



TÜRKİYE CUMHURİYETİ  
MARMARA ÜNİVERSİTESİ  
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DİNLENME ESNASINDA SOĞUK UYGULAMA YAPILAN  
TEKRARLI YÜKLENMELERİN KALP ATIM HIZI  
DEĞİŞKENLİĞİ VE KAS İÇİ OKSİJEN DOYGUNLUĞU  
ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

MİRAY İLHAN  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN  
DR. ÖĞR. ÜYESİ SERDAR ORKUN PELVAN  
SPOR SAĞLIK BİLİMLERİ  
YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

İSTANBUL- 2025



TÜRKİYE CUMHURİYETİ  
MARMARA ÜNİVERSİTESİ  
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DİNLENME ESNASINDA SOĞUK UYGULAMA YAPILAN  
TEKRARLI YÜKLENMELERİN KALP ATIM HIZI  
DEĞİŞKENLİĞİ VE KAS İÇİ OKSİJEN DOYGUNLUĞU  
ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

MİRAY İLHAN  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN  
DR. ÖĞR. ÜYESİ SERDAR ORKUN PELVAN  
SPOR SAĞLIK BİLİMLERİ  
YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

İSTANBUL- 2025

## **BEYAN**

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışması ile elde edilmemiş bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarımı ihlal edici bir davranışımın olmadığı beyan ederim.

Miray İlhan

## TEŞEKKÜR

Başta bitirme tezim olmak üzere, yüksek lisansım boyunca kendimi şanslı hissettiğim bana her konuda yardımcı olan, yol gösteren, aklıma takılan her konu için vakit ayıran, kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana ışık olan çok kıymetli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Serdar Orkun PELVAN 'a teşekkürlerimi sunarım. Her zaman güler yüzü ile beni karşılayıp değerli fikirlerini sunan ve tez sürecimde her sorum için yardımlarından dolayı hocam Dr. Öğr. Üyesi Savaş AKBAŞ'a ve özellikle analiz sürecindeki desteği, yardımları ve güler yüzü için Hilal Kalkan'a ve yüksek lisans arkadaşım Hümeysra Karakaya'ya desteklerinden dolayı teşekkür ederim. Çalışmanın hazırlık ve ölçüm aşamalarındaki katkılarından dolayı kıymetli hocam Prof. Dr. Birol ÇOTUK'a saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman ve özellikle yüksek lisansım boyunca bana her türlü desteği veren, motivasyon kaynağım, hayattaki en büyük hazinem olan ailem; annem, ablam, abim ve yüzümü güldüren çok kıymetli yeğenlerime en içten teşekkürlerimi sunuyorum. Benim için en özel teşekkürü ise tüm ölçümlerde bana destek olarak bu uzun akademik yolculuğumda hep yanımda olan hayat arkadaşım, yüksek lisans sürecim yanısıra her zaman hayattaki en büyük şansım değerli eşim Ömer İlhan'a ediyorum.

2210 - Yurt içi yüksek lisans burs programı kapsamında yüksek lisansım boyunca bana destek olan Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK) teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çok değerli babam Mehmet Yıldırım'a itafen yazılmıştır.

**MİRAY İLHAN**

## İÇİNDEKİLER

<b>KISALTMALAR LİSTESİ</b> .....	i
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	ii
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	iii
<b>1. ÖZET</b> .....	1
<b>2. SUMMARY</b> .....	2
<b>3.GİRİŞ ve AMAÇ</b> .....	3
<b>4.GENEL BİLGİLER</b> .....	5
4.1. Vücut Sıcaklığı ve Performans.....	5
4.2. Soğuk Uygulamanın Fizyolojik Etkileri.....	6
4.2.1. Vazokonstriksiyon.....	7
4.2.2. Soğuk uygulamanın sinir sistemi ve dolaşım sistemi üzerine etkisi.....	8
4.2.3. Soğuk uygulamanın kas iskelet sistemi üzerine etkisi.....	8
4.2.4. Soğuk uygulamanın ağrı üzerine etkisi.....	9
4.2.5. Soğuk uygulamanın nabız ve solunum hızına etkisi.....	9
4.3. Soğuk Uygulama Çeşitleri.....	9
4.4. Kalp Atım Hızı Değişkenliği.....	10
4.4.1. Kalp atım hızı değişkenliği ve sıcaklık ilişkisi.....	13
4.4.2. Sempatik ve parasempatik sinir sistemin kalp atım hızı üzerine etkisi.....	13
4.5. Kas İçi Oksijen Doygunluğu ve Sıcaklık İlişkisi.....	14
4.6. Yakın Kızılaltı Spektroskopisi (YKAS).....	15
<b>5. GEREÇ VE YÖNTEM</b> .....	17
5.1. Problem Cümlesi.....	17
5.1.1. Hipotez.....	17
5.1.2. Gönüllü katılımcı kriteri.....	18
5.1.3. Uygulanacak ölçüm yöntemleri.....	18
5.1.4. Soğuk uygulama.....	21
5.1.5. Kuru dinlenme.....	22
5.2. Verilerin Alınması ve Değerlendirilmesi.....	22
5.2.1. Kalp atım hızı verilerinin alınması.....	22
5.2.2. Yakın kızılaltı spektroskopisi (YKAS) ile SMO <sub>2</sub> ölçümü.....	22
5.2.3. Tanımlayıcı antropometrik ölçümlerin alınması.....	23

5.3. Veri Analizinde Kullanılacak İstatistiksel Yöntemler .....	24
5.4. Verilerin Analizi .....	25
5.4.1. Verilerin Normalleştirilmesi .....	25
5.4.2. Smo2 analizi .....	25
5.4.3. HR ve RR analizi .....	26
<b>6. BULGULAR</b> .....	<b>27</b>
6.1. 6 Dakika Koşu Testi Analizleri .....	27
6.1.1. HR ve RR analizi .....	27
6.2. Toplam Koşu Mesafeleri .....	31
6.3. İki Koşu Testi Arası Dinlenme Verilerinin Analizi .....	32
6.3.1. HR ve RR analizi .....	32
6.3.3. SmO <sub>2</sub> analizi .....	35
6.4. Koşu Testi Sonrası Toparlanma Verilerinin Analizi .....	38
6.4.1. HR analizi .....	38
6.4.2. RR analizi .....	41
6.4.3. SmO <sub>2</sub> analizi .....	44
<b>7. TARTIŞMA ve SONUÇ</b> .....	<b>48</b>
<b>8. KAYNAKLAR</b> .....	<b>67</b>
<b>9. ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>80</b>
<b>10. BİLİMSEL FAALİYETLER</b> .....	<b>81</b>
<b>11. EKLER</b> .....	<b>82</b>
11.1. Gönüllü Onay Formu .....	82
11.2. Veri Toplama Formu .....	83

## KISALTMALAR LİSTESİ

SmO <sub>2</sub>	:	Kas içi oksijen doygunluğu
KAH	:	Kalp atım hızı
KAHD	:	Kalp atım hızı değışkenliği
PNS	:	Parasempatik sinir sistemi
YKAS	:	Yakın kızılaltı spektroskopu
RR	:	Kalp atımları arasındaki süre
EKG	:	Elektrokardiyogram
O <sub>2</sub>	:	Oksijen
Kg	:	Kilogram
O <sub>2</sub> Hb	:	Deoksihemoglobin
KD	:	Kuru dinlenme
SD	:	Soğuk dinlenme
BKD	:	Biceps kuru dinlenme
BSD	:	Biceps soğuk dinlenme
VLKD	:	Vastus lateralis kuru dinlenme
VLSD	:	Vastus lateralis soğuk dinlenme
OSS	:	Otonom sinir sistemi
SNS	:	Sempatik sinir sistemi

## TABLO LİSTESİ

	Sayfa Numarası
Tablo 1. Katılımcıların tanımlayıcı özellikleri.....	27
Tablo 2. 6 dakika koşulara ait HR değerleri .....	28
Tablo 3. 6 dakika koşulara ait RR değerleri.....	28
Tablo 4. 6 dakika koşular HR karşılaştırması .....	29
Tablo 5. 6 dakika koşular RR karşılaştırması .....	29
Tablo 6. 6 dakika koşulara ait SmO <sub>2</sub> değerleri .....	30
Tablo 7. 6 dakika koşular SmO <sub>2</sub> karşılaştırması .....	31
Tablo 8. Toplam Koşu Mesafeleri .....	31
Tablo 9. Toplam Koşu Mesafesi Karşılaştırması.....	32
Tablo 10. İki koşu testi arası dinlenme verileri HR .....	33
Tablo 11. İki koşu testi arası dinlenme verileri RR .....	34
Tablo 12. İki koşu testi arası dinlenme verileri karşılaştırması RR.....	35
Tablo 13. İki koşu testi arası dinlenme verileri analizi SmO <sub>2</sub> .....	33
Tablo 14. İki koşu testi arası dinlenme verileri karşılaştırma analizi SmO <sub>2</sub> .....	34
Tablo 15. 5 dakika toparlanma HR verisi .....	36
Tablo 16. Toparlanma Süreci Kalp Hızı Karşılaştırmalı İstatistiksel Bulgular .....	38
Tablo 17. Toparlanma Süreci Kalp Atım Hızı Post Hoc Karşılaştırma Bulguları.....	39
Tablo 18. 5 dakika toparlanma RR verisi.....	39
Tablo 19. Toparlanma Süreci Kalp Hızı Karşılaştırmalı İstatistiksel Bulgular .....	41
Tablo 20. Toparlanma Süreci RR Değerleri Post Hoc Karşılaştırma Bulguları .....	42
Tablo 21. Vastus lateralis ve biceps brachii alınan Smo <sub>2</sub> analizi .....	42
Tablo 22. SmO <sub>2</sub> Değerlerinin Toparlanma Türü, Kas Bölgesi ve Süreye Göre Karşılaştırılması .....	44

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa Numarası

Şekil 1. RR aralığı değişiklikleriyle görselleştirilen 2.5 saniyelik kalp atım hızı değişkenliği verisi .....	11
Şekil 2. HRV'yi analiz etmenin en yaygın yolu RMSSD hesaplama.....	12
Şekil 3. Belirleyici Test.....	19
Şekil 4. Soğuk Uygulama Protokolü.....	21
Şekil 5. Polar H10 Kalp hızı monitörü.....	22
Şekil 6. TRAINRED model yakın kızılaltı spektroskopisi (YKAS).....	23
Şekil 7. TANITA marka MC 780 MA model Bioelektrik İmpedans cihazı.....	24
Şekil 8. G*Power 3 bilimsel yazılım kullanılarak hesaplanan analizde örneklem büyüklüğü.....	25
Şekil 9. İki koşu testi arası kuru(pasif) ve soğuk HR değişimi.....	34
Şekil 10. İki koşu testi arası dinlenme verileri karşılaştırması grafiği RR .....	35
Şekil 11. İki koşu testi arası dinlenme verileri karşılaştırması grafiği SmO <sub>2</sub> .....	37
Şekil 12. 5 dakika toparlanma HR .....	40
Şekil 13. 5 dakika toparlanma RR.....	43
Şekil 14. 5 dakika toparlanma SmO <sub>2</sub> .....	46
Şekil 15. Sabit fizyolojik yükte toplam koşu mesafeleri.....	53
Şekil 16. İki koşu testi arası kuru ve soğuk HR değişimi .....	55
Şekil 17. Dinlenme sırasında RR değişimi .....	56
Şekil 18. Dinlenme esnasında SmO <sub>2</sub> Verilerinin Karşılaştırılması.....	58
Şekil 19. 5 dakika toparlanma esnasında HR değişimi grafiği .....	59
Şekil 20. 5 dakika toparlanma esnasında RR değişimi grafiği.....	61
Şekil 21. 5 dakika toparlanma esnasında SmO <sub>2</sub> değişimi grafiği .....	63

## 1. ÖZET

**Tezin başlığı :** Dinlenme Esnasında Soğuk Uygulama Yapılan Tekrarlı Yüklenmelerin Kalp Atım Hızı Değişkenliği ve Kas İçi Oksijen Doygunluğu Üzerine Etkisinin İncelenmesi

**Öğrencinin Adı Soyadı :** Miray İLHAN

**Danışmanın Adı Soyadı :** Dr. Öğr. Üyesi Serdar Orkun Pelvan

**Program Adı :** Spor Sağlık Bilimleri Yüksek Lisans Programı

**Amaç:** Çalışmanın amacı, yüklenmeler arası dinlenme sürecinde uygulanan kuru ve soğuk protokollerin kalp atım hızı değişkenliği (HRV) ile kas içi oksijen doygunluğu (SmO<sub>2</sub>) üzerindeki etkilerini değerlendirerek, tekrarlı yüklenmelerde oluşan fizyolojik yanıtları incelemektir.

**Gereç ve Yöntem:** Yaş ortalaması 19,3 yıl olan, 16 erkek sporcu (boy: 180 ± 7,87 cm; kilo: 78,3 ± 14,6 kg) katılmıştır. Katılımcıların HR, HRV ve SmO<sub>2</sub> değerleri; koşu, dinlenme ve toparlanma süresince kaydedilmiştir. İki koşu protokolü arasında birinde 13 dakika boyunca soğuk su içinde, diğerinde ise oturarak dinlenme uygulanmıştır.

**Bulgular:** Koşular arası karşılaştırmalarda HR ve RR aralığında bazı ölçümlerde anlamlı farklar bulunmuştur. SmO<sub>2</sub> düzeyleri protokollere göre benzer eğilimler göstermiştir. Soğuk dinlenme protokolü sonrasında toplam koşu mesafesi anlamlı düzeyde artarken, kalp atım hızı toparlanma eğrisinde protokoller arasında farklılık gözlenmiştir. SmO<sub>2</sub> değerleri toparlanma süresince kademeli olarak artmış; ancak gruplar ve kas bölgeleri arasında anlamlı fark saptanmamıştır.

**Sonuç:** Bulgular, kuru-soğuk dinlenmenin tekrarlı egzersiz yüklenmeleri arasında kardiyovasküler yanıtları düzenleyerek performansın artırılmasında etkili olabileceğini göstermektedir. SmO<sub>2</sub> üzerindeki etkiler sınırlı olmakla birlikte, toparlanma sürecinde fizyolojik olarak katkı sağlayabilir.

**Anahtar Kelimeler :** Kalp atım hızı değişkenliği, kas içi oksijen doygunluğu, soğuk uygulama

## 2. SUMMARY

### **Investigation of The Effect of Repeated Loads With Cold Application During Rest on Heart Rate Variability and Intramuscular Oxygen Saturation**

**Student Name, Surname :** Miray İlhan

**Supervisor Name :** Dr. Öğr. Üyesi Serdar Orkun Pelvan

**Program Name :** Sport Health Sciences MSc Program

**Objective:** This study aimed to investigate the effects of dry and cold recovery protocols applied between repeated exercise bouts on heart rate variability (HRV) and muscle oxygen saturation (SmO<sub>2</sub>), in order to assess physiological responses during intermittent loadings.

**Materials and Methods:** Sixteen male athletes with a mean age of 19.3 years (height: 180 ± 7.87 cm; body mass: 78.3 ± 14.6 kg; body fat percentage: 11.8 ± 5.85%) participated in the study. Participants' heart rate (HR), heart rate variability (HRV), and muscle oxygen saturation (SmO<sub>2</sub>) values were recorded during the exercise, rest, and recovery phases. Two running protocols were applied: one involving 13 minutes of cold-water immersion for recovery, and the other involving seated passive recovery.

**Results:** Statistically significant differences were observed in HR and RR intervals between certain conditions. While SmO<sub>2</sub> values showed similar trends across protocols, total running distance was significantly greater following the cold recovery protocol. The heart rate recovery curve differed between the two conditions. Although SmO<sub>2</sub> levels gradually increased during recovery, no statistically significant differences were found between protocols or muscle sites.

**Conclusion:** These findings suggest that dry-cold recovery may positively influence cardiovascular responses such as heart rate, RR interval, and exercise capacity during repeated incremental exercise. Although the effects on SmO<sub>2</sub> are limited, it may contribute physiologically during the recovery process.

**Keywords :** Heart rate variability, muscle oxygen saturation, cold immersion

### 3.GİRİŞ ve AMAÇ

Çalışma ve dinlenme bir bütün olarak beraberinde başarıyı getirir. Başarıya ulaşabilmek için çalışma kısmı ne kadar önemli ise dinlenme kısmı da bir o kadar önem taşımaktadır. Dinlenme esnasında uygulanan farklı yöntemler bu hesaplamada sonucu değiştirebilir.

Sporcular sezon boyunca birden fazla antrenman ve müsabakaya katılım sağlamaktadır. Bunun sonucunda sporcular üzerinde oluşan fiziksel bir yükten yorgunluk oluşarak kas kasılabilirliği de etkilenmektedir (Tee ve ark., 2007). Yüklenmelerin sıklık, yoğunluk ve hacminin yüksek olmasından kaynaklı olarak da sporcular yorgunluk yaşarlar (Baird ve ark., 2012). Sportif açıdan oldukça önemli olduğu için özellikle tekrarlı yüklenmelerde yorgunluğun etkilerine en az şekilde maruz kalmak adına toparlanma kavramı önem taşımaktadır (Kellmann ve ark., 2018). Toparlanma konusunda çeşitli ısı uygulamaları (soğuk su, sıcak su ve ikisinin birlikte kullanıldığı) kullanılmaktadır. Yaygın kullanılan toparlanma yöntemlerinden biri de soğuk uygulamadır. Bu uygulama egzersizden sonra toparlanmayı artırabilecek fizyolojik değişiklikler oluşturabileceği düşünülmektedir (Coffey ve ark., 2004).

Kuru dinlenme ile karşılaştırıldığında soğuk uygulama tekrarlı yüklenmelerde sporcunun performansını olumlu yönde etkilemek açısından iyi bir strateji olabilir. Literatür genel anlamda yüklenme sonrası soğuk uygulamanın ağrı hissiyatında azalmaya neden olabileceği ve bunun yanı sıra performans açısından maksimal kuvvet, sprint, bisiklet, koşu sporcularında faydaları olabileceğini söylemektedir (Crowe ve ark., 2007; Hohenauer ve ark., 2015; Wilcock ve ark., 2006). Literatürde yüklenme ve dinlenme esnasında kas içi oksijen doyumluğu ( $SMO_2$ ) ve kalp atım hızı değişkenliği (KAHD) değerlendirmesini soğuk uygulama ve kuru uygulama ile birlikte inceleyen bir çalışma göze çarpmamaktadır. Özellikle tekrarlı yüklenmelerde kalp atım hızı değişkenliği çok yüksek olacağı için bu hususta dinlenme konusundaki farklılıklarının performansa ve kas içi oksijen doyumluğuna etkisi merak konusudur.

Bu çalışmanın amacı aktif olarak antrenmanlara devam eden sporcularda, dinlenme esnasında soğuk uygulama yapılan tekrarlı yüklenmelerin kalp atım hızı değişkenliği, kas içi oksijen doyumluğu üzerine etkisini değerlendirerek tekrarlı yüklenmelerde oluşabilecek fizyolojik değişkenlikleri incelemektedir. Buna bağlı olarak dinlenme

esnasında soğuk uygulamayı kuru dinlenme ile karşılaştırarak fizyoloji üzerine etkilerinin incelenmesi amaçlanmaktadır. Özellikle tekrarlı yüklenmeler arasında ve yüklenme sonunda toparlanma sürecinin zaman içinde fizyolojik olarak nasıl değiştiğini gözlemlemek, toparlanma stratejilerinin belirlenmesi konusunda bilgiler sunmaktadır. Mevcut literatürde genellikle soğuk uygulamanın farklı parametreler üzerindeki etkilerine odaklanan çalışmalar bulunmaktadır. Sporcuların antrenman sırası ve sonrası fizyolojisini takip etmek toparlanma süreci optimize etmek için kullanılacak strateji geliştirmesi ile literatürde önemli bir konu oluşturmaktadır. Bu araştırma tekrarlı yüklenmelerde soğuk uygulamanın kalp atım hızı değişkenliği ve kas içi oksijen doygunluğu gibi fizyolojik etkilerini inceleyerek katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Bu çalışmanın alt amaçları aşağıda belirtilmiştir.

H1 İki yüklenme arasında dinlenme sırasında yapılan soğuk uygulama kas içi oksijen doygunluğunu ( $SMO_2$ ) etkiler.

H2 İki yüklenme arasında dinlenme sırasında yapılan soğuk uygulama HRV değerini etkiler.

H3 İki yüklenme arasında yapılan soğuk dinlenmenin dinlenme sonrası yapılan 2. performansa olumlu etkisi vardır.

## 4.GENEL BİLGİLER

### 4.1. Vücut Sıcaklığı ve Performans

Performans ve vücut sıcaklığı hakkında bir çok araştırma yapılmıştır (Henderson ve ark., 2023; Levesque ve ark., 2021; Singh ve ark., 2023; Wright Jr ve ark., 2002). İlk olarak Kleitman, vücut ısısının performansı düzenlediğini ileri sürmüştür. “ Sıcaklığın etkisinin kimyasal bir olguyla karşı karşıya olduğumuzu gösterdiğini varsayarsak, sıcaklık ile tepki süresi arasındaki ilişkiye dair iki yorum mümkündür: ya a, zihinsel süreçler kendi başlarına kimyasal reaksiyonları temsil eder ya da b, düşünme hızı serebral korteks hücrelerinin metabolik aktivite düzeyine bağlıdır ve vücut sıcaklığındaki artışla ikincisinin yükselmesiyle dolaylı olarak düşünce sürecini hızlandırırız” (Kleitman ve ark., 1938). Bu teoriye göre, vücut sıcaklığının artması ile gerçekleşen sıcaklıklar sinirsel iletimi hızlandırırken, düşük sıcaklıklar sinirsel iletimi yavaşlatabilir.

Organizmamız, çevresel sıcaklık koşulları ne kadar değişken olursa olsun, vücut sıcaklığını sabit tutmaya çalışır (Kanosue ve ark., 2010). Sağlıklı bir bireyde, vücut sıcaklığı genellikle 37°C civarındadır. Kontrollü laboratuvar ortamında (sabit oda sıcaklığı, loş ışık, yatay pozisyon, sınırlı hareket ve düzenli beslenme) incelendiğinde, vücut sıcaklığının günlük dalgalanma aralığı yaklaşık 1°C'dir. Vücut ısısının düzenlenmesinde, hipotalamusta bulunan preoptik bölge ve suprakiazmatik çekirdekler önemli rol oynar (Wright Jr ve ark., 2002). Preoptik bölge, memelilerde fizyolojik ve çevresel şartlara yanıt olarak vücut sıcaklığını belirli bir aralıkta tutmak için homeostatik mekanizmaları düzenlerken, suprakiazmatik çekirdekler günlük (sirkadiyen) sıcaklığı kontrol eder (Eichner, 2010). Bu homeostatik ve sirkadiyen mekanizmalar, deri vazodilatasyonu, periferik damar büzülmesi ve bazal metabolizma hızı gibi faktörleri etkileyerek vücut ısısındaki artma ve azalma oranlarını değiştirir (Schlader ,Vargas, 2019).

Egzersiz sırasında, sporcuların vücut ısısı yükselir. Bunun nedeni, kas kontraksiyonları için gerekli enerji üretiminin termal verimliliğinin düşük olmasıdır. Üretilen enerjinin sadece beşte biri ile dörtte biri arasındaki kısmı harekete dönüşürken, geri kalan büyük

kısım ısı olarak açığa çıkar (Singh ve ark., 2023). Egzersizin yoğunluğu ve süresi arttıkça vücut ısısı da paralel olarak yükselir. Bu nedenle, tekrarlı yüklenmelerde vücut sıcakları önemli ölçüde artış göstermektedir.

Egzersiz esnasında, vücudun termoregülasyon mekanizmaları, iç sıcaklığı 38-40°C aralığında tutmaya çalışır. Vücut sıcaklığının artışı ile beraber kas aktivitesi, maksimum oksijen tüketimi, metabolik ısı üretimi, bölgesel ısı birikimi ve deri kan akışı artar. Bu durumla doğru orantılı olarak aktif kaslara, deriye ve beyne giden kan miktarı da artış gösterir. Artan kas aktivitesi, ısı üretimi ile toplam ısı kaybı arasındaki farkı genişletir, bu da vücutta net ısı artışına yol açar. Organizma, aşırı ısıyı uzaklaştırmak için termoregülasyon mekanizmalarını harekete geçirir, ancak bu süreç yorgunluğa neden olur. Metabolik ısı üretimi, vücudun uzaklaştırabileceği miktarı aştığında, ısı stresi ortaya çıkar ve performansı olumsuz etkileyebilir (Gleeson, 1998).

Vücudun ısı dengesi, karmaşık bir denklemle ifade edilebilir:

$$S = M - (\pm W) - E \pm R \pm K \pm C$$

Bu formülde, S ısı birikimini, M metabolik ısı üretimini, W mekanik iş çıktısını, E evaporasyonu, R radyasyonu, K kondüksiyonu ve C konveksiyonu temsil eder (Åstrand, 2003; Sawka, 1988).

#### **4.2. Soğuk Uygulamanın Fizyolojik Etkileri**

Sporcunun hızlı toparlanması ve sonraki yüklenmede iyi bir performans sergilemeye hazır olması gerekmektedir. İki antrenman seansı arasındaki dinlenme süresi kısaysa, antrenman adaptasyonu olumsuz şekilde etkilenir bu da performansı etkileyebilir. Toparlanmanın amacı egzersiz tamamlandıktan sonra vücudu dinlendirerek egzersiz öncesi şartlara hazırlamaktır (Wiewelhoeve ve ark., 2015). Başka bir ifade ile amaç sporcuyu istirahat haline geri döndürmektir. Bu bağlamda, çeşitli uygulamalar (soğuk, sıcak veya her ikisinin kombinasyonu) sıklıkla kullanılmaktadır. Soğuk uygulama, bu yöntemler arasında yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu teknik, vücudun iç sıcaklığını düşürmeyi amaçlar ve temel olarak belirli bir bölge veya dokunun sıcaklığını azaltarak kan akışını yavaşlatmayı hedefler.

Soğuk uygulamanın vücutta önemli fizyolojik değişikliklere etki edebileceği düşünülmektedir. Soğuk uygulama etkisi ile oluşabilecek fizyolojik değişiklikler; hücre içi damar sıvı değişimleri, kas ödeminde azalma, kalp debisinde artış, cilt, merkez ve kas sıcaklıklarında azalmadır (Rowse ve ark., 2011).

#### **4.2.1. Vazokonstriksiyon**

Soğuk uygulamaların önemli etkilerinden biri damarlarda vazokonstriksiyona (damar daralması) neden olmasıdır. Bu durumda, soğumuş kanın uygulama bölgesinden uzaklaşması yavaşlar, böylece soğuk etkisi uzar ve vücudun çekirdek sıcaklığının aşırı düşmesi engellenir (Castellani ve ark., 2007). Vazokonstriksiyonun bir sonucu olarak, ilgili bölgedeki kan akışı ve kapiller geçirgenlik azalır. Ayrıca, lökositlerin (akyuvarların) damar yatağından ayrılması zorlaşır, bu da kanama ve ödemin azalmasına katkıda bulunur. Uygulama yapılan bölgeye kan akışının azalması, vazokonstriktör tepkiye aracılık eden sempatik alfa reseptörler aracılığıyla gerçekleşebilir. Bununla birlikte, organizmanın refleks tepkisi de bu süreçte önemli bir rol oynar. Bir bölge soğutulduğunda, merkezi termoregülasyon mekanizmasının bir sonucu olarak, soğutulan deri bölgesinde refleks şeklinde vazokonstriksiyon oluşur.

İnsan vücudu soğuğa maruz kaldığında, periferik vazokonstriksiyon tepkisi gösterir. Periferik kan akışındaki bu azalma, vücudun derin dokuları ile yüzeysel dokuları (deri, deri altı yağ dokusu ve iskelet kası) arasındaki konvektif ısı transferini azaltarak, vücudun ısı yalıtımını artırır. Soğuğa maruz kalan vücut yüzeyinden ısı kaybı, ısı üretiminden daha hızlı gerçekleştiği için cilt sıcaklığı düşer. Tüm vücut soğuğa maruz kaldığında, vazokonstriktör yanıt tüm vücudun periferik dolaşımını etkiler. Bütün vücudun soğutulması sırasında vazokonstriksiyon, cilt sıcaklığı yaklaşık 35°C'nin altına düştüğünde başlar ve cilt sıcaklığı 31°C veya daha düşük seviyelere indiğinde en yüksek seviyesine ulaşır (Castellani, Tipton, 2015). Bu şekilde, soğuğa maruz kalma durumunda ortaya çıkan vazokonstriktör yanıt, ısı kaybını yavaşlatmaya ve derin vücut sıcaklığını korumaya yardımcı olur. Bu koruma mekanizması, periferik doku sıcaklığının düşmesi pahasına gerçekleşir (Veicsteinas ve ark., 1982).

Vücudun uç kısımlarındaki kan dolaşımı, soğuğa maruz kalma ve vücudun genel ısı durumuna bağlı olarak hızlı ve esnek bir şekilde uyum sağlar. Soğuk bir ortama girildiğinde kısa süre içinde, sempatik sinir sistemi aracılığıyla gerçekleşen damar

büzülmesi (vazokonstriksiyon) meydana gelir. Bu durum, vücudun merkezi bölgelerinde ve iç organlarda kanın toplanmasına yol açarken, ekstremitelere giden kan akışını azaltır (Flouris ,Cheung, 2011). Bu fizyolojik tepki, vücudun hayati organlarını korumak ve ısı kaybını en aza indirmek için geliştirdiği bir adaptasyon mekanizmasıdır.

#### **4.2.2. Soğuk uygulamanın sinir sistemi ve dolaşım sistemi üzerine etkisi**

İyi seviyede sporcularda antrenman yükü, kademeli olarak arttırılır. Vücut karşı karşıya kaldığı stresse adapte olmaya çalışır. Yorgunluk kavramı en genel anlamı ile yüklenme sırasında ve bitiminde yorulma, tükenme ile birlikte yapılan eyleme sürdüremeyecek duruma gelme olarak düşünülse de bilimsel açıdan açıklanması karmaşık bir olgudur (Knicker ve ark., 2011). Yorgunluk çeşitli fizyolojik ve psikolojik faktörler veya ikisi birlikte performansta bir kayıp gözlenmesi durumudur.

Egzersiz ve soğuk uygulama, vücut tarafından stres olarak algılanabildiği için dolaşımdaki hormon seviyelerinde değişiklikler ortaya çıkabilir. Bu hormonlar, yüksek yoğunluklu egzersiz sonrası toparlanma sürecinde kan akışı, sıvı dengesi, kalp atış hızı ve solunum sıklığı gibi önemli fizyolojik parametrelerin düzenlenmesinde kritik bir rol oynar. Soğuk uygulamanın sinir sistemi üzerine de bir takım etkileri mevcuttur. Bunlardan biri asetilkolin üretiminde sinir uyarısı yavaşlamasından kaynaklı olarak bir azalma gözlenmesidir (Ghaderi ve ark., 2013). Soğuk uygulamaları kas gevşemesi ve kreatinkinaz seviyesinde azalma oluşturabilmektedir (Shepherd ve ark., 1983).

#### **4.2.3. Soğuk uygulamanın kas iskelet sistemi üzerine etkisi**

Kas harabiyetinden kaynaklı şişlik ve akut enflamasyon, sıcaklıktaki azalmaya bağlı olarak azalabilir (Ingram ve ark., 2009). Bu etkilerle ilişkili olarak besin ve atık madde taşınmasında artış, kas spazmı ve ağrıda azalış sporcular için faydalar sağlayabilir (Bailey ve ark., 2007). Soğuk uygulama ile birlikte daldırma seviyesine bağlı olarak core ısısı düşebilir. Bu durumda vücut çekirdek ısını korumaya çalışır. Hemoestasi devamlılığı sağlamaya çalışan metabolizma, kan akışı ve oksijen tüketimini değiştirir. Çekirdek vücut ısısındaki düşüş, kalp atım hızı ile kardiyak debide azalmaya yol

açabilir; bu durum da periferik vasküler direnç ile arteriyel kan basıncının artmasına neden olabilir (Wilcock ve ark., 2006).

#### **4.2.4. Soğuk uygulamanın ağrı üzerine etkisi**

Soğuk uygulaması ağrı-spazm döngüsünü inhibe edebilir. Ağrı hissiyatında azalmanın sinir iletim hızının, kas içiği aktivitesinin, gerilme-refleks tepkisinin azalmasıyla ilişkili olabileceği düşünülmektedir (DeGroot ve ark., 2013). Yüklenme sonrasında vücudun toparlanma sürecini hızlandırmak için soğuk uygulama, hücre metabolizmasını ve buna bağlı olarak iltihap reaksiyonlarını azaltan vazokonstriktif etkisine neden olur (Ihsan ve ark., 2013; White ,Wells, 2013).

#### **4.2.5. Soğuk uygulamanın nabız ve solunum hızına etkisi**

Soğuk suya ani daldırma, toplu olarak "soğuk şok" tepkisi olarak bilinen ve inspiratuar soluk alma, hiperventilasyon, hipokapni, kalp atış hızında artış, periferik vazokonstriksiyon ve hipertansiyon ile karakterize edilen bir grup kardiyorespiratuar tepkiye neden olur (Bleakley ,Davison, 2010). Bu yanıt, deri sıcaklığındaki hızlı düşüşle başlatılır. Solunum dürtüsü 25°C'den daha soğuk suya daldırıldığında artar. Su sıcaklığı ile ters orantılıdır ve 10 ila 15°C suda maksimum seviyeye ulaşır.

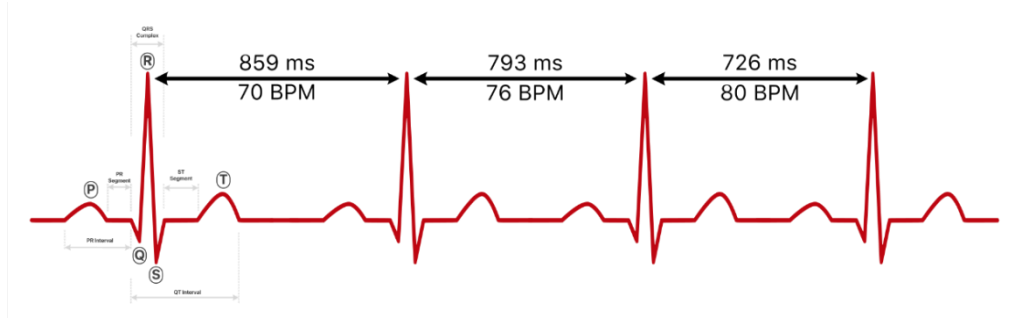
#### **4.3. Soğuk Uygulama Çeşitleri**

Literatürde incelenen soğuk uygulamanın sıcaklıkları 5–20 °C arasında değişmektedir (Machado ve ark., 2016). Yaygın olarak kullanılan sıcaklıklar ise 5 °C veya 10–15 °C'dir. Aralıksız soğuk uygulama (5-20 dakika) veya suyun dışında bir süre (1-2,5 dakika) bekletilerek birden fazla soğuk uygulama yöntemleri kullanılmaktadır (1-5 dakika). Soğuk uygulanan bölge ve suyun derinliği belden omuz yüksekliğine kadar değişmektedir. Soğuk uygulama esnasında katılımcı genellikle pasiftir. Soğuk uygulama, tekrarlı yüklenmelerde vücut için etkili bir ön soğutma işlevi sağlar. Özellikle soğuk uygulama ile birlikte gerçekleşecek daha düşük iç vücut sıcaklığından tekrarlı yüklenmelerin gerçekleşeceği zamanlar faydalanılabilir. Soğuk uygulamanın kas ağrısında kuru toparlanmadan daha iyi olabileceğini göstermektedir. Sonuçlar aynı zamanda bir doz-yanıt ilişkisinden bahsetmektedir. Bu ilişki 11-15 °C arasında su sıcaklığında, 11-15 dakika soğuk uygulamanın olumlu sonuçlar sağlayabileceğini göstermektedir (Machado ve ark., 2016).

Literatürde soğuk uygulamaları, baş ve boyun hariç tutularak tüm vücuda 15°C 14 dakika boyunca uygulanan (Vaile ve ark., 2007), baş ve boyun hariç tutularak yine tüm vücuda 10,15 ve 20°C'de bir dakika ardından 2 dakika boyunca su dışında dinlenme olarak uygulanan yöntemler mevcuttur (Vaile ve ark., 2008). Ekstremitelere soğutmaya yönelik uygulanan yalnız bacaklara 15 dakika boyunca 15°C (Lane ,Wenger, 2004) ve yine yalnız bacaklara 10 dakika boyunca 8°C suda bekleme olarak değerlendirilmektedir. Soğuk uygulamada 8°C ve 22°C sıcaklıkların kan akışını azaltmak için etkili olduğu bilinmektedir (Gregson ve ark., 2011). Bunun yanı sıra her sporcunun soğuk suya karşı toleransı farklıdır. Bazı insanlar daha uzun süre soğuğa dayanabilirken, kimileri daha kısa sürelerde rahatsızlık hissedebilir. Araştırmalar fizyolojik çıktılar açısından değerlendirildiğinde, kısa süreli (10-15 dakika) soğuk uygulamalarının da yeterli olduğunu göstermektedir (Getto ,Golden, 2013), Bleakley ,Davison, 2010), Machado ve ark., 2016).

#### **4.4.Kalp Atım Hızı Değişkenliği**

Antrenman yükü belirleme ve toparlanma süreci ile ilgili veriler sağlamak adına kalp atım hızı değişkenliği (KAHD) ölçümü sıklıkla yapılmaktadır (Alvurdu, 2023). Kalp atım hızı değişkenliği (KAHD), otonom sinir sisteminin kalp üzerindeki etkilerini gösteren önemli bir parametredir. Bu ölçüm sporcuların fizyolojik olarak durumunu değerlendirmemizi sağlamaktadır. Sağlıklı bireyde kalp atım hızı ortalama 72 atım/dakika olarak değerlendirilmiştir. Ortalama atım aralığı 833 ms, standart sapma değeri ise 40 ms olarak saptanmıştır. Kalp atım hızı değişkenliği (KAHD), elektrokardiyogram (EKG) sinyalinde, iki R dalgası arasındaki tepeden tepeye aralıklar arasında meydana gelen standart sapma değeri olarak tanımlanmaktadır (McCarty ,Shaffer, 2015). KAHD, kalp atımları arasındaki zaman aralıklarının uzunluğundaki dalgalanmaların derecesini göstermektedir. Bu değişkenlik, otonom sinir sisteminin etkileriyle şekillenir ve bireyin fizyolojik durumunu yansıtan önemli bir gösterge olarak kabul edilir. KAHD'nin takibi ve analiz edilmesi, spor performansının izlenmesi ve sporcuların antrenman programlarının optimize edilmesi açısından öneme sahiptir. Kalp hızı değişkenliği, sağlıklı bireylerde kalp sağlığının ve genel fizyolojik durumun değerlendirilmesinde önemli bir parametre olarak öne çıkmaktadır.



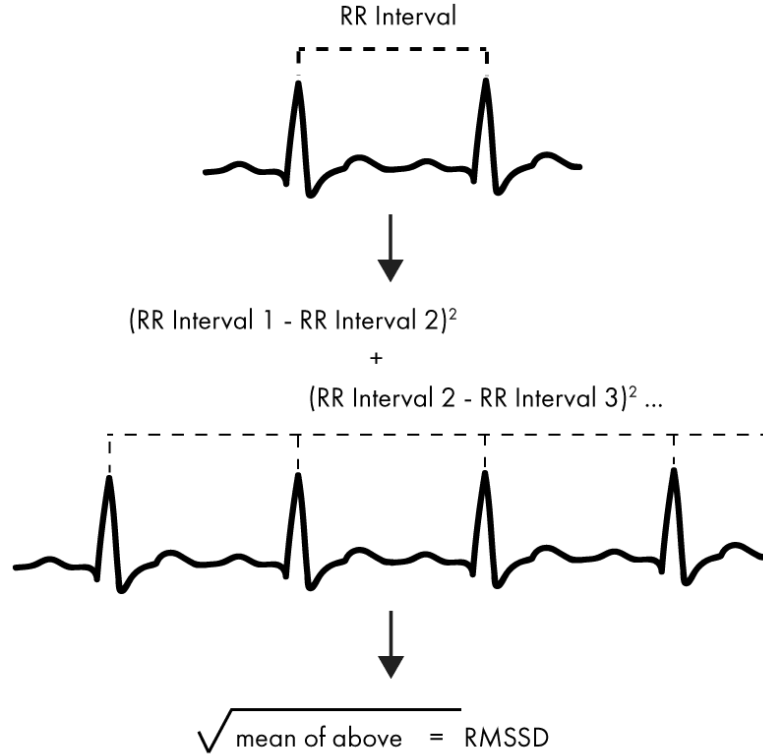
Şekil 1. RR aralığı değişiklikleriyle görselleştirilen 2.5 saniyelik kalp atım hızı değişkenliği verisi

Sağlıklı bir kalp, sabit bir ritme sahip olan bir metronom gibi çalışmaz. Aksine, sağlıklı olan bir kalbin atışları sürekli değişir. Kardiyovasküler sistemin homeostaziyi koruyarak fiziksel ve psikolojik değişikliklere uyum sağlamasına olanak tanır (Shaffer ,Ginsberg, 2017). Değişen çevresel koşullara uyum sağlamak amacıyla otonom sinir sisteminin sempatik ve parasempatik bileşenlerinin kalp üzerindeki hızlandırıcı ve yavaşlatıcı etkileridir. Bu değişimlerin başlıca nedenleri arasında kan basıncı, solunum kontrol sistemleri, otonom nöral aktivite ve diğer fizyolojik sistemler arasındaki etkileşimler yer almaktadır. Kalp atım hızındaki bu değişiklikleri incelemek amacıyla R dalgaları arasındaki zaman aralıkları grafiksel olarak analiz edilebilir. Bu yöntem, egzersiz sırasında fizyolojik yanıtların değerlendirilmesi için etkili bir veri kaynağı olarak kullanılmaktadır. (Makivić ve ark., 2013).

Normal sinüs atımlarının (SDNN) interbeat interval (IBI) standart sapması milisaniye (ms) cinsinden ölçülür. "Normal" ifadesi, ektopik atımlar gibi anormal kalp atımlarının çıkarıldığını belirtir. SDNN, kalp hızı değişkenliğinin (HRV) bir ölçüsüdür ve genellikle kısa süreli kayıtlarla değerlendirilir. Geleneksel kısa süreli kayıt standardı 5 dakikadır. Ancak, bazı araştırmacılar, ultra kısa süreli kayıt periyotları olan 60 saniyeden 240 saniyeye kadar süreler önermiştir (Baek ve ark., 2015). Bu ultra kısa süreli kayıtlar, pratik ve taşınabilir ölçüm cihazlarının kullanımını kolaylaştırmak için önemlidir.

Normal kalp atışları arasındaki ardışık zaman farklarının karekök ortalaması (RMSSD), kalp atışları arasındaki ardışık zaman farkının milisaniye (ms) cinsinden

hesaplanması ile belirlenir (Buchheit, 2014). İlk olarak, kalp atışları arasındaki ardışık zaman farkı ölçülür ve bu farkların kareleri alınır. Ardından, bu karelerin ortalaması hesaplanır ve sonuçların karekökü alınarak RMSSD elde edilir.



Şekil 2. HRV'yi analiz etmenin en yaygın yolu RMSSD hesaplama

Geleneksel olarak, bu ölçüm için minimum kayıt süresi 5 dakika olarak belirlenmiştir. Ancak, bazı araştırmacılar 10 saniyelik (Salahuddin ve ark., 2007) , 30 saniyelik (Baek ve ark., 2015) ve 60 saniyelik ultra kısa kayıt periyotları da kullanmayı önermişlerdir (Esco ,Flatt, 2014). RMSSD, kalp atış hızındaki anlık değişiklikleri yansıtır ve bu nedenle kalp hızı değişkenliği (HRV) ile ilişkili vagal tonusu değerlendirmek için önemli bir zaman alanı ölçütüdür (Shaffer ve ark., 2014). Vagal aracılı değişiklikleri tahmin etmek amacıyla kullanılan bu ölçüm, kısa vadeli HRV'yi yansıtan doğrusal olmayan bir metrik olan SD1 ile de aynıdır. HRV analizlerinde sıkça tercih edilir ve bu sayede kalp sağlığına dair önemli ipuçları sağlar (Bigger Jr ve ark., 1989).

#### **4.4.1. Kalp atım hızı değişkenliği ve sıcaklık ilişkisi**

Kalp Atım Hızı Değişkenliği (KAHD), çeşitli faktörlerden etkilenebilen karmaşık bir fizyolojik parametredir. Bu faktörler arasında bireyin yaşı, cinsiyeti, fizyolojik ve psikolojik durumu ile kullanılan ilaçların etkileşimleri yer almaktadır. Ancak, KAHD üzerinde en belirgin etkiyi yaş faktörünün oluşturduğu gözlemlenmiştir. Örneğin, 20'li yaşlardaki bireylerde KAHD değerleri genellikle 50-60 milisaniye aralığında seyrederken, ilerleyen yaşla birlikte bu değer kademeli olarak azalarak 20-25 milisaniye seviyelerine kadar gerileyebilmektedir. Ayrıca, cinsiyet bazında incelendiğinde, kadınların KAHD değerlerinin erkeklere kıyasla nispeten daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Sıcaklık, KAHD üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu gösterilmiştir. Yüksek çevresel sıcaklıklar, sempatik sinir sistemi aktivitesinin artmasına ve dolayısıyla kalp atım hızında bir yükselişe neden olabilir. Bu durum, kalp atımları arasındaki zaman aralıklarının dalgalanmalarını azaltarak KAHD'yi düşürebilir. Araştırmalar, sıcak havalarda kalp atım hızının artmasının, vücudun ısı düzenleme mekanizmalarının bir sonucu olduğunu ortaya koymaktadır (Al Haddad ve ark., 2010). Öte yandan, düşük sıcaklıklar da otonom sinir sisteminin yanıtlarını etkileyerek kalp atım hızını yavaşlatabilir ve KAHD'yi artırabilir. Soğuk hava koşullarında, parasempatik aktivitenin artması, kalp atım hızını düşürerek KAHD'nin artmasına yol açar. Bu bağlamda, çevresel sıcaklık değişiklikleri, kalp atım hızı değişkenliğinin dinamiklerini etkileyerek bireylerin genel sağlık durumunu ve performansını dolaylı olarak etkileyebilir.

#### **4.4.2. Sempatik ve parasempatik sinir sistemin kalp atım hızı üzerine etkisi**

Otonom sinir sistemi kalp atım hızını kontrol eder. Sempatik ve parasempatik sinir sistemi olmak üzere iki ana bileşeni bulunmaktadır. Sempatik sinir sistemi (SNS), kalp hızını artıran bir etkiye sahiptir. Bu sistem, stres, egzersiz veya tehlike durumlarında aktive olur ve noradrenalin gibi nörotransmitterler aracılığıyla kalp hızını artırır. Parasempatik sinir sistemi (PNS) ise kalp hızını düşüren bir etkiye sahiptir. Vagal sinirler aracılığıyla iletilen bu sistem, dinlenme ve sindirim durumlarında daha aktiftir ve asetilkolin gibi nörotransmitterler aracılığıyla kalp hızını düşürür. Bu iki sistem

arasındaki denge, kalp hızının fizyolojik değişikliklere uyum sağlamasını sağlar (Kleiger ve ark., 2005). Örneğin, egzersiz sırasında sempatik aktivite artar ve kalp hızı yükselir, dinlenme anında ise parasempatik aktivite artar ve kalp hızı düşer. Yani kalp atım hızı, otonom sinir sistemi tarafından iletilen eferent vagal ve sempatik sinir uyarıları aracılığıyla fizyolojik bozulmalara dinamik olarak yanıt verir (Appel ve ark., 1989). Sağlıklı bir insan kalbinde, parasempatik sinir sistemi (PNS) ve sempatik sinir sistemi (SNS) arasında dinamik bir denge bulunur. PNS, dinlenme sırasında baskın olan sistemdir ve kalp atış hızını düşürür. PNS, kalp atış hızını 20 veya 30 bpm'ye kadar yavaşlatabilir veya kısa bir süreliğine durdurabilir. Bu denge, vücudun ihtiyaçlarına ve çevresel koşullara bağlı olarak sürekli olarak ayarlanır (Derrickson, 2018).

Parasempatik sinirler, etkilerini sempatik sinirlerden daha hızlı gösterir. Bu da, parasempatik sinirlerin kalp üzerindeki etkilerinin çok hızlı (bir saniyeden kısa sürede) ortaya çıktığı, sempatik sinirlerin etkilerinin ise daha yavaş (5 saniyeden daha uzun sürede) ortaya çıktığı anlamına gelir (Nunan ve ark., 2010). Bu hızlı ve yavaş etkiler, kalbin hızlanması ve yavaşlaması gibi çelişkili eylemler üretebilir ve etkileri mevcut aktivite dengesine bağlıdır. Sempatik sinir sistemi (SNS), parasempatik sinir sistemi (PNS) aktivitesini baskılayabilir, ancak aynı zamanda PNS tepkisini de artırabilir (Gellhorn, 1957). Bu karşılıklı etkileşimler, vücudun ihtiyaçlarına ve çevresel koşullara göre kalp hızını ve diğer organların işlevlerini hassas bir şekilde düzenler.

#### **4.5.Kas İçi Oksijen Doygunluğu ve Sıcaklık İlişkisi**

Kas içi oksijen doygunluğu performans açısından önemli fizyolojik yanıtların göstergesidir. Kas içi oksijen doygunluğunu incelemede, doku oksijenlenmesinin ve dokudaki kan dolaşımının analiz edilmesinde tercih edilen non-invaziv bir yöntem yakın kızılötesi spektroskopisidir. Bu yöntem, vücudun farklı bölgelerindeki oksijen taşınımı ve kullanımını arasındaki bireysel farkları belirlemekte ve dokuların oksijen metabolizmasını incelemek için güvenilir bir araç sunmaktadır. Bir başka ifade ile dokuya ulaşan oksijen miktarını gösteren verileri güvenilir şekilde vermektedir. Yakın kızılaltı spektroskopisi, aerobik ve anaerobik egzersizlerdeki artış ile birlikte kas oksijen miktarını gözlemek için kullanılır. Özellikle kas içerisindeki oksijen tüketiminin ölçmek tekrarlı yüklenmeler arası dinlenme sırasındaki toparlanma ile

ilişkili olacağı için ölçüm yöntemi olarak da kullanılan bir yöntemdir (Pelvan ,Çotuk, 2016).

#### **4.6.Yakın Kızılaltı Spektroskopisi (YKAS)**

Kas dokusundaki oksijen seviyesini ve kan dolaşımını analiz etmek için yakın kızılaltı spektroskopisi (YKAS) kullanılmaktadır (Quaresima ,Ferrari, 2002). Egzersiz sırasında beyin ve iskelet kaslarının oksijen düzeylerindeki değişimleri takip etmek ve bölgesel farklılıkları analiz etmek için invaziv olmayan bir teknik olarak kullanılan yakın kızılötesi spektroskopi (YKAS) önemli veriler sağlamaktadır (Herold ve ark., 2018; Perrey ,Ferrari, 2018). YKAS, başlangıçta serebral oksijenasyonu izlemek amacıyla kullanılmış olsa da, zaman içinde uygulama alanı genişlemiş ve günümüzde kas fizyolojisi araştırmalarında önemli bir yer edinmiştir. Bu yöntem ile belirli kas gruplarının oksijen kullanımını ölçülebilmektedir (Boone ve ark., 2016).

Biyolojik dokular, ışığın nüfuz etmesine olanak tanıyan bir yapıya sahiptir. Bu özellik sayesinde, ışık doku içerisinde ilerleyerek yakındaki fotoreseptörlere ulaşabilmektedir. Işık, doku içindeki ilerleyişi sırasında hemoglobin molekülleri tarafından kısmen emilime uğrar. Algılanan ışık miktarı, özellikle kandaki hemoglobin ve oksihemoglobin konsantrasyonlarındaki değişimlerden etkilenmektedir (Praagman ve ark., 2003). Bu yöntem ile 700-1000 nm aralığındaki yakın kızılötesi ışık spektrumu kullanır (Şayli ve ark., 2011). Bu dalga boyu aralığı, biyolojik dokuların yüksek geçirgenlik gösterdiği bir bölgedir (Perrey ,Ferrari, 2018). Tüm bu fizyolojik süreci ölçmek için, deriye özel bir cihaz yerleştirilir. Bu cihaz, hem ışık kaynağı görevi görür hem de yansıyan ışığın yoğunluğunu tespit eder. Cihazdan yayılan kızılötesi ışınlar, doku içerisinde yayılarak yakındaki fotoreseptörlere ulaşır (Hamaoka ,McCully, 2019). Bu ışınların miktarındaki değişimler, doku yüzeyindeki oksihemoglobin ve deoksihemoglobin seviyelerine dair sinyallerin toplanmasını sağlar (Scano ve ark., 2019).

Yakın kızılaltı spektroskopisi (YKAS) tekniği kullanıldığında, yayılan ışığın kas dokusuna ulaşma olasılığı, ana damarlar boyunca ilerleyerek ışık alıcılarına ulaşma olasılığından daha azdır. Bu nedenle, YKAS tekniği, genellikle büyük ana damarlar yerine, dokuların içinde yer alan arter ve ven kılcal damar bölgelerinde bulunan

hemoglobin ve oksihemoglobinin ışık alıcısına ulaşan ışığını analiz etmek için kullanılır (Orcioli-Silva ve ark., 2024). Bu teknikte kullanılan cihazın üzerinde, yakın kızılötesi dalga boyunda ışık yayan diyotlar ve bu ışığı algılayan bir foto dedektör bulunur. Foto dedektör, cihazın merkezindeki ışık kaynağından yaklaşık 3 cm uzaklığa yerleştirilmiştir. Bu mesafe, gönderilen ışığın doku yüzeyinde yaklaşık 1,5 cm genişliğinde bir alana yayılmasına neden olur ve böylece hem yatay hem de dikey yönde bir tarama gerçekleştirir (Perrey ,Ferrari, 2018).

Bu ölçüm prensibi, günlük hayatta sıkça kullanılan parmak tipi nabız oksimetrelerinin çalışma mekanizmasına benzerlik gösterir. Bu cihazlar da ışığın doku içindeki yayılımını ve emilimini kullanarak kan oksijen saturasyonunu ölçer (Boushel ,Piantadosi, 2000). YKAS sadece hücre içi oksijen tüketimini değil, aynı zamanda kapiler damarlardaki doku oksijenasyonundaki potansiyel değişiklikleri hakkında bilgi vermektedir. Bu çok yönlü analiz sayesinde kas metabolizması ve oksijen kullanımı konusunda bütüncül bir bakış açısı sunmaktadır (Hampson ,Piantadosi, 1988).

Yağ dokusu kalınlığı az olan kişilerde, bu derinlik dokuları incelemek için uygun olabilir. YKAS ile çeşitli iskelet kasları incelenebilir. Bunlar arasında sırt ekstansör kasları, rektus femoris, biceps femoris, gluteus maksimus, vastus lateralis, vastus medialis, calf, dorsifleksörler, solunum kasları, trapezius, deltoid, triseps, biceps brachii, ekstansör karpi radialis brevis, önkol fleksörleri, tenar kasları, brakioradialis ve masseter kası bulunmaktadır (Perrey ,Ferrari, 2018).

YKAS teknolojisinin iskelet kasları üzerindeki çalışmalar için değerli olmasının temel nedeni, iskelet kasının oksidatif metabolizmaya olan güçlü bağımlılığıdır. Absorpsiyon değişiklikleri üç farklı dalga boyunda (905, 850 ve 770 nm) ölçülerek, bu değişiklikler oksihemoglobin ( $O_2Hb$ ) ve deoksihemoglobin (HHb) konsantrasyonundaki değişikliklere dönüştürülebilmektedir (Hamaoka ve ark., 2007).

YKAS kullanımının avantajlarından biri, vücuda herhangi bir müdahale gerektirmeden egzersiz anında kolaylıkla ölçüm yapabilesidir. Ayrıca, YKAS kasın farklı fizyolojik durumları yani dinlenme ve egzersiz hali arasında, aktif ve daha az aktif kaslar arasında ayırım yapabilmektedir (Praagman ve ark., 2003). Bu özelliği sayesinde, sporcu performansını değerlendirmede ve antrenman programlarının etkinliğini ölçmede sıklıkla kullanılmaktadır (Quaresima ve ark., 2003).

## 5. GEREÇ VE YÖNTEM

Araştırma için, Marmara Üniversitesi Tıp Fakültesi Klinik Araştırmalar Etik Kurul'undan 09.2024. 527 protokol numarası ile etik kurul onayı alınmıştır (Ek 1).

### 5.1.Problem Cümlesi

Dinlenme esnasında soğuk uygulama, kuru dinlenme ile karşılaştırıldığında tekrarlı yüklenmelerde performans açısından kas içi oksijen doygunluğu ( $SMO_2$ ) değişkenliğini etkiler mi?

Dinlenme esnasında soğuk uygulama kuru dinlenme ile karşılaştırıldığında tekrarlı yüklenmelerde performans açısından kalp atım hızını düşürür mü?

Dinlenme esnasından soğuk uygulama kuru dinlenme ile karşılaştırıldığında tekrarlı yüklenmelerde sporcunun aynı şiddet ile ikinci bir yüklenmeyi gerçekleştirmesini etkiler mi?

#### 5.1.1. Hipotez

H1 İki yüklenme arasında dinlenme sırasında yapılan soğuk uygulama kas içi oksijen doygunluğunu ( $SMO_2$ ) etkiler.

H2 İki yüklenme arasında dinlenme sırasında yapılan soğuk uygulama HRV değerini etkiler.

H3 İki yüklenme arasında yapılan soğuk dinlenmenin dinlenme sonrası yapılan 2. performansa olumlu etkisi vardır.

Bu çalışmada yüklenme sonrası dinlenme esnasında soğuk uygulama ve kuru dinlenme yöntemi kullanılarak performans çıktıları, kalp atım hızı değişkenliği (HRV), kas içi oksijen doygunluğu ( $SMO_2$ ) değişkenliği incelenerek tekrarlı yüklenmelerde sabit performans üzerinde fizyolojik çıktılar değerlendirilmiştir.

### **5.1.2. Gönüllü katılımcı kriteri**

18-35 yaş arası aktif olarak lisanslı olan herhangi bir sağlık problemi bulunmayan, sporcular bu çalışmaya dahil olacak gönüllü katılımcı grubunu oluşturmaktadır. Araştırmaya katılan sporcular, Dünya Tabipler Birliği (DTB) Helsinki Bildirgesi gereğince çalışmaya herhangi bir baskı altında bırakılmadan gönüllü olacak şekilde katılmaktadır. Ayrıca uygulanacak testler öncesi çalışma katılımcılara açıklanmış olup buna dair onam formu imzalatılmıştır.

### **5.1.3. Uygulanacak ölçüm yöntemleri**

Çalışmaya dahil olan katılımcılara soğuk uygulama ve kuru dinlenme olmak üzere iki farklı dinlenme metodu uygulanmıştır. Bunun için farklı günlerde, farklı dinlenme yöntemleri uygulanarak yüklenmeler gerçekleştirilmiştir. Katılımcılara öncelikli olarak belirleyici test uygulanmıştır.

Katılımcılara ait yaş, spor yaşı, boy, kilo gibi tanımlayıcı bilgiler kaydedilmiştir. Katılımcıların kalp atım hızını takip edebilmek için nabız ölçer göğüs bandı (polar H10) takması istenmiştir. 10 dakika boyunca dinlenik halde kalp atım hızı kayıtları alınmıştır. Dinlenik kalp atım hızı alınırken katılımcılardan sırt üstü yatmaları istenmiş ses ve ışık izolasyonu sağlamak için kulaklık ve göz bandı takılmıştır. On dakikalık dinlenik olarak alınan kalp atım hızı ve kas içi oksijen doygunluğu ölçümünde katılımcının istirahat durumunu (yoğun dinlenme evresini) gözlemleyebilmek adına ilk üç dakikalık ve son üç dakikalık veriler göz ardı edilmiştir. 4,5,6 ve 7. dakikalarda ölçümde maksimum, minimum, ortalama HR, HRV ve SmO<sub>2</sub> değerleri not edilmiştir. Dinlenme sonunda katılımcılardan 10 dakika boyunca genel 10 dakika boyunca özel ısınmaları için süre verilmiştir. Isınma tamamlandığında kademeli artan egzersiz testleri hakkında bilgilendirme yapılmış olup, bu esnada test öncesi 5 dakika dinlenme verilmiştir. Tekrarlanan ölçümler için cihaz yerleşiminin doğruluğunu sağlamak adına işaretleyici kalem kullanarak uzuv üzerinde nokta belirlenmiştir. Koşu ergometresinde katılımcılara uygulanan test 10 km/h ile başlayarak ve her dakika 1 km/h'lik artış ile devam edecek şekilde ayarlanmıştır. HRV değerleri ve kas içi oksijen doygunluğu ölçüm boyunca aralıksız kayıt edilmeye devam etmiştir. Ölçümde femurun lateral epikondili ve M.Quadriceps Femoris kasının lateral kısmı M.Vastus Lateralis kasının 15 cm üzeri referans alınmıştır. Test başladığında cihaz kaydı başlatılmış, koşu

ergometresinde kademeli egzersiz testi uygulanarak katılımcıların elde ettikleri maksimum süre ve hız değerleri kayıt altına alınmıştır. Kademeli artan koşu testi sonunda 5 dakikalık toplanma verileri kaydedilmiştir. Bu esnada katılımcılardan sırt üstü yatmaları istenmiştir. Alınan veriler SmO<sub>2</sub> ve HR bandında süre değişkenliği bazlı değerlendirilmiştir.



Şekil 3. Belirleyici Test

1. Ölçüm günü katılımcılardan serbest olarak 10 dakika genel 10 dakika boyunca özel ısınma yapmaları istenmiştir. Isınma sonunda katılımcılara uygulanacak test hakkında bilgilendirme yapılmış, bu esnada yüklenme öncesi 5 dakikalık dinlenme verilmiştir. Isınmanın bitişi ile birlikte test sonuçlanıncaya kadar sporcuların HRV değerleri ve yakın kızılaltı spektroskopisi (YKAS) ile SMO<sub>2</sub> ölçümü kaydedilmiştir. Daha sonra 6 dakika boyunca submaksimal bir yüklenme ile koşu performansını gerçekleştirmeleri istenmiştir. Koşu esnasında katılımcılardan hedef nabız aralığında kalacak şekilde (%80) koşu hızı ayarlanmıştır. Elde edilen verilerden her bir katılımcı için submaksimal değerler belirlenip, ölçümde katılımcıların bu değerler arasında kalarak testi tamamlaması istenmiştir. Bu hesaplama yapılırken dinlenik kalp atım değerindeki minimum, kademeli artan egzersiz testinde elde edilen maksimum nabız değerleri

karvonen formülünün %80'lik egzersiz şiddetine denk gelen hedef nabız aralıkları belirlenmiştir. Bu bağlamda 24-36 saat sonrasında uygulanacak bir sonraki yüklenmede de her katılımcının ayrı şiddette kendine göre belirlenmiş uygun hızda kalarak koşması istenmiştir. Böylece antrenmanda bireysel olma ilkesi de göz önünde tutularak katılımcıların olası yaralanma riskleri de minimize edilmeye çalışılmıştır. Ölçümde femurun lateral epikondili ve M. Quadriceps Femoris kasının lateral kısmı M. Vastus Lateralis kasının 15 cm üzeri referans alınmıştır. Test başladığında cihaz kaydı başlatılmış, test sonunda koşu bandında 6 dakika hedef nabızda koşan katılımcıların kat ettikleri toplam mesefa not edilmiştir. İstenilen yüklenmeyi tamamlayan katılımcılar dinlenme esnasında kısmi soğuk suya daldırma yöntemi ile baş, boyun ve göğüs kafesinin yarısı (HRV değeri kayıt edildiğinden processus xiphoides referans alınarak) hariç oturarak 12-15°C 13 dakika sabit olarak beklemeleri istenmiştir. Kısmi soğuk suya daldırma esnasında katılımcıların SMO<sub>2</sub> değerleri belirlenirken M. Biceps Brachii kası (en şişkin yeri) referans alınmıştır. Sonrasında sporcular, koşu bandı üzerinde birinci yüklenme ile aynı olacak şekilde ikinci bir yüklenme gerçekleştirmişlerdir. Tüm veriler kayıt altına alınıp, katılımcılara bilgi verilerek 24-36 saat tam dinlenmeleri istenmiştir. Test tamamlandığında 5 dakika boyunca dinlenme verileri HRV ve SMO<sub>2</sub> değerleri kayıt altına alınmaya devam edilmiştir.

2. Ölçüm günü son testte katılımcılar tüm uygulamaları aynı olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Katılımcılara yüklenmeye başlamadan önce 20 dakika, serbest olarak 10 dakika genel 10 dakika boyunca özel, ısınma süresi verilmiştir. Isınma süresinin bitmesi ile birlikte test sonuçlanıncaya kadar sporcuların HRV değerleri ve koşu performansı esnasında yakın kızılaltı spektroskopisi (YKAS) ile SMO<sub>2</sub> ölçümü kaydedilmiştir. Koşu bandında istenilen yüklenmeyi tamamlayan katılımcılardan dinlenme esnasında kuru bir şekilde 13 dakika süre zarfında oturarak beklemeleri istenmiştir. Sporcuların dinlenme esnasında soğuk uygulama ile aynı olacak şekilde oturmaları sağlanmıştır. Kuru dinlenme esnasında katılımcıların SMO<sub>2</sub> değerleri belirlenirken M. Biceps Brachii kası ve M. Quadriceps Femoris kasının lateral kısmı M. Vastus Lateralis kasının 15 cm üzeri referans alınmıştır.

Sonrasında ergometre üzerinde bir önceki test ile aynı olacak şekilde kendi maksimumları üzerinden ikinci bir yüklenme gerçekleştirilmiştir. Test

tamamlandığında 5 dakika boyunca dinlenme verilerek HRV ve SMO<sub>2</sub> alınmaya devam edilmiştir. Tüm veriler kayıt altına alınarak katılımcılara gerekli bilgiler verilerek ölçümler tamamlanmıştır.

#### 5.1.4. Soğuk uygulama

Bu protokol baş ve kollar dışarıda kalacak şekilde tüm vücudun suya sokulması ile oluşmaktadır. Katılımcıların koşu bandında gerçekleştirilecek submaksimal yüklenme sonrası dinlenme süresince (13 dakika) 12-15 derecelik soğuk suda kısmi beklemesini içermektedir. Su sıcaklığı, 12°-15°C aralığında tutulmak adına havuz içerisine dijital bir akvaryum termometresi kullanılarak takip edilmiştir.



Şekil 4. Soğuk Uygulama Protokolü

Havuz içinde mevcut olan sistem sayesinde havuz içindeki suyun karıştırılması sağlanmıştır. Su sıcaklığındaki değişimlerde buz atılarak ısının artışı engellenmiştir. Katılımcılardan soğuk su içerisinde mümkün olduğunca hareketsiz kalmaları istenmiştir. Dinlenme süresinin sonunda su içerisinden çıkan katılımcılar bir sonraki koşu için hızlıca havlu ile kurulanmış ve koşu için ayakkabılarını giymiştir. Bu esnada alt ekstremiteye tekrardan cihaz yerleştirilmiştir.

### 5.1.5. Kuru dinlenme

Bu protokol katılımcıların koşu sonrası tekrarlı yüklenme gerçekleşecek antrenmanlarda dinlenme sürecinde kuru bir şekilde (oturarak- kuru dinlenmesini) gerçekleştirmektedir. Katılımcı bir önceki test gününde yaptıklarının aynılarını gerçekleştirmektedir. Tek fark dinlenme süresince (13 dakika) kuru olarak geçirmesi ve bir sonraki yüklenmeyi beklemesini ifade etmektedir.

### 5.2. Verilerin Alınması ve Değerlendirilmesi

Katılımcıların tanımlayıcı bilgileri (yaş, boy, vücut ağırlığı) dikkate alınarak kayıt edilmiştir. Araştırmanın veri kaynakları kas içi oksijen satürasyonu ( $SMO_2$ ), kalp atım hızı (HR) olacaktır. Protokolün başından itibaren her aşamada eş zamanlı kesintisiz veri takibi yapılmıştır. Katılımcıların farklı günlerde gerçekleştireceği testler arası farklılıklar istatistik yöntemleri kullanılarak değerlendirilmiştir.

#### 5.2.1. Kalp atım hızı verilerinin alınması

Ölçüm süresi boyunca katılımcıların kalp hızı değişkenliğini görebilmek adına nabız bantlı polar H10 kalp hızı monitörü kullanılarak test öncesi, test sırasında ve sonrasında HR değerleri alınmıştır.



Şekil 5. Polar H10 Kalp hızı monitörü

Test sırasında katılımcıdan hedeflenen nabıza ulaşması beklenecek sonrasında bu kalp atım hızında yüklenmeyi devam ettirmesi istenmiştir. Toplamda yüklenme bölümü 6 dakika sürmüş hem performans değerlerinin takibi yapılmış hem de HRV değerleri kayıt altına alınmaya devam edilmiştir. Elde edilen değerler yüklenme ve dinlenme olarak ayrı değerlendirilmiştir.

#### 5.2.2. Yakın kızılaltı spektroskopisi (YKAS) ile $SMO_2$ ölçümü

Katılımcıların kas içi oksijen doygunluğu ( $SMO_2$ ) ölçümleri, kablosuz ve taşınabilir TRAINRED model yakın kızılaltı spektroskopisi (YKAS) kullanılarak yapılmıştır. Alt ve üst ekstremitede 2 ayrı bölgeden ölçüm alınmıştır. Ölçüm için koşu performansı

esnasında femurun lateral epikondili referans alınmıştır. M.Quadriceps Femoris kasının lateral kısmında M. Vastus Lateralis kasının 15 cm üstüne takılmıştır. Koşu performansı ve dinlenme esnasında ölçüm yapılacak Biceps brachii kası referans alınmıştır. Katılımcının kolu 90 derecelik konumda iken bicepsin en şişkin kısmı belirlenmiş, bu kısmın acromion ile uzaklığı cm cinsinden ölçülerek not edilmiştir. (Akbaş, 2017) Ölçüm prosedürüne geçmeden, cihazın konumlandırılması büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla, patellanın lateral epikondilinden başlayarak, mezura yardımıyla yukarı doğru 15 cm mesafe ölçülmüş ve bu nokta referans alınarak cihaz yerleştirilmiştir. M.Biceps Brachii'nin orta kısmına denk gelecek şekilde, cihazın medial yönde konumlandırılmasına özen gösterilmiştir. Bu esnada, belirgin damar yapılarından kaçınılarak, ölçüm hassasiyetinin korunması hedeflenmiştir. Ayrıca, cihazın doğru ve güvenilir sonuçlar vermesi için, ışık ve ter gibi dış etkenlerden izole edilmesi sağlanmıştır. Bu sayede, ölçüm sürecinin optimum koşullarda gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır.



Şekil 6. TRAINRED model yakın kızılaltı spektroskopisi (YKAS)

### 5.2.3. Tanımlayıcı antropometrik ölçümlerin alınması

Katılımcıların vücut ağırlıkları, yağ oranları, yağsız vücut ağırlıkları, beden kitle indeksini ölçmek için 4 probu TANITA marka MC 780 MA model Bioelektrik İmpedans cihazı kullanılmıştır. Ölçümün güvenilirliği için ölçüm öncesi katılımcılara bilgilendirme yapılmıştır. Ölçümden en az 3 saat öncesinde yeme içme faaliyetlerini durdurmaları gerektiği, testler öncesi herhangi bir uyarıcı içecek veya maddenin kullanılmaması, en az 7-8 saatlik uyku döneminin sağlanmış olmasını, test gününden önce zorlayıcı fiziksel aktivitelerden kaçınılması gerektiği açıklanmıştır.

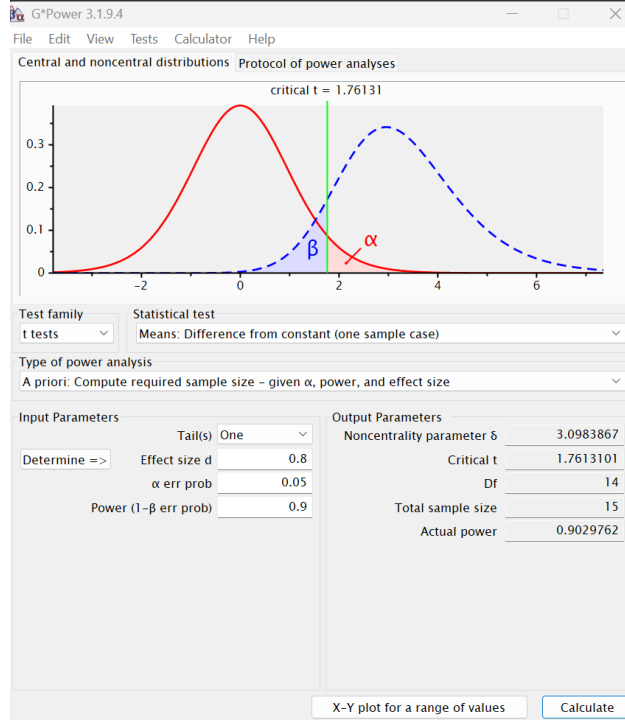


Şekil 7. TANITA marka MC 780 MA model Bioelektrik İmpedans cihazı

### 5.3. Veri Analizinde Kullanılacak İstatistiksel Yöntemler

Katılımcıların ölçümleri tamamlandıktan sonra veriler kullanılan veriler bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Elde edilen verilerin ortalama, standart sapma, en küçük ve en büyük değerlerinden oluşan tanımlayıcı istatistik analizi yapılmıştır. Verilerin normal dağılım gösterip göstermediğine Shapiro-Wilk testi ile bakıldıktan sonra, T-test uygulanmıştır. Bu çalışmada anlamlılık düzeyi 0,05 kabul edilmiştir.

Bu çalışmada örneklem büyüklüğü belirlenirken tek grup üzerinde gerçekleştirilecek T-testi analizi esas alınmıştır. İstatistiksel güç ( $1-\beta$ ) 0,90, anlamlılık düzeyi ( $\alpha$ ) 0,05 ve etki büyüklüğü ( $d$ ) 0,8 olarak belirlenmiştir. Bu parametreler, daha önce yapılmış benzer araştırmalar referans alınarak seçilmiştir. Örneklem büyüklüğü hesaplaması, G\*Power 3.1.9.4 adlı ücretsiz istatistiksel yazılım aracılığıyla yapılmış ve gerekli minimum örneklem sayısı 15 olarak bulunmuştur. Programın ekran görüntüsü aşağıda sunulmuştur (şekil 8).



Şekil 8. G\*Power 3 bilimsel yazılım kullanılarak hesaplanan analizde örneklem büyüklüğü

## 5.4. Verilerin Analizi

### 5.4.1. Verilerin Normalleştirilmesi

Koşu testi 6 dakika sabit fizyolojik yükte devam etmiştir. Her bir katılımcının koşu sürelerinin ortalamaları alınmıştır. 13 dakikalık dinlenme sürelerin ise 156'şar saniyelik periyotlara bölünmüştür. 5 dakikalık toparlanma verilerinde her sporcuya ait veriler beş eşit parçaya bölünerek normalleştirilmiştir. Böylelikle her bir değer hem kendi içinde hem de diğer katılımcılarla karşılaştırılmıştır.

### 5.4.2. Smo2 analizi

Tüm veriler bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Procalysis programı kullanılarak sinyal analizi için veriler düzenlenmiştir. İstatistiksel analiz için ise Jamovi (versiyon 2.5.3) programı kullanılmıştır. Kas içi oksijen doygunluğu ölçümünde katılımcının maksimum, minimum, ortalama kas içi oksijen doygunluk değerlerinin ortalamaları not edilmiştir. Koşu testleri hem kendi arasında (ilk ve son koşu) hem de soğuk ve kuru uygulamadan elde edilen verilerle Jamovi programında analiz edilmiştir. Dinlenme sürecinde 156'şar saniyelik, toparlanma sürecinde ise veriler bir dakikalık periyotlara bölünerek maksimum, minimum, ortalama değerler olarak incelenmiştir.

Veriler Jamovi programında Tekrarlayan Ölçümler ANOVA testi yapılarak analiz edilmiştir. İstatistiksel analizlerde anlamlılık düzeyi  $p<0,05$  olarak kabul edilmiştir.

#### **5.4.3. HR ve RR analizi**

Ölçümler tamamlandıktan sonra verilerin ilk analizinde kubios HRV standart 3.5.0 programı kullanılmıştır. Maksimum, minimum, ortalama HR ve ortalama RR değerleri alınmıştır. Kubios program üzerinden dinlenme süresi 156'şar saniyelik periyotlara bölünmüştür. Koşu bitiminde katılııcılardan beş dakikalık toparlanma verisi kaydedilmiştir. Bu veriler bir dakikalık periyotlara bölünerek maksimum, minimum, ortalama HR ve ortalama RR değerleri incelenmiştir. İstatistiksel analiz için ise Jamovi (versiyon 2.5.3) programı kullanılmıştır. Farklı performans seviyelerinde değişimleri değerlendirmek üzere Tekrarlayan Ölçümler ANOVA testi gerçekleştirilmiş, böylece koşu kademeleri arasında anlamlı fark olup olmadığı incelenirken anlamlılık düzeyi  $p<0,05$  olarak kabul edilmiştir.

## 6. BULGULAR

Bu çalışmaya, 18–27 yaş aralığında, en az 3 yıllık spor geçmişine sahip olan 16 erkek sporcu dahil edilmiştir. Katılımcıların yaş ortalaması 19,3 yıl, boy ortalaması  $180 \pm 7,87$  cm, kilo ortalaması  $78,3 \pm 14,6$  kg ve vücut yağ oranı ortalaması  $11,8 \pm 5,85$  olarak belirlenmiştir. Katılımcıların tanımlayıcı özellikleri ve koşu hızları Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. Katılımcıların tanımlayıcı özellikleri

	N	Mean	Median	SD	Minimum	Maximum
Yaş (yıl)	16	19,25	19,00	2,21	18,00	27,0
Boy (cm)	16	180,00	180,00	7,87	165,00	193,0
Kilo (kg)	16	78,29	79,65	14,56	58,50	99,9
Yağ oranı (%)	16	11,80	10,15	5,85	3,00	22,9
Spor geçmiş (yıl)	16	6,94	6,00	2,72	4,00	13,0
Maksimum koşu hızı (km/h)	16	17,56	17,00	2,03	15,00	23,0
Dinlenik kalp atım sayısı (atım/dk)	16	58,13	58,50	10,40	44,00	81,0

### 6.1. 6 Dakika Koşu Testi Analizleri

#### 6.1.1. HR ve RR analizi

Yapılan Post Hoc analiz sonucunda küresellik varsayımının geçerli olduğu tespit edilmiştir. Koşular arası karşılaştırmalarda ortalama kalp hızı değerleri, kuru dinlenme yöntemi uygulanan protokolde birinci ve ikinci koşular arasında benzer bulunmuştur (1. koşu: *ortalama*= 165 bpm, 2. koşu: *ortalama*= 167 bpm). Soğuk uygulama yapılan protokolde de benzer şekilde ortalama değerler arasında anlamlı bir fark gözlenmemiştir (1. koşu: *ortalama*= 166 bpm, 2. koşu: *ortalama*= 165 bpm).

Tablo 2. 6 dakika koşulara ait HR değerleri

	N	Mean	SD	Minimum	Maximum
<b>KDP ilk koşu</b>	16	165	7,39	150	179
<b>KDP ikinci koşu</b>	16	167	7,78	149	179
<b>SDP ilk koşu</b>	16	166	7,37	151	178
<b>SDP ikinci koşu</b>	16	165	7,22	149	177

\*KDP: Kuru Dinlenme Protokolü, SDP: Soğuk Dinlenme Protokolü

Kuru ve soğuk dinlenme protokolü uygulanan koşulların ilk ve ikinci tekrarlarında ortalama RR değerleri birbirine yakın bulunmuştur (ortalama: 360–365 ms; SD: 16,6–17,6 ms). Minimum ve maksimum değerler arasında da belirgin bir değişim saptanmamıştır.

Tablo 3. 6 dakika koşulara ait RR değerleri

	Mean	SD	Minimum	Maximum
<b>KDP ilk koşu</b>	365	16,6	335	400
<b>KDP ikinci koşu</b>	360	17,6	335	403
<b>SDP ilk koşu</b>	363	17,0	337	398
<b>SDP ikinci koşu</b>	364	16,6	339	403

\*KDP: Kuru Dinlenme Protokolü, SDP: Soğuk Dinlenme Protokolü

Koşular arası kalp hızı karşılaştırmalarında, kuru dinlenme uygulanan protokolde ikinci koşu ile soğuk dinlenme uygulanan prortokolde ikinci koşu arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur ( $p = 0,010$ ). Aynı şekilde, kuru dinlenme uygulanan koşularda birinci ve ikinci koşular arasında da anlamlı fark saptanmıştır ( $p = 0,017$ ). Diğer karşılaştırmalarda anlamlı fark gözlenmemiştir ( $p > 0,05$ ).

Tablo 4. 6 dakika koşular HR karşılaştırması

		istatistik	df	p
KDP ilk koşu	SDP ilk koşu	-1,424	15,0	0,175
KDP ikinci koşu	SDP ikinci koşu	2,951	15,0	0,010
KDP ilk koşu	KDP ikinci koşu	-2,676	15,0	0,017
SDP ilk koşu	SDP ikinci koşu	0,788	15,0	0,443

\*KDP: Kuru Dinlenme Protokolü, SDP: Soğuk Dinlenme Protokolü

RR analizine ilişkin istatistiksel karşılaştırmalar sonucunda ise; benzer şekilde kuru dinlenme protokolü uygulanan koşullarda ilk ve ikinci koşular arasında anlamlı fark bulunmuştur ( $p=0,015$ ).

Tablo 5. 6 dakika koşular RR karşılaştırması

		istatistik	df	p
KDP ilk koşu	SDP ilk koşu	1,523	15,0	0,149
KDP ikinci koşu	SDP ikinci koşu	-2,786	15,0	0,014
KDP ilk koşu	KDP ikinci koşu	2,756	15,0	0,015
SDP ilk koşu	SDP ikinci koşu	-0,391	15,0	0,701

\*KDP: Kuru Dinlenme Protokolü, SDP: Soğuk Dinlenme Protokolü

### 6.1.2. SmO<sub>2</sub> analizi

SmO<sub>2</sub> analizine ilişkin tanımlayıcı istatistikler incelendiğinde, hem biceps brachii hem de vastus lateralis kaslarında kuru dinlenme uygulanan koşullarında ikinci koşuda ilk koşuya kıyasla ortalama kas içi oksijen saturasyonunda hafif bir artış gözlenmiştir. Öte yandan, soğuk dinlenme uygulanan koşullarında her iki kasta da ikinci koşuda SmO<sub>2</sub> değerlerinde sınırlı düzeyde bir azalma meydana gelmiştir.

Tablo 6. 6 dakika koşulara ait SmO<sub>2</sub> değerleri

	Mean	SD	Minimum	Maximum
<b>BKD İlk Koşu</b>	53,5	10,72	28,6	70,9
<b>BKD Son Koşu</b>	54,9	8,97	36,7	71,7
<b>BSD İlk Koşu</b>	53,9	10,01	30,4	66,1
<b>BSD Son Koşu</b>	52,5	9,54	34,3	67,0
<b>VLKD İlk Koşu</b>	55,5	7,52	40,7	70,5
<b>VLKD Son Koşu</b>	56,8	7,95	40,3	72,7
<b>VLSD İlk Koşu</b>	54,5	8,29	38,2	66,4
<b>VLSD Son Koşu</b>	53,9	8,48	39,2	69,2

\* *BKD: biceps kuru dinlenme, VLKD: vastus lateralis kuru dinlenme, BSD: biceps soğuk dinlenme, VLSD: vastus lateralis soğuk dinlenme*

Biceps brachii kasında kuru dinlenme koşulundaki ilk ve son koşular arasında SmO<sub>2</sub> düzeyi açısından anlamlı bir fark bulunmamıştır ( $p=0,250$ ). Aynı durum soğuk dinlenme protokolü için de geçerli olup, ilk ve son koşular arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı değildir ( $p=0,077$ ). Vastus lateralis kasında kuru dinlenme koşulu altında ilk ve son koşular arasında anlamlılığa yakın bir fark gözlenmiştir ( $p=0,054$ ). Soğuk dinlenme koşulundaki karşılaştırmada ise anlamlı bir fark saptanmamıştır ( $p=0,711$ ). Kuru ve soğuk dinlenme koşulları uygulanan protokoller arasındaki karşılaştırmalarda, her iki kas grubu için hem ilk hem de son koşullarda SmO<sub>2</sub> düzeyleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamıştır ( $p>0,05$ ). Ayrıca, iki kas grubu arasında yapılan karşılaştırmalarda da her bir koşul için SmO<sub>2</sub> düzeyleri benzer olup, anlamlı fark gözlenmemiştir ( $p>0,05$ ). 6 dakika koşular SmO<sub>2</sub> karşılaştırmasına ait bilgiler tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. 6 dakika koşular SmO2 karşılaştırması

		istatistik	df	p
BKD İlk Koşu	BSD İlk Koşu	-0,179	15,0	0,860
BKD Son Koşu	BSD Son Koşu	1,442	15,0	0,170
VKD İlk Koşu	VSD İlk Koşu	0,456	15,0	0,655
VKD Son Koşu	VSD Son Koşu	1,753	15,0	0,100
BKD İlk Koşu	BKD Son Koşu	-1,197	15,0	0,250
BSD İlk Koşu	BSD Son Koşu	1,898	15,0	0,077
VKD İlk Koşu	VKD Son Koşu	-2,090	15,0	0,054
VSD İlk Koşu	VSD Son Koşu	0,378	15,0	0,711
BKD İlk Koşu	VKD İlk Koşu	-0,763	15,0	0,457
BKD Son Koşu	VKD Son Koşu	-0,864	15,0	0,401
BSD İlk Koşu	VSD İlk Koşu	-0,256	15,0	0,802
BSD Son Koşu	VSD Son Koşu	-0,745	15,0	0,468

\* BKD: biceps kuru dinlenme, VLKD: vastus lateralis kuru dinlenme, BSD: biceps soğuk dinlenme, VLSD: vastus lateralis soğuk dinlenme

## 6.2. Toplam Koşu Mesafeleri

Analiz sonuçlarına göre, kuru dinlenme protokolünde (KD) ilk ve son toplam koşu mesafeleri arasında anlamlı bir fark gözlenmemiştir (Ortalama: 1,26 km → 1,24 km). Soğuk dinlenme (SD) protokolünde ise mesafenin arttığı görülmüştür (Ortalama: 1,26 km → 1,31 km). 2. Koşularda maksimum kat edilen mesafe KD koşullarında 1,75 km, SD koşullarında ise 1,77 km olarak ölçülmüştür.

Tablo 8. Toplam Koşu Mesafeleri

	Mean	SD	Minimum	Maximum
KDP ilk koşu	1,26	0,179	0,980	1,56
KDP son koşu	1,24	0,209	0,960	1,75
SDP ilk koşu	1,26	0,225	0,900	1,68
SDP son koşu	1,31	0,198	0,980	1,77

\*KDP: Kuru Dinlenme Protokolü, SDP: Soğuk Dinlenme Protokolü

Toplam koşu mesafelerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçlarına göre, kuru dinlenme uygulanan koşullarda ilk ve son koşular arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır ( $p = 0,515$ ). Soğuk dinlenme uygulanan koşullarda ise son koşuda mesafenin anlamlı düzeyde arttığı belirlenmiştir ( $p = 0,004$ ). Ayrıca, KD protokolü son koşusu ile SD protokolü son koşusu arasında da istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlenmiştir ( $p = 0,047$ ). İlk koşular arasında anlamlı fark saptanmamıştır ( $p = 0,843$ ).

Tablo 9. Toplam Koşu Mesafesi Karşılaştırması

		istatistik	df	p
KDP ilk koşu	KDP son koşu	0,667	15,0	0,515
SDP ilk koşu	SDP son koşu	-3,399	15,0	0,004
KDP ilk koşu	SDP ilk koşu	-0,201	15,0	0,843
KDP son koşu	SDP son koşu	-2,162	15,0	0,047

\*KDP: Kuru Dinlenme Protokolü, SDP: Soğuk Dinlenme Protokolü

### 6.3.İki Koşu Testi Arası Dinlenme Verilerinin Analizi

#### 6.3.1. HR ve RR analizi

İki koşu testi arası dinlenme sürecine ait kalp hızı (HR) verilerine göre, hem kuru dinlenme protokolünde hem de soğuk dinlenme koşullarında maksimum kalp hızı değerleri benzer düzeyde başlamıştır (sırasıyla  $177,5 \pm 7,59$  ve  $178,0 \pm 6,86$  bpm). Dinlenme süresince her iki koşulda da HR değerleri kademeli olarak azalmış, ancak soğuk dinlenmede tüm kademelerde ortalama HR değerleri kuru dinlenmeye kıyasla daha yüksek seyretmiştir. Özellikle 1. kademede bu fark daha belirgin olup, kuru dinlenmede ortalama HR 117,9 bpm iken, soğuk dinlenmede 123,8 bpm olarak kaydedilmiştir. İki yüklenme arası kuru ve soğuk dinlenmeye ait HR verilerinin analizi tablo 10'da verilmiştir.

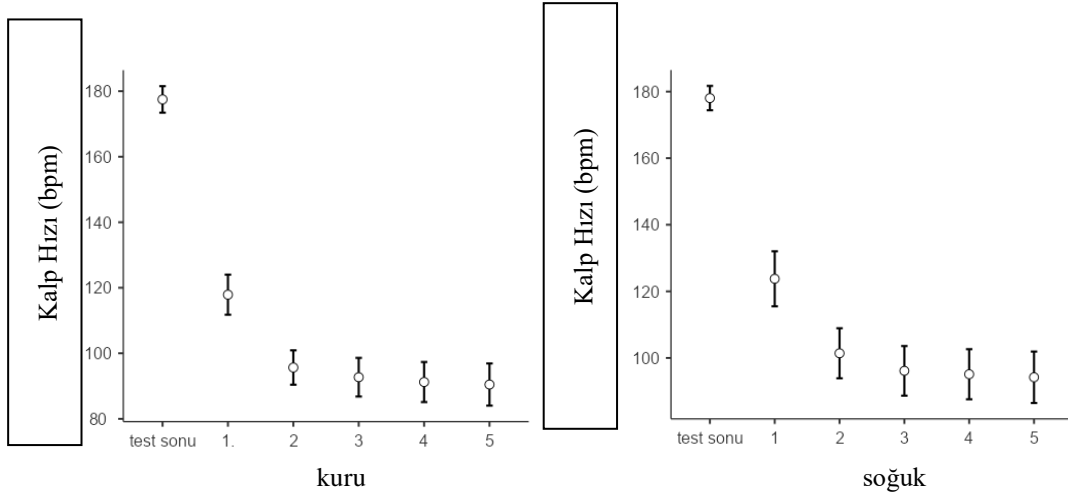
Tablo 10. İki koşu testi arası dinlenme verileri HR

	Mean	SD	Minimum	Maximum
İlk koşu sonu maks HR	177,5	7,59	161,9	189
Kuru dinlenme 1 kademe	117,9	11,47	88,2	138
Kuru dinlenme 2 kademe	95,7	9,84	77,4	112
Kuru dinlenme 3 kademe	92,7	11,07	74,3	112
Kuru dinlenme 4 kademe	91,2	11,48	68,4	110
Kuru dinlenme 5 kademe.	90,5	12,08	64,4	108
İlk koşu sonu maks HR	178,0	6,86	166,6	189
Soğuk dinlenme 1 kademe	123,8	15,51	85,5	149
Soğuk dinlenme 2 kademe	101,4	14,11	76,7	131
Soğuk dinlenme 3 kademe	96,1	13,98	73,6	126
Soğuk dinlenme 4 kademe	95,1	14,12	73,4	121
Soğuk dinlenme 5 kademe	94,2	14,51	73,5	122

Kuru dinlenme koşulunda ortalama RR aralığı ilk koşu sonrası 339 ms iken, 5. kademe 676 ms'ye yükselmiştir. Soğuk dinlenme koşulunda ise ortalama RR aralığı 337 ms'den 652 ms'ye ulaşmıştır.

Tablo 11. İki koşu testi arası dinlenme verileri RR

	Mean	SD	Minimum	Maximum
İlk koşu sonu maks RR	339	14,9	317	371
Kuru dinlenme 1 kademe	514	56,1	434	680
Kuru dinlenme 2 kademe	634	67,9	533	775
Kuru dinlenme 3 kademe	656	81,3	536	808
Kuru dinlenme 4 kademe	668	91,1	543	877
Kuru dinlenme 5 kademe.	676	102,2	558	931
İlk koşu sonu maks RR	337	13,2	317	360
Soğuk dinlenme 1 kademe	496	72,4	402	702
Soğuk dinlenme 2 kademe	603	87,0	458	782
Soğuk dinlenme 3 kademe	636	94,7	475	815
Soğuk dinlenme 4 kademe	645	99,1	497	817
Soğuk dinlenme 5 kademe	652	102,1	494	816



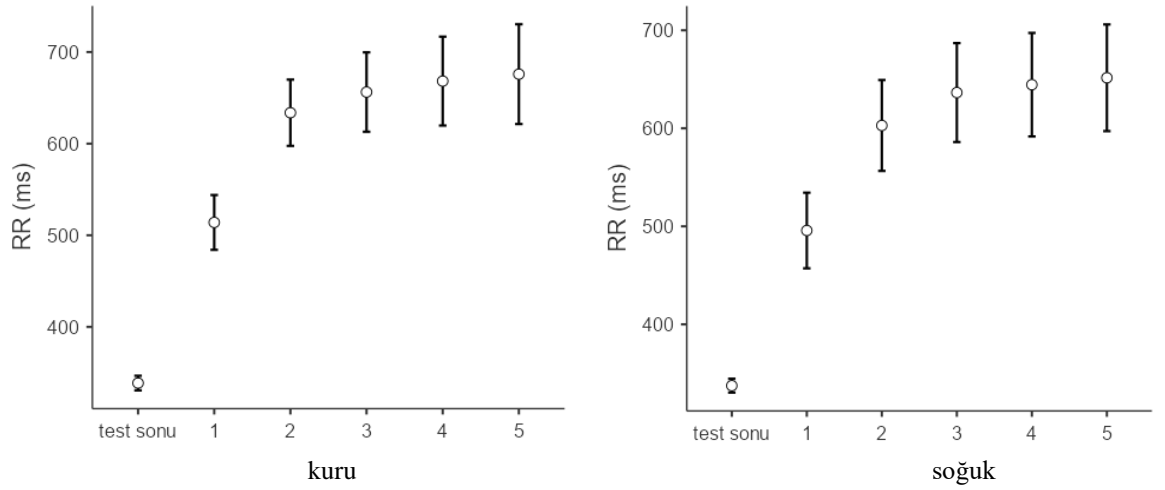
Şekil 9:İki koşu testi arası kuru ve soğuk HR değişimi

Toparlanma süreci RR aralığına ilişkin eşleştirilmiş örneklem t-testi sonuçlarına göre, kuru ve soğuk dinlenme koşulları arasında hiçbir kademede istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlenmemiştir ( $p > 0.05$ ).

Tablo 12. İki koşu testi arası dinlenme verileri karşılaştırması RR

		istatistik	df	p
<b>KDP ilk koşu sonu maks RR</b>	<b>SDP ilk koşu sonu maks RR</b>	0,946	15,0	0,359
<b>KDP 1. kademe</b>	<b>SDP 1. kademe</b>	1,885	15,0	0,079
<b>KDP 2. kademe</b>	<b>SDP 2. kademe</b>	1,814	15,0	0,090
<b>KDP 3. kademe</b>	<b>SDP 3. kademe</b>	1,057	15,0	0,307
<b>KDP 4. kademe</b>	<b>SDP 4. kademe</b>	1,106	15,0	0,286
<b>KDP 5. kademe</b>	<b>SDP 5. kademe</b>	0,965	15,0	0,350

\*KDP: Kuru Dinlenme Protokolü, SDP: Soğuk Dinlenme Protokolü



Şekil 10: İki koşu testi arası dinlenme verileri karşılaştırması grafiği RR

### 6.3.3. SmO<sub>2</sub> analizi

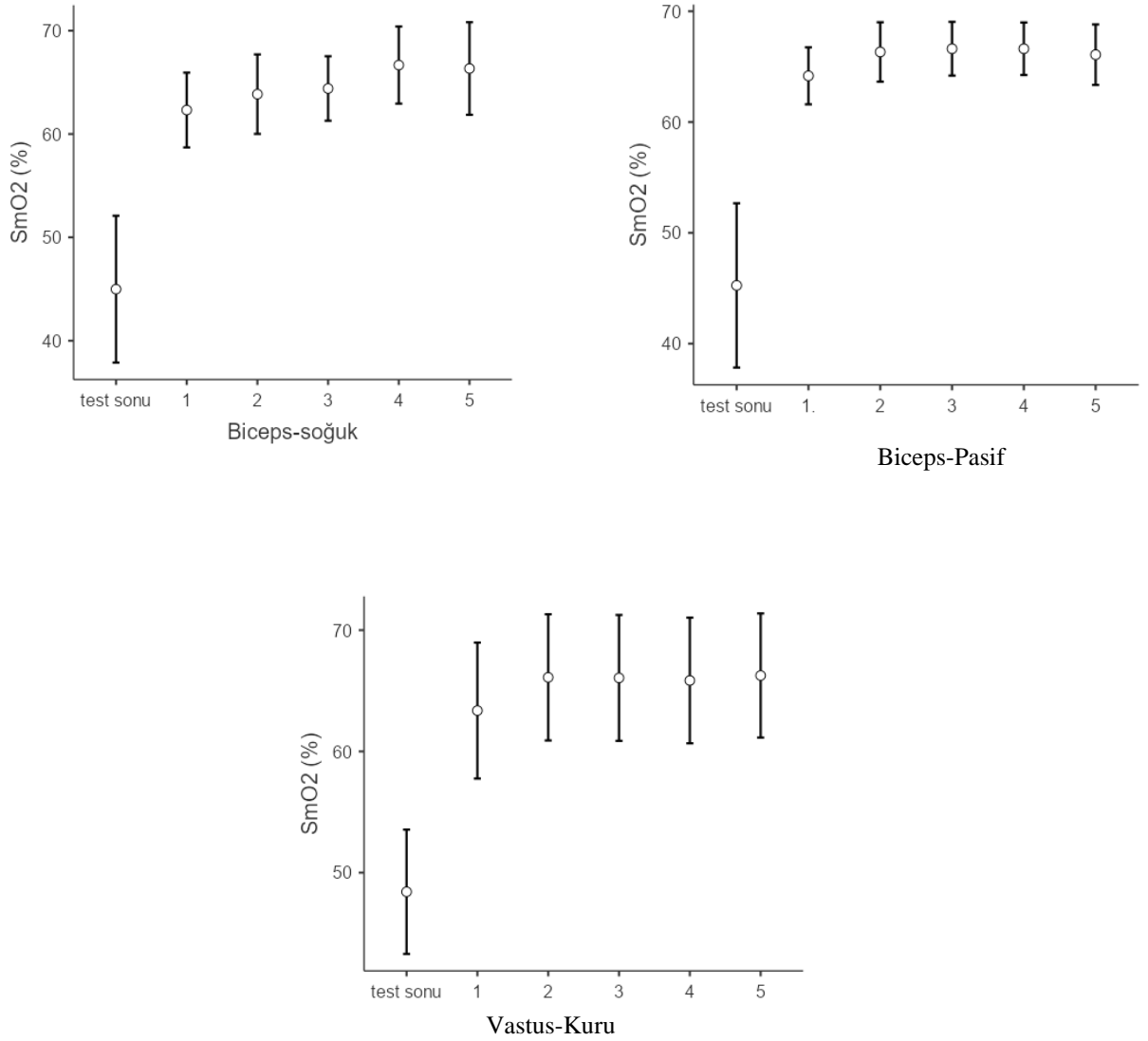
SmO<sub>2</sub> analizine ilişkin bulgular incelendiğinde, biceps ve vastus lateralis kaslarında hem kuru hem de soğuk koşullarda uygulanan egzersiz sonrasında minimal değerlerin elde edildiği, ardından toparlanma süreci boyunca bu değerlerin artış eğilimi gösterdiği belirlenmiştir. Toparlanmanın ilk kademesinde SmO<sub>2</sub> düzeyleri anlamlı bir artış sergilemiş, takip eden kademelerde bu artış daha sınırlı düzeyde devam etmiştir. Her iki koşulda da beşinci toparlanma kademesine ulaşıldığında SmO<sub>2</sub> değerlerinin stabilize olduğu ve toparlanmanın kas oksijenasyon düzeyine olan etkisinin benzer seyrettiği görülmektedir.

Tablo 13. İki koşu testi arası dinlenme verileri analizi SmO<sub>2</sub>

	Mean	SD	Minimum	Maximum
<b>BKD ilk koşu sonu min</b>	45,3	13,91	15,2	68,0
<b>Biceps KD 1</b>	64,2	4,82	54,7	75,4
<b>Biceps KD 2</b>	66,3	5,03	55,1	75,5
<b>Biceps KD 3</b>	66,6	4,55	57,4	75,3
<b>Biceps KD 4</b>	66,6	4,45	57,9	75,3
<b>Biceps KD 5</b>	66,1	5,12	56,1	75,3
<b>BSD ilk koşu sonu min</b>	45,0	13,33	18,4	62,8
<b>Biceps SD 1</b>	62,3	6,79	45,1	70,2
<b>Biceps SD 2</b>	63,9	7,22	47,4	74,1
<b>Biceps SD 3</b>	64,4	5,86	54,2	72,6
<b>Biceps SD 4</b>	66,7	7,00	55,3	86,1
<b>Biceps SD 5</b>	66,3	8,40	56,3	92,3
<b>VKD ilk koşu sonu min</b>	48,4	9,62	29,7	67,0
<b>Vastus KD 1</b>	63,4	10,52	28,0	75,0
<b>Vastus KD 2</b>	66,1	9,77	35,8	80,1
<b>Vastus KD 3</b>	66,1	9,74	35,7	80,1
<b>Vastus KD 4</b>	65,8	9,72	35,4	79,6
<b>Vastus KD 5</b>	66,3	9,60	35,9	79,0

\*KD: Kuru Dinlenme, SD: Soğuk Dinlenme

SmO<sub>2</sub> analizine ilişkin bulgular, biceps ve vastus lateralis kaslarında hem kuru hem de soğuk koşullarda uygulanan egzersiz sonrasında ortalama değerlerin elde edildiği analiz grafik (şekil 11' de) verilmiştir.



Şekil 11. İki koşu testi arası dinlenme verileri karşılaştırması grafiği SmO<sub>2</sub>

SmO<sub>2</sub> verilerine ilişkin karşılaştırmalı analiz sonuçları, hem koşu sonu minimal değerlerde hem de dinlenme sürecinin farklı kademelerinde biceps ve vastus lateralis kasları arasında anlamlı bir fark bulunmadığını göstermektedir ( $p > 0,05$ ). Benzer şekilde, kuru ve soğuk koşullarda ölçülen biceps SmO<sub>2</sub> düzeyleri arasında da istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmamıştır ( $p > 0,05$ ).

Tablo 14. İki koşu testi arası dinlenme verileri karşılaştırma analizi SmO<sub>2</sub>

		istatistik	df	p
BKD koşu sonu min	BSD koşu sonu min	0,0802	15,0	0,937
Biceps KD 1	Biceps SD 1	1,2246	15,0	0,240
Biceps KD 2	Biceps SD 2	1,4312	15,0	0,173
Biceps KD 3	Biceps SD 3	1,6604	15,0	0,118
Biceps KD 4	Biceps SD 4	-0,0312	15,0	0,976
Biceps KD 5	Biceps SD 5	-0,1230	15,0	0,904
BKD koşu sonu min	VLKD koşu sonu min	-0,8425	15,0	0,413
Biceps KD 1	Vastus KD 1	0,2647	15,0	0,795
Biceps KD 2	Vastus KD 2	0,0793	15,0	0,938
Biceps KD 3	Vastus KD 3	0,2047	15,0	0,841
Biceps KD 4	Vastus KD 4	0,2798	15,0	0,783
Biceps KD 5	Vastus KD 5	-0,0678	15,0	0,947

#### 6.4.Koşu Testi Sonrası Toparlanma Verilerinin Analizi

##### 6.4.1. HR analizi

Kuru dinlenme yapılan protokolde koşu bitiminde ölçülen maksimum kalp atım hızı ortalaması  $178 \pm 7,31$  bpm olup, minimum 164,2 bpm ve maksimum 193 bpm olarak kaydedilmiştir. Kuru dinlenme yapılan protokolde test sonu 1. Dakikada ortalama kalp atım hızı  $147 \pm 8,70$  bpm, 2. dakikada  $123 \pm 9,39$  bpm, 3. dakikada  $117 \pm 8,60$  bpm, 4. dakikada  $112 \pm 9,75$  bpm ve 5. dakikada  $108 \pm 9,28$  bpm olarak ölçülmüştür.

Kısmi soğuk uygulama gerçekleştirilen dinlenme protokolünde koşu bitiminde ölçülen maksimum kalp atım hızı ortalaması  $175 \pm 7,37$  bpm olup, minimum 158,8 bpm ve maksimum 185 bpm'dir. Soğuk uygulama yapılan protokolde test sonu 1. dakikada ortalama kalp atım hızı  $142 \pm 12,34$  bpm, 2. dakikada  $116 \pm 12,39$  bpm, 3. dakikada  $109 \pm 11,56$  bpm, 4. dakikada  $106 \pm 10,64$  bpm ve 5. dakikada  $104 \pm 11,44$  bpm olarak belirlenmiştir. Koşu testi sonrası 5 dakika ölçülen HR toparlanma verilerinin maksimum, minimum ve ortalama değerleri tablo 15'de verilmiştir.

Tablo 15. 5 dakika toparlanma HR verisi

	Mean	SD	Minimum	Maximum
İkinci koşu sonu maks HR	178	7,31	164,2	193
(Kuru dinlenme) 1. dk	147	8,70	129,0	158
(Kuru dinlenme) 2. dk	123	9,39	103,1	134
(Kuru dinlenme) 3. dk	117	8,60	98,5	131
(Kuru dinlenme) 4. dk	112	9,75	94,5	129
(Kuru dinlenme) 5. dk	108	9,28	90,2	125
İkinci koşu sonu maks HR	175	7,37	158,8	185
(Soğuk dinlenme) 1.dk	142	12,34	105,7	157
(Soğuk dinlenme) 2.dk	116	12,39	76,4	130
(Soğuk dinlenme) 3.dk	109	11,56	76,3	125
(Soğuk dinlenme) 4.dk	106	10,64	74,7	119
(Soğuk dinlenme) 5.dk	104	11,44	73,8	120

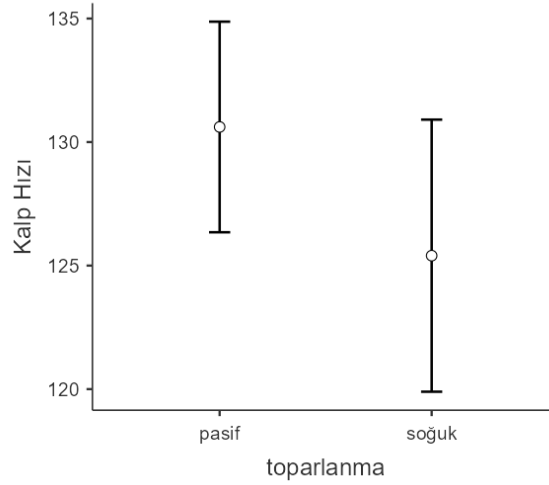
Kuru dinlenme (KD) ve soğuk dinlenme (SD) protokolleri arasındaki test sonu 5 dakikalık toparlanma sürecine ait kalp hızı değerleri karşılaştırıldığında, koşu bitimi maksimum kalp hızı arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ( $p=0,051$ ). Birinci dakikadaki kalp hızı değerleri arasında da anlamlı bir fark tespit edilmemiştir ( $p = 0,120$ ). Ancak, ikinci dakikada ( $p = 0,006$ ), üçüncü dakikada ( $p = 0,002$ ) ve dördüncü dakikada ( $p = 0,020$ ) istatistiksel olarak anlamlı farklar gözlemlenmiştir. Beşinci dakikadaki fark ise anlamlılık sınırına yakın olup istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ( $p = 0,059$ ).

Tablo 16. Toparlanma Kalp Süreci Hızı Karşılaştırmalı İstatistiksel Bulgular

		istatistik	df	p
KD İkinci koşu sonu maks HR	SD İkinci koşu sonu maks HR	2,12	15,0	0,051
KD 1. dk	SD 1. dk	1,65	15,0	0,120
KD 2. dk	SD 2. dk	3,16	15,0	0,006
KD 3. dk	SD 3. dk	3,77	15,0	0,002
KD 4. dk	SD 4. dk	2,61	15,0	0,020
KD 5. dk	SD 5. dk	2,05	15,0	0,059

\*KD: kuru dinlenme SD: soğuk dinlenme

Her iki protokolde 5 dakika toparlanmada ortalama kalp hızı değişkenliklerin ait bulgular Şekil 12’de verilmiştir.



Şekil 12. 5 dakika toparlanma HR

Kuru dinlenme protokolü ile toparlanma verileri ile yapılan post hoc karşılaştırmalarda, koşu bitimi ile 1. dakika arasında ortalama 30,552 bpm fark saptanmıŐ olup bu fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ( $p < ,001$ ). 1. ile 2. dakika arasında 24,464 bpm’lik anlamlı bir fark gözlemlenmiştir ( $p < ,001$ ). 2. ile 3. dakika arasında fark 5,943 bpm olup anlamlıdır ( $p < ,001$ ). 3. ile 4. dakika arasında 5,143 bpm’lik fark istatistiksel olarak anlamlıdır ( $p = 0,002$ ). 4. ile 5. dakika arasında ise 3,337 bpm fark saptanmıŐ ve bu fark da anlamlı bulunmuştur ( $p < ,001$ ).

Soğuk uygulama protokolünde ise koşu bitimi ile 1. dakika arasında 33,068 bpm fark elde edilmiş olup fark anlamlıdır ( $p < ,001$ ). 1. ile 2. dakika arasında 26,346 bpm, 2. ile 3. dakika arasında 6,901 bpm ve 3. ile 4. dakika arasında 3,293 bpm farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (tüm  $p < ,01$ ). Ancak 4. ile 5. dakika arasındaki fark 1,497 bpm olup istatistiksel olarak anlamlı değildir ( $p = 0,568$ ).

Tablo 17. Toparlanma Süreci Kalp Atım Hızı Post Hoc Karşılaştırma Bulguları

				Mean Difference	SE	df	t	Ptukey		
<b>KD</b>	test sonu	-	<b>KD</b>	<b>1.dk</b>	30,552	1,343	15,0	22,758	<,001	
		<b>1.dk</b>	-	<b>KD</b>	<b>2.dk</b>	24,464	1,710	15,0	14,307	<,001
		<b>2.dk</b>	-	<b>KD</b>	<b>3.dk</b>	5,943	0,579	15,0	10,257	<,001
		<b>3.dk</b>	-	<b>KD</b>	<b>4.dk</b>	5,143	0,929	15,0	5,536	0,002
		<b>4.dk</b>	-	<b>KD</b>	<b>5.dk</b>	3,337	0,512	15,0	6,524	<,001
<b>SD</b>	test sonu	-	<b>SD</b>	<b>1.dk</b>	33,068	1,900	15,0	17,404	<,001	
		<b>1.dk</b>	-	<b>SD</b>	<b>2.dk</b>	26,346	1,472	15,0	17,894	<,001
		<b>2.dk</b>	-	<b>SD</b>	<b>3.dk</b>	6,901	0,779	15,0	8,854	<,001
		<b>3.dk</b>	-	<b>SD</b>	<b>4.dk</b>	3,293	0,660	15,0	4,987	0,006
		<b>4.dk</b>	-	<b>SD</b>	<b>5.dk</b>	1,497	0,678	15,0	2,206	0,568

#### 6.4.2. RR analizi

Kuru dinlenme protokolünde koşu bitimi maksimum kalp atım hızı ortalaması  $338 \pm 14,1$  ms olarak belirlenmiş olup, minimum 312 ms ve maksimum 365 ms değerleri arasında değişmiştir. Kuru dinlenme uygulanan koşu sonrası toparlanma verilerinin 1. dakikasında ortalama RR değeri  $409 \pm 25,7$  ms, 2. dakikada  $492 \pm 40,9$  ms, 3. dakikada  $517 \pm 40,9$  ms, 4. dakikada  $543 \pm 49,4$  ms ve 5. dakikada  $559 \pm 49,9$  ms olarak ölçülmüştür. Soğuk uygulama ile yapılan dinlenme protokolünde koşu bitimi maksimum RR ortalaması  $343 \pm 14,9$  ms, minimum 324 ms ve maksimum 378 ms olarak kaydedilmiştir. Soğuk uygulama yapılan koşu sonrası toparlanmanın 1. dakikasında RR değeri ortalama  $425 \pm 43,9$  ms, 2. dakikada  $525 \pm 75,3$  ms, 3. dakikada  $557 \pm 71,9$  ms, 4. dakikada  $574 \pm 71,2$  ms ve 5. dakikada  $584 \pm 77,5$  ms olarak gözlemlenmiştir (tablo 18).

Tablo 18. 5 dakika toparlanma RR verisi

	Mean	SD	Minimum	Maximum
<b>Koşu bitimi maksimum</b>	338	14,1	312	365
<b>(Kuru dinlenme) 1. dk</b>	409	25,7	379	465
<b>(Kuru dinlenme) 2. dk</b>	492	40,9	447	582
<b>(Kuru dinlenme) 3. dk</b>	517	40,9	459	609
<b>(Kuru dinlenme) 4. dk</b>	543	49,4	464	635
<b>(Kuru dinlenme) 5. dk</b>	559	49,9	479	665
<b>Koşu bitimi maksimum</b>	343	14,9	324	378
<b>(Soğuk dinlenme) 1.dk</b>	425	43,9	382	568
<b>(Soğuk dinlenme) 2.dk</b>	525	75,3	461	785
<b>(Soğuk dinlenme) 3.dk</b>	557	71,9	479	786
<b>(Soğuk dinlenme) 4.dk</b>	574	71,2	505	804
<b>(Soğuk dinlenme) 5.dk</b>	584	77,5	500	813

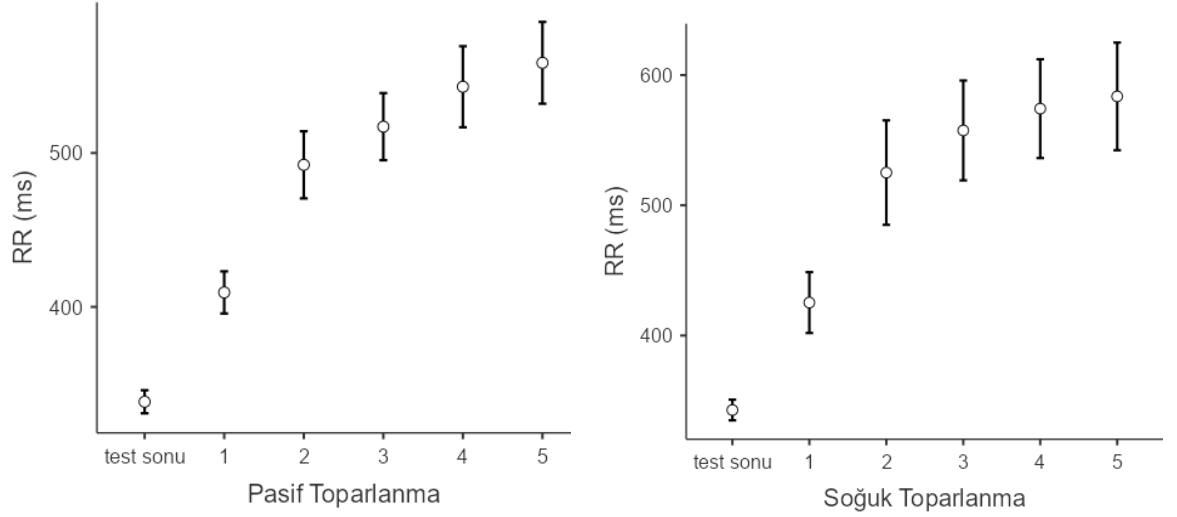
Kuru ve soğuk dinlenme sonrası toparlanma sürecindeki kalp hızı verilerine uygulanan eşleştirilmiş örneklem t-testi sonucunda, koşu bitimi maksimum kalp hızı ( $p = 0,044$ ), 2. dakika ( $p = 0,026$ ), 3. dakika ( $p = 0,005$ ) ve 4. dakika ( $p = 0,044$ ) değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı farklar bulunmuştur. 1. dakika ( $p = 0,134$ ) ve 5. dakika ( $p = 0,067$ ) ölçümlerinde ise anlamlılık düzeyine ulaşılmamıştır.

Tablo 19. Toparlanma Süreci Kalp Hızı Karşılaştırmalı İstatistiksel Bulgular

		istatistik	df	p
<b>KD Koşu Bitimi Maksimum</b>	<b>SD. Koşu Bitimi Maksimum</b>	-2,20	15,0	0,044
<b>KD 1. dk</b>	<b>SD 1. dk</b>	-1,59	15,0	0,134
<b>KD 2. dk</b>	<b>SD 2. dk</b>	-2,46	15,0	0,026
<b>KD 3. dk</b>	<b>SD 3. dk</b>	-3,27	15,0	0,005
<b>KD 4. dk</b>	<b>SD 4. dk</b>	-2,20	15,0	0,044
<b>KD 5. dk</b>	<b>SD 5. dk</b>	-1,97	15,0	0,067

\*KD: kuru dinlenme SD: soğuk dinlenme

Her iki protokolde 5 dakika toparlanmada ortalama RR değerlerine ait bulgular şekil 13 'de verilmiştir.



Şekil 13. 5 dakika toparlanma RR

Kuru dinlenme protokolünde yapılan post hoc karşılaştırmalarda, koşu bitimi ile 1. dakika arasında ortalama -71,05 ms fark bulunmuş ve bu fark istatistiksel olarak anlamlıdır ( $p < ,001$ ). 1. ile 2. dakika arasında -82,92 ms, 2. ile 3. dakika arasında -24,82 ms, 3. ile 4. dakika arasında -25,94 ms ve 4. ile 5. dakika arasında -15,53 ms'lik farklar da istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (tüm  $p < ,01$ ).

Soğuk uygulama protokolünde ise koşu bitimi ile 1. dakika arasında anlamlı bir artış gözlemlenmiş olup ortalama fark 215,77 ms'dir ( $p < ,001$ ). 1. ile 2. dakika arasında -82,50 ms, 2. ile 3. dakika arasında -99,78 ms, 3. ile 4. dakika arasında -32,38 ms ve 4. ile 5. dakika arasında -16,74 ms farklar anlamlı bulunmuştur (tüm  $p < ,01$ ). Toparlanma sürecinde RR değerlerinin soğuk ve kuru protokolde karşılaştırma bulguları tablo 20 'de verilmiştir.

Tablo 20. Toparlanma Süreci RR Değerleri Post Hoc Karşılaştırma Bulguları

				Mean Difference	SE	df	t	Ptukey	
<b>KD</b>	test sonu	-	<b>KD</b>	<b>1.dk</b>	-71,05	4,25	15,0	-16,7258	<,001
	<b>1.dk</b>	-	<b>KD</b>	<b>2.dk</b>	-82,92	7,06	15,0	-11,7403	<,001
	<b>2.dk</b>	-	<b>KD</b>	<b>3.dk</b>	-24,82	2,15	15,0	-11,5227	<,001
	<b>3.dk</b>	-	<b>KD</b>	<b>4.dk</b>	-25,94	4,59	15,0	-5,6492	0,002
	<b>4.dk</b>	-	<b>KD</b>	<b>5.dk</b>	-15,53	3,25	15,0	-4,7776	0,009
<b>SD</b>	test sonu	-	<b>SD</b>	<b>1.dk</b>	215,77	10,38	15,0	20,7966	<,001
	<b>1.dk</b>	-	<b>SD</b>	<b>2.dk</b>	-82,50	8,24	15,0	-10,0131	<,001
	<b>2.dk</b>	-	<b>SD</b>	<b>3.dk</b>	-99,78	9,60	15,0	-10,3910	<,001
	<b>3.dk</b>	-	<b>SD</b>	<b>4.dk</b>	-32,38	4,03	15,0	-8,0297	<,001
	<b>4.dk</b>	-	<b>SD</b>	<b>5.dk</b>	-16,74	2,91	15,0	-5,7587	0,002

\*KD: Kuru Dinlenme, SD: Soğuk Dinlenme

### 6.4.3. SmO<sub>2</sub> analizi

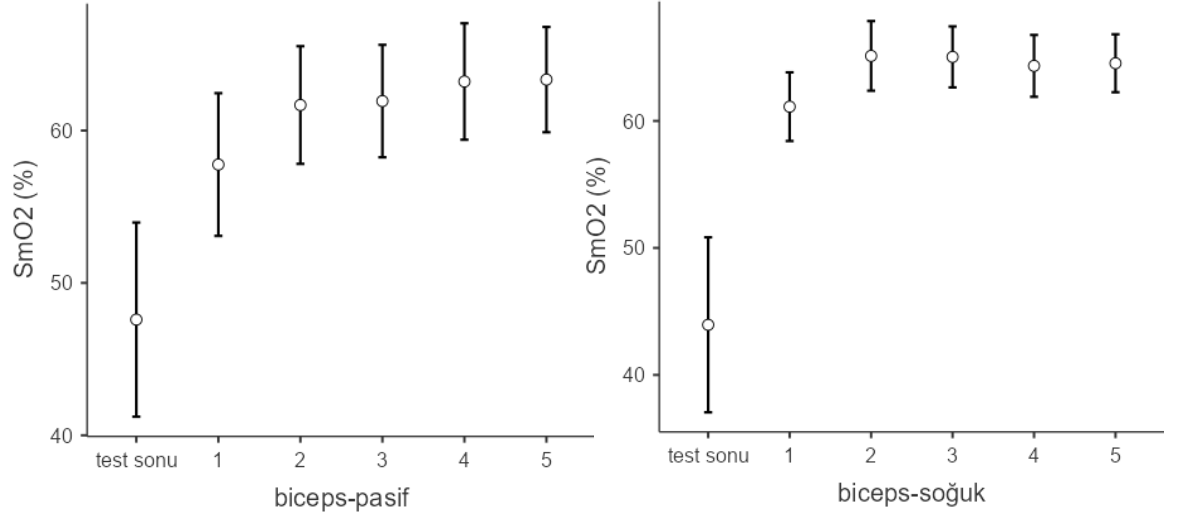
Toparlanma sürecinde biceps brachii kasından elde edilen SmO<sub>2</sub> değerleri, kuru dinlenme protokolünde koşu bitimi minimum ortalaması  $47,6 \pm 11,96$  iken, 1. dakikada  $57,8 \pm 8,79$ , 5. dakikada ise  $63,3 \pm 6,48$  olarak artış göstermiştir. Soğuk dinlenme protokolünde ise test sonu ortalama minimum SmO<sub>2</sub> değeri  $43,9 \pm 12,93$  olarak belirlenmiş, 1. dakikada  $61,1 \pm 5,07$  ve 5. dakikada  $64,5 \pm 4,28$  seviyesine ulaşmıştır. Vastus lateralis kası için kuru dinlenme protokolünde test sonu ortalama minimum SmO<sub>2</sub> değeri  $51,2 \pm 9,95$  iken, 1. dakikada  $60,0 \pm 7,97$ , 5. dakikada ise  $65,7 \pm 6,96$ 'ya yükselmiştir. Soğuk dinlenme protokolünde ise test sonu minimum ortalama değer  $47,3 \pm 11,30$  olup, toparlanmanın 1. dakikasında  $60,2 \pm 5,91$  ve 5. dakikasında  $64,0 \pm 4,65$  olarak ölçülmüştür (tablo 21).

Tablo 21. Vastus lateralis ve biceps brachii alınan Smo2 analizi

	Mean	SD	Minimum	Maximum
<b>Biceps kuru dinlenme test sonu min.</b>	47,6	11,96	22,3	69,0
<b>Biceps (Kuru dinlenme) 1. dk</b>	57,8	8,79	42,1	75,1
<b>Biceps (Kuru dinlenme) 2. dk</b>	61,7	7,24	50,4	75,6
<b>Biceps (Kuru dinlenme) 3. dk</b>	61,9	6,92	51,9	75,8
<b>Biceps (Kuru dinlenme) 4. dk</b>	63,2	7,17	52,7	76,2
<b>Biceps (Kuru dinlenme) 5. dk</b>	63,3	6,48	55,1	75,6
<b>Biceps soğuk dinlenme test sonu min.</b>	43,9	12,93	17,6	63,3
<b>Biceps (Soğuk dinlenme) 1. dk</b>	61,1	5,07	54,6	70,9
<b>Biceps (Soğuk dinlenme) 2. dk</b>	65,1	5,15	56,5	76,7
<b>Biceps (Soğuk dinlenme) 3. dk</b>	65,0	4,50	58,5	73,0
<b>Biceps (Soğuk dinlenme) 4. dk</b>	64,3	4,57	58,1	72,0
<b>Biceps (Soğuk dinlenme) 5. dk</b>	64,5	4,28	58,0	71,5
<b>Vastus kuru dinlenme test sonu min.</b>	51,2	9,95	29,4	67,6
<b>Vastus (Kuru dinlenme) 1. dk</b>	60,0	7,97	44,3	75,5
<b>Vastus (Kuru dinlenme) 2. dk</b>	64,3	6,91	47,0	76,8
<b>Vastus (Kuru dinlenme) 3. dk</b>	64,1	6,82	47,9	77,4
<b>Vastus (Kuru dinlenme) 4. dk</b>	65,4	6,97	48,6	78,1
<b>Vastus (Kuru dinlenme) 5. dk</b>	65,7	6,96	49,7	78,5
<b>Vastus soğuk dinlenme test sonu min</b>	47,3	11,30	23,8	65,4
<b>Vastus (Soğuk dinlenme) 1. dk</b>	60,2	5,91	49,4	72,5
<b>Vastus (Soğuk dinlenme) 2. dk</b>	64,3	5,50	53,5	74,4
<b>Vastus (Soğuk dinlenme) 3. dk</b>	64,2	4,87	54,6	73,7
<b>Vastus (Soğuk dinlenme) 4. dk</b>	64,0	4,87	54,8	73,7
<b>Vastus (Soğuk dinlenme) 5. dk</b>	64,0	4,65	55,2	74,0

Toparlanma sürecinde biceps brachii ve vastus lateralis kasları arasında uygulama türlerine (kuru ve soğuk dinlenme) göre karşılaştırıldığında, post hoc analiz sonuçlarına göre SmO<sub>2</sub> düzeyleri açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ( $p > 0,05$ ).

Biceps brachii ve vastus lateralis kasları arasında kuru ve soğuk uygulama sonrası toparlanma esnasında SmO<sub>2</sub> değerleri şekil 14’de verilmiştir.



Şekil 14. 5 dakika toparlanma SmO<sub>2</sub>

Toparlanma sürecinde, hem kuru hem soğuk toparlanma koşullarında biceps brachii ve vastus lateralis kaslarında test sonuna kıyasla ilk iki dakikada SmO<sub>2</sub> değerlerinde anlamlı artış gözlenmiştir ( $p < ,05$ ); sonraki dakikalarda bu artışlar anlamlılık göstermemiştir ( $p > ,05$ ). Kas bölgeleri arasında SmO<sub>2</sub> açısından anlamlı bir fark saptanmamıştır ( $p > ,05$ ) (tablo 22).

Tablo 22. SmO<sub>2</sub> Değerlerinin Toparlanma Türü, Kas Bölgesi ve Süreye Göre Karşılaştırılması

Toparlanma	Kas	Kademe	Toparlanma	Kas	Kademe	Mean Difference	SE	df	t	Ptukey	
BKD		test sonu	- kuru	biceps	1	-10,1761	1,377	15,0	-7,3922	<,001	
		1	- kuru	biceps	2	-3,9056	0,807	15,0	-4,8413	0,021	
		2	- kuru	biceps	3	-0,2591	0,439	15,0	-0,5908	1,000	
		3	- kuru	biceps	4	-1,2844	0,298	15,0	-4,3171	0,053	
		4	- kuru	biceps	5	-0,1261	0,489	15,0	-0,2577	1,000	
		5	- kuru	vastus	test sonu	12,1676	2,202	15,0	5,52517	0,007	
		test sonu	- kuru	vastus	1	-8,7856	1,318	15,0	-6,6644	<,001	
		1	- kuru	vastus	2	-4,3424	0,930	15,0	-4,6667	0,029	
		2	- kuru	vastus	3	0,2364	0,437	15,0	0,54057	1,000	
		3	- kuru	vastus	4	-1,3033	0,349	15,0	-3,7323	0,138	
		4	- kuru	vastus	5	-0,3239	0,371	15,0	-0,8720	1,000	
		5	- soğuk	biceps	test sonu	21,7482	2,945	15,0	7,38440	<,001	
	BSD		test sonu	- soğuk	biceps	1	-17,1766	2,654	15,0	-6,4730	0,001
			1	- soğuk	biceps	2	-3,9981	0,591	15,0	-6,7671	<,001
			2	- soğuk	biceps	3	0,0804	0,594	15,0	0,13528	1,000
		3	- soğuk	biceps	4	0,7058	0,415	15,0	1,70174	0,973	
		4	- soğuk	biceps	5	-0,2065	0,321	15,0	-0,6427	1,000	
		5	- soğuk	vastus	test sonu	17,2187	2,503	15,0	6,88011	<,001	
		vastus	test sonu	- soğuk	vastus	1	-12,8956	1,668	15,0	-7,7300	<,001
		1	- soğuk	vastus	2	-4,1047	0,732	15,0	-5,6060	0,006	
		2	- soğuk	vastus	3	0,1322	0,437	15,0	0,30272	1,000	
		3	- soğuk	vastus	4	0,2080	0,310	15,0	0,67097	1,000	
		4	- soğuk	vastus	5	-0,0128	0,238	15,0	-0,0538	1,000	

## 7. TARTIŞMA ve SONUÇ

Çalışmada elde edilen HR, HRV ve SmO<sub>2</sub> verileri, egzersiz şiddeti arttıkça organizmanın fizyolojik sınırlara yaklaşırken sergilediği yanıtları ortaya koymaktadır. Literatürde kademeli artan egzersizlerde, soğuk uygulama yapılarak HR ya da SmO<sub>2</sub> ölçen çalışmalar yer almaktadır (Al Haddad ve ark., 2010, Jones, B ve ark, 2024.)

Ancak farklı dinlenme protokolü (soğuk ve kuru) ve tekrarlı yüklenmeler sonrası toparlanma süreci ve SmO<sub>2</sub>, HR ve HRV nin birlikte değerlendirildiği çalışmalara rastlanılmamıştır.

Soğuk suya daldırma, egzersiz sonrası kas ağrısını azaltmada kuru toparlanmaya kıyasla daha etkili olabilir. Özellikle 11–15 °C su sıcaklığında ve 11–15 dakika süren daldırmalar, hem egzersiz sonrası hem de gecikmeli kas ağrısının azaltılmasında iyi sonuçları sağlamaktadır (Machado ve ark., 2016). Bu yönüyle çalışmamızın yöntem kısmında kullanılan su sıcaklığı ve uygulama süresi literatür ile desteklenmektedir. SmO<sub>2</sub> ile ilgili yapılan birçok araştırmada ise, çalışmaya dahil edilen grupların genellikle düşük antrenman seviyesine sahip sporcular ya da hasta bireylerden oluştuğu gözlemlenmektedir.

Elde edilen bulgulara göre, kuru dinlenme protokolü (KDP) uygulanan grupta ilk ve ikinci koşular arasında anlamlı bir kalp hızı artışı gözlenmiş ( $p = 0,017$ ), buna karşın soğuk dinlenme protokolü (SDP) uygulanan grupta bu fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ( $p > 0,05$ ). Kalp atım hızı yüklenme ile ilişkili olarak kardiyovasküler stresin sistemik bir göstergesidir. Egzersizle birlikte, sempatik sinir sistemi devreye girmesinden kaynaklı olarak HR'de artış gözlemlenmektedir. RR' nin, egzersiz sırasında ve sonrasında kalp atım hızı değişkenliği (HRV) analizinde kullanılan temel parametrelerden biri olduğu bilinmektedir. İkinci koşullarda RR değerlerinde KDP ve SDP arasında da anlamlı farklılık tespit edilmiştir ( $p = 0,010$ ) ve SDP koşusunda kalp hızı değerlerinin daha düşük olduğu görülmüştür (tablo 4). Bu bulgular, soğuk uygulamanın kısa süreli toparlanma süreçlerinde kalp hızının düzenlenmesinde etkili olabileceğini ortaya koymaktadır.

Soğuk uygulama periferik vazokonstriksiyonun artması, kalp debisini azaltarak kalp atım hızında düşüşe neden olabilmektedir (Ihsan, Watson, & Abbiss, 2016). Literatürde soğuk suya maruz kalmanın, egzersiz sonrası parasempatik sinir sisteminin daha hızlı aktive olmasına katkı sağlayarak HR değerinde toparlanmayı desteklediği belirtilmektedir (Buchheit et al., 2009). Bu mekanizma, SDP sonrası ikinci koşuda kalp hızı değerlerinin yükselmemiş olmasıyla uyumludur. Ayrıca bulgular, kuru dinlenme protokolü (KDP) uygulanan koşullarda ilk ve ikinci koşular arasında RR değerlerinde anlamlı bir azalma olduğunu ortaya koymuştur (Tablo 5). Parasempatik sinir sisteminin baskılanması RR’de azalmaya yol açabilmektedir. RR’deki bu azalma, egzersiz sırasında vücudun otonom sinir sistemi tarafından yönetilen fizyolojik yanıtları hakkında bilgiler sağlamaktadır. Bu durum, egzersiz sonrası yeterli toparlanma sağlanamamasına bağlı olarak kalp atım frekansının (HR) artış göstermesinin bir yansımasıdır (Shaffer & Ginsberg, 2017).

Öte yandan, KDP uygulanan katılımcılarda ikinci koşuda kalp hızının anlamlı şekilde arttığı görülmüştür. Bu artış, ilk koşunun ardından yeterli toparlanmanın sağlanamamasına bağlı olarak artmış fizyolojik stresin bir yansıması olabilir. Egzersiz sonrası kalp hızı toparlanmasının yavaş gerçekleşmesi, genellikle artmış sempatik aktivitenin ve geciken parasempatik yeniden aktivasyonun bir göstergesidir (Stanley, Peake, & Buchheit, 2013). Bu bağlamda, kuru dinlenme gibi kuru toparlanma yöntemlerinin, özellikle kısa toparlanma sürelerinde yetersiz kalabileceği düşünülmektedir. RR değerleri incelendiğinde soğuk dinlenme protokolü (SDP) uygulanan koşullarda ise ilk ve ikinci koşular arasında anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir ( $p = 0,701$ ), bu da SDP’nin otonom sinir sistemi üzerindeki dengeleyici etkisine işaret etmektedir. Özellikle SDP uygulanan ikinci koşuda KDP’ye göre anlamlı şekilde daha uzun RR değerlerinin görülmesi ( $p = 0,014$ ) (tablo 5), bu protokolün parasempatik aktiviteyi koruyucu veya artırıcı etkisi olabileceğini düşündürmektedir (Ihsan, Watson, & Abbiss, 2016). RR değerlerinde gözlenen düşüş, artan sempatik aktivitenin ve azalan vagal modülasyonun göstergesi olabilir. Bu bağlamda, KDP sonrasında ikinci koşuda gözlenen RR azalması, kardiyovasküler sistemin artmış stres altında olduğunu ve toparlanma sürecinin yetersiz kalmış olabileceğini göstermektedir.

Soğuk uygulamanın, vücuttaki vazokonstriksiyon yoluyla periferik dolaşımı azaltarak merkezi dolaşımı koruduğu ve bu yolla kalp otonom kontrolünü dengelediği öne sürülmektedir. Mevcut bulgular da bu mekanizmayı destekler niteliktedir; SDP koşullarında RR değerleri istikrarlı kalmış ve ikinci koşu sırasında kalp hızında belirgin bir artış gözlenmemiştir (Tablo 3 ve Tablo 5). Bu sonuçlar, soğuk suyla yapılan dinlenmenin, egzersiz sonrası otonom toparlanmayı destekleyerek kalp atım hızında daha sabit kalmasına neden olabileceğini göstermektedir (Buchheit ve ark., 2009).

KD1-KD2 arasındaki HR-RR değerlerinde anlamlı fark bulunmuştur. Her ne kadar koşu sırasında kalp atım hızını sabit tutmaya çalışsak da bu durum (düşen koşu mesafesine rağmen) artan fizyolojik stresin göstergesi olabilir.

Genel olarak bulgular, dinlenme protokolüne bağlı olarak SmO<sub>2</sub> düzeylerinde anlamlı bir değişiklik olmadığını ortaya koymuştur (Tablo 7). Anlamlı değişimin olmaması, kasın oksijen kullanımında geçici bir denge hali ya da dolaşım sistemi tarafından sağlanan yeterli oksijen iletiminin sürdürülebildiğini düşündürmektedir. Bu doğrusal olmayan yanıt örüntüsü, bireyler arası fizyolojik farkları ve lokal kas fizyolojisinin bu süreçteki belirleyici rolünü işaret etmektedir (Jones ve ark., 2016). Benzer bir çalışmada koşu testleri incelendiğinde biceps kası, sağ ve sol vastus lateralis kasları arasında farklı şiddetlerdeki egzersizlerin kas oksijenlenmesi üzerinde anlamlı etkiler oluşturduğunu bildirmiştir. (Akbaş, 2024). Çalışmamızda bu anlamlı farkın olmama nedeni katılımcıların direkt olarak atletizm branşına sahip olmamasından kaynaklanabilir. Bisiklet, yüzme, taekwondo, basketbol, kürek gibi farklı branşlara ait sporcular çalışmamızın katılımcı grubunu oluşturmuştur.

Biceps brachii kasına ilişkin analizlerde, KDP uygulanan koşullarda ikinci koşuda SmO<sub>2</sub> düzeylerinde ortalama artış gözlenmiş olmakla birlikte, bu değişim istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır (Tablo 7). Benzer şekilde, SDP uygulanan koşullarda ikinci koşuda SmO<sub>2</sub> düzeylerinde hafif bir düşüş tespit edilmiş, ancak bu fark da anlamlılık düzeyine ulaşmamıştır ( $p = 0,077$ ). Bu sonuçlar, tekrarlı yüklenmeler arası soğuk uygulamanın lokal dolaşımı sınırlandırarak kas içine oksijen difüzyonunu

azaltabileceği, ancak bu etkinin kısa süreli ve sınırlı düzeyde olabileceğini düşündürmektedir (Stephens et al., 2018).

Vastus lateralis kasında KDP uygulaması sonrasında ikinci koşuda ortalama  $SmO_2$  artışı gözlenmiş ve bu artış istatistiksel anlamlılığa oldukça yakın bulunmuştur ( $p = 0,054$ ). Bu bulgu, KDP'nin kuru oturur pozisyonda yapılan 13 dakikalık toparlanma süresinin, lokal kas oksijenlenmesini destekleyici yönde bir etkisi olabileceğini göstermektedir. Öte yandan, SDP uygulanan koşullarda bu kas grubunda  $SmO_2$  düzeylerinde anlamlı bir değişiklik gözlenmemiştir ( $p = 0,711$ ), bu da soğuk su maruziyetinin periferik vazokonstriksiyon nedeniyle oksijenlenmeyi sınırlayabileceğini göstermektedir (Bleakley ve ark., 2010).

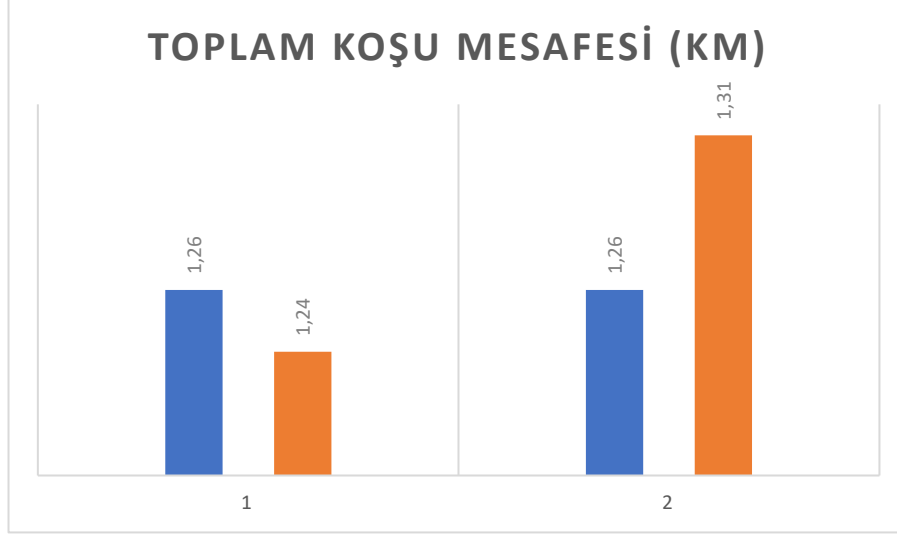
Dinlenme protokolü arasında yapılan karşılaştırmalarda hem biceps brachii hem de vastus lateralis kaslarında, ilk ve son koşularda protokoller arası anlamlı fark bulunmamıştır (Tablo 7). Bu durum, toparlanma sürecinde  $SmO_2$  düzeylerinin bireyler arası farklılıklar ve fizyolojik adaptasyonlar tarafından daha fazla etkileniyor olabileceğini düşündürmektedir. Literatürde, soğuk uygulamanın egzersiz sonrası kas oksijenlenmesi üzerindeki etkilerinin karışık sonuçlar verdiği bildirilmiştir. Soğuk uygulamanın bazı durumlarda kas oksijenlenmesini artırabildiği, ancak bu etkinin uygulama süresi, su sıcaklığı ve kas grubu gibi birçok faktöre bağlı olarak değiştiğini belirten çalışmalar vardır (Ihsan ve ark., 2013).

Kas içi oksijen doygunluğu, egzersiz sırasındaki metabolik yüklenme ile doğrudan ilişkilidir ve artan egzersiz yoğunluğunda genellikle azalma gösterir (Ferrari ve ark., 2011). Bu bağlamda,  $SmO_2$  düzeylerinde anlamlı farklılıklar gözlenmemesi, her iki koşuda da benzer efor düzeyinin korunmuş olduğunu ve dinlenme protokollerinin bu yüklenme seviyesini anlamlı ölçüde değiştirmediğini gösterebilir.

Kuru dinlenme protokolü (KDP) uygulanan koşullarda ilk ve ikinci koşular arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır ( $p = 0,515$ ), ancak soğuk dinlenme protokolü (SDP) uygulanan koşulda ikinci koşuda anlamlı bir mesafe artışı gözlenmiştir (Tablo 9). Bu sonuçlar, soğuk dinlenme protokolü ile gerçekleştirilen toparlanmanın koşu performansını destekleyici yönde etkili olabileceğini göstermektedir. SDP sonrasında

kat edilen mesafe ortalama 1,26 km'den 1,31 km'ye yükselmiş, maksimum bireysel mesafe ise 1,77 km olarak ölçülmüştür (Tablo 8). Buna karşılık KDP koşullarında ikinci koşudaki ortalama mesafe 1,24 km ile ilk koşunun (1,26 km) gerisinde kalmıştır. KDP ve SDP protokollerinin ikinci koşularının karşılaştırılmasında da anlamlı bir farklılık elde edilmiştir ( $p = 0,047$ ), bu da soğuk uygulamanın toparlanma açısından olumlu etkilerini desteklemektedir. Literatürde yapılan benzer çalışmalarda da 2 yüklenme arası yapılan soğuk uygulama ile birlikte koşu performansında artış olan çalışmalar yer almaktadır (Joudallah, 2016). Bu çalışma, çalışmamızla benzer sonuçlar ortaya koyarak tekrarlı egzersizlerde alt ekstremiteye uygulanan soğuk suyun performansı olumlu etkilediğini belirtmiştir. Bu bağlamda, çalışmamızın mevcut bulguları literatürdeki benzer çalışmalarla da örtüşmektedir. Soğuk dinlenme protokolü ile gerçekleştirilen toparlanmanın koşu performansını destekleyici yönde etkili olabileceği göstermektedir. Bu durum soğuk uygulamanın toparlanma açısından olumlu etkilerini destekleyebileceğini düşünmekteyiz. Bu bağlamda “İki yüklenme arasında yapılan soğuk dinlenmenin dinlenme sonrası yapılan 2. performansa olumlu etkisi vardır” H3 hipotezimiz desteklenmiştir. Soğuk suya maruziyetin koşu performansı üzerindeki bu olumlu etkisi, büyük olasılıkla periferik vazokonstriksiyon yoluyla kas içi sıcaklığı düşürmesi, kas metabolizmasını yavaşlatması ve lokal inflamasyonu baskılayarak kas yorgunluğunu azaltması ile açıklanabilir (Leeder et al., 2012; White & Wells, 2013). Bu fizyolojik etkiler, ikinci egzersiz periyodunda daha az yorgunluk hissi ve daha yüksek fiziksel kapasite olarak yansımış olabilir. Ayrıca, soğuk uygulamanın kardiyovasküler sistem üzerinde yarattığı parasempatik aktivite artışı (Peake ve ark., 2017), kalp atım hızı ve dolaşım verimliliği yoluyla egzersiz sırasında daha iyi bir fizyolojik tolerans sağlayabilir.

Bu bağlamda, çalışmanın mevcut bulguları literatürdeki benzer çalışmalarla da örtüşmektedir. Yüksek yoğunluklu egzersizler sonrasında soğuk suya daldırmanın sonraki performansı artırabilir (Vaile ve ark., 2008). Ancak bu etkilerin protokol süresi, su sıcaklığı, egzersiz tipi ve sporcunun kondisyon düzeyi gibi değişkenlerden etkilenmektedir.



Şekil 15. Sabit fizyolojik yükte toplam koşu mesafeleri

\*1 Kuru Dinlenme Protokolü ilk 6 dakika ve son 6 dakikalık yüklenmede sabit fizyolojik yük ile toplam koşu mesafesi ortalaması, 2 Soğuk Dinlenme Protokolü ilk 6 dakika ve son 6 dakikalık yüklenmede sabit fizyolojik yük ile toplam koşu mesafesi ortalaması

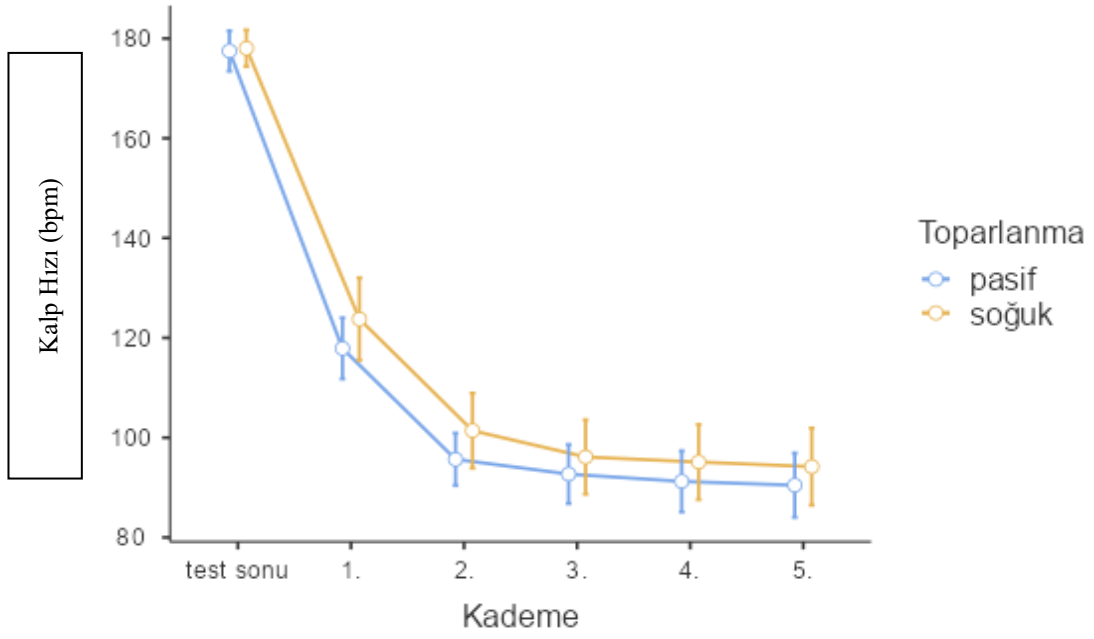
Soğuk suya daldırma, venöz dönüşü artırarak kalbin atım hacmini yükseltir ve böylece kardiyak debiyi artırabilir. Ayrıca, kalbin sinirsel aktivitesinin normale dönmesini destekleyerek, yoğun egzersiz sonrası kardiyovasküler toparlanma süreçlerini olumlu yönde etkileyebilir. Bu fizyolojik değişiklikler, kalp atış hızının daha hızlı toparlanması ve kalp atış hızı değişkenliğinin artması gibi göstergelerle kendini gösterebilir. Bu tür etkiler, özellikle vücudun büyük bir kısmının soğuk suya maruz kaldığı uygulamalarda daha belirgin olabilir (Murray, A., ve Cardinale, M.).

Bulgular, her iki protokolde de dinlenme sürecinde HR değerlerinde anlamlı düşüşler gözlemlendiğini ortaya koymuştur. Ancak, SDP uygulanan koşullarda HR değerleri, KDP'ye kıyasla sistematik olarak daha yüksek seyretmiştir (Tablo 10). İlk koşu sonu maksimum HR değerlerinin benzer seviyelerde başlaması (KDP:  $177,5 \pm 7,59$  bpm; SDP:  $178,0 \pm 6,86$  bpm) gruplar arasında başlangıçta fizyolojik eşitlik sağlandığını göstermemektedir. Ancak dinlenmenin ilk dakikasında SDP grubundaki HR ( $123,8 \pm 15,51$  bpm), KDP grubuna göre anlamlı olarak daha yüksek bulunmuştur ( $117,9 \pm 11,47$  bpm;  $p = 0,021$ ), bu farklılık ikinci dakikada da devam etmiştir (Tablo 11). Bu sonuçlar, soğuk uygulamanın toparlanmanın ilk evresinde kalp atım hızını düşürme

etkinliğini sınırladığına işaret etmektedir. Soğuk uygulamasının kardiyovasküler faaliyetleri olumlu etkilediği ve kan akışını düzenleyerek kardiyak yüklenmeyi etkilediğini bilinmektedir (Šrámek ve ark., 2000, Al Haddad ve ark., 2010). Bu etkiler kardiyovasküler sistem düzenlemesi, parasempatik kalp atımı ve vagal tonu düzenleyebilir (Parouty ve ark., 2010).

Literatürde, soğuk suya maruz kalmanın kardiyovasküler sistem üzerindeki etkileri farklı yönlerden açıklanmıştır. Soğuk uygulama, periferik vazokonstriksiyon yoluyla kanın merkez bölgeye yönlendirilmesine neden olmakta ve bu durum kalp yükünü geçici olarak artırabilmektedir. Bu durum, vagal yeniden aktivasyonun baskılanması veya gecikmesi ile ilişkilendirilerek toparlanma sürecindeki HR düşüşünü yavaşlatabilir (Buchheit, 2014). Ayrıca, farklı daldırma teknikleri ile soğuk uyarının otonom sinir sisteminde sempatik aktiviteyi uyarabileceği ve bu etkinin özellikle toparlanmanın erken fazında daha belirgin olabileceği bildirilmiştir (Al Haddad ve ark., 2010).

Her iki protokolde de koşu sonu ile ilk ve ikinci dakikalar arasında anlamlı düzeyde HR düşüşü gözlenmiştir (Tablo 12). Yüklenmeden hemen sonra soğuk uygulamanın, kuru toparlanma, kontrast soğuk ve sıcak su uygulamalarına karşın daha etkin bir yöntem olabileceği söylenmektedir (Rowell ve ark., 2011). Ertesi gün koşu performansı açısından değerlendirildiğinde, yüksek yoğunluklu bir antrenmandan hemen sonra soğuk uygulamanın yüklenmeden 3 saat sonra yapılan soğuk uygulamaya kıyasla daha faydalı olabileceği gösterilmektedir (Brophy-Williams ve ark., 2011). Çalışmamızda üçüncü dakikadan itibaren farklar anlamlılığını kaybetmiş, bu da toparlanmanın ilk 2 dakikasının kalp atım hızı açısından kritik olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bulgu, akut toparlanma kapasitesini değerlendiren çalışmalarla paralellik göstermektedir (Stanley ve ark., 2013). Soğuk dinlenme protokolünde üçüncü dakikadan itibaren KDP ile HR düzeylerinin birbirine yaklaşması, SDP'nin gecikmeli ama etkili bir toparlanma sağlayabileceğini düşündürmektedir. Yani ilk dakikalardaki fizyolojik uyarı etkisinin geçici olduğu ve toparlanmanın ilerleyen evrelerinde otonom denge yeniden sağlanmaktadır.

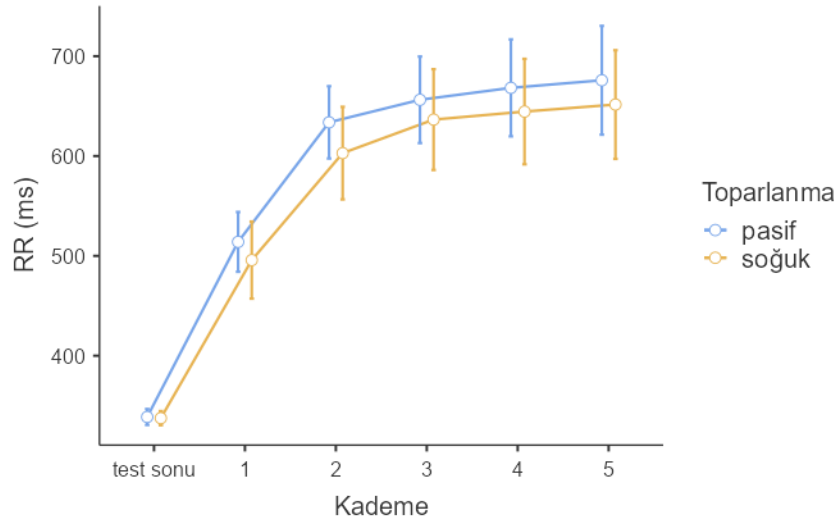


Şekil 16. İki koşu testi arası kuru ve soğuk HR değişimi

Her iki dinlenme protokolünde de koşu sonrası ilk dakikadan itibaren R-R aralığında belirgin bir artış olduğunu göstermiştir (Tablo 11). Kuru dinlenme protokolünde RR ortalaması ilk dakikada 514 ms'den başlayarak 5. dakikada 676 ms'ye kadar yükselmiş, benzer şekilde soğuk su dinlenmesinde bu değerler 496 ms'den 652 ms'ye kadar artmıştır. Bu kademeli artış, egzersiz sonrası parasempatik aktivitenin yeniden devreye girdiğini ve kalp hızındaki düşüşe bağlı olarak RR aralığının uzadığını göstermektedir (Stanley ve ark., 2013).

Ancak gruplar arası karşılaştırmalar incelendiğinde, soğuk su ile yapılan dinlenmenin RR üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir avantaj sağlamadığı görülmektedir. Elde edilen eşleştirilmiş örneklem t-testi sonuçlarına göre, iki protokol arasında hiçbir kademe anlamlı farklılık bulunmamıştır (Tablo 12). Benzer şekilde, post hoc analizlerde de protokoller arası farklar istatistiksel olarak anlamlılığa ulaşmamıştır (Tablo 15). Bu bulgular, soğuk su ile gerçekleştirilen kuru dinlenmenin, R-R aralığı üzerinden değerlendirilen otonom sinir sistemi toparlanması açısından kuru dinlenmeye göre üstün olmadığını ortaya koymaktadır. Literatürde, soğuk suya maruz kalmanın kalp hızı değişkenliği (HRV) üzerindeki etkisi konusunda çelişkili bulgular mevcuttur. (Buchheit ve Laursen 2013), soğuk uygulamaların parasempatik yeniden aktivasyonu hızlandırabileceğini belirtmişken, bazı çalışmalar ise kısa süreli

maruziyetin otonom denge üzerinde belirgin bir etkisi olmadığı söylenmektedir (Stanley et al., 2012). Bu çalışmada gözlemlenen sonuçlar, olasılıkla soğuk suyun uygulandığı sürenin ve sıcaklığın, RR gibi hassas parametreler üzerindeki etkisinin sınırlı kalabileceğini düşündürmektedir. Ayrıca, soğuk uyarının sempatik aktiviteyi geçici olarak artırabileceği ve bu nedenle parasempatik baskınlığa geçişi geciktirebileceği de ifade edilmektedir (Pugh et al., 2019). Bu da soğuk protokol sırasında RR değerlerinin kuru protokole göre daha düşük kalmasını açıklayabilir.



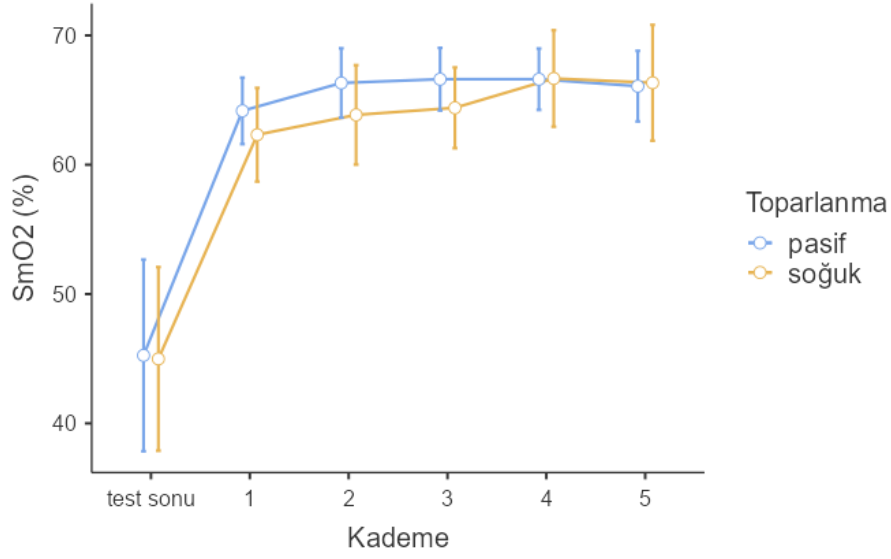
Şekil 17. Dinlenme sırasında RR değişimi

Biceps brachii ve vastus lateralis kaslarında yapılan ölçümler, her iki toparlanma koşulunda da egzersizi takiben minimum düzeylere ulaşan  $SmO_2$ 'nin, dinlenme süreci boyunca artarak beşinci dakikada stabilize olduğunu ortaya koymuştur (Tablo 13).

Toparlanmanın ilk dakikalarında gözlemlenen bu anlamlı artış, özellikle akut oksijen borcunun giderilmesi ve kas içi oksijen rezervlerinin yeniden sağlanması süreciyle ilişkilidir (Billaut & Buchheit, 2013). Bu bulgu, yüksek yoğunluklu egzersiz sonrası yeniden oksijenlenmenin erken dönemde hızlı bir biçimde gerçekleştiğini ve bu sürecin sonraki dakikalarda plato çizdiğini desteklemektedir. Nitekim, her iki protokolde de  $SmO_2$  düzeyleri ilk iki dakikalık toparlanma sürecinde en yüksek artışı göstermiş, takip eden dakikalarda bu artış daha sınırlı kalmış ve değerler görece bir dengeye ulaşmıştır (Tablo 13; Şekil 11).

Soğuk su içinde gerçekleştirilen toparlanmanın SmO<sub>2</sub> üzerindeki etkisine dair literatürde farklı bulgular mevcuttur. Özellikle soğuk uygulamaların vazokonstriksiyon etkisi nedeniyle periferik kan akışını sınırlayarak kas oksijenlenmesini azaltabileceği bildirilmiştir (Gregson et al., 2011). Ancak bu çalışmada, soğuk su protokolü ile kuru dinlenme protokolü karşılaştırıldığında, SmO<sub>2</sub> düzeylerinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmamıştır ( $p > 0,05$ ; Tablo 14, Tablo 18). Bu sonuç, benzer ortalama değerlerin gözlenmesiyle de desteklenmektedir. Biceps kasında beşinci dakikada ulaşılan ortalama SmO<sub>2</sub> düzeyleri kuru dinlenmede 66,1, soğuk dinlenmede ise 66,3 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, farklı kas gruplarının (biceps ve vastus lateralis) SmO<sub>2</sub> yanıtlarının birbirine yakın seyretmesi, bu protokollerin sistemik bir etki yarattığını ve bölgesel oksijenlenmede farklılaşma olmadığını göstermektedir (Tablo 14). Bu bulgular, daha önce yapılan çalışmalarda bildirilen, toparlanma sürecinin SmO<sub>2</sub> üzerindeki lokalize etkilerden ziyade genel dolaşım ve oksijen taşıma kapasitesiyle ilişkili olduğuna dair görüşlerle uyumludur (Perrey & Ferrari, 2018).

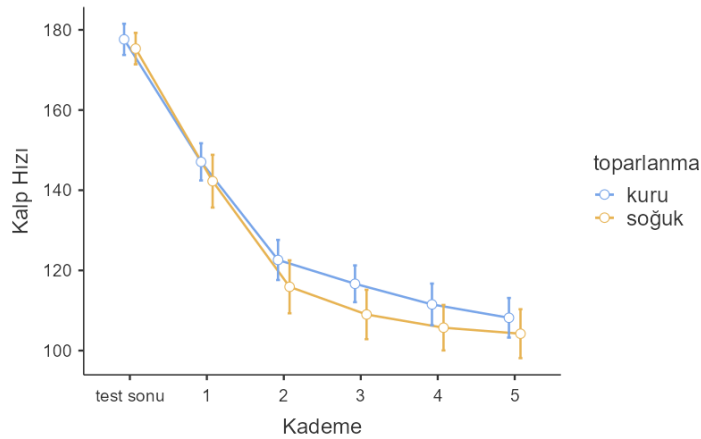
Toparlanma boyunca SmO<sub>2</sub> düzeylerinde görülen artış, ayrıca kardiyorespiratuvar sistemin egzersiz sonrası homeostazı yeniden sağlama çabasını da yansıtmaktadır. SmO<sub>2</sub>, dokulara oksijen ulaşmasının bir göstergesi olması nedeniyle hem kardiyak debi hem de mikrosirkülasyon hakkında dolaylı bilgi sağlamaktadır (Ferguson et al., 2021). Bu bağlamda hem kuru hem de soğuk su toparlanma protokollerinin kas oksijenlenmesini desteklediği ve egzersiz sonrası hipoksi durumunun hızla telafi edildiği söylenebilir.



Şekil 18. Dinlenme esnasında SmO2 Verilerinin Karşılaştırılması

Koşu testi sonrası ulaşılan maksimum kalp atım hızlarında iki protokol arasında (kuru ve soğuk uygulama) bir fark gözlenmemiştir (tablo 15). Bu durum, katılımcıların maksimal efor düzeylerinin benzer olduğunu göstermekte ve toparlanma sürecine dair farklılıkların, uygulanan dinlenme protokollerinden kaynaklandığını düşündürmektedir. Nitekim, toparlanmanın ikinci, üçüncü ve dördüncü dakikalarında SD protokolü, KD protokolüne kıyasla anlamlı derecede daha düşük HR değerleri ile sonuçlanmıştır (tablo 16). Bu bulgu, kısmi soğuk uygulamanın toparlanma sürecinde kalp hızının daha hızlı düşmesine katkı sunduğunu göstermektedir. Soğuk uygulamaların toparlanma sürecine olumlu etkisini gösteren çalışmalar mevcuttur. Bazı çalışmalar egzersiz sonrası uygulanan soğuk suya daldırmanın kalp atım hızı toparlanmasını hızlandığını ortaya koymaktadır (Peiffer ve ark. 2009). Soğuk uygulama periferik vazokonstriksiyon oluşturarak kanın merkezî bölgelere yönelmesini sağlamakta, bu da parasempatik etkinliğin daha hızlı baskın hale gelmesine katkıda bulunmaktadır (White & Wells, 2013). Böylece, otonom sinir sisteminde yeniden parasempatik hâkimiyet sağlanmakta ve kalp atım hızı düşüşü hızlanmaktadır.

Toparlanmanın ilk dakikası için HR değerleri iki protokol arasında istatistiksel olarak farklılık göstermemekle birlikte (tablo 16), hem KD hem de SD protokolü içinde post hoc analizlerle değerlendirilen zamansal değişimler dikkate alındığında, en büyük farkın test sonu ile ilk dakika arasında olduğu görülmüştür (tablo 17). Bu durum, egzersiz sonrası ilk dakikanın vagal yeniden aktivasyon açısından kritik bir dönem olduğunu göstermektedir (Imai ve ark., 1994). Ancak, SD protokolünde bu hızlı düşüş daha yüksek bir oranla gerçekleşmiş, dolayısıyla soğuk uygulamanın erken toparlanma fazında otonom yanıtı destekleyici rol oynadığı ortaya konmuştur. Beşinci dakikadaki toparlanma değerleri arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlılık sınırında (tablo 16) kalması, her iki protokolde de fizyolojik sistemlerin toparlanma sürecine yaklaştığını düşündürmektedir. Ancak, toparlanmanın son dakikasında SD grubunun daha düşük ortalama HR değeri ( $104 \pm 11,44$  bpm) göstermesi, bu protokolün daha etkin bir toparlanma yanıtı oluşturduğuna işaret etmektedir. Şekil 15’de soğuk ve kuru dinlenme protokolünde koşu sonrası 5 dakikalık HR verileri verilmiştir.



Şekil 19. 5 dakika toparlanma esnasında HR değişimi grafiği

Egzersiz sonrası toparlanma süreci, bireyin kardiyovasküler sisteminin çalışma kapasitesini ve otonom sinir sisteminin dengeye dönüş hızını yansıtan önemli bir fizyolojik göstergedir. Bu çalışmada, kuru dinlenme (KD) ve kısmi soğuk dinlenme (SD) protokolleri sonrası kalp atım hızı değişimleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bulgular, iki protokol arasında özellikle beş dakikalık toparlanma sürecinde HR değerleri açısından belirgin farklılıkların oluştuğunu ortaya koymaktadır.

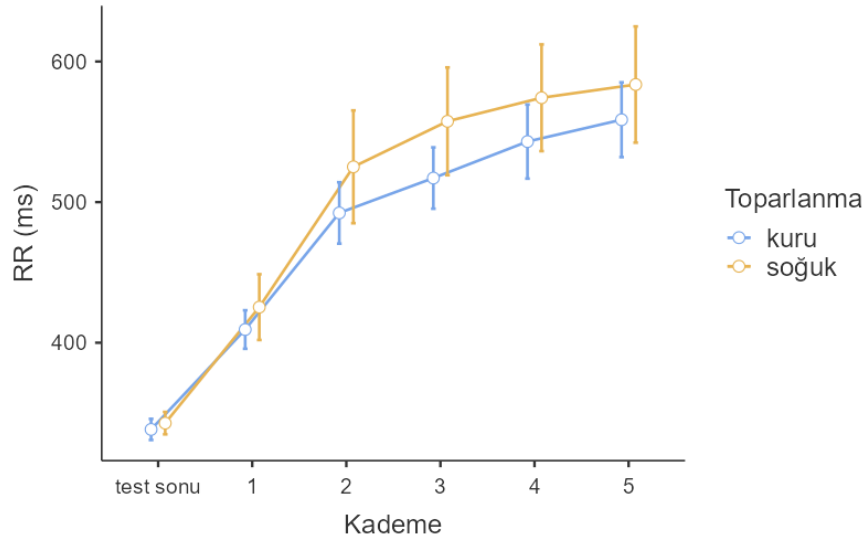
Toparlanma sürecinde otonom sinir sistemi (OSS) yanıtlarını değerlendirmek amacıyla analiz edilen RR aralıkları hem sempatik aktivasyonun çözülmesi hem de parasempatik yeniden aktivasyonun zamanlaması hakkında önemli bilgiler sunmaktadır (Stanley et al., 2013). Bu bağlamda, çalışmada uygulanan kuru dinlenme (KD) ve soğuk uygulama dinlenme (SD) protokolleri karşılaştırıldığında, soğuk uygulamanın toparlanma sürecinde parasempatik yeniden aktivasyonu daha erken ve etkin başlattığı görülmektedir.

Şekil 13 ve Tablo 18 incelendiğinde, SD protokolünde 5. dakikada RR aralığı ortalaması  $584 \pm 77,5$  ms'ye ulaşırken, aynı zaman diliminde KD protokolünde bu değer  $559 \pm 49,9$  ms'de kalmıştır. Bu farklılık, özellikle 2. ( $p = 0,026$ ), 3. ( $p = 0,005$ ) ve 4. dakikalarda ( $p = 0,044$ ) istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (Tablo 19). Soğuk uygulama sonrası daha uzun RR aralıklarının gözlemlenmesi, OSS'de vagal (parasempatik) etkinliğin daha erken baskın hale geldiğini düşündürmektedir (Michael et al., 2017).

Soğuk uygulamanın toparlanma sürecinde vagal yanıtı artırıcı etkisi, vücut yüzey sıcaklığında meydana gelen ani düşüşün baroreseptör duyarlılığını artırmasıyla açıklanabilir. Bu durum, OSS'nin homeostatik yanıtlarını hızlandırmakta ve kalp atım hızının daha kısa sürede düşmesine katkı sağlamaktadır. Nitekim, soğuk protokolde koşu sonrası 1. dakikada RR aralığı ortalama  $425 \pm 43,9$  ms olarak ölçülürken, kuru protokolde bu değer  $409 \pm 25,7$  ms olmuştur; her ne kadar bu fark istatistiksel olarak anlamlı olmasa da ( $p = 0,134$ ), toparlanmanın ilk dakikasındaki eğilim SD lehinedir (Şekil 13).

Post hoc analizler (Tablo 20) daha detaylı incelendiğinde, soğuk uygulama protokolünde koşu bitimi ile 1. dakika arasında gözlenen  $215,77$  ms'lik RR artışı ( $p < ,001$ ), OSS'nin hızlı bir şekilde parasempatik dominansa geçtiğini göstermektedir. Buna karşılık kuru dinlenme protokolünde aynı süre içinde RR artışı yalnızca  $71,05$  ms olup bu da daha yavaş bir toparlanma yanıtına işaret etmektedir ( $p < ,001$ ). Ayrıca, her iki protokolde 1.-2., 2.-3. ve 3.-4. dakikalar arasındaki RR artışları istatistiksel olarak anlamlı bulunmuş (tüm  $p < ,01$ ), bu da toparlanmanın ilk 4 dakikalık bölümünün OSS açısından en aktif yeniden yapılanma süreci olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak, soğuk uygulamanın toparlanma sürecinde OSS'yi daha hızlı parasempatik dengeye ulaştırdığı, RR interval verilerindeki artışlar ve istatistiksel anlamlılıklar ile ortaya konmuştur. Bu bulgular, egzersiz sonrası toparlanma süreçlerinde lokal veya sistemik soğuk uygulamaların OSS modülasyonu üzerinde olumlu etkiler yaratabileceğini düşündürmektedir. Literatürde de benzer şekilde, soğuk uygulamaların vagal yeniden aktivasyonu desteklediği bildirilmiştir (Buchheit ve ark., 2009; Stanley ve ark., 2013).



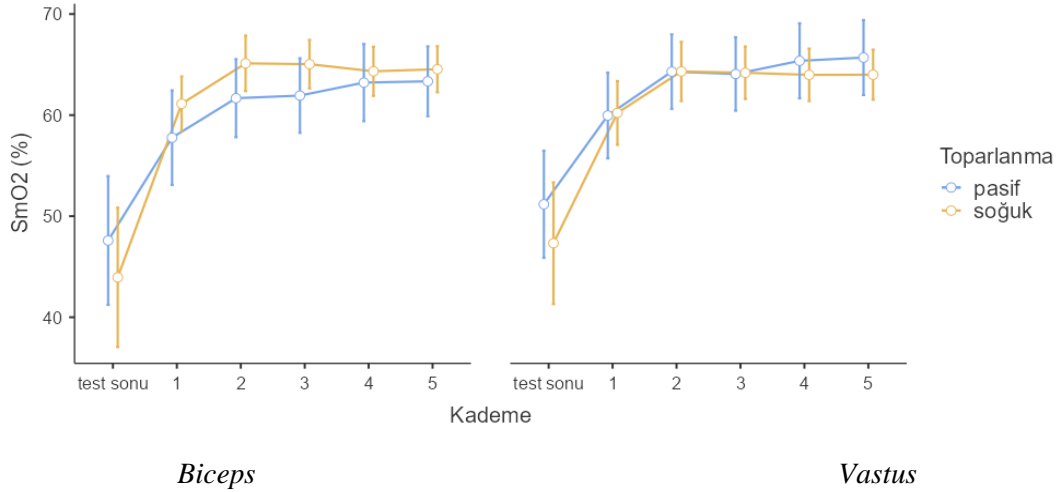
Şekil 20. 5 dakika toparlanma esnasında RR değişimi grafiği

Bulgular, her iki protokolde de  $SmO_2$  düzeylerinde toparlanmanın özellikle ilk dakikalarında anlamlı artışlar olduğunu, ancak bu artışların üçüncü dakikadan itibaren plato çizdiğini ortaya koymuştur. Toparlanma evresinde  $SmO_2$ 'nin hızla yükselmesi, vasküler reaktivite ve endotel fonksiyonunun bir göstergesi olarak değerlendirilebilir. Özellikle test sonrasında  $SmO_2$  düzeylerinin belirgin şekilde düşük olduğu ve toparlanma süreciyle birlikte yeniden oksijenlenmenin hızlı şekilde başladığı gözlemlenmiştir. Bu bulgu, egzersiz sonrası azalmış oksijen seviyelerinin, hiperemik yanıtla birlikte hızla toparlandığını göstermektedir (Ferrari et al., 2011). Biceps brachii kasında hem kuru hem de soğuk dinlenme protokollerinde 1. dakikada ortalama  $SmO_2$  değerleri sırasıyla  $57,8 \pm 8,79$  ve  $61,1 \pm 5,07$  olarak ölçülmüş; benzer şekilde vastus

lateralis kası için de bu değerler sırasıyla  $60,0 \pm 7,97$  ve  $60,2 \pm 5,91$  olarak kaydedilmiştir. Bu değerler, özellikle ilk dakikalarda kas içi oksijen doygunluğunun yeniden sağlandığını ve oksijen taşıma sisteminin etkin biçimde çalıştığını göstermektedir. Toparlanmanın ilk iki dakikasındaki  $SmO_2$  artışı literatürle de örtüşmektedir. Buchheit ve arkadaşları (2009), egzersiz sonrası toparlanma sürecinde kas oksijenlenmesinin kardiyovasküler adaptasyonlara bağlı olarak ilk dakikalarda artış sergilediğini belirtmişlerdir.

Bununla birlikte, soğuk dinlenme protokolü, test sonu minimum  $SmO_2$  değerleri açısından kuru dinlenmeye kıyasla biraz daha düşük seviyelerle başlamış, ancak toparlanma süreci sonunda benzer değerlere ulaşmıştır. Bu durum, soğuk uygulamanın vazokonstriksiyon yoluyla başlangıçta dokuya oksijen iletimini sınırlayabileceğini, ancak daha sonra yeniden denge sağlandığını düşündürmektedir (Mawhinney et al., 2013). Ancak bu farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ( $p > ,05$ ). Bu bulgu, soğuk uygulamaların kas içi metabolik toparlanma kısa sürede dramatik şekilde etkilemediği yönündeki bulgularıyla paralellik göstermektedir (Benassi ve arkadaşlarının 2023).

Kas grupları arasında ise  $SmO_2$  düzeyleri açısından anlamlı bir fark gözlenmemiştir ( $p > ,05$ ). Bu sonuç, kas gruplarının metabolik ve vasküler adaptasyonlarının egzersize ve toparlanmaya benzer biçimde yanıt verdiğini düşündürmektedir. Benzer tipte kas lifleri içeren alt ekstremitte kaslarının oksijen dinamiklerinin toparlanma sırasında birbirine yakın seyir izlediğini belirtmişlerdir. Ayrıca, her iki kas grubunda da toparlanmanın ilk dakikalarında gözlenen benzer artış eğilimleri, lokal dolaşım ve kas içi oksijen ekstraksiyonunun benzer derecede aktive olduğunu göstermektedir.



Şekil 21. 5 dakika toparlanma esnasında SmO<sub>2</sub> değişimi grafiği

Bu farklılık, kas oksijen saturasyonunun (SmO<sub>2</sub>) lokal düzeydeki metabolik dengeye hızlıca ulaşmasından kaynaklanabilir. Egzersiz sonrası reaktif hiperemi ile artan kas kan akımı, oksijen taşımalarını hızla artırarak ilk dakikada SmO<sub>2</sub>'nin normal seviyelere ulaşmasına neden olabilir. Ayrıca, SMO<sub>2</sub>'nin sabit kalması, kas düzeyinde oksijen tüketimi ve dolaşımdan sağlanan oksijen arasındaki dengenin hızlı bir şekilde sağlandığını göstermektedir (Perrey & Ferrari, 2018). Buna karşın HRV, yalnızca metabolik değil, solunum, sinirsel geri bildirim ve hormonal faktörler tarafından da etkilendiği için toparlanma süreci daha uzun sürmektedir. Bu bulgular, toparlanma sürecinde periferik ve merkezi fizyolojik sistemlerin farklı zaman ölçeklerinde normale döndüğünü göstermesi açısından önemlidir. Bu durum, kasın oksijenlenme kapasitesinin toparlanma sürecinin başında hızla geri kazandığını göstermektedir. Ancak sonraki dakikalarda anlamlı bir değişimin olmaması, SmO<sub>2</sub>'nin kısa sürede plato seviyesine ulaştığını ve periferik dolaşımın etkin bir şekilde toparlandığını düşündürmektedir.

SmO<sub>2</sub>, dokuların anaerobik enerji üretimine yönelmesini tetikleyerek laktat birikimini artırabilir ve metabolik stresi arttırabilmektedir. Bu süreç, HR artışa yol açarak HRV'nin sempatik aktivite yönünde değişmesine neden olabilmektedir. Egzersizin süresi ve yoğunluğu, bu değişimlerin boyutunu etkileyerek, yüksek şiddetli egzersizler sırasında HR belirgin şekilde artmasına, ancak zaman içinde daha dengeli bir seviyeye ulaşmasına katkı sağlayabilmektedir. Araştırmalar, SmO<sub>2</sub> seviyelerindeki düşüşün,

sempatik sinir sistemi aktivitesinde artış ve buna bağlı olarak HRV azalma ile bağlantılı olduğunu göstermektedir (Perrey, S., & Rupp, T. 2009). Çalışmamız literatürle benzer şekilde, SmO<sub>2</sub>'nin toparlanma fazında hızlı bir yükseliş gösterdiğini ve ardından stabil seyrettiğini bildirmiştir (Boone ve ark., 2016). Literatürde, toparlanma sürecinde SmO<sub>2</sub> düzeylerinin artış hızı, aerobik kapasitenin ve periferik dolaşım etkinliğinin bir yansıması olarak kabul edilmektedir. Bu bağlamda, çalışmamızdaki toparlanma eğilimi, katılımcıların yüksek düzeyde dolaşım adaptasyonuna sahip olduğunu ve egzersiz sonrası hızlı bir homeostatik dengeye dönüş gerçekleştirdiklerini düşündürmektedir.

Sonuç olarak bu çalışmada, ardışık iki submaksimal koşu arasında uygulanan farklı pasif dinlenme protokollerinin (kuru ve soğuk) fizyolojik toparlanma süreçlerine etkisi değerlendirilmiştir. HR ve SmO<sub>2</sub> verilerinin birlikte incelenmesi, hem merkezi (kalp-damar) hem de periferik (kas) düzeydeki fizyolojik yüklenme yanıtlarını bütüncül olarak değerlendirme imkânı sunmaktadır (Ferrari ve ark., 2011). Bulgular, soğuk su içerisinde uygulanan dinlenme protokolünün, ikinci koşu sırasında kalp hızının artışını sınırlayarak kardiyovasküler toparlanmada daha etkili olduğunu göstermektedir. Özellikle toparlanmanın ikinci ve üçüncü dakikalarında belirginleşen bu etki, otonom sinir sistemi dengesinin korunmasına katkı sağlamakta, RR intervalinin daha stabil seyretmesiyle parasempatik yeniden aktivasyonu desteklemektedir. Öte yandan, kuru dinlenme protokolü özellikle ikinci koşuda RR değerlerinde anlamlı düşüşle sonuçlanmış ve yetersiz toparlanma yanıtı sergilemiştir. Kas içi oksijen satürasyonu (SmO<sub>2</sub>) açısından değerlendirildiğinde ise, biceps brachii ve vastus lateralis kaslarında hem kuru hem de soğuk dinlenme koşullarında benzer oksijenlenme yanıtları gözlenmiştir. Her iki protokolde de SmO<sub>2</sub> değerleri egzersiz sonrası ilk iki dakikada hızlı bir artış göstermiş, ardından artış hızı azalarak stabil bir plato düzeyine ulaşmıştır. Bu durum, egzersiz sonrası erken toparlanma evresinin, kas oksijenlenmesi açısından kritik bir dönem olduğunu ortaya koymakta ve uygulama türünden bağımsız olarak SmO<sub>2</sub> dinamiklerinin benzer şekilde şekillendiğini göstermektedir. Ayrıca, soğuk dinlenme protokolü sonrası elde edilen daha yüksek toplam koşu mesafesi, bu yaklaşımın sadece fizyolojik toparlanmayı değil, aynı zamanda sonraki egzersiz performansını da destekleyebileceğine işaret etmektedir. Bu bağlamda, kısa süreli ardışık egzersiz protokollerinde soğuk uygulamanın, antrenman planlamasında etkili

bir toparlanma stratejisi olarak değerlendirilebileceği söylenebilir. Egzersiz sırasında kas içi oksijen seviyelerinde meydana gelen azalmanın, dolaşım sisteminin tepkileriyle yakından ilişkili olduğu söylenmektedir (Grassi ve ark., 2003). Egzersiz sonrasında toparlanma sürecinde HRV, parasempatik sinir sisteminin yeniden devreye girmesiyle doğrudan ilişkili olup, bu süreçte  $SmO_2$  oynadığı rol üzerine yapılmış çeşitli araştırmalar mevcuttur (Stanley ve ark., 2013). Bu bulgular, egzersiz sırasında  $SmO_2$ , HR ve HRV arasındaki kompleks ilişkiyi ve vücudun fizyolojik adaptasyonlarını anlamada bu parametrelerin önem taşıdığını ortaya koymaktadır (Stanley ve ark., 2013). Özellikle toparlanma evresinde ölçülen RR değerleri, farklı egzersiz modellerinin kardiyovasküler sisteme etkisini daha iyi anlamaya yardımcı olmaktadır (Kalkan, Pelvan, 2023). Literatürdeki bulgular, akut yorgunluğun HRV ve  $SmO_2$  üzerindeki etkileri incelenmiş ve yorgunluğun kas oksijen tüketimini artırarak sempatik sinir sistemi aktivitesini yükselttiği, buna karşılık HRV'yi azalttığı sonucuna varmıştır (Perrey, S., & Rupp, T. 2009). Bu bulgular, egzersiz yoğunluğu ve süresiyle ilişkili fizyolojik yanıtların, sinir sistemi ve kas metabolizması üzerinde belirgin etkiler yarattığını ortaya koymaktadır.

Bununla birlikte, çalışmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Katılımcı sayısının sınırlı olması, yalnızca akut yanıtların değerlendirilmesi ve sadece belirli kas gruplarına (biceps brachii ve vastus lateralis) yönelik  $SmO_2$  ölçümlerinin yapılması, elde edilen bulguların genellenebilirliğini kısıtlamaktadır. Soğuk uygulama sonrasında non-invaziv yöntemlerle elde edilen  $SmO_2$  ölçümlerinin doğruluğu, mevcut koşullar altında sorgulanabilir. Bu durumun olası nedeni, soğuk maruziyetine bağlı olarak gelişen vazokonstriksiyonun, özellikle dermis ve epidermis gibi yüzeysel dokulardaki kan akımını azaltmasıdır. Azalan epidermis ve dermis kan akımı optik algılayıcılar tarafından algılanan  $SmO_2$  değerlerini yanıltıyor olabilir. Bu hemodinamik değişim, optik sensörlerin derin kas dokularına ulaşmasını sınırlayarak, ölçümlerin esas hedefi olan kas içi oksijen saturasyonunu yansıtmaktan çok, yüzeysel dokuların fizyolojik yanıtlarını yansıtmaya neden olabilir. Bu da toplam  $SmO_2$  değerlerini farklı şekilde algılanmasına sebep olabilir. Ayrıca, fizyolojik yanıtlar üzerinde etkili olabilecek hidrasyon durumu, çevresel koşullar ve bireysel soğuk toleransı gibi değişkenler standartlaştırılmış olsa da bu faktörlerin bireyler arası farklılıkları üzerinde potansiyel etkileri göz ardı edilemez. Gelecekteki çalışmaların daha büyük örneklerle, farklı

kas gruplarını ve uzun vadeli adaptasyonları da kapsayacak şekilde tasarlanması, bu alandaki bilgi birikimini derinleştirecektir.

Sonuç olarak bulgular, kuru-soğuk dinlenmenin tekrarlı egzersiz yüklenmeleri arasında kardiyovasküler yanıtları düzenleyerek performansın artırılmasında etkili olabileceğini göstermektedir.  $SmO_2$  üzerindeki etkiler sınırlı olmakla birlikte, toparlanma sürecinde fizyolojik olarak toparlanmaya katkı sağlayabileceğini düşünmekteyiz.

## 8. KAYNAKLAR

- Akbaş, S. Farklı şiddetlerdeki egzersizlerde çoklu yakın kızılaltı spektroskopisi kullanarak bölgesel kas oksijenlenmesinin incelenmesi [Doktora tezi, Marmara Üniversitesi] 2024, İstanbul Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Serdar Orkun PELVAN
- Al Haddad, H., Laursen, P. B., Chollet, D., Lemaitre, F., Ahmaidi, S., & Buchheit, M. (2010). Effect of cold or thermoneutral water immersion on post-exercise heart rate recovery and heart rate variability indices. *Autonomic Neuroscience*, 156(1-2), 111-116. <https://doi.org/10.1016/j.autneu.2010.03.017>
- Alvurdu, S. (2023). Yorgunluk monitörizasyonunda kalp atım hızı değişikliği ölçümü ve değerlendirilmesi: Geleneksel bir derleme. *Journal Of Rol Sport Sciences*, 4(1), 336-358. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7741425>
- Appel, M., Berger, R., & Saul, J. (1989). Beat to beat variability in cardiovascular variables: Noise or music? *Journal of the American College of Cardiology* 11. [https://doi.org/10.1016/0735-1097\(89\)90408-7](https://doi.org/10.1016/0735-1097(89)90408-7)
- Baek, H. J., Cho, C.-H., Cho, J., & Woo, J.-M. (2015). Reliability of ultra-short-term analysis as a surrogate of standard 5-min analysis of heart rate variability. *Telemedicine and e-Health*, 21(5), 404-414. <https://doi.org/10.1089/tmj.2014.0104>
- Bailey, D., Erith, S., Griffin, P., Dowson, A., Brewer, D., Gant, N., & Williams, C. (2007). Influence of cold-water immersion on indices of muscle damage following prolonged intermittent shuttle running. *Journal of Sports Sciences*, 25(11), 1163-1170. <https://doi.org/10.1080/02640410600982659>
- Baird, M. F., Graham, S. M., Baker, J. S., & Bickerstaff, G. F. (2012). Creatine-kinase- and exercise-related muscle damage implications for muscle performance and recovery. *Journal of Nutrition and Metabolism*, 2012. <https://doi.org/10.1155/2012/960363>

- Bigger Jr, J. T., Albrecht, P., Steinman, R. C., Rolnitzky, L. M., Fleiss, J. L., & Cohen, R. J. (1989). Comparison of time-and frequency domain-based measures of cardiac parasympathetic activity in Holter recordings after myocardial infarction. *The American Journal of Cardiology*, 64(8), 536-538. [https://doi.org/10.1016/0002-9149\(89\)90436-0](https://doi.org/10.1016/0002-9149(89)90436-0)
- Billaut, F., & Buchheit, M. (2013). Repeated-sprint performance and vastus lateralis oxygenation: Effect of limited O<sub>2</sub> availability. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 23(3), e185-e193. <https://doi.org/10.1111/sms.12052>
- Bleakley, C. M., & Davison, G. W. (2010). What is the biochemical and physiological rationale for using cold-water immersion in sports recovery? A systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, 44(3), 179-187. <https://doi.org/10.1136/bjism.2009.065565>
- Boone, J., Vandekerckhove, K., Coomans, I., Prieur, F., & Bourgois, J. G. (2016). An integrated view on the oxygenation responses to incremental exercise at the brain, the locomotor and respiratory muscles. *European Journal of Applied Physiology*, 116, 2085-2102. <https://doi.org/10.1007/s00421-016-3468-x>
- Boushel, R., & Piantadosi, C. (2000). Near-infrared spectroscopy for monitoring muscle oxygenation. *Acta Physiologica Scandinavica*, 168(4), 615-622. <https://doi.org/10.1046/j.1365-201x.2000.00713.x>
- Brophy-Williams, N., Landers, G., & Wallman, K. (2011). Effect of immediate and delayed cold water immersion after a high intensity exercise session on subsequent run performance. *Journal of Sports Science & Medicine*, (10th ed., (4),pp. 665).
- Buchheit, M., Peiffer, J. J., Abbiss, C. R., & Laursen, P. B. (2009). Effect of cold water immersion on postexercise parasympathetic reactivation. *American Journal of Physiology- Heart and Circulatory Physiology*. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.01017.2008>

- Buchheit, M. (2014). Monitoring training status with HR measures: do all roads lead to Rome? *Frontiers in physiology*, 5, 73. <https://doi.org/10.3389/fphys.2014.00073>
- Castellani, J. W., O'Brien, C., Tikuisis, P., Sils, I. V., & Xu, X. (2007). Evaluation of two cold thermoregulatory models for prediction of core temperature during exercise in cold water. *Journal of Applied Physiology*, 103(6), 2034-2041. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00499.2007>
- Castellani, J. W., & Tipton, M. J. (2015). Cold stress effects on exposure tolerance and exercise performance. *Compr Physiol*, 6(1), 443-469. <https://doi.org/10.1002/cphy.c140081>
- Coffey, V., Leveritt, M., & Gill, N. (2004). Effect of recovery modality on 4-hour repeated treadmill running performance and changes in physiological variables. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 7(1), 1-10. [https://doi.org/10.1016/s1440-2440\(04\)80038-0](https://doi.org/10.1016/s1440-2440(04)80038-0)
- Crowe, M., O'connor, D., & Rudd, D. (2007). Cold water recovery reduces anaerobic performance. *International Journal of Sports Medicine*, 28(12), 994-998. <https://doi.org/10.1055/s-2007-965118>
- DeGroot, D. W., Gallimore, R. P., Thompson, S. M., & Kenefick, R. W. (2013). Extremity cooling for heat stress mitigation in military and occupational settings. *Journal of Thermal Biology*, 38(6), 305-310. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2013.03.010>
- Eichner, E. R. (2010). Body temperature and performance. *Current Sports Medicine Reports*, 9(2), 68-69. <https://doi.org/10.1249/JSR.0b013e3181d40804>
- Esco, M. R., & Flatt, A. A. (2014). Ultra-short-term heart rate variability indexes at rest and post-exercise in athletes: evaluating the agreement with accepted recommendations. *Journal of Sports Science & Medicine*, 13(3), 535.

- Ferrari, M., Muthalib, M., & Quaresima, V. (2011). The use of near-infrared spectroscopy in understanding skeletal muscle physiology: recent developments. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 369(1955), 4577-4590. <https://doi.org/10.1098/rsta.2011.0230>
- Flouris, A. D., & Cheung, S. S. (2011). Thermal basis of finger blood flow adaptations during abrupt perturbations in thermal homeostasis. *Microcirculation*, 18(1), 56-62. <https://doi.org/10.1111/j.1549-8719.2010.00068.x>
- George, M. S., Sackeim, H. A., Rush, A. J., Marangell, L. B., Nahas, Z., Husain, M. M., ... & Ballenger, J. C. (2000). *Vagus nerve stimulation: a new tool for brain research and therapy\**. *Biological Psychiatry*, 47(4), 287-295. [https://doi.org/10.1016/s0006-3223\(99\)00308-x](https://doi.org/10.1016/s0006-3223(99)00308-x)
- Getto, C. N., & Golden, G. (2013). Comparison of active recovery in water and cold-water immersion after exhaustive exercise. *Athletic Training & Sports Health Care*, 5(4), 169-176. <https://doi.org/10.3928/19425864-20130702-03>
- Ghaderi, F., Banakar, S., & Rostami, S. (2013). Effect of pre-cooling injection site on pain perception in pediatric dentistry: "A randomized clinical trial". *Dental Research Journal*, 10(6), 790. <https://doi.org/10.4103/1735-3327.122486>
- Gleeson, M. (1998). Temperature regulation during exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 19(S 2), S96-S99. <https://doi.org/10.1055/s-2007-971967>
- Gregson, W., Black, M. A., Jones, H., Milson, J., Morton, J., Dawson, B., Atkinson, G., & Green, D. J. (2011). Influence of cold water immersion on limb and cutaneous blood flow at rest. *The American Journal of Sports Medicine*, 39(6), 1316-1323. <https://doi.org/10.1177/0363546510395497>
- Hamaoka, T., & McCully, K. K. (2019). Review of early development of near-infrared spectroscopy and recent advancement of studies on muscle oxygenation and

oxidative metabolism. *The Journal of Physiological Sciences*, 69, 799-811. [https://doi.org/ 10.1007/s12576-019-00697-2](https://doi.org/10.1007/s12576-019-00697-2)

Hamaoka, T., McCully, K. K., Quaresima, V., Yamamoto, K., & Chance, B. (2007). Near-infrared spectroscopy/imaging for monitoring muscle oxygenation and oxidative metabolism in healthy and diseased humans. *Journal of Biomedical Optics*, 12(6), 062105-062105-062116. <https://doi.org/10.1117/1.2805437>

Hampson, N. B., & Piantadosi, C. A. (1988). Near infrared monitoring of human skeletal muscle oxygenation during forearm ischemia. *Journal of Applied Physiology*, 64(6), 2449-2457. <https://doi.org/10.1152/jappl.1988.64.6.2449>

Henderson, M. J., Grandou, C., Christmas, B. C., Coutts, A. J., Impellizzeri, F. M., & Taylor, L. (2023). Core body temperatures in intermittent sports: a systematic review. *Sports Medicine*, 53(11), 2147-2170. <https://doi.org/10.1007/s40279-023-01892-3>

Herold, F., Wiegel, P., Scholkmann, F., & Müller, N. G. (2018). Applications of functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) neuroimaging in exercise–cognition science: a systematic, methodology-focused review. *Journal of Clinical Medicine*, 7(12), 466. <https://doi.org/10.3390/jcm7120466>

Higgins, T. R., Greene, D. A., & Baker, M. K. (2017). Effects of cold water immersion and contrast water therapy for recovery from team sport: a systematic review and meta-analysis. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(5), 1443-1460. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001559>

Hohenauer, E., Taeymans, J., Baeyens, J.-P., Clarys, P., & Clijsen, R. (2015). The effect of post-exercise cryotherapy on recovery characteristics: a systematic review and meta-analysis. *PloS one*, 10(9). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0139028>

Imai, K., Sato, H., Hori, M., Kusuoka, H., Ozaki, H., Yokoyama, H., ... & Kamada, T. (1994). Vagally mediated heart rate recovery after exercise is accelerated in

athletes but blunted in patients with chronic heart failure. *Journal of the American College of Cardiology*, 24(6), 1529-1535. [https://doi.org/10.1016/0735-1097\(94\)90150-3](https://doi.org/10.1016/0735-1097(94)90150-3)

Ihsan, M., Watson, G., & Abbiss, C. R. (2016). What are the physiological mechanisms for post-exercise cold water immersion in the recovery from prolonged endurance and intermittent exercise?. *Sports Medicine*, 46, 1095-1109. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0483-3>

Ihsan, M., Watson, G., Lipski, M., & Abbiss, C. R. (2013). Influence of postexercise cooling on muscle oxygenation and blood volume changes. *Med Sci Sports Exerc*, 45(5), 876-882. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31827e13a2>

Ingram, J., Dawson, B., Goodman, C., Wallman, K., & Beilby, J. (2009). Effect of water immersion methods on post-exercise recovery from simulated team sport exercise. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12(3), 417-421. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2007.12.011>

Jones, B., Waterworth, S., Tallent, J., Rogerson, M., Morton, C., Moran, J., ... & McManus, C. (2024). Cold-Water Immersion and Lower Limb Muscle Oxygen Consumption as Measured by Near-Infrared Spectroscopy in Trained Endurance Athletes. *Journal of Athletic Training*, 59(3), 317-324. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-0532.22>

Joudallah, H. Y. *Yüksek sıcaklık ortamında devreli yapılan egzersizlerde alt ekstremiteye uygulanan soğuk su uygulamasının performansa etkisi* [Doktora tezi, Marmara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü], 2016, İstanbul. (Danışman: Prof. Dr. Aysel PEHLİVAN)

Kanosue, K., Crawshaw, L. I., Nagashima, K., & Yoda, T. (2010). Concepts to utilize in describing thermoregulation and neurophysiological evidence for how the system works. *European Journal of Applied Physiology*, 109, 5-11. <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1256-6>

- Kellmann, M., Bertollo, M., Bosquet, L., Brink, M., Coutts, A. J., Duffield, R., Erlacher, D., Halson, S. L., Hecksteden, A., & Heidari, J. (2018). Recovery and performance in sport: consensus statement. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(2), 240-245. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0759>
- Kleiger, R. E., Stein, P. K., & Bigger Jr, J. T. (2005). Heart rate variability: measurement and clinical utility. *Annals of Noninvasive Electrocardiology*, 10(1), 88-101. <https://doi.org/10.1111/j.1542-474X.2005.10101.x>
- Kleitman, N., Titelbaum, S., & Feiveson, P. (1938). The effect of body temperature on reaction time. *American Journal of Physiology-Legacy Content*, 121(2), 495-501. <https://doi.org/10.1152/ajplegacy.1938.121.2.495>
- Knicker, A. J., Renshaw, I., Oldham, A. R., & Cairns, S. P. (2011). Interactive processes link the multiple symptoms of fatigue in sport competition. *Sports medicine*, 41, 307-328. <https://doi.org/10.2165/11586070-000000000-00000>
- Lane, K. N., & Wenger, H. (2004). Effect of selected recovery conditions on performance of repeated bouts of intermittent cycling separated by 24 hours. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 18(4), 855-860. <https://doi.org/10.1519/14183.1>
- Leeder, J., Gissane, C., Van Someren, K., Gregson, W., & Howatson, G. (2012). Cold water immersion and recovery from strenuous exercise: a meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 46(4), 233-240. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2011-090061>
- Levesque, D., Nowack, J., & Boyles, J. (2021). Body temperature frequency distributions: a tool for assessing thermal performance in endotherms? *Frontiers in Physiology*, 12, 760797. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.760797>

- Machado, A. F., Ferreira, P. H., Micheletti, J. K., de Almeida, A. C., Lemes, Í. R., Vanderlei, F. M., Netto Junior, J., & Pastre, C. M. (2016). Can water temperature and immersion time influence the effect of cold water immersion on muscle soreness? A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 46, 503-514. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0431-7>
- Makivić, B., Nikić Djordjević, M., & Willis, M. S. (2013). Heart Rate Variability (HRV) as a tool for diagnostic and monitoring performance in sport and physical activities. *Journal of Exercise Physiology Online*, 16(3).
- Mawhinney, C., Jones, H., Joo, C. H., Low, D. A., Green, D. J., & Gregson, W. (2013). Influence of cold-water immersion on limb and cutaneous blood flow after exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 45(12), 2277-2285. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31829d8e2e>
- McCraty, R., & Shaffer, F. (2015). Heart rate variability: new perspectives on physiological mechanisms, assessment of self-regulatory capacity, and health risk. *Global Advances in Health and Medicine*, 4(1), 46-61. <https://doi.org/10.7453/gahmj.2014.073>
- Michael, S., Graham, K. S., & Davis, G. M. (2017). Cardiac autonomic responses during exercise and post-exercise recovery using heart rate variability and systolic time intervals—a review. *Frontiers in Physiology*, (8th, pp.301. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00301>
- Murray, A., & Cardinale, M. (2015). Cold applications for recovery in adolescent athletes: a systematic review and meta analysis. *Extreme Physiology & Medicine*, 4, 1-15. <https://doi.org/10.1186/s13728-015-0035-8>
- Nunan, D., Sandercock, G. R., & Brodie, D. A. (2010). A quantitative systematic review of normal values for short-term heart rate variability in healthy adults. *Pacing and Clinical Electrophysiology*, 33(11), 1407-1417. <https://doi.org/10.1111/j.1540-8159.2010.02841.x>

- Orcioli-Silva, D., Beretta, V. S., Dos Santos, P. C. R., Rasteiro, F. M., Marostegan, A. B., Vitória, R., Gobatto, C. A., & Manchado-Gobatto, F. B. (2024). Cerebral and muscle tissue oxygenation during exercise in healthy adults: A systematic review. *Journal of Sport and Health Science*. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2024.03.003>
- Parouty, J., Al Haddad, H., Quod, M., Leprêtre, P. M., Ahmaidi, S., & Buchheit, M. (2010). Effect of cold water immersion on 100-m sprint performance in well-trained swimmers. *European Journal of Applied Physiology*, 109, 483-490. <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1381-2>
- Peake, J. M., Roberts, L. A., Figueiredo, V. C., Egner, I., Krog, S., Aas, S. N., ... & Raastad, T. (2017). The effects of cold water immersion and active recovery on inflammation and cell stress responses in human skeletal muscle after resistance exercise. *The Journal of Physiology*, (595(3)), pp. 695-711). <https://doi.org/10.1113/JP272881>
- Pelvan, S. O., & Çotuk, B. (2016). Investigation of the Effect of Inhalation of Hyperoxic Gas between High Intensity Rowing Exercises on the Muscle Tissue Oxygen Consumption Level Using Functional Near Infrared Spectroscopy. *Clinical and Experimental Health Sciences*, 4.
- Perrey, S., & Ferrari, M. (2018). Muscle oximetry in sports science: a systematic review. *Sports Medicine*, 48, 597-616. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0820-1>
- Peiffer, J. J., Abbiss, C. R., Watson, G., Nosaka, K., & Laursen, P. B. (2009). Effect of cold-water immersion duration on body temperature and muscle function. *Journal of sports sciences*, 27(10), 987-993. <https://doi.org/10.1080/02640410903207424>
- Praagman, M., Veeger, H., Chadwick, E., Colier, W., & Van Der Helm, F. (2003). Muscle oxygen consumption, determined by NIRS, in relation to external force

and EMG. *Journal of biomechanics*, 36(7), 905-912.  
[https://doi.org/ 10.1016/s0021-9290\(03\)00081-2](https://doi.org/10.1016/s0021-9290(03)00081-2)

Quaresima, V., & Ferrari, M. (2002). More on the use of near-infrared spectroscopy to measure muscle oxygenation in humans. *European journal of applied physiology*, 88(3), 294. <https://doi.org/10.1007/s00421-002-0680-7>

Rowell, G. J., Coutts, A. J., Reaburn, P., & Hill-Haas, S. (2011). Effect of post-match cold-water immersion on subsequent match running performance in junior soccer players during tournament play. *Journal of sports sciences*, 29(1), 1-6. <https://doi.org/10.1080/02640414.2010.512640>

Salahuddin, L., Cho, J., Jeong, M. G., & Kim, D. (2007). Ultra short term analysis of heart rate variability for monitoring mental stress in mobile settings. 2007 29th annual international conference of the iee engineering in medicine and biology society, <https://doi.org/10.1109/IEMBS.2007.4353378>

Scano, A., Zanoletti, M., Pirovano, I., Spinelli, L., Contini, D., Torricelli, A., & Re, R. (2019). NIRS-EMG for clinical applications: A systematic review. *Applied Sciences*, 9(15), 2952. <https://doi.org/10.3390/app9152952>

Schlader, Z. J., & Vargas, N. T. (2019). Regulation of body temperature by autonomic and behavioral thermoeffectors. *Exercise and sport sciences reviews*, (47(2), 116-126). <https://doi.org/10.1249/JES.0000000000000180>

Shaffer, F., & Ginsberg, J. P. (2017). An overview of heart rate variability metrics and norms. *Frontiers in public health*, 5, 258. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00258>

Shaffer, F., McCraty, R., & Zerr, C. L. (2014). A healthy heart is not a metronome: an integrative review of the heart's anatomy and heart rate variability. *Frontiers in psychology*, 5, 1040. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01040>

- Shepherd, J. T., Rusch, N. J., & Vanhoutte, P. M. (1983). Effect of cold on the blood vessel wall. *General Pharmacology: The Vascular System*, (14(1), 61-64). [https://doi.org/10.1016/0306-3623\(83\)90064-2](https://doi.org/10.1016/0306-3623(83)90064-2)
- Singh, G., Bennett, K., Taylor, L., & Stevens, C. (2023). Core body temperature responses during competitive sporting events: a narrative review. *Biology Of Sport*, 40(4), 1003-1017. <https://doi.org/10.5114/biolsport.2023.124842>
- Šrámek, P., Šimečková, M., Janský, L., Šavlíková, J., & Vybíral, S. (2000). Human physiological responses to immersion into water of different temperatures. *European Journal Of Applied Physiology*, 81, 436-442. <https://doi.org/10.1007/s004210050065>
- Stanley, J., Peake, J. M., & Buchheit, M. (2013). Cardiac parasympathetic reactivation following exercise: implications for training prescription. *Sports Medicine*, 43, 1259-1277. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0083-4>
- Stephens, J. M., Halson, S., Miller, J., Slater, G. J., & Askew, C. D. (2017). Cold-water immersion for athletic recovery: one size does not fit all. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(1), 2-9. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0095>
- Şayli, Ö., Biçer, B., Uzun, S., Pelvan, O., Akın, A., & Çotuk, B. (2011). Yakın kızılaltı spektroskopisi ve yüzeysel elektromiyografi kullanarak kas yorgunluğu inceleme çalışmaları. *Clinical and Experimental Health Sciences*, 1(1), 17-25.
- Tee, J. C., Bosch, A. N., & Lambert, M. I. (2007). Metabolic consequences of exercise-induced muscle damage. *Sports Medicine*, 37, 827-836. <https://doi.org/10.2165/00007256-200737100-00001>
- Vaile, J., Halson, S., Gill, N., & Dawson, B. (2008). Effect of hydrotherapy on recovery from fatigue. *International Journal Of Sports Medicine*, 29(07), 539-544. <https://doi.org/10.1055/s-2007-989267>

- Vaile, J. M., Gill, N. D., & Blazevich, A. J. (2007). The effect of contrast water therapy on symptoms of delayed onset muscle soreness. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(3), 697-702. <https://doi.org/10.1519/R-19355.1>
- Veicsteinas, A., Ferretti, G., & Rennie, D. W. (1982). Superficial shell insulation in resting and exercising men in cold water. *Journal of Applied Physiology*, 52(6), 1557-1564. <https://doi.org/10.1152/jappl.1982.52.6.1557>
- White, G. E., & Wells, G. D. (2013). Cold-water immersion and other forms of cryotherapy: physiological changes potentially affecting recovery from high-intensity exercise. *Extreme physiology & medicine*, 2, 1-11. <https://doi.org/10.1186/2046-7648-2-26>
- Wiewelhove, T., Raeder, C., Meyer, T., Kellmann, M., Pfeiffer, M., & Ferrauti, A. (2015). Markers for routine assessment of fatigue and recovery in male and female team sport athletes during high-intensity interval training. *PloS one*, 10(10), e0139801. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0139801>
- Wilcock, I. M., Cronin, J. B., & Hing, W. A. (2006). Physiological response to water immersion: a method for sport recovery? *Sports Medicine*, 36, 747-765. <https://doi.org/10.2165/00007256-200636090-00003>
- Wright Jr, K. P., Hull, J. T., & Czeisler, C. A. (2002). Relationship between alertness, performance, and body temperature in humans. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 283(6), R1370-R1377. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00205.2002>
- Xiao, F., Kabachkova, A. V., Jiao, L., Zhao, H., & Kapilevich, L. V. (2023). Effects of cold water immersion after exercise on fatigue recovery and exercise performance--meta analysis. *Frontiers in Physiology*, 14, 1006512. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1006512>

Yanagisawa, O., Niitsu, M., Yoshioka, H., Goto, K., Kudo, H., & Itai, Y. (2003). The use of magnetic resonance imaging to evaluate the effects of cooling on skeletal muscle after strenuous exercise. *European Journal Of Applied Physiology*, 89, 53-62. <https://doi.org/10.1007/s00421-002-0749-3>

## 9. ÖZGEÇMİŞ

Adı	Miray	Soyadı	İLHAN
Doğum Yeri		Doğum Tarihi	
Uyruğu		Tel	
E-mail			

### Eğitim Düzeyi

	Mezun Olduğu Kurumun Adı	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Marmara Üniversitesi	2025
Lisans	İstanbul Üniversitesi	2021

### İş Deneyimi

Görevi	Kurum	Süre (Yıl - Yıl)						
Arş.Gör.	Marmara Üniversitesi	(2025-)						
Arş.Gör.	İstanbul Nişantaşı Üniversitesi	(2023-2025)						
Yabancı Dilleri	Okuduğunu Anlama*	Konuşma*	Yazma*					
İngilizce								
Yabancı Dil Sınav Notu #								
YDS	ÜDS	IELTS	TOEFL IBT	TOEFL PBT	TOEFL CBT	FCE	CAE	CPE
Sayısal		Eşit Ağırlık		Sözel				
ALES Puanı								

### Bilgisayar Bilgisi

Program	Kullanma Becerisi
Microsoft Office Programları (Excel, Word, Power Point)	

## 10. BİLİMSEL FAALİYETLER

Pelvan, S. O., & İlhan, M. (2025). Examination of heart rate and intramuscular oxygen saturation variability in the gradually increasing running test. *Spor Eğitim Dergisi*, 9(2). 1689852, [dergipark.gov.tr/seder](http://dergipark.gov.tr/seder)

Doğru, Z. C., Tutar, M., & İlhan, M. (2024). A physical fitness perspective on physical education lesson with Rampage method application. *Balneo and PRM Research Journal*, 15(2). <https://doi.org/10.12680/balneo.2024.686>

İlhan, M., & Pelvan, O. (2025, May 8-11). Maksimal yük egzersizleri sonrası toparlanma esnasında kas içi oksijen saturasyonu değışkenliğinin incelenmesi. 6. Uluslararası Atletik Performans ve Sporda Sağlık Kongresi (ICAPHS'25).

İlhan, Ö., Bayraktar, B., İlhan, M., & Yılmaz, A. E. (2024, November 21-24). Futbolcularda çoklu görevlerin dikkati yönetebilme becerisi üzerine etkisi. 22. Uluslararası Spor Bilimleri Kongresi- 22nd International Sports Sciences Congress, Türkiye.  
[https://drive.google.com/file/d/1ro0wvHbNWF3s8QUJ\\_UDodUsYKaTS\\_gT9/view](https://drive.google.com/file/d/1ro0wvHbNWF3s8QUJ_UDodUsYKaTS_gT9/view).

## 11.EKLER

### 11.1. GÖNÜLLÜ ONAY FORMU

Gönüllüye araştırmadan önce verilmesi gereken bilgileri gösteren metni okudum. Bunlar hakkında bana yazılı ve sözlü açıklamalar yapıldı. Bu koşullarla söz konusu klinik araştırmaya kendi rızamla hiçbir baskı ve zorlama olmaksızın katılmayı kabul ediyorum.

Gönüllünün

Adı-soyadı

Telefon No

Adresi

İmzası

Açıklamaları yapan araştırmacının

Adı-soyadı

İmzası

Rıza alma işlemine başından sonuna kadar tanıklık eden kuruluş görevlisinin

Adı-soyadı

Görevi

İmzası

## 11.2. VERİ TOPLAMA FORMU

### *Belirleyici Test*

**Katılımcı:**

**Saat:**

<i>Antropometrik Ölçümler</i>	
<i>Yaş (yıl)</i>	
<i>Boy(cm)</i>	
<i>Vücut Ağırlığı (kg)</i>	
<i>BMI (kg /m<sup>2</sup> )</i>	
<i>Yağ ( % )</i>	
<i>Spor Yaşı (yıl)</i>	

<i>Belirleyici Test</i>	
<i>Dinlenik KAH (en yüksek)</i>	
<i>Dinlenik KAH (en düşük)</i>	
<i>Isınma KAH(en yüksek)</i>	
<i>Isınma KAH (en düşük)</i>	
<i>Test Esnasında KAH (en yüksek)</i>	
<i>Test Esnasında KAH (en düşük)</i>	
<i>En Yüksek Koşu Hızı</i>	
<i>En Düşük Koşu Hızı</i>	

**Katılımcı:**

**Saat:**

<b>1. YÜKLENME</b>	<b>KAH</b>	<b>YKAS</b>	
<i>Isınma KAH ve YKAS(en yüksek)</i>			
<i>Isınma KAH ve YKAS (en düşük)</i>			
<i>Yüklenme KAH ve YKAS (en yüksek)</i>		<i>üst ekstremité:</i>	<i>alt ekstremité:</i>
<i>Yüklenme KAH ve YKAS (en düşük)</i>		<i>üst ekstremité:</i>	<i>alt ekstremité:</i>

<b>Dinlenme - Soğuk Uygulama</b>	<b>KAH</b>	<b>YKAS</b>	
<i>KAH ve YKAS(en yüksek)</i>		<i>üst ekstremité:</i>	<i>alt ekstremité:</i>
<i>KAH ve YKAS (en düşük)</i>		<i>üst ekstremité:</i>	<i>alt ekstremité:</i>

<b>2. YÜKLENME</b>	<b>KAH</b>	<b>YKAS</b>	
<i>Yüklenme KAH ve YKAS (en yüksek)</i>		<i>üst ekstremité:</i>	<i>alt ekstremité:</i>
<i>Yüklenme KAH ve YKAS (en düşük)</i>		<i>üst ekstremité:</i>	<i>alt ekstremité:</i>

<b>Dinlenme</b>	
<i>KAH (en yüksek)</i>	
<i>KAH (en düşük)</i>	