ve 3200 m simüle edilmiş irtifa girişimleri arasında sadece 1500 m’de Wingate testi sonrası toparlanma sürecinde LnRMSSD değerinin arttığı belirtilmiştir. Bu çalışmada HİP grubunun 3420 m eşdeğerinde hipoksiye maruz bırakıldıkları bilgisi dikkate alındığında sadece PLA grubunda KHD değerlerinde toparlanma sürecinde artış olması anlamlı görünmektedir.

Alanyazında normobarik hipoksida TSY antrenmanının etkilerinin araştırıldığı çalışmalara bakıldığında yukarıdaki çalışmalardan farklı olarak daha

uzun süre ve sayıda antrenmanın, farklı düzeyde simüle edilmiş irtifalarda uygulandığı çalışmalarda da sprint performansının artışı bakımından sonuçlar olumlu görünmektedir (Galvin ve ark., 2013; Gatterer ve ark., 2015; Camacho-Cardenosa ve ark., 2020; James ve Girard, 2020). Olumlu sonuçlar görülen çalışmaların aksine, Montero ve Lundby (2017) tarafından 4 hafta, 12 seans, $FiO_2 = \%13,8$ (3000 -3500 m) düzeyinde normobarik hipoksik koşulun ve normobarik normoksik koşulun çapraz çalışma tasarımında sağlandığı başka bir çalışmada ise hipoksik koşulda yapılan tekrarlı sprint antrenmanının normoksik koşuldaki tekrarlı sprint performansını geliştirici bir etkisi olmadığı ancak çalışan kaslara kan akışını artırdığı belirtilmektedir.

Katılımcılar üç gruba ayrılarak, 2 grup 2800-3000 m'ye eşdeğer simüle edilmiş irtifada 2 hafta boyunca konaklatılmış ve deniz seviyesinde kendi takım antrenmanlarına ek olarak iki gruptan birisine hipoksizde tekrarlı sprint antrenmanı, diğerine de normoksi koşulda tekrarlı sprint antrenmanı yaptırılmıştır. Katılımcıların 14 günlük sürede 48 saat arayla takım antrenmanlarına ek olarak yaptıkları toplam 6 ek antrenman sonunda hipoksi grubunun TSY performansında normoksi grubuna göre neredeyse iki katlık bir gelişim olduğu, performans gelişiminin yanında HIF-1a, VEGF, myoglobin, PGC-1a ve mRNA düzeylerinde de artış olduğu raporlanmıştır. Saptanan bu adaptasyonların 14 günlük uygulamadan sonraki 3 hafta boyunca korunabildiği belirtilmektedir (Brocherie ve ark., 2018). Bu sonuçlar göz önünde bulundurularak simüle edilmiş ortamda konaklamaya ek olarak uygulanan hipoksizde tekrarlı sprint antrenmanı, çevresel/doğal irtifa ortamında yapılan aynı antrenmana göre zamandan kazandıran bir yöntem olarak görünmektedir. Başka bir çalışmada, hipoksizde konaklama olmaksızın uygulanan RSH antrenmanı programının normoksiye kıyasla O_2 sinyalizasyonunda, O_2 taşınmasında ve pH üzerinde düzenleyici genlerde upregulasyon sağlayarak faydalı etkiler ortaya çıkardığı, bunun da maksimal eforlar gerçekleştirilen sprint performansı üzerinde olumlu etkileri olduğu bildirilmiştir (Faiss ve ark., 2013b). RSH antrenman programı yanında 14 gün süre boyunca hipoksik ortamda konaklamanın önceki çalışmada gözlenen faydalı etkiler yanında mitokondriyel biyogenesi ve metabolizmasını arttırdığı da görülmektedir (Brocherie ve ark., 2018).

Aynı şiddetteki yüklenme hem normoksik hem de hipoksik koşulda karşılaştırıldığında hipoksinin daha fazla fizyolojik stres yarattığı aşıkardır. Bu ilave fizyolojik stres ile normoksi koşula göre aynı yüklenme şiddetinde daha hızlı fizyolojik adaptasyonlar sağlanması mümkündür (Maldonado-Rodriguez ve ark., 2022). Performansta meydana gelebilecek artışlar sadece hematolojik parametrelerde meydana gelebilen artışlara bağlı olmadığı anlaşılmaktadır. Bu süreçte etkili olan alt fizyolojik ve moleküler mekanizmalar da egzersiz performansının artışını sağlayabilmektedir. Faiss ve Rapillard (2020) tarafından elit bir bisikletçi ile yapılan bir vaka çalışmasında, elit bisikletçinin irtifada konaklama olmaksızın yarışmasından 14 hafta önce 10 gün içerisinde 48 saat arayla uygulatılan 5 seanslık RSH antrenmanının 6 s sprint eforunu daha düşük KAH ile yani daha düşük metabolik yük ile yapabildiği ve bu antrenman yönteminin sağladığı ek fizyolojik stresin sprint performansını arttırmada etkili bir yöntem olduğunu vurgulamaktadır. Bu çalışmaya ek olarak antrenmanlı bisikletçilerle yapılan başka bir çalışmada da 6 gün art arda yapılan normobarik hipoksida tekrarlı sprint antrenmanının (3 x 30 s, 5 dk dinlenme aralıklarıyla tam efor) girişimden sonra normobarik normoksida son antrenmandan 7-9 gün sonra tekrarlanan aynı protokolde yorgunluğun ortaya çıkış süresini geciktirdiği, aynı yoğunluktaki yüklenmede laktat seviyesinin azalmasını/laktat oksidasyonunda artış sağladığı ve diğer yandan da glikoz yıkılımının daha efektif olarak gerçekleşmesini sağladığı belirtilmiştir (Takei ve ark., 2020).

Hamlin ve ark. (2017) tarafından yapılan çalışmanın sonuçları bisiklet ergometresinde yapılan benzer antrenmanın “on-feet” sprint performansını geliştirdiği yönünde olmuştur. Goods ve ark. (2015) tarafından yapılan çalışmada ise bisiklet ergometresinde normal antrenman programına ek olarak yapılan RSH antrenmanının bisiklet ergometresi tekrarlı sprint performansında gözlenen parametrelerde olumlu etkileri olduğu rapor edilirken “on-feet” tekrarlı sprint performansı üzerinde geliştirici bir etkisi olmadığı yönündedir. Ancak Goods ve ark. (2015) çalışmasında uygulanan antrenman protokolüne (3 set 7 x 5 Sn.), laboratuvarında bisiklet ergometresinde uygulanan test protokolüne (3 set 6 x 4 Sn.) ve sahada kullanılan tekrarlı sprint yeteneği testine (3 set 6 x 20 m) bakıldığında elde edilen sonuçlar “on-feet” tekrarlı sprint performansındaki değişimi değerlendirme

bakımından çelişkili hale gelmektedir. Çünkü uygulanan antrenman ve kullanılan saha testindeki sprint mesafesi antrenmanda uygulanan sprint süresine denk görünmemektedir. Bu nedenle yapılan yüklenmenin sağlaması muhtemel gelişimin gözlenmesi amacıyla test protokollerinin çok büyük hassasiyetle seçilmesi gereklidir. Bu çalışmada uygulanan TSY antrenman protokolü aynı zamanda test protokolü olarak kullanılmıştır. Bu bakımdan aynı fiziksel yüklenme stresi, hipoksinin sağladığı ek fizyolojik stres ile kullanılarak normoksi koşuldaki fiziksel yüklenme stresine karşı koyabilme yeteneğinde artış ya da azalma olup olmadığı test edilebilmiştir.

Yapay kaynaklı hipoksida yapılan çalışmalarda fiziksel/atletik performansın araştırılması yanı sıra araştırılabilecek diğer önemli bir konu da akut dağ hastalığıdır. Bilindiği üzere irtifaya çıkış anından itibaren birkaç saat içerisinde akut dağ hastalığı gelişebilmekte ve ilerleyen birkaç gün rahatsızlık çok ciddi boyutlara ulaşabilmektedir. Diğer yandan dayanıklılık performansında da azalma meydana gelebilmektedir. Hipoksida tekrarlı sprint uygulamaları ile her ne kadar performans artışı asıl hedef olsa da normobarik hipoksi maruziyetiyle pre-aklimatizasyon sağlanabildiği ve AMS prevelansında %80-100'den %50-64'e kadar bir azalma ortaya çıkabildiği belirtilmektedir (Fulco ve ark., 2013). Bu nedenle yaptıkları sporun gerekliliği olarak tekrarlı sprint yeteneğini geliştirmeye ihtiyaç duyan sporcuların (özellikle deniz seviyesinde yaşayanların) sezon içerisinde var olan antrenman programlarına ek olarak uygulayabilecekleri bu antrenman yöntemi hem tekrarlı sprint performansını artırmak/korumak hem de kısa sürede yükseltideki bir yarış ya da kamp öncesi az da olsa aklimatizasyon kazanımı bakımından çok kullanışlı bir yöntem olarak düşünülebilir.

Yukarıda yazılı olan tüm çalışmalar neticesinde özellikle yapay kaynaklı hipoksi simülasyonlarıyla yapılan çalışmalarda performans artışında kilit rol oynayan alt mekanizmaları açıklayacak araştırmaların ortaya konulması gerektiği görülmektedir. Pospieszna ve ark. (2020) tarafından yapılan bir çalışmada dayanıklılık, sprint ve rekreasyonel seviyede antrenmanlı kişilerin farklı antrenman fazlarındaki biyokimyasal parametrelerinin 1 yıl boyunca incelendiği bir çalışmada eritrosit enerji durumu ve plazma pürin metabolitleri incelenmiştir. Bu çalışmanın

sonuçlarına göre gözlenen parametrelerdeki (Adenozin difosfat, adenozin monofosfat, ADP/ATP oranı, inosin, hipoksantin) en yüksek değişimin yarışma döneminde olduğudur. Özellikle hızlı enerji dönüşümünün ve hızlı toparlanmanın elzem olduğu TSY için söz konusu parametreler oldukça önemlidir. Bu parametrelerdeki değişimler hipoksida antrenman konseptinde de incelenerek, hipoksi koşulunun normoksiye nispeten sağladığı ilave fizyolojik stres kaynaklı olarak söz konusu değerlerde bir gelişim olup olmadığı izlenebilir.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

“Normobarik hipokside tekrarlı sprint antrenmanı yapan grubun son test sprint düşüş yüzdesinde azalma diğer gruplara göre daha fazla olacaktır” hipotezi kısmi olarak kabul edilmiştir. HİP grubu son test rölatif ve mutlak güç $S_{dec\%}$ değerleri PLA grubundan istatistiksel olarak daha düşük düzeyde bulunmuştur. Benzer sonuç HİP ve KON arasında görülmemiştir. Setler bazında yapılan karşılaştırmada ise 1. set için yapılan karşılaştırmada sprint azalma skorunda ortaya çıkan düşüş diğer gruplara kıyasla dikkat çekicidir ve istatistiksel olarak HİP grubunun lehinedir.

“Normobarik hipokside tekrarlı sprint antrenmanı yapan grubun son test mutlak ve rölatif zirve gücünde diğer gruplara göre değişim daha yüksek olacaktır” hipotezi kısmi olarak kabul edilmiştir. HİP grubu son test mutlak zirve gücündeki değişim KON’dan anlamlı düzeyde daha yüksek bulunmuştur fakat aynı koşul HİP ve PLA için mutlak ya da rölatif güç bakımından geçerli değildir. Buna ilaveten ön ve son test karşılaştırmasında sadece HİP grubunda anlamlı düzeyde fark bulunmuştur. Diğer yandan 20 sprintten elde edilen ortalama mutlak ve rölatif güç gruplar arasında son test için karşılaştırıldığında anlamlı düzeyde bir fark görülmemiştir ancak HİP grubu için bu parametrede ön-son test bakımından ortaya çıkan değişim anlamlı düzeyde görülmüştür.

“Normobarik hipokside tekrarlı sprint antrenmanı yapan grubun son test algılanan zorluk derecesi düzeyleri diğer gruplara göre daha düşük olacaktır” hipotezi reddedilmiştir. Gruplar arasında anlamlı düzeyde bir farklılık tespit edilmemiştir. Buna rağmen ön ve son test grup içi karşılaştırmalarında diğer gruplarda istatistiksel düzeyde anlamlı bir azalma görülmezken HİP grubu AZD değerlerinde 3. ve 4. setlerde anlamlı düzeyde bir azalma olduğu görülmüştür. Bu da HİP grubunda ortaya çıkan yorgunluk hissinde bir azalma olduğunu göstermektedir.

“Normobarik hipokside antrenman yapan grubun son test TSY testi 15 dk sonrası KHD değerleri diğer gruplara göre daha fazla gelişim gösterecektir” hipotezi

reddedilmiştir. Gruplar arasında KHD parametreleri bakımından TSY testi sonrasında sadece PLA grubu lehine parasempatik sistem dominansının arttığına işaret eden değişimler görülmüştür.

Sonuç olarak 1 hafta içerisinde 48 saat aralıklarla yapılan hipokside tekrarlı sprint antrenmanının, 18-24 yaş aralığında fiziksel olarak aktif olan erkek bireylerde TSY'nin gelişimi bakımından etkili olduğu söylenebilir.

Bu çalışmada orta düzeyde fiziksel olarak aktif 24 erkek gönüllü yer almıştır. Antrenmanların ve/veya testlerin tamamlanması bakımından herhangi bir zorlukla karşılaşılmamıştır. Tüm katılımcılar ilk defa yapay kaynaklı normobarik hipokside antrenman programına tabi tutulmuşlardır. Alanyazında normobarik hipokside tekrarlı sprint antrenmanlarının olumlu etkilerinin görüldüğü çalışmalar daha çok 2-12 hafta aralığında antrenman programlarının uygulandığı çalışmalar olduğu görülmektedir. Yine de bu çalışmada elde edilen sonuçlara bakıldığında bu kadar kısa sürede HİP grubu lehine mutlak zirve güç ve sprint azalma skorunda ortaya çıkan değişim, zaman ve mesafeye karşı yerine getirilen sprint koşullarında kazanımı belirleyen farkın genelde saliselerle ölçüldüğü düşünüldüğünde, oldukça önemli bir bulgudur. Diğer yandan takım sporlarında da sporcuların başarısı maksimale yakın fiziksel eforları tekrarlayan bir biçimde olabildiğince en yüksek kalitede yerine getirebilmelerine bağlı olup teknik-taktik başarıyı da etkilemektedir. Tekrarlı sprint performansına ilaveten HİP grubunda AZD'de ön ve son test sonuçlarına göre ortaya çıkan azalmanın hipoksi koşulunda yapılan antrenmanın hissi olarak normoksi koşuldaki aynı yüklenmenin daha kolay yerine getirildiği algısına da neden olduğu anlaşılmıştır.

Diğer yandan sprint azalma skoru için literatürde en sık kullanılan formül bu çalışmada da kullanılmıştır. Ancak antrenman protokolüyle bire bir aynı şekilde uygulanan test için bu formül setler bazında ele alındığında gruplar arasında yapılan karşılaştırmalarda 1. setten sonra rasyonel bir değerlendirmede bulunmak, güç üretiminde setler arası dalgalanmadan dolayı çok mümkün görünmemektedir. Bu nedenle tek set şeklinde daha uzun süreli sprintlerin test protokolü olarak

kullanılması ideal sprinti referans olarak alan sprint azalma skoru formülleri için daha uygun görünmektedir.

Gelecekte yapılacak olan çalışmalarda daha geniş bir örnekleme, antrenman düzeyleri belirlenerek ve buna göre gruplandırılarak aynı antrenman protokolü uygulanabilir. Ancak tek set tam efor gerektiren daha zorlayıcı test protokollerinin kullanılması psikolojik olarak da katılımcıyı daha yüksek güç üretmesine teşvik edebilir. Bisiklet ergometresinde TSY performansının test edilmesi yanı sıra bir saha testiyle de bisiklet ergometresinde yapılan antrenmandan elde edilebilecek performans gelişiminin sahaya ne oranda aktarılabildiği ayrıca test edilebilir.

Elit düzeyde performans sporcuları, hatta dayanıklılık ve çabuk kuvvet branşlarıyla ilgilenen sporcuların dahil edileceği hipoksida tekrarlı sprint antrenmanının uygulanacağı çalışmalar yapılabilir. Aynı yıl içinde yüksek irtifa antrenmanı yapan sporcuların da çalışmalara dahil edilerek, TSY performansı bakımından incelenmesi, yakın zamanda doğal çevresel hipoksiye maruz kalmanın yapay kaynaklı hipoksi koşulunda yapılan antrenmanlar kapsamında performans ve fizyolojik bakımdan ne derece etkilendiklerini görmek bakımından faydalı olabilir. Alanyazında görüldüğü üzere antrenman periyotundan sonra verilen dinlenme süresi, son test sonuçlarının değerlendirilme aşamında oldukça önemli görülmektedir. Bu çalışmada son antrenmandan 72 saat sonra yapılan son testten elde edilen veriler göstermiştir ki, 1 hafta ve 2 hafta gibi sürelerden sonra da ilave testler yapılması atletik performans ve fizyolojik parametrelerdeki değişimlerin daha net bir şekilde görülebilmesi için faydalı olabilir. Yapay kaynaklı hipoksik girişimlerde dikkat edilmesi gereken bir diğer durum ise hipoksik koşul maruziyetinde geçen süredir. Doğal/çevresel yani yapay kaynaklı olmayan hipoksik koşullarda, hipoksik girişimin biyokimyasal ve fizyolojik süreçlerde neden olduğu değişimlerin incelendiği bir çalışmada kan gazlarındaki değişimin yüksek irtifa maruziyetini takiben 2 saatlik sürenin sonunda belirgin bir şekilde değiştiği belirtilmektedir (Wachsmuth ve ark., 2013). Bu nedenle yapay kaynaklı hipoksik koşulda egzersize başlamadan önce egzersize kadar hipoksida geçen süre de biyokimyasal ve dolayısıyla da fiziksel performanstaki değişimlerde etkili olabilecek bir unsur olarak değerlendirilmelidir.

Gelecekte hipoksi maruziyetiyle ilgili yapılacak çalışmalarda hipoksida fiziksel yüklenmeye başlamadan önceki iki saat katılımcı pasif halde hipoksiye maruz bırakılarak kan parametrelerindeki ve atletik performans üzerindeki değişim incelenebilir. Yüksek irtifa maruziyetinin puanlanarak karşılaştırılması konusunda Gore ve ark. (2013) tarafından “kilometre saat” olarak tanımlanan formül de (Formül “ $km.h = (m/1000) \times h$ ”) hipoksinin sağladığı etkilerin maruziyet süresi ve irtifa seviyesi kullanılarak yapılması bakımından çalışmaların karşılaştırılması için kullanışlı olabilir. Diğer yandan 270 km.h’ye eşdeğer hipoksik maruziyetin (haftada 5 gün, günde 3 saat, 4 hafta) Hb kütlesinde artış için yetersiz olacağı belirtilmiştir (Garvican-Lewis ve ark., 2016b). Bu bakımdan yüksek irtifanın/hipoksinin etkileriyle ilgili çalışmalar tasarlanırken hipoksi düzeyi ve maruziyet süresi referans alınarak bu formülle uygulanacak protokolün Hb üzerinde sağlaması olası muhtemel değişimler incelenerek karşılaştırılabilir.

Belli bir antrenman programı dahilinde konaklamayla birlikte simüle edilmiş ortamda ya da doğal çevresel ortamda yapılacak çalışmalarda veya hipoksi maruziyeti başlatılmadan önce, bireylerin sahip olduğu mevcut serum ferritin değerinin saptanarak, normal seviyelerden düşük değerlere sahip demir eksikliği olan kişilere bir hekim denetiminde demir takviyesi yapılmasının irtifa/hipoksi maruziyetinden daha iyi bir şekilde verim alınmasını sağlayacağı kabul görmektedir (Govus ve ark., 2015; Garvican ve ark., 2016a; Okazaki ve ark., 2019; Sim ve ark., 2019).

WADA ABP programı kapsamında doğal ve yapay kaynaklı irtifa ortamında yapılan konaklamalar ya da antrenmanlar hematolojik parametrelerin kıyaslanmasında hala karıştırıcı etki olarak kabul edilmekte olup, hala araştırılmaya devam edilen bir konudur (Lobigs ve ark., 2018; Sutehall ve ark., 2019; Krumm ve Faiss, 2021). Hipoksinin hematolojik parametrelerde neden olduğu değişimlerin daha iyi anlaşılması için farklı disiplinlerdeki sporcu gruplarıyla, farklı antrenman yüklerinde, farklı sürelerde ve farklı antrenman protokollerinde, değişen hipoksi dozlarında çalışmaların yapılmasına ihtiyaç olduğu görülmektedir.

ÖZET

Normobarik Hipoksik Koşulda Yapılan Tekrarlı Sprint Antrenmanının Normobarik Normoksik Koşuldaki Tekrarlı Sprint Yeteneği Üzerine Etkileri

Bu çalışmanın amacı 48 saat aralıklarla yapılan 3 adet normobarik hipoksida tekrarlı sprint antrenmanının, tekrarlı sprint yeteneği (TSY) ve bazı fizyolojik parametreler üzerindeki etkilerini incelemektir. Çalışmaya Ankara Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesinde öğrenim gören fiziksel olarak aktif 24 sağlıklı erkek öğrenci gönüllülük esasına dayalı olarak katılmıştır. Çalışma randomize tek-kör plasebo kontrollü çalışma tasarımıyla yapılmıştır. Gönüllüler; hipoksida tekrarlı sprint antrenmanı (3420 m, HİP, n = 9), plasebo (162 m, PLA, n = 7) ve kontrol grubu (KON, n = 8) olmak üzere 3 gruba ayrılmıştır. HİP ve PLA grupları için tekrarlı sprint antrenmanı bisiklet ergometresinde 48 saat arayla 3 gün uygulanmıştır. Tekrarlı sprint antrenmanı 4 set, 5 adet 5 sn.'lik sprintler, sprintler arası 25 sn. ve setler arası 5 dk dinlenme konseptinde uygulanmıştır. İlk antrenmandan 72 saat önce ve son antrenmandan 72 saat sonra ön ve son testler yapılmıştır. Testler kapsamında mutlak ve rölatif zirve güç, sprint azalma yüzdesi ($S_{dec\%}$), kalp hızı değişkenliği (KHD), arteriyel oksijen saturasyonu (SpO_2) ve algıda zorluk derecesi (AZD) ölçümleri alınmıştır. Gruplar gözlenen parametrelerde son test için karşılaştırıldığında, TSY mutlak zirve güç ve $S_{dec\%}$ için hipoksi grubu lehine istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık saptanmıştır. Grup içi karşılaştırmalarında HİP grubunda mutlak zirve güçte % 8,43 ve rölatif zirve güçte % 13,44'lük bir artış saptanmıştır (PLA grubundan yaklaşık 2 kat ve KON grubundan yaklaşık 4 kat daha fazla). Bu artışlarla birlikte mutlak ve rölatif zirve güce dayalı TSY $S_{dec\%}$ değerlerinde HİP grubunda % -5,34'lük yönde bir azalma görülmüştür. Diğer gruplar için ön ve son test sonuçlarına bakıldığında mutlak ve rölatif zirve güçte kayda değer bir artış olmadığı görülmüştür. Ön ve son test karşılaştırmalarında AZD ve SpO_2 parametrelerinde HİP grubunda kayda değer düzeyde olumlu değişimler gözlenmiştir. Hipoksida tekrarlı sprint antrenmanının normoksi koşulda yapılan aynı antrenmana kıyasla, maksimal efordaki sprintleri daha az güç kayıplarıyla sürdürebilmede, mutlak ve rölatif zirve güçte daha fazla artış sağlamada etkili olduğu söylenebilir. İleride yapılacak çalışmalarda, hipoksida TSY antrenmanının olası kısa süreli etkilerinin daha iyi anlaşılabilmesi için, fiziksel performansta ya da fizyolojik göstergelerde ortaya çıkan değişimlerin, değişen hipoksi düzeylerinde ve farklı antrenman düzeylerindeki katılımcılarla araştırılması tavsiye edilir.

Anahtar Kelimeler: Hipoksi, normobarik, normoksi, tekrarlı sprint.

ABSTRACT

Effects of Repeated Sprint Training in Normobaric Hypoxia on Repeated Sprint Ability at Normobaric Hypoxic Condition

The aim of this study is to investigate the effects of 3 sessions repeated sprint training in normobaric hypoxia, performed with 48-hour intervals, on repeated sprint ability (RSA) and some physiological parameters. Physically active 24 healthy male students studying at Ankara University Faculty of Sport Sciences participated in the study on a voluntary basis. The study was conducted in a randomized single-blind placebo-controlled study design. Volunteers were divided into 3 groups as; repeated sprint training in hypoxia (3420 m, HYP, n = 9), placebo (162 m, PLA, n = 7) and control (CON, n = 8) groups. Repeated sprint training was applied on the bicycle ergometer on 3 days with 48-hour intervals for the HYP and PLA groups. Repeated sprint training consisted of 4 sets, 5 sprints of 5 seconds, 25 seconds between each sprints and 5 minutes recovery period between the sets. Pre and post-tests were performed 72 hours before the first training and 72 hours after from the last training. Within the scope of the pre and post-tests, absolute and relative peak power, sprint decrement score ($S_{dec\%}$), heart rate variability (HRV), arterial oxygen saturation (SpO_2), and rating of perceived exertion (RPE) measurements were taken. When the groups were compared for the posttest parameters, statistically significant differences were found for RSA absolute peak power and $S_{dec\%}$ in favor of the hypoxia group. In the aspects of pre-test and post-test comparisons within the group, an increase of 8.43% in absolute peak power and 13.44% in relative peak power was found in the HYP group (approximately 2 times more than the PLA group and 4 times more than the CON group). With these increases, a decrease of -5.34% for RSA $S_{dec\%}$ was observed in the HYP group based on absolute and relative peak power $S_{dec\%}$ scores. When the pre and post-test results evaluated for the other groups, it was seen that there was no significant increase in absolute and relative peak power. For the pre and post-test, significant positive changes were observed on the RPE and SpO_2 parameters for the HYP group. According to results, it can be said that repeated sprint training in hypoxia is effective in maintaining sprints at maximal effort with less power losses and providing a greater increase in absolute and relative peak power than the same training performed in normoxia condition. For further studies, it is recommended to investigate changes in physical performance or physiological indicators, through varying hypoxia doses and participants with different training levels, in order to better understand the possible short-term effects of RSA training in hypoxia.

Keywords: Hypoxia, normobaric, normoxia, repeated sprint.

KAYNAKLAR

- AUGHEY RJ, BUCHHEIT M, GARVICAN-LEWIS LA, ROACH GD, SARGENT C, BILLAUT F, VARLEY MC, BOURDON PC, GORE CJ (2013). Yin and yang or peas in a pod? Individual-sport versus team-sport athletes and altitude training. *British Journal of Sports Medicine*, **47** (18): 1150-1154.
- BADENHORST CE, DAWSON B, GOODMAN C, SİM M, COX GR, GORE CJ, TJALSMA H, SWINKELS DW, PEELING P (2014). Influence of post-exercise hypoxic exposure on hepcidin response in athletes. *European journal of applied physiology*, **114** (5): 951-959.
- BAILEY DM, DAVIES B (1997). Physiological implications of altitude training for endurance performance at sea level: a review. *Br J Sports Med*, **31**:183–90.
- BÄRTSCH P, SALTIN B, DVORAK J (2008). Consensus statement on playing football at different altitude. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, **18**: 96-99.
- BEARD A, ASHBY J, CHAMBERS R, BROCHERIE F, MILLET GP (2019). Repeated-sprint training in hypoxia in international rugby union players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, **14** (6): 850-854.
- BILLAUT F, BASSET F (2007). Effect of different recovery patterns on repeated-sprint ability and neuromuscular responses. *Journal of Sports Sciences*, **25** (8): 905-913.
- BİROL A, AKALAN C, AKÇA F, ARAS D (2018). Hipoksik ortamda akut ve kronik tekrarlı sprint uygulamalarının bazı fizyolojik parametreler ve performans üzerine etkileri. *Spormetre Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, **16** (4): 61-81.
- BISHOP D, GIRARD O, MENDEZ-VILLENUVA A (2011). Repeated-sprint ability – part II: recommendations for training. *Sports Med.*, **41** (9): 741-756.
- BÖNING D, HOLLNAGEL C, BOECKER A, GÖKE S (1991). Bohr shift by lactic acid and the supply of O₂ to skeletal muscle. *Respiration Physiology*, **85** (2): 231-243.
- BOUSHEL R, CALBET JAL, RÂDEGRAN G, SONDERGAARD H, WAGNER PD, SALTIN B (2001). Parasympathetic neural activity accounts for the lowering of exercise heart rate at high altitude. *Circulation*, **104** (15): 1785-1791.
- BOWTELL JL, COOKE K, TURNER R, MILEVA KN, SUMNERS DP. (2014). Acute physiological and performance responses to repeated sprints in varying degrees of hypoxia. *Journal of Science and Medicine in Sport*, **17**: 399-403.
- BRECHBUHL C, BROCHERIE F, WILLIS SJ, BLOKKER T, MONTALVAN B, GIRARD O, MILLET GP, SCHMITT L (2020). On the use of the repeated-sprint training in hypoxia in tennis. *Frontiers in Physiology*, 1665.
- BROCHERIE F, GIRARD O, FAISS R, MILLET GP (2017). Effects of repeated-sprint training in hypoxia on sea-level performance: a meta-analysis. *Sports Med*, **47**: 1651-1660.

- BROCHERIE F, MILLET GP, D'HULST G, VAN THIENEN R, DELDIQUE L, GIRARD O (2018). Repeated maximal-intensity hypoxic exercise superimposed to hypoxic residence boosts skeletal muscle transcriptional responses in elite team-sport athletes. *Acta Physiologica*, **222**: e12851.
- BUCHHEIT M, RICHARD R, DOUTRELEAU S, LONSDORFER-WOLF E, BRANDENBERGER G, SIMON C (2004). Effect of acute hypoxia on heart rate variability at rest and during exercise. *International Journal of Sports Medicine*, **25** (04): 264-269.
- CAMACHO-CARDENOSA A, CAMACHO-CARDENOSA M, MARTÍNEZ-GUARDADO I, BRAZO-SAYAVERA J, TIMON R, OLCINA G (2020). Effects of repeated-sprint training in hypoxia on physical performance of team sports players. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, **26**: 153-157.
- CARR AJ, SAUNDERS PU, VALLANCE BS, GARVICAN-LEWIS LA, GORE CJ (2015). Increased hypoxic dose after training at low altitude with 9h per night at 3000m normobaric hypoxia. *Journal of Sports Science & Medicine*, **14** (4): 776.
- EPHORTH JA (2014). Altitude training and its effects on performance – Systematic review. *J. Aust. Strength Cond.*, **22** (1): 78-88.
- FAISS R, GIRARD O, MILLET GP (2013a). Advancing hypoxic training in team sports: from intermittent hypoxic training to repeated sprint training in hypoxia. *Br J Sports Med*, **47**: i45-i50.
- FAISS R, LEGER B, VESIN JM, FOURNIER PE, EGDEL Y, DERIAZ O, MILLET GP (2013b). Significant molecular and systemic adaptations after repeated sprint training in hypoxia. *Plos One*, **8** (2): e56522.
- FAISS R, RAPILLARD A (2020). Repeated Sprint Training in Hypoxia: Case Report of Performance Benefits in a Professional Cyclist. *Frontiers in Sports and Active Living*, **2**: 35.
- FAVRET F, RICHalet JP (2007). Exercise and hypoxia: the role of the autonomic nervous system. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, **158** (2-3): 280-286.
- FEEDBACK MR, SEO Y, DANCY M, GLICKMAN EL (2017). The effect of psychomotor performance, cerebral and arterial blood saturation between African-American and Caucasian males before, during and after normobaric hypoxic exercise. *International Journal Of Exercise Science*, **10** (5): 655.
- FRIEDMANN B, BÄRTSCH P (1997). High altitude training: benefits, problems, trends. *Der Orthopäde*, **26** (11): 987-992.
- FULCO CS, BEIDLEMAN BA, MUZA SR (2013). Effectiveness of preacclimatization strategies for high-altitude exposure. *Exercise And Sport Sciences Reviews*, **41** (1): 55-63.
- GALVIN HM, COOKE K, SUMNERS DP, MILEVA KN, BOWTELL JL (2013). Repeated sprint training in normobaric hypoxia. *Br J Sports Med*, **47**: i74-i79.
- GARVICAN-LEWIS LA, GOVUS AD, PEELING P, ABBISS CR, GORE CJ (2016a). Iron supplementation and altitude: decision making using a regression tree. *Journal of Sports Science & Medicine*, **15** (1): 204.

- GARVICAN-LEWIS LA, SHARPE K, GORE CJ (2016b). Time for a new metric for hypoxic dose? *Journal of Applied Physiology*, **121** (1): 352-355.
- GATTERER H, KLAROD K, HEINRICH D, SCHLEMMER P, DILITZ S, BURTSCHER M (2015). Effects of a 12-day maximal shuttle-run shock microcycle in hypoxia on soccer specific performance and oxidative stress. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.*, **40**: 842-845.
- GIRARD O, MENDEZ-VILLANUEVA A, BISHOP D (2011). Repeated-Sprint Ability – Part 1: factors contributing to fatigue. *Sports Med.*, **41** (8): 673-694.
- GIRARD O, BROCHERIE F, MILLET GP (2017A). Effects of altitude/hypoxia on single-and multiple-sprint performance: a comprehensive review. *Sports Medicine*, **47** (10): 1931-1949.
- GLAISTER M (2005). Multiple sprint work: physiological responses, mechanisms of fatigue and the influence of aerobic fitness. *Sports Med.*, **35** (9): 757-777.
- GOETZE O, SCHMITT J, SPLIETHOFF K, THEURL I, WEISS G, SWINKELS DW, TJALSMA H, MAGGIORINI M, KRAYENBÜHL P, RAU M, FRUEHAUF H, WOJTAL KA, MÜLLHAUPT B, FRIED M, GASSMAN M, LUTZ T, GEIER A. (2013). Adaptation of iron transport and metabolism to acute high- altitude hypoxia in mountaineers. *Hepatology*, **58** (6): 2153-2162.
- GOODS PSR, DAWSON BT, LANDERS GJ, GORE CJ, PEELING P (2014). Effect of different simulated altitudes on repeat-sprint performance in team-sport athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, **9**: 857-862.
- GOODS PS, DAWSON B, LANDERS GJ, GORE CJ, PEELING P (2015). No additional benefit of repeat-sprint training in hypoxia than in normoxia on sea-level repeat-sprint ability. *Journal of Sports Science & Medicine*, **14** (3): 681.
- GORE CJ, HAHN AG, BURGE CM, TELFORD RD (1997) VO₂max and haemoglobin mass of trained athletes during high intensity training. *Int. J. Sports Med*, **18**: 477Y82.
- GORE CJ, SHARPE K, GARVICAN-LEWIS LA, SAUNDERS PU, HUMBERSTONE CE, ROBERTSON EY, WACHSMUTH NB, CLARK SA, MCLEAN BD, FRIEDMANN-BETTE B, NEYA M, POTTGIESSER T, SCHUMACHER YO, SCHMIDT WF (2013). Altitude training and haemoglobin mass from the optimised carbon monoxide rebreathing method determined by a meta-analysis. *Br J Sports Med* 47, Suppl 1: i31–i39."
- GOTO K, SUMI D, KOJIMA C, ISHIBASHI A (2017). Post-exercise serum hepcidin levels were unaffected by hypoxic exposure during prolonged exercise sessions. *PloS One*, **12** (8): e0183629.
- GOVUS AD, GARVICAN-LEWIS LA, ABBISS CR, PEELING P, GORE CJ (2015). Pre-altitude serum ferritin levels and daily oral iron supplement dose mediate iron parameter and hemoglobin mass responses to altitude exposure. *PLoS One*, **10** (8): e0135120.
- GRAU M, BLOCH W, WAHL W (2016). Determination of red blood cell deformability in athletes during the course of the year: considering gender, ethnic and training conditions. WADA.
- GUTKNECHT AP, GONZALEZ-FIGUERES M, BRIOCHE T, MAURELLI O, PERREY S, FAVIER FB (2022). Maximizing anaerobic performance with repeated-sprint training in

hypoxia: In search of an optimal altitude based on pulse oxygen saturation monitoring. *Frontiers in Physiology*, 2185.

HAMLIN MJ, OLSEN PD, MARSHALL HC, LIZAMORE CA, ELLIOT CA (2017). Hypoxic Repeat Sprint Training Improves Rugby Player's Repeated Sprint but Not Endurance Performance. *Frontiers in Physiology*, **8**: article 24.

HAMLIN, MJ, LIZAMORE C, OLSEN P, MARSHALL HC (2021). Monitoring heart rate, heart rate variability, and subsequent performance in team-sport athletes receiving hypoxic or normoxic repeated sprint training. *Archives of Allied Health Sciences*, **33** (1): 9-18.

HEINONEN I, KEMPPAINEN J, KASKINORO K, PELTONEN KJ, SIPILA HT, NUUTILA P, KNUUTI J, BOUSHEL R, KALLIOKOSKI KK (2012). Effects of adenosine, exercise, and moderate acute hypoxia on energy substrate utilization of human skeletal muscle. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, **302** (3): R385-R390.

HINTZE KJ, MCCLUNG JP (2011). Heparin: a critical regulator of iron metabolism during hypoxia. *Advances in Hematology*, 2011.

JAIN KK (2017). Textbook of Hyperbaric Medicine. In: physical exercise under hyperbaric conditions. Ed.: Jain, K.K., Springer, Switzerland.

JAMES C, GIRARD O (2020). In-season repeated-sprint training in hypoxia in international field hockey players. *Frontiers in Sports and Active Living*, **2**: 66.

JELKMANN W, LUNDBY C (2011). Blood doping and its detection. *Blood*, **118**(9): 2395-2404.

JONES RM, COOK CC, KILDUFF LP, MILANOVIC Z, JAMES N, SPORIS G, FIORENTINI B, FIORENTINI F, TURNER A, VUCKOVIC G (2013). Relationship between repeated sprint ability and capacity in Professional soccer players. *The Scientific World Journal*, 2013: ID 952350, <http://dx.doi.org/10.1155/2013/952350>.

JUNG WS, KIM SW, PARK HY (2020). Interval hypoxic training enhances athletic performance and does not adversely affect immune function in middle-and long-distance runners. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **17** (6): 1934.

KASAI N, KOJIMA C, SUMI D, TAKAHASHI H, GOTO K, SUZUKI Y (2017). Impact of 5 days of sprint training in hypoxia on performance and muscle energy substances. *International Journal of Sports Medicine*, **38** (13): 983-991.

KATAYAMA K, SATO Y, MOROTOME Y, SHIMA N, ISHIDA K, MORI S, MIYAMURA M (2001). Intermittent hypoxia increases ventilation and Sa(O₂) during hypoxic exercise and hypoxic chemosensitivity. *J. Appl. Physiol.* **90**: 1431-1440.

KHAOSANIT P, HAMLIN MJ, GRAHAM KS, BOONROD W (2018). Acute effect of different normobaric hypoxic conditions on shuttle repeated sprint performance in futsal players. *Journal of Physical Education and Sport*, **18** (1): 210-216.

KLEINBONGARD P, SCHULZ R, RASSAF T, LAUER T, DEJAM A, JAX T, KUMARA I, GHARINI P, KABANOVA S, ÖZÜYAMAN B, SCHNÜRCH HG, GÖDECKE A, WEBER AA, ROBENEK M, ROBENEK H, BLOCH W, RÖSEN P, KELM M (2006). Red blood cells express a functional endothelial nitric oxide synthase. *Blood*, **107** (7): 2943-2951.

- KNAUPP W, KHILNANI S, SHERWOOD J, SCHARF S, STEINBERG H (1992). Erythropoietin response to acute normobaric hypoxia in humans. *Journal of Applied Physiology*, **73** (3): 837-840.
- KON M, NAKAGAKI K, EBI Y, NISHIYAMA T, RUSSEL AP (2015). Hormonal and metabolic responses to repeated cycling sprints under different hypoxic conditions. *Growth Hormone & IGF Research*, **25**: 121-126.
- KRUMM B, FAISS R. (2021). Factors confounding the athlete biological passport: a systematic narrative review. medRxiv.
- LEVINE BD (2006). Should “artificial” high altitude environments be considered doping? *Scand. J. Med. Sci. Sports*, **16**: 297-301.
- LIPPI G, FRANCHINI M, GUIDI GC (2007). Prohibition of artificial hypoxic environments in sports: health risks rather than ethics. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.*, **32**: 1206-1207.
- LOBIGS LM, SHARPE K, GARVICAN-LEWIS LA, GORE CJ, PEELING P, DAWSON B, SCHUMACHER YO (2018). The athlete's hematological response to hypoxia: A meta-analysis on the influence of altitude exposure on key biomarkers of erythropoiesis. *American Journal of Hematology*, **93** (1): 74-83.
- LUNDBY C, THOMSEN JJ, BOUSHEL R, KOSKOLOU M, WARBERG J, CALBET JA, ROBACH P (2007). Erythropoietin treatment elevates haemoglobin concentration by increasing red cell volume and depressing plasma volume. *J Physiol*, **578**: 309–14.
- MACIEJCZYK M, ZALEWSKA A, GRYCIUK M, HODUN K, CZUBA M, PŁOSZCZYCA K, CHARMAS M, SADOWSKI J, BARANOWSKI M (2022). Effect of normobaric hypoxia on alterations in redox homeostasis, nitrosative stress, inflammation, and lysosomal function following acute physical exercise. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, Article ID 4048543.
- MAIRBÄURL H (2018). Neocytolysis: how to get rid of the extra erythrocytes formed by stress erythropoiesis upon descent from high altitude. *Frontiers in Physiology*, **9**: 345.
- MALDONADO-RODRIGUEZ N, BENTLEY DJ, LOGAN-SPRENGER HM (2022). Acute Physiological Response to Different Sprint Training Protocols in Normobaric Hypoxia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **19** (5): 2607.
- MANALO DJ, ROWAN A, LAVOIE T, NATARAJAN L, KELLY BD, YE SQ, GARCIA JGN, SEMENZA GL (2005). Transcriptional regulation of vascular endothelial cell responses to hypoxia by HIF-1. *Blood*, **105**: 659–69.
- MASSCHELEIN E, PUYPE J, BROOS S, VAN THIENEN R, DELDICQUE L, LAMBRECHTS D, HESPEL P, THOMIS M (2015). A genetic predisposition score associates with reduced aerobic capacity in response to acute normobaric hypoxia in lowlanders. *High Altitude Medicine & Biology*, **16** (1): 34-42.
- MATHES S, LEHNEN N, LINK T, BLOCH W, MESTER J, WAHL P (2017). Chronic effects of superimposed electromyostimulation during cycling on aerobic and anaerobic capacity. *European Journal of Applied Physiology*, **117** (5): 881-892.

- MCLEAN BD, GORE CJ, KEMP J (2014). Application of 'live low-train high' for enhancing normoxic exercise performance in team sport athletes. *Sports Med*, **44**: 1275-1287.
- MECKEL Y, MACHNAI O, ELIAKIM A (2009). Relationship among repeated sprint tests, aerobic fitness, and anaerobic fitness in elite adolescent soccer players. *Journal of Strength & Conditioning Research*, **23** (1): 163-169.
- MONTERO D, LUNDBY C (2017). No improved performance with repeated-sprint training in hypoxia versus normoxia: a double-blind and crossover study. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, **12**: 161-167.
- MORRISON J, MCLELLAN C, MINAHAN C (2015). A clustered repeated-sprint running protocol for team-sport athletes performed in normobaric hypoxia. *Journal of Sports Science & Medicine*, **14** (4): 857.
- NEMKOV T, SKINNER SC, NADER E, STEFANONI D, ROBERT M, CENDALI F, STAUFFER E, CIBIEL A, BOISSON C, CONNES P, D'ALESSANDRO A (2021). Acute cycling exercise induces changes in red blood cell deformability and membrane lipid remodeling. *International Journal of Molecular Sciences*, **22** (2): 896.
- NOAKES TD, PELTONEN JE, RUSKO HK (2001). Evidence that a central governor regulates exercise performance during acute hypoxia and hyperoxia. *Journal of Experimental Biology*, **204** (18): 3225-3234.
- NUMMELA A, ERONEN T, KOPONEN A, TIKKANEN H, PELTONEN JE (2021). Variability in hemoglobin mass response to altitude training camps. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, **31** (1): 44-51.
- OKAZAKI K, STRAY-GUNDERSEN J, CHAPMAN RF, LEVINE BD (2019). Iron insufficiency diminishes the erythropoietic response to moderate altitude exposure. *Journal of Applied Physiology*, **127**(6): 1569-1578.
- PELTONEN JE, TIKKANEN HO, RUSKO HK (2001). Cardiorespiratory responses to exercise in acute hypoxia, hyperoxia and normoxia. *European Journal of Applied Physiology*, **85** (1): 82-88.
- POSPIESZNA B, KUSY K, SŁOMIŃSKA EM, DUDZINSKA W, CIEKOT-SOŁTYSIAK M, ZIELIŃSKI J (2020). The effect of training on erythrocyte energy status and plasma purine metabolites in athletes. *Metabolites*, **10** (1): 5.
- PRAMKRATOK W, SONGSUPAP T, YIMLAMAI T (2022). Repeated sprint training under hypoxia improves aerobic performance and repeated sprint ability by enhancing muscle deoxygenation and markers of angiogenesis in rugby sevens. *European Journal of Applied Physiology*, 1-12.
- RANASINGHE C, GAMAGE P, GIRARD O, PERERA R, RANASINGHE L, SENEVIRATNE R, DE SILVA L (2018). High altitude training-developing an international centre for Sri Lanka: evaluating for the best outcome. *Sri Lankan Journal of Sports and Exercise Medicine*, **1** (1): 23-27.
- RIBON A, PIALOUX V, SAUGY JJ, RUPP T, FAISS R, DEBEVEC T, MILLET GP (2016). Exposure to hypobaric hypoxia results in higher oxidative stress compared to normobaric hypoxia. *Respiratory physiology & neurobiology*, **223**: 23-27.

- RICHALET JP (1997). Oxygen sensors in the organism. Examples of regulation under altitude hypoxia in mammals. *Comp. Biochem. Physiol.*, **118A**: 9–14.
- RYAN BJ, WACHSMUTH NB, SCHMIDT WF, BYRNES WC, JULIAN CG, LOVERING AT, SUBUDHI AW, ROACH RC (2014). AltitudeOmics: rapid hemoglobin mass alterations with early acclimatization to and de-acclimatization from 5260 m in healthy humans. *PloS One*, **9** (10): e108788.
- SCHMIDT W, PROMMER N (2010). Impact of alterations in total hemoglobin mass on VO₂max. *Exerc Sport Sci Rev.*, **38**: 68-75.
- SEMENZA GL (2009). Regulation of oxygen homeostasis by hypoxia-inducible factor 1. *Physiology*, **24**: 97–106.
- SHARMA AP, SAUNDERS PU, GARVICAN-LEWIS LA, CLARK B, WELVAERT M, GORE CJ, THOMPSON KG (2019). Improved performance in national-level runners with increased training load at 1600 and 1800 m. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, **14** (3): 286-295.
- SIM M, GARVICAN-LEWIS LA, COX GR, GOVUS A, MCKAY AK, STELLINGWERFF T, PEELING P (2019). Iron considerations for the athlete: a narrative review. *European Journal of Applied Physiology*, **119** (7): 1463-1478.
- SINEX JA, CHAPMAN RF (2015). Hypoxic training methods for improving endurance exercise performance. *Journal of Sport and Health Science*, **4** (4): 325-332.
- SMITH KJ, BILLAUT F (2010). Influence of cerebral and muscle oxygenation on repeated-sprint ability. *European Journal of Applied Physiology*, **109** (5): 989-999.
- SOLHEIM SA, BEJDER J, BREENFELDT ANDERSEN A, MØRKEBERG J, NORDSBORG NB (2019). Autologous blood transfusion enhances exercise performance—strength of the evidence and physiological mechanisms. *Sports Medicine-Open*, **5** (1): 1-11.
- SPENCER M, BISHOP D, DAWSON B, GOODMAN C (2005). Physiological and metabolic responses of repeated sprint activities. *Sports Med*, **35** (12): 1025-1044.
- SPENCER M, FITZSIMONS M, DAWSON B, BISHOP D, GOODMAN C (2006). Reliability of a repeated-sprint test for field-hockey. *Journal of Science and Medicine in Sport*, **9**: 181-184.
- SUTEHALL S, MUNIZ-PARDOS B, LIMA G, WANG G, MALINSKY FR, BOSCH A, ZELENKOVA I, TANISAWA K, PIGOZZI F, BORRIONE P, PITSILADIS Y (2019) Altitude training and recombinant human erythropoietin: considerations for doping detection. *Current Sports Medicine Reports*, **18** (4): 97-104.
- TAKEI N, KAKINOKI K, HATTA H (2020). Repeated sprint training in hypoxia delays fatigue during 30-sec all-out sprint and reduces blood lactate concentrations after exercise in trained cyclists: a case study. *The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine*, **9** (1): 31-35.
- TRAINING AT ALTITUDE. <https://www.runnersworld.com/advanced/a20826689/training-at-altitude/> [erişim tarihi: 08. Haziran. 2021].

- VAN DER ZWAARD S, BROCHERIE F, KOM BL, MILLET GP, DELDICQUE L, VAN DER LAARSE WJ, GIRARD O, JASPERS RT (2018). Adaptations in muscle oxidative capacity, fiber size, and oxygen supply capacity after repeated-sprint training in hypoxia combined with chronic hypoxic exposure. *Journal of Applied Physiology*, **124** (6): 1403-1412.
- VAN SOMEREN KA (2006). Training Physiology of Anaerobic Endurance Training. In: The Physiology of Training. Ed.: Whyte G., Elsevier. UK. 86-115.
- VERGES S, CHACAROUN S, GODIN-RIBUOT D, BAILLIEUL S (2015). Hypoxic conditioning as a new therapeutic modality. *Frontiers in pediatrics*, **3**: 58.
- WACHSMUTH N, KLEY M, SPIELVOGEL H, AUGHEY RJ, GORE CJ, BOURDON PC, HAMMOND K, SARGENT C, ROACH GD, SANCHEZ SR, JIMENEZ CLAROS JC, SCHMIDT WF, GARVICIAN-LEWIS LA (2013). Changes in blood gas transport of altitude native soccer players near sea-level and sea-level native soccer players at altitude (ISA3600). *British Journal of Sports Medicine*, **47** (Suppl 1): i93-i99.
- WAHL P, HEIN M, ACHTZEHN S, BLOCH W, MESTER J (2015). Acute effects of superimposed electromyostimulation during cycling on myokines and markers of muscle damage. *Journal of Musculoskeletal & Neuronal Interactions*, **15** (1): 53.
- WAHL P, SCHMIDT A, DEMAREES M, ACHTZEHN S, BLOCH W, MESTER J. (2013). Responses of angiogenic growth factors to exercise, to hypoxia and to exercise under hypoxic conditions. *Int. J. Sports Med.*, **34**: 95-100.
- WEHRLIN JP, MARTI B, HALLÉN J (2016). Hypoxia, Advances in Experimental Medicine and Biology. In: Hemoglobin mass and aerobic performance at moderate altitude in elite athletes, Ed.: Roach RC et. al., Springer Science+Business Media, New York. 357-374.
- WILBER RL (2001). Current trends in altitude training. *Sports Medicine*, **31** (4): 249-265.
- WILBER RL (2007). Application of altitude/hypoxic training by elite athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, **39** (9): 1610-1624.
- WORLD ANTI-DOPING AGENCY (2022). The 2022 Prohibited List. Montreal, Quebec.
- WORLD ANTI-DOPING AGENCY (2021) Athlete Biological Passport Operating Guidelines (Version 8.0). <http://https://www.wada-ama.org/en/resources/athlete-biological-passport/athlete-biological-passport-abp-operating-guidelines> [Erişim tarihi: Ekim 2021].
- ZELENKOVA IE, ZOTKIN SV, KORNEEV PV, KOPROV SV, ALMYASHEV DK, GLAZACHEV OS, GRUSHINAA (2016). Hypoxic tolerance variability in athletes with different training level and sports specialization. *Sportivnaya Meditsina: Nauka i Praktika*, **6** (4): 5-10.

EKLER

Ek-1 Etik Kurul Formu

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ALT ETİK KURULU
KARAR ÖRNEĞİ**

Karar Tarihi :07/12/2020
Toplantı Sayısı :17
Karar Sayısı :277

277-Üniversitemiz Sağlık Bilimleri Enstitüsü doktora öğrencisi **Abdulkadir Birol**'un "Normobarik Hipoksik Koşulda Yapılan Tekrarlı Sprint Antrenmanının Normobarik Normoksik Koşuldaki Tekrarlı Sprint Yeteneği Üzerine Etkileri" başlıklı tezi ile ilgili 15/10/2020 tarihli "İnsan Üzerinde Yapılan Klinik Dışı Araştırmalar Başvuru Formu" Etik Kurulumuzca incelenmiştir.

Yapılan görüşmeler ve incelemeler sonucunda öğrencisi **Abdulkadir Birol**'un "Normobarik Hipoksik Koşulda Yapılan Tekrarlı Sprint Antrenmanının Normobarik Normoksik Koşuldaki Tekrarlı Sprint Yeteneği Üzerine Etkileri" başlıklı tezi ile ilgili COVID-19 salgını nedeniyle; çalışma takviminiz de dahil araştırmanızda oluşabilecek tüm değişikliklerin Etik Kurulumuza yazılı olarak bildirilmesi, araştırma protokolüne uyulması ve etik onay tarihinden itibaren geçerli olması koşuluyla uygulanmasının etik açıdan uygun olduğuna oybirliği ile karar verildi.

ASLININ AYNI DİR
07/12/2020

Prof.Dr.Muhammed OZEN
Ankara Üniversitesi
Etik Kurulu Başkanı

Ek-2 Bilgilendirilmiş Gönüllü Olur Formu

Versiyon No: 1

BİLGİLENDİRİLMİŞ GÖNÜLLÜ OLUR FORMU

Araştırmanın adı: Normobarik Hipoksik Koşulda Yapılan Tekrarlı Sprint Antrenmanının Normobarik Normoksik Koşulda Tekrarlı Sprint Yeteneği Üzerine Etkileri

Sorumlu Araştırmacı: Doç. Dr. Dicle ARAS

Araştırmanın yürütüleceği yer: Ankara Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi Performans Laboratuvarı

Sayın Gönüllü,

Bu katıldığınız çalışma doktora tezi kapsamında yürütülecek bilimsel bir araştırma olup, araştırmanın adı “**Normobarik Hipoksik Koşulda Yapılan Tekrarlı Sprint Antrenmanının Normobarik Normoksik Koşulda Tekrarlı Sprint Yeteneği Üzerine Etkileri**” dir. Bu çalışmanın amacı tekrarlı sprint antrenmanına ek olarak uygulanacak normobarik hipoksik koşulun tekrarlı sprint yeteneği, bazı biyokimyasal parametreler ve fizyolojik parametreler üzerindeki söz konusu antrenmanın etkilerini değerlendirmektir.

Eğer araştırmaya katılmayı kabul ederseniz, toplam 48 saat arayla 3 günlük bir antrenman programı öncesi yapılacak ön testlerden başlayarak son antrenman seansından 7 günlük sürenin bitimine kadarki süreçte çalışma kapsamında yaptırılacak antrenmanlara devam etmeli ancak, yapılacak olan testlerden en az 24 saat öncesinde yüksek şiddetli herhangi bir fiziksel aktivite veya antrenmana katılmamış olmanız gerekmektedir. Buna ilaveten tüm ölçümlerin/testlerin tamamlanacağı 14 günlük süre boyunca size uygulanacak antrenman programı dışında ya da bu antrenman programına ek olarak antrenman/egzersiz programına dahil olmamalısınız. Ayrıca yine testlerden en az 24 saat önce kafein ve alkol içeren herhangi bir besin maddesi almamış olmanız gerekmektedir.

Bu araştırma süresince ilk olarak antropometrik ölçümlerinizi (boy uzunluğu, vücut ağırlığı, vücut yağ yüzdesi) alınacak ve tekrarlı sprint performansını ölçmek amacıyla, 4 set (setler arası 5 dk dinlenme), sprintler arası 25. sn. dinlenme aralarıyla 5 adet 5 sn.’lik sprintlerden oluşan bir tekrarlı sprint egzersizi protokolü bisiklet ergometresinde uygulanacaktır. Yapılacak ön testlerden sonra size bildirilecek günlerde ve saatlerde Ankara Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesine gelerek araştırmacı gözetiminde 4 set, 25. sn. dinlenme aralarıyla 5 adet 5 sn.’lik sprintlerden oluşan tekrarlı sprint egzersizini bisiklet ergometresinde tamamlamalısınız. Bir antrenman oturumunuzun süresi; normobarik hipoksik maruziyetin başlamasından, ısınma, dinlenme, yüklenme ve soğuma egzersizleri de dahil tahmini olarak toplam 50 dakika sürecektir. Antrenman programı tamamlandıktan sonra son test kapsamında size uygulatılan antrenman programının tekrarlı sprint yeteneği performansı ve fizyolojik parametreleriniz üzerinde ortaya çıkardığı etkileri saptamak amacıyla ön test kapsamında yapılan ölçümler son test olarak tekrarlanacaktır.

Ölçümlerin aşamaları, her bir ölçümün hangi sırayla ve nasıl yapılacağı “**Örnek Detaylı Çalışma Planı ve Ölçümlerin İçerikleri**” bölümünde ayrıntılı bir şekilde bilgilerinize sunulmuştur. Bu araştırmada yer almanız nedeniyle size herhangi bir ücret ödenmeyecektir.

Bu araştırma kapsamında herhangi bir ilaç veya tedavi yöntemi uygulanmayacaktır.

Bu araştırma son 6 aydır fiziksel olarak aktif, 18-24 yaş aralığında sağlıklı 24 erkek gönüllü ile yapılacaktır. Çalışmaya fiziksel olarak aktif bireyler dahil edileceğinden uygulatılacak antrenmanın ya da test uygulamasının katılımcıların sağlığını tehdit edebilecek boyutlarda zorlamayacağı düşünülmektedir. Antrenman sırasında yaşanabilecek herhangi bir yaralanma durumunda Ankara Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi performans laboratuvarında hazır bulunun ilk yardım ünitesindeki gerekli malzemeler kullanılacaktır.

Araştırma sırasında veya öncesinde sizi ilgilendirebilecek (test ya da antrenman saatinin veya gününün değişmesi gibi durumlar) herhangi bir gelişme olduğunda, bu durum size derhal bildirilecektir. Araştırma hakkında ek bilgiler almak için [REDACTED] numaralı telefonda Doç. Dr. Dicle ARAS'la ya da Abdulkadir Birol'la [REDACTED] telefon numarası üzerinden iletişime geçebilirsiniz.

Bu araştırmada yer almak tamamen sizin isteğinize bağlıdır. **Araştırmacı ile aynı okulda olmanız ya da araştırmacının dersinize giriyor olması nedeniyle; araştırmaya katılmanızın akademik başarınız için ek bir fayda sağlamayacağı gibi, araştırmaya katılmayı reddetmeniz ya da katıldıktan sonra araştırmadan ayrılmayı istemenizin de size akademik açıdan bir zararı olmayacaktır. Araştırmada yer almayı reddedebilirsiniz ya da herhangi bir aşamada araştırmadan ayrılabilirsiniz; bu durum herhangi bir cezaya ya da sizin yararlarınıza engel olabilecek bir duruma yol açmayacaktır.** Araştırmacı bilginiz dâhilinde veya isteğiniz dışında, çalışma programını aksatmanız gibi nedenlerle sizi araştırmadan çıkarabilir. Araştırmanın sonuçları bilimsel amaçla kullanılacaktır. Çalışmadan çekilmeniz ya da araştırmacı tarafından çıkarılmanız durumunda, sizle ilgili tıbbi verileri de araştırmadan çekme ve kullandırmama hakkına sahiptir.

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

Bu formun imzalı bir kopyası size verilecektir.

Çalışmaya Katılma Onayı:

Ben

Yukarıda yer alan ve araştırmaya başlanmadan önce gönüllüye verilmesi gereken bilgileri okudum ve sözlü olarak dinledim. Aklıma gelen tüm soruları araştırmacıya sordum, yazılı ve sözlü olarak bana yapılan tüm açıklamaları ayrıntılarıyla anlamış bulunmaktayım. Çalışmaya katılmayı isteyip istemediğime karar vermem için bana yeterli zaman tanındı. Çalışma için tarafıma herhangi bir ücret ödenmeyeceğini anladım. Ayrıca bu çalışmaya katılmamın bana akademik açıdan bir yarar sağlamayacağı gibi katılmamamın ya da araştırmaya katıldıktan sonra yarıda bırakmamın beni akademik açıdan bir zarara uğratmayacağı hem sözel olarak anlatıldı hem de bu form ile yazılı olarak ifade edildi. Bu koşullar altında, bana ait tıbbi bilgilerin gözden geçirilmesi, işlenmesi konusunda araştırma yürütücüsüne yetki veriyor ve söz konusu araştırmaya ilişkin bana yapılan katılım davetini zorlama ve baskı olmaksızın büyük bir gönüllülük içerisinde kabul ediyorum.

Bu formun imzalı bir kopyası bana verilecektir.

Gönüllünün,

Adı-Soyadı:

Adresi:

Tel.-Faks:

Tarih ve İmza:

Açıklamaları yapan araştırmacının,

Adı-Soyadı:

Görevi:

Adresi:

Tel.-Faks:

Tarih ve İmza:

ÖZGEÇMİŞ

I. Bireysel Bilgiler

Adı : Abdulkadir
Soyadı : Birol

II. Eğitimi

- Doktora: (2018-2022) Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Spor Bilimleri Anabilim Dalı
- Yüksek Lisans: (2014-2018) Kırıkkale Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Hareket ve Antrenman Anabilim Dalı
- Lisans: (2007-2012) Ankara Üniversitesi / Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu /Antrenörlük Eğitimi

III. Ünvanları

Yok

IV. Mesleki Deneyimi

- 2021 Temmuz-Ağustos: Uluslararası Doping Kontrol Görevlisi, 2020 Tokyo Yaz Olimpiyatları Organizasyon Komitesi

- 2018-Halen: İzleme ve Geliştirme Sorumlusu, Türkiye Dopingle Mücadele Komisyonu
- 2014-Halen: Doping Kontrol Görevlisi, Türkiye Dopingle Mücadele Komisyonu
- 2013-2018: Planlama Sorumlusu, Türkiye Dopingle Mücadele Komisyonu
- 2013 Haziran-Temmuz: 17. Akdeniz Oyunları Mersin, ICMG Sağlık ve Dopingle Mücadele Komisyonu, Sekreteryas Personeli
- 2010-2013: Antrenör, Gençlerbirliği Spor Kulübü Futbol Altyapısı
- 2008-2009: Antrenör, Keçiören Belediyesi Futbol Okulları
- 2007-2008: Antrenör, Fenerbahçe Futbol Okulları

V. Üye Olduğu Bilimsel Kuruluşlar

Yok

VI. Bilimsel İlgi Alanları

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler:

SÜRÜCÜ CE, GÜNER S, CÜCE C, ARAS D, AKÇA F, ARSLAN E, **BİROL A**, UĞURLU E (2021). The effects of six-week slow, controlled breathing exercises on heart rate variability in physically active, healthy individuals. *Pedagogy of physical Culture and Sports*, **25** (1), 4-9.

BIROL A, KILINC FN, DELICEOGLU G, KESKIN ED (2019). The effect of acute L-arginine supplementation on repeated sprint ability performance. *Prog. Nutr*, **21**, 5-11.

ARAS D, AKÇA F, GÜLER Ö, **BİROL A**, ERTETİK G, ÇETİNKAYA G, AKALAN C. (2018). Extreme altitude mountain climbing decreases sensation seeking score and increases the anxiety level. *International Journal of Human Studies*, **1** (2), 128-140.

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan bildiriler:

BIROL A, GUNER R. 2012-2017 Dünya’da Doping Kontrolü Örnek Sayıları Ve Sayıların Anlamı. 17. Uluslararası Spor Bilimleri Kongresi. Sözel sunum. Antalya, Türkiye, 13-16 Kasım 2019.

BIROL A, KOSE DSY, AKALAN C. 13-16 Yaş Aralığındaki Futbol Okulu Oyuncularının Vücut Ağırlığı, Boy Uzunluğu, Vücut Kütle İndeksi Ve Çevre Ölçümleri İle Bazı Fiziksel Performans Değerleri Arasındaki İlişkisi. 17. Uluslararası Spor Bilimleri Kongresi. Sözel sunum. Antalya, Türkiye, 13-16 Kasım 2019.

ARAS D, AKÇA F, ARSLAN E, **BIROL A**, SÜRÜCÜ CE, CÜCE C, GÜNER S, ARSLAN E. Effect of slow breathing exercises on heart rate variability. 5th International Eurasian Congress on NATURAL NUTRITION, HEALTHY LIFE & SPORT. Oral session. Ankara, Turkey, 02-06 October, 2019.

Ulusal Hakemli Dergilerde Yayımlanan Makaleler:

BIROL A, AKALAN C, AKÇA F, ARAS D. Hipoksik ortamda akut ve kronik tekrarlı sprint uygulamalarının bazı fizyolojik parametreler ve performans üzerine etkileri. *SPORMETRE Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, 16(4), 61-81.

VII. BİLİMSEL ETKİNLİKLERİ

Yok

VIII. DİĞER BİLGİLER

- TFF C Lisans Futbol antrenörlüğü belgesi
- Gençlik ve Spor Bakanlığı Spor Kondisyonerliği Belgesi
- Türkiye Doping Mücadele Komisyonu Doping Kontrol Görevliliği