

ZEYNEP KOLUMAN

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ SAĞ. BİL. ENST.

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İSTANBUL-2025



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

TÜM VÜCUT KRİYOTERAPİNİN EGZERSİZE BAĞLI
YORGUNLUK
SONRASI İZOKİNETİK PERFORMANS ÜZERİNE ETKİSİ

ZEYNEP KOLUMAN

DANIŞMAN
PROF. DR. BÜLENT BAYRAKTAR

SPOR HEKİMLİĞİ ANABİLİM DALI EGZERSİZ
FİZYOLOJİSİ 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 çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığı beyan ederim.

Fzt. Zeynep KOLUMAN

İTHAF

Bu çalışmayı, hayat serüvenimin her aşamasına tanıklık eden, her bakımdan yanımda olan ve beni ben yapan her şeyi borçlu olduğum değerli aileme ithaf ediyorum.

Fzt. Zeynep KOLUMAN

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmam boyunca, akademik kariyerimde rehberlik eden, bilgi birikimi ve engin tecrübesiyle yolumu aydınlatan, bilimsel disiplin ve insan odaklı yaklaşımıyla bana örnek olan saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Bülent Bayraktar'a;

Eğitim hayatımın ilk gününden itibaren bizlere rehberlik eden, akademik ufkumu genişleten; sunduğu imkânlar ve verdiği manevi destekle bölümümüzde bana güç kaynağı olan, her zaman yanımda hissettiğim değerli hocam Öğr. Gör. Türker Şahinkaya'ya;

Alanlarında engin bilgi birikimi, akademik yetkinlikleri ve örnek kişilikleriyle daima ilham kaynağım olan; tez sürecimde kıymetli zamanlarını ayırarak çalışmamı titizlikle okuyup değerlendiren değerli hocalarım Prof. Dr. Ümmihan İsoğlu ve Prof. Dr. Gökhan Metin'e;

Yüksek lisans eğitimim süresince bilgi ve deneyimlerini bizlerle paylaşan; akademik birikimleri ve insani değerleriyle daima örnek aldığım, değerli hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Şensu Dinçer'e, Dr. Öğr. Üyesi Sertaç Yakal'a ve Dr. Öğr. Üyesi Sergen Devran'a;

Çalışkanlığı, özverisi ve sabrıyla her zaman yanımda olan, mesleki yolculuğumun destekçisi kıymetli meslektaşım Uzm. Fzt. M. Orhun Ayan'a;

Çalışmaya katılım ve desteklerinden dolayı İstanbul Tıp Fakültesi öğrencilerine;

Yaşamım boyunca maddi ve manevi desteğini benden esirgemeyen, her zaman yanımda olan, koşulsuz sevgi ve sabrıyla hayatımın en büyük dayanağı olan canım aileme, sonsuz teşekkürlerimi ve minnet duygularımı sunarım.

Fzt. Zeynep KOLUMAN

İÇİNDEKİLER

BEYAN.....	II
İTHAF.....	III
TEŞEKKÜR	IV
İÇİNDEKİLER	V
TABLolar LİSTESİ.....	Vİİ
ŞEKİLLER LİSTESİ	VIII
SEMBOLLER / KISALTMALAR LİSTESİ	IX
ÖZET	X
ABSTRACT	Xİ
 1. GİRİŞ VE AMAÇ.....	 1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1.Yorgunluk.....	3
2.1.1. Merkezi Yorgunluk.....	4
2.1.2. Periferik Yorgunluk.....	5
2.1.3. Borg Algılanan Efor Derecelendirme Ölçeği.....	7
2.2.SpordaToparlanma.....	8
2.2.1. Rehidratasyon.....	9
2.2.2. Karbonhidrat ve Protein Alımı.....	9
2.2.3. Germe Egzersizleri.....	10
2.2.4. Masaj.....	10
2.2.5. Kompresyon Giysileri.....	10
2.2.6. Hidroterapi.....	10
2.2.7. Kriyoterapi.....	12
2.2.7.1. Tüm Vücut Kriyoterapi (TVK).....	14
2.2.7.2. TVK'nin Fizyolojik Temelleri ve Etki Mekanizması.....	15
2.2.7.3. Standart Protokol.....	19
2.2.7.4. TVK'nin Kontrendikasyonları.....	21
2.3. Soğuk Stresin Kardiyovasküler Sistem Üzerine Etkileri.....	22
2.4. Kuadriseps ve Hamstring Kasları.....	23
2.5. İzokinetik Dinamometre.....	26
2.6. Dinamik Egzersizin Kardiyovasküler Sistem Üzerine Etkileri.....	27

3. GEREÇ VE YÖNTEM.....	29
3.1. Diz Ekstansiyon-Fleksiyon İzokinetik Testi.....	30
3.2. Kan Basıncı ve Kalp Hızı Ölçümü.....	33
3.3. Satürasyon Ölçümü.....	34
3.4. Koşuya Bağlı Yorgunluk Protokolü.....	35
3.5. Borg Skalası.....	38
3.6. Tüm Vücut Kriyoterapi (TVK).....	39
3.7. Pasif Dinlenme (PD).....	41
3.8. İstatistiksel Değerlendirme.....	42
4. BULGULAR.....	43
4.1. Pik Tork Değerleri.....	43
4.2. Sistolik ve Diyastolik Kan Basıncı Değerleri.....	52
4.3. Borg Skalası Değerleri.....	53
4.4. Kalp Hızı Değerleri.....	54
4.5. Satürasyon Değerleri.....	54
5. TARTIŞMA.....	52
6. SINIRLILIKLAR.....	73
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	74
KAYNAKLAR.....	73
ETİK KURUL KARARI	HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ.
FORMLAR	92
İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI.....	94

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 4.1: Katılımcıların Demografik Özellikleri.....	43
Tablo 4.2: 60°/sn’de Diz Ekstansiyonu Kuvvet Değerleri.....	44
Tablo 4.3: 240°/sn’de Diz Ekstansiyonu Yapılan Toplam İş Değerleri.....	44
Tablo 4.4: 60°/sn’de Diz Fleksiyonu Kuvvet Değerleri.....	45
Tablo 4.5: 240°/sn’de Diz Fleksiyonu Yapılan Toplam İş Değerleri.....	45
Tablo 4.6: İST Durumu, PD ve TVK Koşullarına Ait İzokinetik Parametrelerin Karşılaştırması.....	46
Tablo 4.7: İST Durumu, PD ve TVK Koşullarına Ait İzokinetik Parametrelerin İkili Karşılaştırması.....	47
Tablo 4.8: PD ve TVK Koşullarına Ait Sistolik ve Diyastolik Kan Basıncı Değerleri.....	53
Tablo 4.9: PD ve TVK Koşullarına Ait Borg Skalası Değerleri.....	54
Tablo 4.10: PD ve TVK Koşullarına Ait Kalp Hızı Değerleri.....	54
Tablo 4.11: PD ve TVK Koşullarına Ait Satürasyon Değerleri.....	55
Tablo 4.12: TVK Koşuluna Ait SKB Değerleri ve Aralarındaki Anlamlılık Düzeyi.....	56
Tablo 4.13: TVK Koşuluna Ait DKB Değerleri ve Aralarındaki Anlamlılık Düzeyi.....	56
Tablo 4.14: TVK Koşuluna Ait Kalp Hızı Değerleri ve Aralarındaki Anlamlılık Düzeyi.....	57
Tablo 4.15: TVK Koşuluna Ait Satürasyon Değerleri ve Aralarındaki Anlamlılık Düzeyi.....	57

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1: Yorgunluk Modeli.....	6
Şekil 2.2: Borg Skalası.....	7
Şekil 2.3: Sporda Toparlanma Stratejileri.....	8
Şekil 2.4: TVK'nin Olası Fizyolojik Etkileri.....	19
Şekil 2.5: Soğuk Stresin Kardiyovasküler Etkileri.....	23
Şekil 2.6: Kuadriseps Kası.....	24
Şekil 2.7: Hamstring Kası.....	25
Şekil 2.8: Dinamik Egzersizin Kardiyovasküler Etkileri.....	28
Şekil 3.1: Oturur Pozisyonda Diz Ekstansiyon-Fleksiyon İzokinetik Testi.....	31
Şekil 3.2: Diz Ekstansiyon-Fleksiyon İzokinetik Test Raporu ve İncelenen Değerler.....	32
Şekil 3.3: Tansiyon Aleti.....	33
Şekil 3.4: Katılımcının Kan Basıncı ve Kalp Hızı Değerlerinin Kaydedilmesi.....	34
Şekil 3.5: Oksimetre Cihazı.....	34
Şekil 3.6: Katılımcının Satürasyon Değerlerinin Kaydedilmesi.....	35
Şekil 3.7: Polar H10 Kalp Hızı Monitörü.....	37
Şekil 3.8: Koşuya Bağlı Yorgunluk Protokolünün Uygulanması.....	37
Şekil 3.9: Borg Skalası.....	38
Şekil 4.4: TVK Öncesi Katılımcının Son Hali.....	41

SEMBOLLER / KISALTMALAR LİSTESİ

SSD:	Soğuk Suya Daldırma
TVK:	Tüm Vücut Kriyoterapi
EBKH:	Egzersize Bağlı Kas Hasarı
MSS:	Merkezi Sinir Sistemi
PSS:	Periferik Sinir Sistemi
ATP:	Adenozin Trifosfat
GABA:	Gama-aminobütirik Asit
ROT:	Reaktif Oksijen Türleri
ADP:	Adenozin Difosfat
EHA:	Eklem Hareket Açıklığı
GBKA:	Gelişmiş Başlangıçlı Kas Ağrısı
VKİ:	Vücut Kitle İndeksi
PT:	Pik Tork
PT-VA:	Vücut Ağırlığına Göre Pik Tork
Nm:	Newtonmetre
Nm/kg:	Newtonmetre/kilogram
CMJ:	Countermovement Jump
PD:	Pasif Dinlenme
İST:	İstirahat
SKB:	Sistolik Kan Basıncı
DKB:	Diyastolik Kan Basıncı
IL:	İnterlöklin
TNF:	Tümör Nekroz Faktörü

ÖZET

KOLUMAN, Z. (2025). Tüm Vücut Kriyoterapinin Egzersize Bağlı Yorgunluk Sonrası İzokinetik Performans Üzerine Etkisi. İstanbul Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Spor Hekimliği ABD. Egzersiz Fizyolojisi Programı Yüksek Lisans Tezi. İstanbul.

Egzersiz sonrası ortaya çıkan yorgunluğu ve kas ağrısını önlemek veya en aza indirmek amacıyla çeşitli toparlanma yöntemleri kullanılmaktadır. Bu toparlanma yöntemlerinden biri olan Tüm Vücut Kriyoterapi (TVK) özel olarak tasarlanmış bir kabinde soğuk havaya kısa süreli maruziyeti içerir ve bu yöntemin egzersiz sonrası toparlanma için etkili bir müdahale olduğu öne sürülmektedir. Bu çalışmanın amacı TVK uygulamasının egzersize bağlı yorgunluk sonrası gelişen kas kuvvetindeki azalma üzerine etkisini belirlemektir. Çalışma her katılımcının iki farklı toparlanma yöntemini farklı günlerde uyguladığı çapraz geçişli bir tasarıma göre yürütüldü. Çalışmaya fiziksel olarak aktif olan sağlıklı 30 erkek (yaş: $20,77 \pm 1,61$ kilo: $80,63 \pm 10,75$ boy: $180,37 \pm 4,57$) dahil edildi. Tüm katılımcıların başlangıç değerlendirmesinde demografik bilgileri alındı ve izokinetik dinamometre ile diz ekstansör ve fleksör grup kasları değerlendirildi. Her katılımcıda koşuya bağlı yorgunluk geliştirildikten sonra farklı günlerde TVK ve pasif dinlenme (PD) protokolleri uygulandı. Müdahaleden 30 dakika sonra katılımcıların izokinetik dinamometre ile diz ekstansiyon ve fleksiyon kuvvet ve dayanıklılık parametreleri $60^\circ/s$ ve $240^\circ/s$ açısal hızlarda tekrar değerlendirildi. Verilerin istatistiksel analizi için SPSS 30 versiyonu kullanıldı. Çalışma sonucunda, katılımcıların dominant ve dominant olmayan ekstremitelerinde $60^\circ/s$ açısal hızda ölçülen diz ekstansiyon ve fleksiyon kas kuvveti parametrelerinin (PT ve PT-VA), TVK uygulaması sonrasında PD'ye kıyasla anlamlı derecede daha yüksek olduğu saptandı ($p < 0,05$). Buna karşın, $240^\circ/s$ açısal hızda yapılan değerlendirmelerde iki toparlanma yöntemi arasında anlamlı bir fark bulunmadı ($p > 0,05$). Bu bulgular, aerobik temelli bir egzersiz sonrasında meydana gelen yorgunluğun akut toparlanma sürecinde TVK'nin özellikle düşük açısal hızlarda kas kuvvetinin korunması açısından PD'ye göre daha etkili bir yöntem olabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Kriyoterapi, Yorgunluk, Toparlanma, Tüm Vücut Kriyoterapi, İzokinetik Dinamometre

ABSTRACT

Koluman, Z. (2025). Effect of Whole-Body Cryotherapy on Isokinetic Performance After Exercise-Induced Fatigue. Istanbul University Institute of Health Sciences, Department of Sports Medicine. Exercise Physiology Program Master's Thesis. Istanbul.

Various recovery methods are used to prevent or minimize fatigue and muscle soreness that occur after exercise. One of these methods, Whole-Body Cryotherapy (WBC), involves short-term exposure to cold air in a specially designed chamber, and it has been suggested as an effective intervention for post-exercise recovery. The aim of this study was to determine the effect of WBC on the reduction in muscle strength following exercise-induced fatigue. The study was conducted with a crossover design in which each participant underwent two different recovery methods on separate days. Thirty physically active and healthy male participants (age: 20.77 ± 1.61 years, weight: 80.63 ± 10.75 kg, height: 180.37 ± 4.57 cm) were included. At baseline, demographic information was collected, and quadriceps and hamstring muscles were assessed using an isokinetic dynamometer. After inducing fatigue through treadmill running, participants completed either WBC or passive rest (PR) protocols on separate days. Thirty minutes after the intervention, quadriceps and hamstring strength and endurance parameters were reassessed at angular velocities of $60^\circ/\text{s}$ and $240^\circ/\text{s}$ using the isokinetic dynamometer. Statistical analyses were performed using SPSS version 30. The results demonstrated that, at $60^\circ/\text{s}$ angular velocity, quadriceps and hamstring muscle strength parameters (PT and PT-BW) were significantly higher following WBC compared to PR in both dominant and non-dominant extremities ($p < 0.05$). In contrast, no significant differences were observed between the two recovery methods at $240^\circ/\text{s}$ angular velocity ($p > 0.05$). These findings suggest that WBC may be a more effective recovery method than PR in preserving muscle strength during the acute recovery period after aerobic exercise, particularly at lower angular velocities.

Keywords: Cryotherapy, Fatigue, Recovery, Whole-Body Cryotherapy, Isokinetic Dynamometer

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Tekrarlı kas aktivitesi içeren egzersizin, kas liflerinde yapısal hasar oluşturduğu ve bir dizi inflamatuvar olaya neden olduğu bilinmektedir [1]. Bu fizyolojik sürecin sonuçlarından biri kasın kuvvet üretme kapasitesinde azalmadır [2]. Kas torkunda azalma, yetersiz ve etkin olmayan toparlanmanın en önemli göstergelerindendir [2] ve sonraki egzersiz performansını etkileyebilir [3].

Yorgunluk; egzersiz sırasında kas gücü ve kuvvetinde azalma [4], egzersize bağlı olarak performansta azalma veya bozulma [4, 5] ya da sporcunun, fizyolojik ve mental yükünün kronik olarak artması sonucu, yarışma öncesi fizyolojik ve psikolojik fonksiyonunda azalma [6] şeklinde tanımlanabilir. Yorucu egzersiz sonrası hasar görmüş kas dokusunu kompanse etmek için, daha küçük kas gruplarının harekete katılması sonucu kuvvet üretiminde azalma olduğu görülür ve kuvvet üretiminde görülen bu azalma, etkilenmiş kas gruplarının yaralanma riskini artırır [7].

Tekrarlı antrenman veya yarışlarda optimal düzeyde performans sergileme kabiliyeti sporcunun başarısı açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle sporcular toparlanmayı hızlandırmak ve yoğun efor sonrası görülen değişimleri hafifletmek amacıyla çeşitli yöntemler kullanır [8]. Kriyoterapi yaygın olarak kullanılan bir toparlanma yöntemidir ve bölgesel buz uygulamaları, soğuk suya daldırma (SSD) ya da tüm vücut kriyoterapi (TVK) gibi tedavi amacıyla kullanılan soğuk uygulamaları kapsar [9]. Kriyoterapi sonrası kas ve cilt sıcaklığında meydana gelen düşüş; fizyolojik mekanizmalarda ve nöromüsküler, kardiyovasküler ve hormonal sistemlerde değişikliklere neden olur. Bu değişikliklerden bazıları azalmış inflamasyon, analjezi, kardiyovasküler zorlanmada azalma, kan akışının azalması, doku metabolizmasının azalması ve kas metabolitlerinin daha iyi uzaklaştırılmasını içerir [10].

Kriyoterapi uzun yıllardan beri ağrı ve inflamasyonu azaltmak için kullanılmakta olup [11], günümüzde ise sporcu popülasyonunda da yaygın olarak tercih edilmektedir. Sporcular tarafından, yorucu bir egzersizin sonrasındaki performans üzerinde oluşturacağı negatif etkileri azaltmak amacıyla kullanılan popüler bir toparlanma aracı olarak görülmektedir [12, 13]. Kriyoterapinin, egzersize bağlı kas hasarı (EBKH) sonrası inflamatuvar yanıtı sönümleyerek ve analjezik etki oluşturarak toparlanmaya yardımcı olduğu öne sürülmüştür [14].

TVK, sıcaklığın kontrol edildiği özel odalarda, soğuk havaya kısa süreli maruziyeti içerir [14]. İlk olarak 1970'lerin sonunda Toshiro Yamauchi tarafından romatoid artrit tedavisinde kullanılmıştır [15]. Daha sonra klinikte romatolojik hastalıkların tedavisinde sık olarak kullanılmaya başlanmış ve bu hastalarda ağrıyı [16], ödemi ve inflamasyonu azalttığı ve aynı zamanda muskuloskeletal gevşeme sağladığı ve eklem hareket açıklığı (EHA)'nı artırdığı görülmüştür [17]. Kriyoterapinin yeni bir formu olan TVK, başlangıçta kronik inflamatuvar durumlarda anti-inflamatuvar etkisi olan bir tedavi olarak uygulanmış ancak zamanla sporcu popülasyonu içinde yaygınlaşmıştır [18]. Güncel olarak spor hekimliğinde kabul görmüş olan TVK, kas hasarı sonrası toparlanmayı geliştirme, aşırı kullanım sendromunu önleme ve antrenman seansları arasında toparlanmayı hızlandırma yöntemi olarak kullanılmaktadır [14]. Bu tedaviye ilginin sebebi, TVK'nin sağladığı aşırı düşük sıcaklıklar ile SSD gibi kriyoterapi yöntemlerinin etkisini artırabilme ve toparlanma süresini kısaltabilme potansiyelinden kaynaklanmaktadır [19].

Koşu aktivitesi, birçok fizyolojik sistemi ilgilendiren tüm vücut egzersizi olduğundan, TVK'nin bu yöntemi izleyerek toparlanmayı geliştirip geliştiremeyeceğini belirlemek yararlı olabilir. İzole eksenrik diz ekstansiyonu [20] ve dirsek fleksiyonu [21] gibi kas hasarı ve yorgunluk oluşturan protokoller TVK kaynaklı herhangi bir toparlanma yanıtının sporda genel toparlanmaya uyarlanması açısından daha az elverişli olabilir. Koşu ve antrenman sonrası yorgunluğun etkisinin daha iyi yönetilmesi ve alt ekstremite nöromusküler yanıtının yorgunluk öncesi duruma getirilmesi, antrenman programlarını geliştirmeyi ve yaralanma riskini azaltmayı sağlayabilir.

Bu çalışmada, koşuya bağlı gelişen akut yorgunluk sonrası iki farklı toparlanma yöntemi olan pasif dinlenme (PD) ve TVK'nin alt ekstremite kaslarının kuvvet yanıtlarına olan etkisi değerlendirildi. TVK'nin yorgunluğu giderme ve kuvvette geri dönüş sağlama potansiyeli, sporda toparlanmayı geliştirme bağlamında incelendi. Çalışma, kriyoterapinin öne sürülen yararlarından toparlanmayı hızlandırdığı görüşünün, yorgunluk oluşturan aerobik egzersiz sonrası PD'ye kıyasla toparlanma parametrelerinden biri olan kas kuvveti üzerine üstün özellikleri olup olmadığını incelemek amacıyla yapıldı.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Yorgunluk

Yorgunluk, iş kapasitesinde düşme ve basit veya daha karmaşık görevleri sürdürmek için gerekli kas kuvvetini üretememe ile karakterize edilen karmaşık çok yönlü bir kavramdır [22]. Dış bir uyaran tarafından talep edilen enerji üretimindeki artış, homeostazın bozulmasına neden olur. Yorgunluk, bir görevin veya egzersizin zorluğunda artış sonucu görülen fiziksel performansta azalmanın yanı sıra egzersizler sırasında kasların belirli bir kuvvet düzeyini sürdürememesi olarak tanımlanabilir [23]. Spor bilimleri açısından bakıldığında yorgunluğa sebep olan dış uyaran fiziksel efordur ve bu, kas lifleri içinde belirli metabolitlerin birikmesine veya korteksten yetersiz motor komut verilmesine yol açar [24]. Yorgunluğu yönetmek; antrenmana adaptasyon ve sporcunun yarışa hazırlanmasını sağlamak açısından oldukça önemlidir [25]. Ayrıca işlevsel olmayan aşırı yüklenmeleri ve yaralanmaya duyarlılığı azaltır [26].

Egzersizin yoğunluğu, egzersize katılan kas kütlesi, egzersizin türü ve süresi yorgunluk mekanizmalarını etkileyebilir [27]. Bu nedenle yorgunluğun spor ve egzersiz bilimleri açısından tanımlanması, birçok parametreden etkilenmesi dolayısıyla karmaşık bulunmaktadır .

Antrenman sonrası oluşan akut yorgunluğun doğru yönetimi, antrenman programının faydalarını optimize etmek ve yaralanma riskini azaltmak açısından önemlidir [28]. Bu bağlamda, akut yorgunluk, antrenman aktivitesiyle eş zamanlı olarak meydana gelen yorgunluğun başlangıcını ifade eder ve etkisi aktivite sırasında ve/veya aktiviteden sonraki 30 dakika içinde ölçülür [29].

Yorgunluğun etiyojisi iki ana yoldan kaynaklanır: merkezi sinir sistemi (MSS) yoluyla gerçekleşen merkezi yorgunluk ya da periferik sinir sistemi (PSS) yoluyla gerçekleşen ve kasları ilgilendiren periferik yorgunluk (Şekil 2.1) [30]. Merkezi yorgunluk, motor korteksten köken alan ve motor nöronlardan gelen uyarıların sıklığı ve senkronizasyonunda bir düşüş sonucu kasların istemli aktivasyonunda azalma olarak tanımlanır. Periferik yorgunluk ise, kas aksiyon potansiyellerinin iletimiyle ilişkili mekanizmalarda görülen değişiklikler sonucu kas liflerinin kasılma kuvvetinde bir azalma şeklinde tanımlanır [31].

Kas düzeyinde ortaya çıkan periferik yorgunluk, zamansal olarak farklı etkiler gösteren iki temel mekanizmayla ilişkilendirilmektedir. Bunlardan ilki, kas içi metabolik değişikliklere bağlı olarak gelişir. Egzersiz sırasında kasların ATP rezervlerinin azalması ve artan laktat birikimi ile birlikte pH düzeyinin düşmesi, bu sürecin temel unsurlarıdır. Bu tip yorgunluk genellikle kısa sürelidir ve egzersizin bitiminden sonraki birkaç dakika içinde etkisini büyük ölçüde kaybeder. Diğer yandan, daha kalıcı periferik yorgunluk türü, kas fibrillerinde yer alan kasılma sürecine ait çeşitli yapısal ve işlevsel bileşenlerin görevini yeterince yerine getirememesi sonucu ortaya çıkar. Ayrıca, kaslara gönderilen sinirsel uyarıların azalmasına bağlı olarak gelişen merkezi yorgunluk da söz konusudur. Bu tür yorgunluk genellikle uzun süreli fiziksel aktiviteler (örneğin birkaç saat süren egzersizler) sonrasında meydana gelir [32].

2.1.1. Merkezi Yorgunluk

Periferik yorgunluk nöromüsküler kavşakta ve sonrasında veya kasın kendisinde meydana gelen ve performansı düşüren bir süreç olarak tanımlanırken, merkezi yorgunluk ise bu kavşağın öncesinde oluşan süreçleri içerir [33]. Merkezi yorgunluk, performansın düşmesi veya aktivitenin durmasıyla sonuçlanan, motor korteks çıktısının yetersiz üretimi olarak tanımlanır ve bu tanım motor nöronların eksitator idaresinin azalmasını içerir [27, 33]. Motor kortekste motor yolların başlangıcında, impuls azalmasıyla ve α motor nöron aktivitesinin azalmasıyla veya motor sinir boyunca aksiyon potansiyelinin iletiminin azalması yoluyla merkezi yorgunluk gelişebilmektedir [34]. MSS'de motor iradenin azalması yetersiz kas aktivasyonuna yol açar ve kuvvet üretiminde düşüş görülür [35]. Son çalışmalarda merkezi yorgunluğun beyinden kaynaklandığı öne sürülmüştür [31]. Egzersiz sırasında hücre dışı serotonin, gama-aminobütirik asit (GABA), glutamat ve dopamin gibi moleküllerin birikimini içeren biyokimyasal değişiklikler gerçekleşir. Merkezi yorgunluğun etiyolojisi serotonin, dopamin, glutamat ve GABA konsantrasyonlarındaki değişiklikler sonucu beyin biyokimyasındaki değişimlerle açıklanır. Egzersiz yoğunluğunun artması, serotonerjik aktiviteyi artırır. Bu artış uyuşukluk hissi, sinirsel dürtü kaybı ve sonuç olarak motor ünite katılımında azalma ile sonuçlanır [24]. Dopaminin nörotransmisyon süreci, egzersiz kaynaklı mental ve merkezi yorgunluğun başlangıcında en etkili süreçlerden biridir [36].

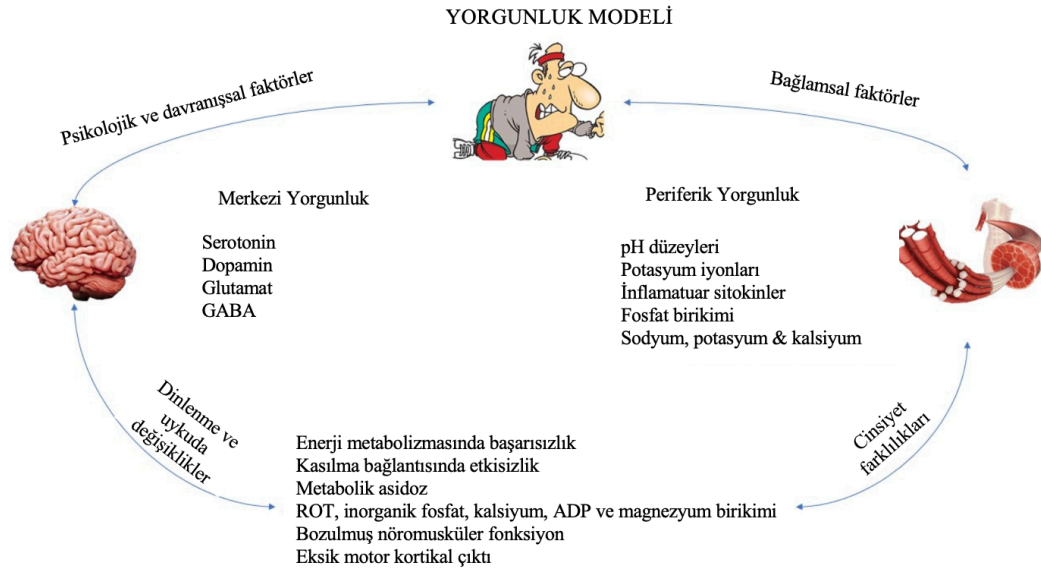
Merkezi yorgunluk fiziksel performansta bozulmanın yanı sıra davranışsal ve duygudurum bozukluklarıyla ilişkili bilişsel yorgunluğa da neden olur. Merkezi yorgunluk durumunun uzun süre devam etmesi, uyku bozukluklarına, depresyona, ağrıya ve yorgunluk hissine yol açabilir [37].

2.1.2. Periferik Yorgunluk

Periferik yorgunluk, nöromüsküler kavşağın etkinliğinin azalması ve kas içindeki metabolik ve biyokimyasal değişiklikler gibi nöromüsküler işlevin ötesindeki süreçler olarak tanımlanır. Periferik yorgunluk, yorgunluk alanının MSS dışında olduğunu belirtir ve nöromüsküler kavşağın distalinde gerçekleşen süreçlerin neden olduğu kas kuvveti üretiminin zayıflaması ile ilişkilidir [27]. Reaktif oksijen türlerinden (ROT) türetilen inorganik fosfatlar, kalsiyum iyonları, laktat, ADP, magnezyum gibi metabolitlerin kan dolaşımında birikmesi ve glikojen depolarının tükenmesi homeostazisi bozan bir faktördür [38]. Bu metabolitlerin birikimi aktin ve miyozin çapraz köprülerinin etkileşimini değiştirir ve ATPaz enziminin aktivitesi azalır [39]. Egzersiz sırasında olan değişiklikler, kan dolaşımında laktat, hidrojen ve amonyak birikimi de dahil olmak üzere, kan laktat birikimi aşıldığında meydana gelir. Ek olarak, ısı birikimi dehidratasyon durumuna yol açabilir. Sarkoplazmada fosfat ve hidrojen birikimi, çapraz köprülerin etkileşiminin inhibisyonu nedeniyle kasılma kuvvetini azaltabilir [38].

Egzersizin bitmesinden hemen önce, egzersizi yapan kasların oksijen gereksinimleri, kalbin bu oksijeni sağlama kapasitesini aşar. Bu, çalışan kaslarda bir anaerobiyoz geliştirir ve laktik asit birikimine neden olur. Kas içi ortamdaki bu değişiklik nedeniyle, devamlı kasılma imkansız hale gelir ve kas başarısızlık durumuna ulaşır [40].

Laktik asit vücutta sadece anaerobik koşullar altında üretilir ve yorgunluk kas içi laktik asit konsantrasyonlarının artmasından kaynaklanır. Çalışan kaslara kan akışı sınırlanır ve laktik asidin oksidatif olarak uzaklaştırılmasını önleyen bir anaerobiyozu neden olur. Bu, kas liflerinin kasılma kabiliyetine doğrudan müdahale eden ve kas yorgunluğuna neden olan kas içinde laktik asit birikimine neden olur [41]. Laktik asit, iskelet kasının kasılma fonksiyonunun değişmesine neden olur [42].



Şekil 2.1: Yorgunluk Modeli [43]

Spor ve egzersiz ile ilişkili yorgunluğu anlamak için yorgunluğun nasıl ölçüldüğünü ve değerlendirildiğini analiz etmek önem kazanmaktadır. Yorgunluğun gelişim mekanizmalarını açıklamak karmaşık olmakla beraber, nöromusküler fonksiyonda, biyomekanik parametrelerde ve fizyolojik süreçlerde değişiklikler ve subjektif yorumlama gibi dolaylı ölçüm yöntemleri ile değerlendirilir [4]. Nöromusküler fonksiyon ve maksimum kuvvet üretim kapasitesi, dikey sıçrama, denge ve maksimal istemli kasılma gibi fonksiyonel testlerle ve maksimum sıçrama yüksekliği, maksimum diz ekstansiyon fleksiyon torku gibi performans ölçümleri ile test edilir [44]. Kas yorgunluğunun güvenilir bir şekilde değerlendirilmesi için kasın kuvvet üretme kapasitesinin doğru ölçümü çok önemlidir [45]. Koşu sırasında ve sonrasında bacağın kinematik, kinetik ve kas aktivitesi açısından değerlendirilmesi, yorgunluğun fonksiyonel açıdan oluşturacağı etkilerin yorumlanması bakımından önem kazanmaktadır. Yorgunluğa bağlı gelişen fizyolojik yanıtlar genellikle kalp atım hızı izleme, kan laktat düzeyi, gaz değişim ölçümleri vb. ile değerlendirilirken, subjektif yorgunluk hissini ölçmek için algılanan efor derecelendirme ölçeği ve görsel analog ölçekler kullanılır [44].

2.1.3. Borg Algılanan Efor Derecelendirme Ölçeği

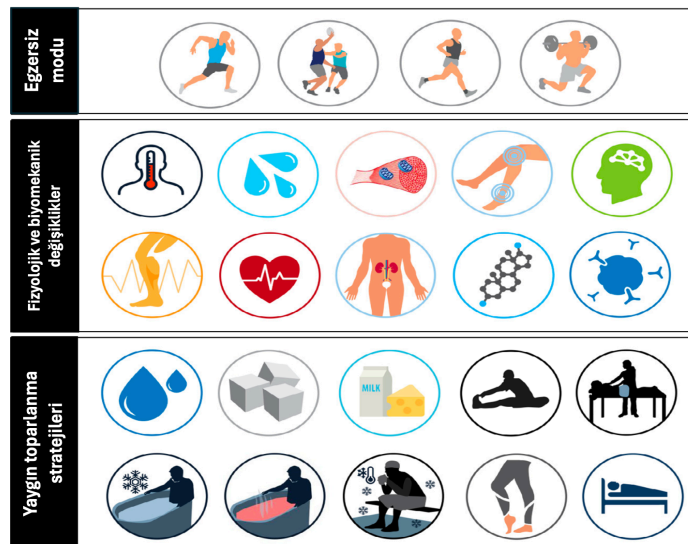
Bireyin egzersize psikolojik, algısal ve motivasyonel tepkilerini ölçmeye çalışan çok sayıda derecelendirme ölçeği geliştirilmiştir. En sık kullanılan algısal ölçek, Borg 6-20 ölçeği ya da Borg Skalası olarak da adlandırılan Borg Algılanan Efor Derecelendirme Ölçeği'dir (Şekil 2.2). 1970 yılında Gunnar Borg tarafından geliştirilen ölçek, bireyin egzersiz sırasındaki eforu algılama seviyesinin ölçülebilmesini sağlar [46]. Birçok çalışmada, Algılanan Efor Derecelendirme Ölçeği'nin egzersiz sırasında, egzersizin şiddetini doğru bir şekilde belirlemek için kullanılabileceği gösterilmiştir [47, 48]. Oksijen tüketimleri genellikle egzersiz yoğunluklarını değerlendirmenin daha doğru bir yolu olarak kabul edilirken, Algılanan Efor Derecelendirmesi öznel eforu gösterir, böylece katılımcıların konforunu değerlendirmek için yararlıdır. Algılanan Efor Derecelendirmesi'nin ayrıca, VO_2 max yüzdesi, kalp atış hızı ve kan laktat konsantrasyonu da dahil olmak üzere diğer yorgunluk belirteçleriyle makul derecede güçlü korelasyonlara sahip, egzersiz yoğunlukları için güvenilir ve geçerli bir değerlendirme olduğu gösterilmiştir [49]. Ölçek bütünsel bir efor ölçüsü sağlamak için kullanılır. Bu bütünsel efor ölçüsü, solunum frekansında artış, kas ağrısı ve gerginlik, kardiyovasküler yükte ve vücut ısısında artış gibi egzersizden kaynaklanan fizyolojik ve algısal değişimlerle belirlenir. Sonuç olarak, egzersiz sırasında algılanan efor periferik, solunumsal-metabolik veya spesifik olmayan kökenlere sahiptir [50].

Borg Skalası				
Derece	Yegünlük	Algılanan Efor	Olası Etki	Ant Kategorisi
6	20%			
7	30%	Çok çok hafif		
8	40%	Çok çok hafif		
9	50%	Çok hafif	Isınma ve soğuma için çok uygun	Toparlanma
10	55%			
11	60%	Hafif	Aer. End./ Şidd. Antr. Topr.	END-I
12	65%			
13	70%	Biraz zor	Aer. Kapasite	END-I
14	75%			
15	80%	Zor	Aer. Kapasite An. Eşikte /biraz düşük	END-II
16	85%			
17	90%	Çok zor	Aerob.-Anaerobik Kassal dayanıklılık	END-III
18	95%			
19	100%	Çok çok zor		
20	Exhaustion	Maksimal	Anaerobik Metabolizma	SPR-I, RP

Şekil 2.2: Borg Skalası [51]

2.2. Sporda Toparlanma

Toparlanma, organizmanın eksiklik durumunun telafisidir ve homeostatik ilkeye göre, ilk durumun yeniden oluşturulması olarak tanımlanır [52]. Spor bilimlerinde ise toparlanma, kaybedilenleri geri kazanmak ve antrenman taleplerine uyum sağlamak şeklinde açıklanır [53]. Sporcular, seviyelerinden bağımsız olarak, egzersizden sonra toparlanmayı en iyi düzeyde başarmayı amaçlarlar. Sporcular, performans sonrası oluşan kas ağrısı ve kas katılığı gibi problemleri mümkün olan en kısa sürede azaltmaya, antrenman ve müsabakanın oluşturacağı olumsuz etkilerden kaynaklanan kas yaralanmaları sonrası iyileşme sürecini hızlandırmaya çalışırlar. Bu amaçla, sporcuların üst düzey performanslarını sürdürmeleri için en uygun toparlanma yöntemlerini uygulamak önem taşımaktadır [54]. Yoğun şiddette egzersiz genellikle yorgunluğa, vücut ısısının artmasına, dehidratasyona, kas glikojeninin tükenmesine ve yumuşak doku hasarına yol açar. Bu olaylar sinir sistemi, kardiyovasküler sistem, bağışıklık sistemi, endokrin sistem ve renal sistem üzerinde bozulmalara yol açar. Egzersiz sonrası toparlanmanın genel hedefleri homeostazı geri kazanmak, enerji kaynaklarını ve sıvıları yerine koymak, hasara uğramış dokuları onarmak ve dinlenmektir. Bu amaçla sporcular rehidratasyon, karbonhidrat ve protein alımı, germe egzersizleri, masaj, kompresyon giysileri, hidroterapi ve kriyoterapi dahil olmak üzere çeşitli müdahaleleri seçebilirler (Şekil 2.3) [55].



Şekil 2.3: Sporda Toparlanma Stratejileri [55]

2.2.1. Rehidratasyon

Egzersiz sırasında kan hacmindeki değişiklikler kardiyovasküler fonksiyonu etkiler. Bu nedenle, egzersizden sonra kaybedilen sıvıları yerine koymak, kardiyovasküler fonksiyonun geri kazanılması için kritik öneme sahiptir [55]. Alınan sıvı miktarı kaybedilen sıvı miktarından az olursa hipohidrasyon gelişir ve genellikle egzersizlerin sonunda ortaya çıkar. Bu gibi durumlarda, sıvı dengesini sağlamak için egzersiz sonrası sıvı alımı gereklidir.

2.2.2. Karbonhidrat ve Protein Alımı

Glikojen, egzersiz sırasında önemli bir yakıt kaynağıdır. Birçok çalışmada, kas glikojeni egzersiz kapasitesinin önemli bir belirleyicisi olarak tanımlanmıştır [56, 57] ve glikojen depoları kısıtlı olduğunda egzersize devam edememe durumu görülür [58]. Bu nedenle sporcunun günlük diyetinin önemli bir hedefi, optimum adaptasyonu ve toparlanmayı desteklemek için gerekli substratları sağlamaktır [59]. Yoğun egzersizden sonra kas glikojenini tamamen restore etmek için genellikle 24 saatlik bir süre gerekir [59]. Egzersizden sonraki ilk 2 saat, kas glikojeninin değiştirilmesi için kritik bir dönemdir. Egzersizden hemen sonra karbonhidrat tüketmek, egzersizden 2 saat sonra karbonhidrat tüketmeye kıyasla daha hızlı kas glikojen resentezi ile sonuçlanır [60]. Yüksek glisemik indeksli gıdaların tüketilmesi, düşük glisemik indeksli gıdalara kıyasla daha hızlı kas glikojen resentezi ile sonuçlanır [61].

Kas protein miktarı, kas proteinin sentezi ve yıkımı arasındaki dengeye bağlıdır. Sentez ve yıkım döngüsü kas dokusunun yeniden şekillenmesine izin verir, hasarlı proteinleri yeni proteinlerle değiştirir ve egzersiz gibi zorluklara uyum sağlamak için kas proteinlerinin bileşimini değiştirir [62]. Tek bir egzersiz seansı kas protein sentezini ve daha az ölçüde kas protein yıkımını uyarır [63, 64]. Protein alımı kas protein sentezini uyarır ve kas protein yıkımını inhibe eder [65]. Bu nedenle, egzersiz sonrası protein alımı, egzersizden sonra kas protein sentezini artırmak ve uzun vadede iskelet kasının egzersize adaptif yanıtını kolaylaştırmak için bir strateji olarak uygulanır [62].

2.2.3. Germe Egzersizleri

Germe egzersizleri, afferent yolları aktive ederek çeşitli anatomik yapıların mekanik olarak uyarılmasını sağlar. Egzersiz sonrası toparlanma döneminde germe egzersizlerinin uygulanmasının birincil amacı EHA'nı artırmak, sertlik ve ağrıyı azaltmak ve kuvvetin geri kazanılmasını sağlamaktır [66].

2.2.4. Masaj

Dokuları manuel olarak veya mekanik olarak manipüle etmeyi içeren masaj, EHA'nı, cilt ve kas sıcaklığını, venöz ve arteriyel dolaşımı artırır, ayrıca nöromusküler uyarılabilirliği azaltır, krampları ve ağrıyı hafifletir ve ruh halini iyileştirir [67]. Teoride, tüm bu etkilerin egzersiz sonrası toparlanmayı artırması beklenir. Güncel çalışmalar, egzersiz sonrası uygulanan masajın, GBKA'nı [68] ve kandaki kas hasarı ve inflamasyon belirteçlerini azalttığını göstermektedir [69]. Masaj ayrıca yorgunluk algısını azaltmaya [69] ve egzersizden sonra maksimal izometrik kuvvetin ve torkun başlangıç düzeyine yaklaşmasına yardımcı olur [68]. Masajın kas ağrısını azaltmak [70] ve egzersiz sonrası kas performansını artırmak [71] için uygulandığı bilinmektedir. Bu etkileri açıklayan kesin etki mekanizmalarını ve egzersiz sonrası masajın en uygun türünü ve zamanlamasını belirlemek için daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır.

2.2.5. Kompresyon Giysileri

Egzersiz sonrası toparlanmayı artırmak amacıyla kompresyon giysileri giymek, sporcular arasında yeni olmasına karşın popüler bir uygulama haline gelmiştir. Kompresyon giysilerinin dilatasyonu, venöz stazı ve lenfödemi azaltarak ve venöz dönüşü, mikro sirkülasyonu ve metabolik atık ürünlerinin uzaklaştırılmasını artırarak egzersiz sonrası toparlanmayı geliştirdiği savunulmaktadır [67]. Başka bir çalışmada kompresyon giysisi kullanımının EBKH'nı ve inflamasyonu azaltabileceği öne sürülmüştür [72].

2.2.6. Hidroterapi

Toparlanma stratejisi olarak egzersiz sonrası hidroterapinin kullanımı oldukça popüler hale gelmiştir [73]. Hidroterapi vücut için yararlı fizyolojik değişiklikler üretebileceğinden, egzersiz sonrası toparlanmayı geliştirmek için kullanılabilir. Bu fizyolojik değişiklikler esas olarak suyun hidrostatik basıncına ve sıcaklığına bağlı olarak gerçekleşir. SSD ($\leq 15^{\circ}\text{C}$), sıcak suya daldırma ($\geq 36^{\circ}\text{C}$), termonötral suya daldırma (20°C

-36°C) ve kontrastlı suya daldırma (sıcak ve soğuk suya ardı sıra) gibi çeşitleri kapsayan hidroterapi toparlanma amacıyla sporcular arasında yaygın bir uygulama haline gelmiştir [73, 74].

SSD uygulaması, son yıllarda genel sağlık ve iyilik halini geliştirmek için potansiyel bir yöntem olarak ilgi görmüştür [75]. Vücudun genellikle 10–15°C arasında değişen sıcaklıklarda kısmen veya tamamen suya daldırılmasını içeren SSD uygulaması [76] yüzyıllardır çeşitli kültürlerde kullanılmıştır, ancak modern çağda sporcular arasında toparlanma ve performansı artırma amacıyla kullanılması nispeten yeni bir uygulama alanıdır. Egzersiz sonrası toparlanmayı iyileştirmek için bu tekniğin kullanılması bazı fizyolojik temellere dayanmaktadır. Vücudun soğuk suya daldırılması, vücut sıcaklığını düşürür. Bu düşüş, yorgunluğu düzenleyen nörotransmitterlerin salınımını değiştirebilir, sıcaklığı koruma yeteneğini artırabilir, ayrıca uyanıklık ve uyarılma ile ilgili beyin fonksiyonlarını etkileyebilir. Tüm bu etkiler yorgunluk algısını azaltmaya katkıda bulunur [77]. Sıcaklığın düşmesiyle, vazokonstriksiyon uyarılır, bu da cilde giden kan akımının azalmasına, merkezdeki kan hacminin artmasına ve kardiyovasküler yükün azalmasına neden olur [77]. Merkezdeki kan hacminin artması, atım hacmini, baroreseptör yükünü ve parasempatik aktiviteyi artırırken, sempatik aktiviteyi azaltır [77]. Vazokonstriksiyon, kas sıcaklığının azalması, merkezdeki kan hacminin artması ve SSD'nın analjezik etkilerinin kombinasyonu inflamasyonu, ödemi ve kas ağrısını azaltır [77]. SSD'nın, otonom sinir sisteminin aktivasyonu, bağışıklık sisteminin modülasyonu ve çeşitli biyokimyasal araçların salınımı dahil olmak üzere bir dizi fizyolojik yanıtları ortaya çıkardığı görülmüştür [76]. Bu fizyolojik etkiler, SSD'nın sporda toparlanma üzerine potansiyel etkilerine yönelik araştırmaları teşvik etmiştir. Yapılan bir meta-analizde, SSD'nın PD ile karşılaştırıldığında egzersizden 96 saat sonra hala gözlemlenebilen önemli bir etkiye neden olduğu gösterilmiştir. Aynı yayında, uygulamadan sonra algılanan yorgunluğun düzeyinin daha düşük olduğu gözlenmiştir [78]. Başka bir meta-analizde, sporcularda ve rekreasyonel egzersiz yapanlarda yorucu egzersizden sonra GBKA'nı düşürmede SSD'nın olumlu bir etkisi olduğu gösterilmiştir [79]. SSD'nın egzersiz kaynaklı inflamasyon ve kas hasarında azalmaya yol açtığı, egzersiz sonrası dolaşımdaki kreatin kinazda ılımlı bir azalmaya neden olduğu bildirilmiştir [79]. Soğuğa bağlı vazokonstriksiyon, sıvının interstisyel boşluğa

difüzyonunu azaltır [80] ve lokal olarak inflamatuvar reaksiyonu azaltır [81], bu da ağrı hissinin azalmasına yol açar [82].

2.2.7. Kriyoterapi

Kriyoterapi, soğuk uygulamaları kapsayan ve terapötik süreçleri tanımlamak için sıklıkla kullanılan genel bir kavramdır. Kriyoterapinin temel amacı, vücut ve doku sıcaklığındaki düşme [83, 84] ve kan akımındaki değişiklikler [85] aracılığıyla ısıнын düşmesini sağlamaktır. Fizyolojik olarak, kriyoterapinin etkinliği yavaşlayan sinir iletim hızı [86] ile ilişkili analjezik faydalar sağlamasına dayandırılmaktadır. Tarihsel süreçte, kriyoterapi uygulaması yaygın olarak kullanılmış, ayrıca birincil ve ikincil doku hasarının ve inflamatuvar yanıtın tedavisinde etkili olduğu görülmüştür. Soğuk uygulamaların metabolik talebi baskılaması [87, 88] ve inflamatuvar yanıtı sınırlaması [88] yoluyla iskelet kası ve çevresindeki yaralanma bölgesinde oluşan ikincil yaralanmaların şiddetini azalttığı düşünülmektedir [89].

Son yıllarda, sağlık ve spor sonrası toparlanma amaçları ile düşük sıcaklıkların kullanılmasında artan bir eğilim olmuştur. Kriyoterapi, organizmanın buz, soğuk su ve soğuk havaya maruz kalma yoluyla uyarılmaya tepkisini kullanan bir fizyoterapi yöntemidir [90]. Kriyoterapinin birincil avantajı, yaralanma sonrası ağrıyı hafifletme yeteneğinde yatmaktadır [90]. Kriyoterapi sonucu inflamasyon ve doku hasarında azalmalar hayvan modellerinde ve insanlarda kanıtlanmıştır [91, 92]. Bu nedenle, inflamasyonu sınırlamak kriyoterapinin ana hedeflerinden biridir.

Bazı çalışmalarda kriyoterapinin bir toparlanma yöntemi olarak etkinliğinin öncelikle kasa giden kan akımını azaltmasına değil, kas sıcaklığını azaltma yeteneğine bağlı olduğu tespit edilmiştir [93]. Kas içi sıcaklıkta klinik olarak anlamlı bir azalma elde etmenin önemi [94] büyük ölçüde göz ardı edilmiştir, ancak toparlanma açısından etkinliği vasküler yanıtın daha önemlidir [95]. Bunun nedeni, kriyoterapiden sonra meydana gelen fizyolojik değişikliklerin, kastaki kan akımının azalmasının bir sonucu olmaktan ziyade kastaki soğuma oranının derecesine bağlı olmasıdır [96, 97].

Kas içi sıcaklık normal değerlerin üzerine çıktığında, egzersiz sonrası kas içi sıcaklığı düşürmek için daha büyük etkilere sahip bir soğutucu uyaran gereklidir. Egzersiz sonrası uygulanacak kriyoterapi dozu, egzersiz sırasında meydana gelen doku sıcaklıklarındaki

lokal ve sistemik artışlara göre uyarlanmalıdır. Kriyoterapi uygulamasının dozu ayarlanırken göz önünde bulundurulması gereken faktörlerden biri, egzersiz sonrası toparlanma oranının, egzersizin vücutta oluşturduğu yükün kapsamıyla ilişkili olmasıdır [98]. Termal yükü artıran bir egzersizin ardından toparlanmayı hızlandırmak amacıyla sistemik değişiklikleri etkileyebilen kriyoterapi yöntemlerini kullanmak daha büyük bir başarı sağlayabilir [99]. Termal yükte artışa neden olan egzersizin ardından, tüm vücudun kriyoterapi ortamına maruz kalması, vücut üzerinde sistemik etkilere neden olabilir ve dokuların soğuması açısından daha büyük bir sıcaklık farkı üretebilir. Küçük bir termal yüke neden olan egzersizlerden sonra, lokal buz uygulamaları ilgili doku sıcaklığında bölgesel değişiklikler üretebilir ve bu bölgesel tepki bu tarz bir egzersizden sonra toparlanma sağlamak için yeterince etkili olabilir [90].

Soğuğa maruz kalmaya yanıt veren ilk bölge deridir ve sıcaklığı en hızlı şekilde düşer [9, 100]. Kas dokusu termal reseptörlerden yoksun olduğu için kasta termoregülatör yanıtları başlatmaktan sorumlu olan bölge deridir. Fourier'in ısı iletim yasasına göre ısı geçişi sıcaklığın azaldığı yönde gerçekleşir, dolayısıyla deride yaşanan sıcaklık düşüşü sırasında, derin kas dokusu ısınıyı yüzeysel kas dokusuna iletir [78]. Eşzamanlı olarak gelen sıcak kan daha derin dokulara yönlendirilir, böylece derin dokularda soğüğün etkisi yavaşlatılır. Bu nedenle, yüzeysel kas dokusu derin kas dokularından daha hızlı ve daha büyük derecede soğur [85, 96, 100]. Ancak toparlanmayı en üst düzeyde sağlamak için kas sıcaklığında olması gereken termik azalmanın büyüklüğü bilinmemektedir [94].

Kriyoterapi kas zorlanması, bağ yaralanması, yumuşak doku zedelenmesi ve kırık gibi durumların yönetiminde ve rehabilitasyonunda, ayrıca akut kas-iskelet sistemi yaralanmalarından hemen sonra uygulanan temel tedavi metotlarından biridir [12, 95, 101, 102]. Soğuk uygulamalar, sinir iletim hızını inhibe ederek [86, 102] ve ödem oluşumunu kısıtlayarak [103] akut lokal analjezik etki sağlar [13, 104] ve bu nedenle yaralanmayı takiben uygulanır.

Bir meta-analizde, egzersizin ardından uygulanan lokal kriyoterapinin ağrıyı azaltmadığı ve toparlanma sürecinde kuvvetin geri dönüşünü hızlandırmadığı gösterilmiştir [105]. Lokal soğuk uygulamalar, kısa tedavi süreleri ile küçük bir alanda sınırlı olduğundan, egzersizden sonra toparlanmayı hızlandırmak için herhangi bir sistemik etki ortaya

çıkarmaya yeterli uyarılar değildir. Bu nedenle, lokal soğuk uygulamalar egzersiz sonrası toparlanma açısından etkili bir kriyoterapi yöntemi değildir [90].

2.2.7.1. Tüm Vücut Kriyoterapi (TVK)

Tüm Vücut Kriyoterapi (TVK), tüm vücudun kapalı bir odada sıvı azot ve hava karışımından kaynaklanan aşırı soğuk havaya ($<-100^{\circ}\text{C}$) maruz kalması nedeniyle diğer kriyoterapi yöntemlerinden ayrılır [106]. TVK, ilk olarak 1978’de Prof. Toshiro Yamauchi tarafından Japonya’da üretildi. Romatoid artrit hastalarında cilt sıcaklığında oluşturduğu hızlı düşüşün, hastaları ağrıya karşı daha az hassas hale getirdiği görülerek klinik uygulamaya dahil edildi [15].

TVK'nin kas-iskelet sistemi bozuklukları [107, 108] ve zihinsel sağlık [109] üzerindeki potansiyel faydaları çalışmalarla kanıtlanmışken, spor ve egzersiz sonrası toparlanma amacıyla kullanımının yararları da iyi derecede açıklanmıştır [110, 111]. Toparlanma metodu olarak buz banyoları ve SSD uygulaması uzun yıllardır kullanılmaktaydı [77, 79]. Bununla birlikte, son zamanlarda TVK odalarının ortaya çıkması, sporda toparlanma uygulamalarına farklı bir bakış açısı getirdi. Klinik uygulamalarının yanı sıra, kriyojenik sıcaklıklara kısa süreli maruziyet, spor hekimliğinde genellikle yaralanmalardan sonra iyileşmeyi artırmak ve aşırı kullanım veya patolojiden kaynaklanan inflamatuvar semptomlara karşı koymak amacıyla kullanılmaya başlanmış ve popüler hale gelmiştir [112]. TVK'nin spor hekimliğinde kullanımıyla ilgili çalışmaların sayısı günden güne artmakla beraber konunun potansiyeli göz önüne alındığında hala yetersiz kalmaktadır.

TVK yalnızca semptomatik bir fizik tedavi yöntemi olmayıp, tüm vücut yüzeyinin maruz kaldığı şok benzeri kriyojenik soğuk uyarısının uygulanmasıyla otonomik, endokrin, dolaşım, nöromüsküler ve immünolojik sistemlerde reaksiyonların oluşmasına neden olan ve homeostatik durumun yeniden sağlanmasına katkıda bulunan bir adaptasyon tedavisi olarak da görülür [113]. Genellikle yaralanmayı önlemek ve atletik performanstan sonra inflamatuvar semptomlara karşı koymak amacıyla kullanılır ve toparlanmayı geliştirir [114]. Toparlanma üzerine olan etkileri doku sıcaklığını düşürmesi, inflamasyonu azaltması ve analjezik etkisi ile açıklanabilmektedir [115].

2.2.7.2. TVK'nin Fizyolojik Temelleri ve Etki Mekanizması

Kriyoterapinin temel hedeflerinden biri, toparlanmayı hızlandırmak ve performans sonrası inflamasyonu sınırlamaktır. Kriyoterapinin anti-inflamatuar etkisi, EBKH mekanizmalarıyla olan ilişkisi nedeniyle yoğun egzersizden sonra kas toparlanmasını desteklemek için önemli olabilir. Çalışmalar, TVK'nin bunu anti-inflamatuar interlökin (IL) seviyelerini artırarak ve pro-inflamatuar sinyal moleküllerinin salgılanmasını azaltarak başardığını göstermiştir [116-121].

İnflamatuar faktörler, inflamatuvar yanıtta yer alan çeşitli sitokinleri ifade eder. Bunlar içinde, tümör nekroz faktörü (TNF) ailesi ve IL ailesinin üyeleri inflamasyon sırasında önemli bir rol oynamaktadır. Farklı inflamatuvar faktörler, inflamasyonu teşvik ederek veya inhibe ederek bu süreci düzenleyebilir [122, 123]. İnflamatuar yanıtı kontrol etmek için pro-inflamatuar faktörlerin seviyelerini azaltmak [124] ve anti-inflamatuar faktörlerin seviyelerini artırmak [125] önemlidir. Bazı çalışmalar, TVK'nin inflamasyonu sınırlayabileceğini [116] ve böylece sporcularda kas ağrısını azaltabileceğini [19] göstermiştir. Bununla birlikte, TVK'nin kas fonksiyonu, ağrı ve birçok kan parametresi üzerinde olumsuz etkileri olduğu da bulunmuştur [115, 126]. Bu nedenle TVK'nin inflamatuvar yanıt üzerindeki etkisini sistematik olarak değerlendirmek önemlidir.

IL-1 ailesinin bir üyesi olan IL-1 β , lokal ve sistemik etkileri olan, doğal bağışıklık ve inflamasyonun merkezi aracısıdır [127]. IL-1 β , vücuttaki inflamatuvar yanıtı tetikleyebilen ve artırabilen pro-inflamatuar aktiviteye sahiptir [128]. Bir meta-analizde, TVK'ye maruz kalan kişilerin serumundaki IL-1 β seviyesinin kontrol grubundan daha düşük olduğu gösterilmiştir. Bu da TVK'nin, IL-1 β seviyesini azaltarak inflamasyonu azaltabileceği anlamına gelir. Ayrıca, TVK'ye maruz kalan sporcuların, bundan sporcu olmayanlara göre daha fazla yararlanma olasılığının olduğu görülmüştür [129].

IL-10, inflamatuvar faktörlerin sentezini ve salınımını engelleyen bir anti-inflamatuar sitokindir [130]. Bir meta-analizde, TVK'ye maruz kalan kişilerin serumundaki IL-10 seviyesinin kontrol grubundan daha yüksek olduğu gösterilmiştir. Bu da TVK'ye maruz kalmanın IL-10 seviyesini artırarak inflamasyonu azaltabileceği anlamına gelmektedir [129].

Stresli durumlarla ilişkili yoğun kronik iş yükleri yaşayan sporcularda hormonların izlenmesi, sağlık durumunu değerlendirmek için gereklidir. TVK, termal homeostazı düzenleyen nöroendokrin ve metabolik eksenlerin aktivasyonu nedeniyle stres koşullarını hafifletmek için kullanılır [110]. TVK'ye maruziyet sonrasında hormon konsantrasyonlarında akut egzersiz benzeri etkiler ortaya çıkmaktadır [111].

Testosteron, atletik performans için hayati önem taşıyan kas kütlesi ve kas kuvveti oluşturmada önemli bir rol oynayan birincil bir anabolik hormondur [131]. TVK tipik bir anabolik hormon olan testosteronu artıran bir etki gösterir [117, 132]. TVK algılanan ağrı ve yorgunluk seviyelerini azaltabilir ve yüksek performanslı sporcularda agresyonu artırabilir. Serbest testosteron, sporcunun genel motivasyonunda ve sosyal yönlerinde önemli bir rol oynar. Doğal testosteron seviyesini artırmak için TVK'nin uygulanması, motivasyon seviyeleri ve sonraki performans için faydalı olabilir [111].

Stres, hipotalamik-hipofizal-adrenal yolağın aktivasyonunu sağlar ve kortizol salgılanmasına neden olur. TVK, kortizol gibi psikolojik ve fiziksel stres ile ilgili olan hormonları düşürme eğilimindedir [133, 134]. Yüksek kortizol seviyelerinin azalmış performans üzerinde kabul edilen etkisi göz önüne alındığında, bu etkiyi azaltan TVK'nin performans üzerine olumlu sonuçları olabilir [111].

Kortizol konsantrasyonundaki belirgin bir azalma performans sonuçları üzerinde olumlu bir etki olarak kabul edilirken, testosteronun kortizole oranı da egzersiz performansı için ilgi çekicidir [111]. Testosteronun kortizole oranı, sporcularda hormonal dengenin durumunu belirlemenin yararlı bir yolu olarak önerilmiştir [135]. TVK'nin kortizol konsantrasyonunda azalma ve testosteronda artış ile ilişkili olması bu oranı yükseltme eğiliminde olduğunu gösterir [136, 137].

Tek bir TVK seansına yanıt olarak, plazma norepinefrin seviyesi artış gösterir [138]. Soğuk ortamlara maruz kalma, iskelet kasında efferent sempatik sinir sistemi aktivitesine neden olabilir, bu da kalp atış hızında bir artışa ve muhtemelen norepinefrin salınımına neden olur [139]. Bu mekanizma, TVK'nin sporcunun sonraki performansa hazırlığını olumlu yönde etkileyebileceğinin bir açıklaması olabilir.

TVK'nin kas hasarı ve toparlanma üzerindeki etkileri sporcu bağlamında bakıldığında en dikkate değer ölçütlerden biridir. Kasta toparlanma üzerinde TVK'nin uyarıcı etkisi

olduğu iddia edilmektedir. TVK ayrıca katabolik kas aktivitesini azaltarak performans sonrası ağrıyı ve yaralanmayı azaltmak için işlev görebilir. Önerilen mekanizma, inflamasyon sırasında ve dolaylı olarak egzersiz sonrası kas hasarında potansiyel bir azalmayı içerir [114].

Sarkomerlerdeki sarkolemma ve Z çizgilerindeki yapısal hasar, kreatin kinaz ve laktat dehidrogenaz gibi belirteçlerle ölçülür [140]. Serum kreatin kinaz düzeyindeki artışlar rabdomiyoliz ile ilişkilidir ve aşırı fiziksel iş yükünü ve olası aşırı antrenmanı gösterebilir. TVK'nin serum kreatin kinaz [18, 117, 119] ve laktat dehidrogenaz [18, 141] düzeylerini düşürdüğü gösterilmiştir.

Oksidatif stres, sporcuların performansını etkileyen ana faktörlerden biridir. Egzersiz sırasındaki kas aktivitesi, hücre içinde oksidanlar üretir. Membran hasarının ardından hücre içi boşluğa salınan oksidanlar diğer membranların da hasarına neden olarak hücre içi boşluktaki oksidan konsantrasyonunu daha da artırır. ROT'ndeki bu artış, kas hasarına neden olan lokal bir inflamatuvar tepkiye neden olur [114]. TVK'nin antioksidan kapasitelerini geliştirdiği ve böylece egzersiz kaynaklı ROT üretimine karşı koyduğu ileri sürülmektedir [110]. TVK, total oksidan oranında bir azalmaya ve antioksidan oranında bir artışa neden olur [133, 142-144].

Ciltte ve vücut iç ortam sıcaklığında TVK sonrası önemli düşüşler görülür [145-148]. Aşırı soğuk, sempatik α -adrenerjik lifleri uyarak belirgin bir kutanöz vazokonstriksiyon yanıtına neden olur [106]. Bunu takiben, merkezdeki kan hacmini etkileyebilecek bir vazodilatör etki meydana gelir ve bu etki ekstra oksijen kaynağı ve atık ürünlerin uzaklaştırılması yoluyla egzersiz sonrası toparlanma sürecine katkıda bulunur [9]. Vücut sıcaklığındaki düşüşün yorgunluğu azaltabileceği ve egzersizden sonra toparlanmayı teşvik edebileceği [149] ve TVK sonrası bu düşüşün daha sonraki dayanıklılık performansının artmasıyla ilişkili olduğu bildirilmiştir [150].

Kriyoterapi, cilt sıcaklığı ve kan akışı üzerinde etkilidir. Bu durum iç ortam ve dış ortam arasında ısı değişiminin bir sonucudur [9]. Yapılan bir çalışmada 3 dakikalık bir TVK seansının cilt sıcaklığında 13,7°C'lik bir düşüş meydana getirdiği gözlenmiştir [138]. Analjezik etki elde edebilmek için cilt sıcaklığının 13,6°C eşiğine düşürülmesi gerektiği

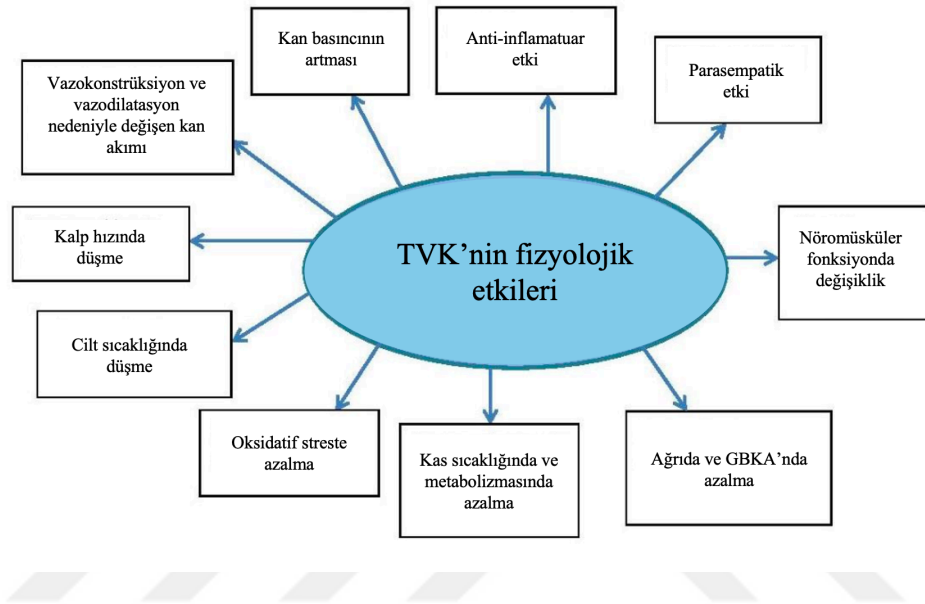
bildirildiğinden, bunun ağrı açısından etkileri olabileceği bildirilmiştir [151]. Bazı çalışmalarda egzersiz sonrası uygulanan soğukun ağrı eşiğini artırabileceği gösterilmiştir [152, 153]. TVK'ye maruziyet sonrası kas ve cilt dokusu sıcaklığındaki düşüşler [147, 154, 155] kutanöz reseptörleri uyarabilir ve sempatik adrenerjik lifleri uyararak lokal arteriyollerin ve venüllerin daralmasına neden olabilir [156, 157]. Sonuç olarak, TVK kas metabolizması, cilt mikrosirkülasyonu, reseptör duyarlılığı ve sinir iletim hızını düşürerek ağrıyı hafifletmede etkili olabilir.

TVK'den hemen sonra cilt sıcaklıklarında önemli düşüşler bildirilmiştir. Bununla birlikte, cilt sıcaklığındaki bu düşüş, uygulama sonrasında hızlı bir şekilde başlangıç seviyelerine dönmüştür [147]. Bu durum soğuk kaynaklı vazokonstriksiyonun hemen ardından kutanöz kan akışındaki artış sonucu oluşan vazodilatasyona bağlanabilir [142]. Aşırı soğuğa maruz kalma sırasında, vücudun doğal termoregülatör tepkisi, iç ortam sıcaklığını korumaya ve çevreye ısı kaybını önlemeye çalışmaktır. Bu da periferik kan damarlarının derhal daralmasına neden olur. Soğuğa maruziyet bittiğinde kan kaslardan deri altı dokuya yeniden dağıtılır [9]. Soğuk kaynaklı vazodilatasyon, hidrojen iyonları ve inorganik fosfatlar gibi atık ürünlerin uzaklaştırılması ve hipoksik dokulara oksijen iletimini artırarak toparlanmayı teşvik eder [9]. Deri altı doku lehine kaslara kan akışının azalması nedeniyle kas metabolizmasında doğrudan azalma olabilir [158].

Soğuk kaynaklı vazodilatasyon sonucu ısı derin dokulardan periferik olarak aktarıldığı için kas sıcaklığında kademeli bir azalma meydana gelir [9]. Kas dokusu sıcaklığında bir düşüş elde etmek ve kas dokusunun metabolik aktivitesinde azalma oluşturmak kriyoterapi uygulamaları için potansiyel bir gerekçedir [94]. Kasta azalan metabolik talep, ROT'nin neden olacağı kas hasarını sınırlayabilir ve kasta gerçekleşen ödemi azaltabilir [9]. Kas oksijenizasyonunu ölçen bir çalışmada TVK'nin dolaylı olarak kas metabolizmasını azalttığı bulunmuştur [155, 159]. Kas metabolizmasındaki azalma, çevredeki dokuların iskemik bir ortama karşı daha toleranslı olduğu ve böylece ikincil hücre hasarı olasılığını azalttığı anlamına gelebilir [160].

Kas fonksiyonunun en güvenilir belirtecinin maksimum istemli kasılmalarla değerlendirilen kas torku üretimi olduğu düşünülmektedir [2]. TVK'nin maksimum istemli kasılma torkunu ve dolayısıyla kas fonksiyonunu iyileştirdiği gösterilmiştir [161]. TVK sonrası soğuk kaynaklı değişikliklerin kas içiği aktivitesinde nöromusküler

fonksiyon değişikliklerine katkıda bulunabileceği öne sürülmüştür [151]. Daha soğuk bir vücut, kasların istenen kuvvette kasılmasını ve buna göre yorgunluğu geciktirmesini sağlayarak egzersiz toleransını artırabilir [149]. Bunun, özellikle aynı gün toparlanma için spor performansına fayda sağlayabilmesi makul görünmektedir. Aşağıdaki Şekil 2.4'te TVK'nin fizyolojik etkileri özetlenmiştir.



Şekil 2.4: TVK'nin Olası Fizyolojik Etkileri [162]

2.2.7.3. Standart protokol

TVK seanslarının çoğu üç dakika uzunluğunda uygulanır [147]. En uygun tedavi süresini belirlemek için araştırmalar yapılmıştır. Bir çalışmada kas dokusu oksijenizasyonu ve cilt sıcaklıkları gibi fizyolojik durumları ve termal konforu dikkate alarak iki dakikalık bir maruziyetin ideal olabileceği sonucuna varılmıştır [163]. Literatür dikkate alındığında, tedavi süresindeki farklılıkların fizyolojik ve performans parametreleri üzerinde önemli bir etkisi olup olmadığı tartışmalıdır.

Bazı çalışmalarda tek bir TVK seansından daha etkili olup olmadığını değerlendirmek için egzersiz sonrası ardışık tedavi seansları uygulanmıştır [116]. Birden fazla TVK tedavisinin egzersizi takiben oluşan akut faz inflamasyonunu sınırlama etkisine sahip olabileceği anlaşılmıştır [116]. Daha çok sayıda bir tedavi uygulamasının anti-

inflamasyon [164], antioksidan kapasite [142] ve oklüzyon sonrası hiperemi [165] gibi akut yanıtları artırabileceği gösterilmiş olsa da, kriyoterapi dozunun egzersiz sonrası toparlanma ve antrenman adaptasyonları üzerinde genel bir etkisinin olup olmadığı sorusu açıklığa kavuşturulamamıştır.

TVK ile ilgili çalışmaların çoğu -110°C ile -140°C aralığındaki sıcaklığa sahip odalarda yapılmıştır. Çalışmalarda, -110°C’de yapılan tek bir seans sonrası pozitif yanıtlar elde edildiği bildirilmiştir [150, 166, 167]. Başka bir çalışmada TVK seansı -140°C ile -195°C aralığında uygulanmıştır ve toparlanma yönünde bazı faydalar bildirilmiştir [161]. Literatürde daha yüksek sıcaklıklarda TVK seansları da uygulanmıştır. -85°C [168] ve hatta -40°C [169] ile yapılan çalışmalarda önemli faydalar elde edilmiştir. Daha düşük sıcaklıkların cilt ve kas sıcaklıklarında daha fazla düşüş oluşturacağı göz önüne alındığında daha etkili fizyolojik tepkiler oluşacağı öngörülebilir. TVK’nin farklı sıcaklıklardaki uygulamalarında ne tür etkiler oluşturacağına dair bir çalışma henüz yapılmamıştır.

Egzersiz sonrası toparlanmanın hangi aşamasında TVK’nin uygulanacağı konusunda tartışmalar devam etmektedir. TVK’nin kas fonksiyonu ve toparlanma üzerindeki olumlu etkisini incelemek için yapılan çalışmaların çoğunda uygulama egzersizden sonraki 15 dakika içinde yapılmıştır. Egzersizden 45 dakika [150] ve bir saat sonra [161] uygulanan TVK seanslarında da toparlanma açısından bazı faydalar bildirilmiştir. Bununla birlikte kas hasarı oluşturan egzersizden 24 saat sonra uygulanan TVK’nin, kas torku veya GBKA üzerinde yararlı bir etkisinin olmadığı ortaya konulmuştur [147]. Lökosit infiltrasyonu gibi akut inflamatuvar yanıtlar egzersizden hemen sonra meydana gelir ve ortaya çıkan ikincil kas hasarına ve sonraki günlerde kas fonksiyonunda belirgin kayıplara katkıda bulunur [166]. Miyofibriler bozulmanın kas hasarı oluşturan egzersizden 24 saat sonra en yüksek düzeyde olduğu bildirilmiştir [170]. Bu mekanizma 24 saat sonra uygulanan tedavilerin toparlanma açısından geç olabileceğini açıklayabilir. TVK’nin faydalarını en üst düzeye çıkarmak, kas fonksiyonunun restorasyonunu teşvik etmek ve inflamasyonu azaltmak için inflamatuvar sürecin en güçlü olduğu süre zarfında tedaviyi uygulamak gerekebilir.

2.2.7.4. TVK'nin Kontrendikasyonları

Klinik uygulamada TVK spor hekimliğinde yaygın olarak kullanılır. Profesyonel sporcular ve sağlıklı kişiler vücuttaki savunma mekanizmalarını ve koruyucu mekanizmaları devreye sokmak ve atletik toparlanmayı sağlamak için TVK'yi kullanırlar [171]. Aşırı soğuğa maruz kalma ile ilgili riskler nedeniyle, TVK yalnızca yetkili personelin varlığında yapılmalıdır. Bu riskler arasında donma, yanıklar, göz yaralanması, boğulma ve bilinç kaybı bulunur [172]. Bir sporcunun TVK için uygun olup olmadığını belirlemek ve kontrendikasyonları bilmek büyük önem taşımaktadır.

TVK vücut iç sıcaklığını değil, cilt sıcaklığını düşürür ve hipotermiye yol açmaz [95, 173]. Soğuk, miyokardın, özellikle de sinoatriyal düğümün işlevini etkiler, kalp atış hızını düşürür ve potansiyel olarak aritmiye yol açar [174]. Kardiyovasküler sistemle ilgili olarak TVK için mutlak kontrendikasyonlar arasında kalp yetmezliği semptomları olan kalp kası hastalıkları, akut iskemik kalp hastalığı, kardiyak aritmi bulunur [175].

TVK uygulaması genellikle kişiler tarafından iyi tolere edilir ve tedaviyle ilgili komplikasyonlar çok nadirdir. Bununla birlikte, düşük sıcaklıkların etkisinin hasta için olumsuz olabileceği durumlar ihmal edilmemelidir. Kişilerin TVK tedavisi için uygunluğunu belirlemek açısından bazı önemli noktalara dikkat edilmelidir. Bunlar kişinin yaşı, mevcut hastalıkları, beslenme durumu, kardiyovasküler performansı, ilaç alımı, alkol tüketimi, soğuğa verdiği bireysel tepki ve uygulanan soğğun süresi ve yoğunluğu gibi parametreleri içerir [171].

TVK için mutlak kontrendikasyonlar aşağıda sıralanmıştır [171].

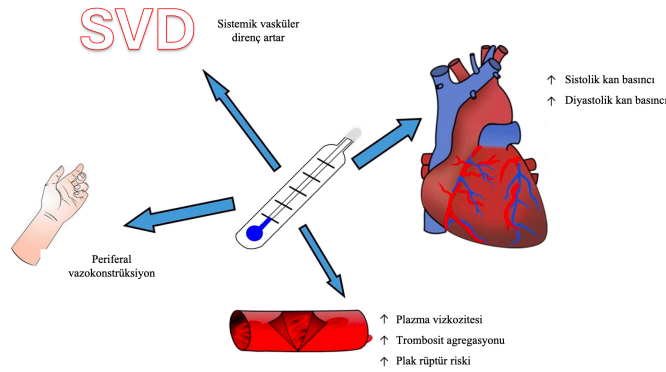
- Soğuk intoleransı
- Kriyoglobulinemi
- Raynaud hastalığı
- Açık yaralar ve ülserler
- Venöz sistemde tromboembolik değişiklikler ve inflamasyon
- Merkezi sinir sistemi hastalığı
- Sempatik nöropati
- Hipotiroidizm

- Lokal kan akışı bozuklukları
- Ciddi anemi
- Klostrofobi
- Kabindeki kişiyle iletişimi önleyebilecek mental bozukluklar
- Kanser
- Kaşeksi
- Kontrol edilemeyen hipertansiyon
- Unstabil koroner arter hastalığı
- Aort kapak darlığı ve mitral kapak darlığı
- Dakikada 100 atımdan daha yüksek hızda aritmi
- Akciğerlerde venöz kan sızıntıları
- Akut solunum sistemi bozuklukları

2.3. Soğuk Stresin Kardiyovasküler Sistem Üzerine Etkileri

Soğuk stres, vücut iç sıcaklığındaki düşüşü önlemek için bir dizi fizyolojik tepkinin gerçekleşmesine yol açar (Şekil 2.5). Soğuk tipik olarak kalp hızında 5-10 atım/dakika ve sistolik kan basıncında (SKB) 15-20 mmHg bir artışa neden olur [176]. Cilt yüzeyinin soğuması periferik vazokonstriksiyona neden olur [177], sistemik vasküler direnci artırır [178] ve diyastolik kan basıncını (DKB) artırır [179]. Ard yükte artışın atım hacmini azaltması beklenir ancak ard yükteki artış, merkezi venöz basıncın artması yoluyla ön yükteki artış ile dengelenir [178]. Hız basıncı ürünü soğuk ile artar [179] dolayısıyla miyokardiyal oksijen tüketimi de artar. Sol ventrikülün üstesinden gelmesi gereken merkezi basınç, duvar gerginliğini ve miyokardiyal oksijen talebini etkiler. Soğukla beraber sistemik arteriyel sertlik, ard yük ve sol ventrikülün işi artar [180].

Soğğun, miyokardiyal oksijen talebini artırması ve sempatik sinir sistemini aktive etmesi nedeniyle, koroner kan akışını artırması beklenir. Soğuk stres uyarana yanıt olarak sağlıklı deneklerde koroner kan akışının arttığı gösterilmiştir [181]. Miyokardiyal kan akışı soğuk ile artar [179]. Ayrıca soğuğa yanıt olarak koroner vazodilatasyon meydana gelir [182].



Şekil 2.5: Soğuk Stresin Kardiyovasküler Etkileri [181]

2.4. Kuadriseps ve Hamstring Kasları

Kuadriseps ve hamstring kasları, alt gövdenin kinetik zincirinde yer alan en önemli kaslardır. Dinlenme durumunda bu kaslar kalça ve diz eklemlerini stabilize eder. Bu iki karşıt kas grubu, yürüyüş ve atletik aktivite sırasında koordine alt ekstremité hareketi üretmek için birlikte çalışır. Kuadriseps ve hamstring için yüksek aktivasyon sıklığı, bu kasları yaralanmaya karşı duyarlı hale getirir ve bu yaralanmalar sporcunun en yüksek seviyede rekabet etme yeteneğini olumsuz anlamda etkiler [183].

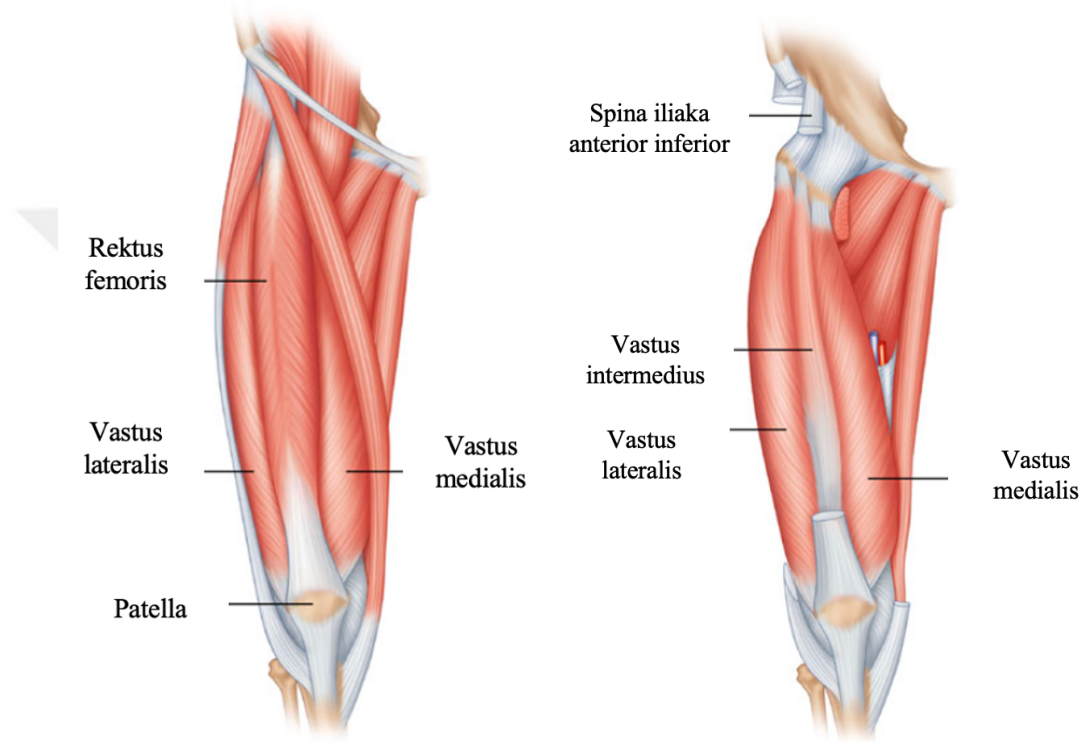
Kuadriseps kas kompleksi rektus femoris, vastus medialis, vastus lateralis ve vastus intermedius'tan oluşur (Şekil 2.6). Kuadriseps kası dizin primer ekstansörüdür ve femoral sinir tarafından innerve edilir [184].

Rektus femoris, kuadriseps kas kompleksinin iki eklemi kat eden tek kasıdır. Rektus femoris, ön bölmenin en yüzeysel kasıdır ve vastus intermediusun üstünde bulunur. Bu kas spina iliaca anterior inferiordan başlar [185] ve patellanın ön yüzeyinin üst üçte birine tutunarak patellar tendona katkıda bulunur [186].

Vastus medialis, ön uyluğun ekstansör kompartmanının medial tarafı boyunca ilerler. Kas, linea asperanın intertrokanterik hattından başlar ve kuadriseps tendonu aracılığıyla patellanın üst medial sınırında biter [184].

Vastus lateralis, uyluğun ön bölmesinin lateral tarafı boyunca ilerler. Bu kas büyük trokanterden ve femurda linea asperanın lateralinden başlar ve patellanın üst lateral sınırında sonlanır [187].

Vastus intermedius, kuadriseps kas kompleksinin en derin kasıdır ve femurun lateral tarafını sarar. Kas, proksimal femoral shaftın ön ve lateral yüzeylerinin üst üçte ikisinden başlar ve lifler patellanın üst sınırının derinlerinde sonlanır [188].



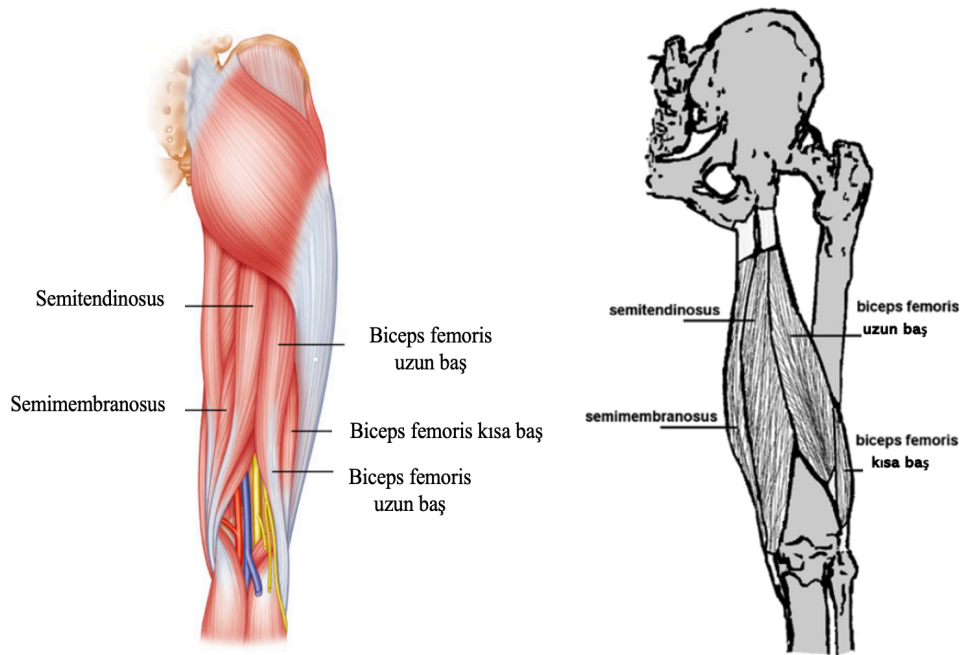
Şekil 2.6: Kuadriseps Kası [184]

Dizin ekstansör mekanizması, diz ekstansiyonunu kontrol etmek için birlikte çalışan birden fazla kas, tendon ve bağdan oluşur. Ekstansör kas kompleksi, yürüme döngüsünün salınım fazında önemli bir rol oynar [189]. Rectus femoris, erken salınım fazında dizin aşırı fleksiyonunu önlemek için eksantrik olarak kasılır ve hamstring kasları ile birlikte çalışır. Kalça eklemi de geçen tek diz ekstansörü olarak, rectus femoris, salınım aşamasında kalçanın fleksiyonuna da katkıda bulunur [189]. İki eklemi geçen kaslar daha fazla gerginlik üretir ve bu nedenle yaralanmaya daha duyarlıdır [190].

Uyluğun arkasında yer alan hamstring kasları, vücut postürünün stabilizasyonunda, alt ekstremitelerin hareketinde ve uylukla ilişkili gövde hareketlerinde çok önemli bir role sahiptir. Özellikle sportif performansta önemli olan koşu, zıplama, değişen hız ve yönlerde gerçekleştirilen hareketlerin tümü bu kasların katılımıyla gerçekleştirilir [191].

Hamstring kas kompleksi, diz fleksiyonu ve kalça ekstansiyonunda rol oynayan üç farklı kastan (biceps femoris, semimembrososus ve semitendinosus) oluşur (Şekil 2.7). Hamstring kas kompleksi hem kalça hem de diz eklemlerini geçerek bu iki eklem üzerinde önemli işlevler görür. Siyatik sinirin peroneal dalı tarafından innerve edilen biceps femoris kasının kısa başı hariç, tüm kaslar siyatik sinirin tibial dalı tarafından innerve edilir.

Uyluğun posterolateralinde yer alan ve iki başlı olan biceps femorisin uzun başı tuber iskiyadikumun medialinden, kısa başı ise linea asperanın lateralinden başlar ve ikisi birleşerek caput fibulada sonlanır. Bu kas kalça eklemine ekstansiyon, diz eklemine ise fleksiyon ve dış rotasyon yaptırır. Semitendinosus kası tuber ischiadicumdan başlar ve tibianın medial kondilinin alt kısmında sonlanır. Bu kas kalça eklemine ekstansiyon, diz eklemine fleksiyon yaptırır ve diz eklemi fleksiyondayken dize iç rotasyon yaptırır. Semimembranosus kası tuber ischiadicumdan başlar ve tibia medial kondilinde sonlanır. Bu kas kalça eklemine ekstansiyon, diz eklemine fleksiyon yaptırır ve diz eklemi fleksiyondayken dize iç rotasyon yaptırır [184].



Şekil 2.7: Hamstring Kası [192]

Hamstring kasları, yürüme döngüsü sırasında hem kalçaya ekstansiyon hem de dize fleksiyon yaptırmak için birlikte çalışır. Yürüme döngüsünün salınım fazında hamstring kasları kalçada ekstansiyonu koordine eder ve dizde ekstansiyonu önler. Hamstring

kasları ayrıca, yürüme döngüsünde topuk vuruşu sırasında ön tibial translasyonu önlemek için ön çapraz bağ ile birlikte hareket eder [193]. Hamstring kompleksi, diz fleksiyondayken, biceps femoris ve semitendinosusun konumları nedeniyle bacağın dış ve iç rotasyonunda da rol oynar [194].

Hamstring kompleksi kalça eklemine stabilize etmede önemli bir rol oynar. Hamstring kaslarının uzunluğu, diz fleksiyonunda olmadığı sürece kalçanın hareket aralığını tam kalça fleksiyonunu önleyecek şekilde sınırlar. Sonuç olarak, uyluğun ileri doğru salınması, dizin pasif fleksiyonuna neden olur ve yürüme döngüsünün salınım fazında aşırı ekstansiyon sonucu oluşabilecek hamstring yaralanmalarını önler [195].

Biceps femoris kası, dizin posterolateral köşesinin stabilizasyonunda büyük rol oynar. Bu sayede varus yükleri altında diz stabilitesine yardımcı olur [196].

Semimembranosus kası dizin posteromedial köşesinin stabilizasyonu için çok önemlidir ve valgus yükü altında dizin stabilitesini güçlendirir [197].

Bu kas grupları birlikte bacağın akselerasyon ve deselerasyonunu kontrol eder ve koşu, zıplama ve diğer atletik aktiviteler için yeterli kuvvette olmaları gereklidir. İyi bir atletik performans için kuadriseps ve hamstring kaslarının kuvvetinin yeterli düzeyde olmasının yanı sıra bu kuvvetlerin oransal olarak bir denge içerisinde olması gerekir [198]. Kuadriseps ve hamstring kuvveti, izokinetik dinamometre kullanılarak güvenilir bir şekilde değerlendirilebilir [199].

2.5. İzokinetik Dinamometre

İstemli kas kasılması hareket edebilme yetisi açısından hayati öneme sahiptir [200]. Kas kuvvetinin doğru bir şekilde değerlendirilmesi, kuvvetle ilişkili olası zayıflıkları belirlemek [201] ve egzersiz programını uygun şekilde reçete etmek açısından önemlidir [202]. Kas kuvveti, maksimum izometrik ve maksimum izokinetik tork dahil olmak üzere birçok şekilde ölçülebilir [200]. 1967'de izokinetik dinamometrenin tanıtılmasından bu yana [203], bu yöntem, sporcularda ve klinik uygulamada kas performansı değerlendirilmesinde altın standart haline gelmiştir [204]. İzokinetik dinamometre, eklem hareket aralığı boyunca sabit hızlar altında ilgili kasın maksimum konsantrik ve eksantrik kuvvetini değerlendirir [205]. İzokinetik değerlendirmenin güvenilirliği ve

geçerliliği [206, 207] iyi-mükemmel olarak raporlanırken, düşük hızlarda güvenilirlik yüksek seviyede [208] bulunmuştur.

Kuadriseps-hamstring kuvvetinin oranı, diz eklemi çevresindeki kas dengesizliklerinin önemli bir göstergesi olarak kabul edilir ve yaralanma riskini tespit etmek için kullanılır [209]. İzokinetik dinamometrede ölçülen değer, bacağı ekstansiyona ve fleksiyona getirmek için kuadriseps ve hamstring kaslarının ürettiği kuvvetin net etkisinin sayısal olarak ifade edilmiş şeklidir. Diz eklemine uygulanan bu kuvvetlerin net etkisi, sabit hızlarda ve belli bir hareket aralığında kaydedilir. Kuadriseps-hamstring oranı genellikle belirli bir açısal hızda (örneğin 60°/s, 240°/s) değerlendirilir. Düşük açısal hızlarda (0–180°/s), pik tork kas gücünü yansıtırken, daha yüksek açısal hızlarda (>180°/s) nöromüsküler kontrol devreye girer. Yüksek hızlarda yapılan testler, atletik performans sırasındaki kas fonksiyonunu, düşük hızlarda yapılan testlere kıyasla daha iyi yansıtır [210].

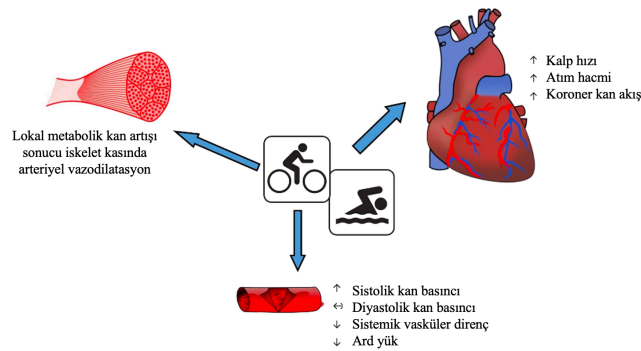
Kuadriseps ve hamstring kuvvetini değerlendirirken, bazı çıktılar büyük önem taşımaktadır. İzokinetik dinamometreden elde edilen en önemli çıktı, test sırasında uygulanan en yüksek kas kuvvetinin ölçüsü olan pik torktur. Vücut ağırlığı ve kas gücü arasındaki ilişki dolayısıyla [211], pik torkun genellikle vücut ağırlığına göre değerlendirilmesi daha yararlıdır. Pik tork değerlerine ek olarak, pik tork oranları da hesaplanır. Bu oranlar, farklı kas gruplarının kuvveti ve kas dengesizlikleri hakkında önemli bilgiler sağlar ve kıyaslamayı kolaylaştırır. Kuadriseps-hamstring oranı, kuadrisepsin ürettiği pik torkun, hamstringin ürettiği pik torka bölünmesi ile hesaplanır [198] ve araştırmalarda kuadriseps kas kuvvetinin, hamstring kas kuvvetine oranının 3:2 büyüklüğünde olması gerektiği gösterilmiştir [212]. Bir başka önemli oran, ekstremiteler arasındaki pik torku karşılaştırmak için hesaplanır ve dominant ekstremiteler ile dominant olmayan ekstremitenin pik torkunu kıyaslamak için kullanılır. Ekstremiteler arasında %15'ten fazla fark olması, sağlıklı sporcularda genellikle önemli bir asimetri olarak kabul edilir ve yaralanma riskini artırır [213].

2.6. Dinamik Egzersizin Kardiyovasküler Sistem Üzerine Etkileri

Dinamik egzersiz, hareket eden eklem segmentlerine ait kaslarda kasılmaya neden olur. Kardiyovasküler sistem, bu tip egzersiz sırasında iskelet kaslarına kan akışını artırırken

iç organlara yönelik kan akışını azaltmak için bazı akut adaptasyonlar geliştirir (Şekil 2.8).

Sempatik sinir sisteminin aktivasyonu ve vagal kontrolün geri çekilmesi kalp hızını [214], SKB'nı [214] ve kontraktileti artırır [215]; DKB nispeten sabit kalır [214]. Vazomotor tonustaki artışa rağmen [216], β_2 reseptör aktivasyonu [217] ve lokal metabolit üretimi [218] kaslarda bulunan arterlerin vazodilatasyonuna neden olur. Bu durum sistemik vasküler direnci azaltır ve egzersize katılan kaslara giden kan akışını artırır. Periferik kan hacminin iç organlardan uzaklaştırılması [219] ve kasların kasılarak oluşturduğu pompa etkisi [220], venöz dönüşü artırır [221]. Egzersiz sırasında atım hacmi, miyokard kontraktilesinin artması nedeniyle artar [215], venöz geri dönüş artar [221] ve ard yük azalır [222]. Bu nedenle dinamik egzersiz sırasında kalp debisi artar [223]. Kalp hızı ile merkezi SKB'nın çarpımı ile hesaplanan hız basınç ürünü, miyokardiyal işin bir belirteçidir [224] ve daha yüksek kalp hızlarında miyokardiyal oksijen tüketiminin daha fazla olacağı öngörülebilir [225]. Kalp debisinin ve miyokardiyal işin artması miyokardiyal oksijen tüketimini artırır. Dolayısıyla hız basınç ürünü ve miyokardiyal oksijen talebi egzersizle beraber artar [214]. Koroner kan akış hızını korumak için metabolik adaptasyon yoluyla koroner arteriyollerin vazodilatasyonu gereklidir. Sağlıklı deneklerde dinamik egzersizde artan koroner kan akış hızının [182, 215] miyokardiyal oksijen tüketimini artırdığı gösterilmiştir.



Şekil 2.8: Dinamik Egzersizin Kardiyovasküler Etkileri [181]

3. GEREÇ VE YÖNTEM

“Tüm Vücut Kriyoterapinin Egzersize Bağlı Yorgunluk Sonrası İzokinetik Performans Üzerine Etkisi” başlıklı yüksek lisans tez çalışmamız, İstanbul Üniversitesi İstanbul Tıp Fakültesi Spor Hekimliği Anabilim Dalı Laboratuvarları'nda gerçekleştirildi. Çalışma, İstanbul Tıp Fakültesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu'nun 09.08.2024 tarihli ve 15 sayılı toplantısında onaylandı.

Çalışmaya İstanbul Üniversitesi İstanbul Tıp Fakültesi'nde eğitim görmekte olan, 18-30 yaş arası fiziksel olarak aktif ve sağlıklı erkek öğrenciler dahil edildi. Başlangıçta çalışmaya toplam 33 katılımcı alındı, ancak testleri tamamlayamayan 3 kişi çalışmadan çıkarıldı ve veri analizi 30 katılımcı üzerinden gerçekleştirildi. Tüm katılımcılara, ölçümlere başlamadan önce çalışma prosedürleri detaylı şekilde açıklandı ve “Bilgilendirilmiş Gönüllü Onam Formu” imzalatıldı. Katılımcıların çalışmaya dahil edilme kriterleri aşağıdaki gibidir:

- 18-30 yaş aralığında egzersiz limitasyonu olmayan erkek bireyler olması
- Fizik tedavi veya cerrahi müdahale gerektirmiş diz veya alt ekstremitte yaralanma hikayesi olmaması
- Alt ekstremitede herhangi bir aktif ağrının bulunmaması
- Alt ekstremitte EHA'nda herhangi bir limitasyon olmaması
- Kronik bir hastalığı bulunmaması
- Mental ve psikolojik problemlerin olmaması

Katılımcıların çalışmaya dahil edilmeme kriterleri aşağıdaki gibidir:

- Kardiyovasküler ve solunum sistemi hastalıklarının olması
- Soğuk alerjisi olması
- Tümörle ilişkili bir hastalığının olması
- Viral ve bakteriyel bir enfeksiyonun olması
- Raynaud hastalığının olması
- Klostrofobinin olması

Çalışmamızda katılımcı grubunun yalnızca erkeklerden seçilmesine özen gösterildi ve yaş aralığı dar tutuldu; böylece gruplar arasındaki yaş farklılıklarının etkisi en aza

indirilmiş oldu. Ayrıca katılımcıların fiziksel aktivite düzeyi ve antrenman geçmişi açısından benzer özelliklere sahip olmaları sağlanarak, fitness düzeyinden kaynaklanabilecek olası farklılıklar kontrol altına alınmış oldu. Boy, kilo ve vücut kitle indeksi (VKİ) gibi temel antropometrik ölçümlerde ortalamadan belirgin şekilde sapma gösteren bireyler çalışma kapsamına alınmadı ve bu yolla homojen bir örneklem oluşturuldu. Bu yaklaşım, TVK'nin oluşturacağı fizyolojik yanıtların bireysel farklılıklardan etkilenmeden daha güvenilir şekilde değerlendirilmesine olanak sağladı.

Katılımcılar, klinik ziyaretlerinin ilk aşamasında “Bilgilendirilmiş Gönüllü Onam Formu” ve “Katılımcı Takip Formu”nu doldurdular. Ölçümler öncesinde, katılımcılardan yeterli uyku almaları ve testten en az 2 saat önce hafif bir öğün tüketmeleri istendi. Daha sonra izokinetik test öncesi antropometrik ve sosyodemografik veriler toplandı; boy, kilo, doğum tarihi ve dominant bacak bilgileri kaydedildi. Tüm hazırlık ve ölçümler tamamlandıktan sonra izokinetik testler uygulandı.

3.1. Diz Ekstansiyon-Fleksiyon İzokinetik Testi

Diz ekstansiyon-fleksiyon izokinetik testi için Computer Sport Medicine Inc. (CSMI) HUMAC/NORM marka izokinetik dinamometre kullanıldı. Test öncesinde katılımcılara 8 dakika boyunca 55–65 devir/dakika hızında bisikletle ısınma yaptırıldı ve kuadriseps ile hamstring kaslarına germe egzersizleri uygulandı. Katılımcılar kalça yaklaşık 90° fleksiyonda olacak şekilde dik pozisyonda dinamometre sandalyesine oturtuldu (Şekil 3.1). Sandalye kaldıraç kolu pivotu femur lateral epikondiline paralel olacak şekilde ayarlandı ve bacağın itiş kuvvetini uygulayacağı ped, ayak bileği medial malleolü üzerinden sabitlendi. Test sırasında sırt desteği açısı, sandalye uzunluğu, sandalye yüksekliği ve kaldıraç kolunun uzunluğu kaydedilerek sonraki tüm ölçümlerde aynı pozisyonun sağlanması garanti edildi. Aşırı üst vücut hareketini önlemek için omuzlar ve gövde, uyluk hareketini önlemek için dizden yukarısı kemerle sabitlendi; diğer bacağı sabitlemek için ayak aparatı kullanıldı. Katılımcıların test boyunca cihazın yanındaki özel tutunma yerlerini kavramaları istendi.

Bilgisayara katılımcı bilgileri girildikten sonra teste başlandı. Kuadriseps ve hamstring kas grupları için 0°-90° EHA'nda 60°/s ve 240°/s açısal hızlarda izokinetik testler uygulandı. Testler, dominant bacak ile başlatıldı; çalışmada tüm katılımcıların sağ bacağı dominant olduğundan önce sağ, ardından sol bacak test edildi.

Test süreci iki aşamada gerçekleştirildi. İlk aşamada $60^{\circ}/s$ hızda kuvvet ölçümü yapıldı. Katılımcılar teste alıştırılmak amacıyla %60–%80 kuvvette üç submaksimal kasılma gerçekleştirdi; ardından %100 kuvvette dört maksimal kasılma uygulandı. İkinci aşamada $240^{\circ}/s$ hızda dayanıklılık değerlendirildi. Katılımcılar, yüksek hızda %60–%80 kuvvette beş submaksimal kasılmanın ardından maksimum kapasite ile 20 tekrar gerçekleştirdi. Test sırasında katılımcıların odaklanması ve maksimal kuvvet üretmeleri için sözlü geri bildirim ve motivasyon sağlandı.

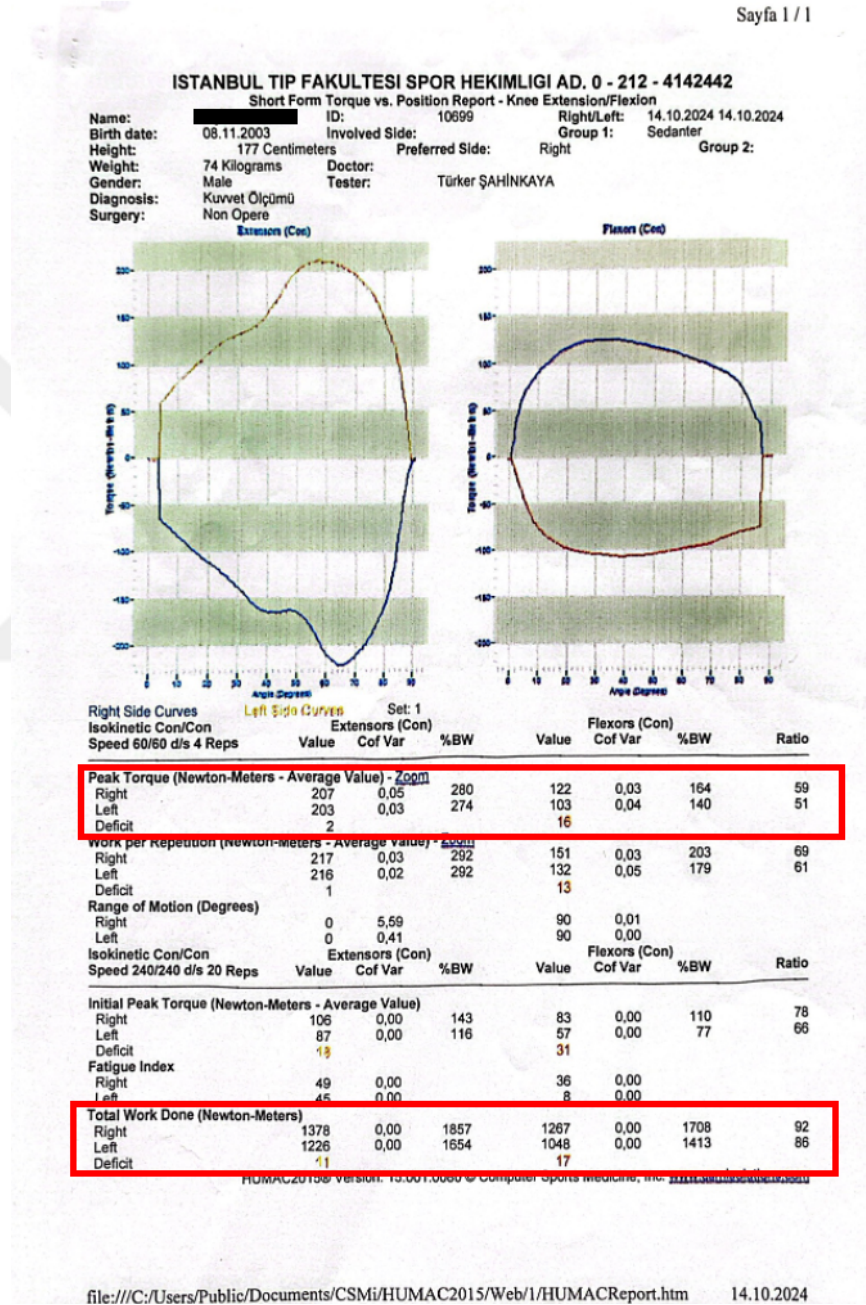


Şekil 3.1: Oturur Pozisyonda Diz Ekstansiyon-Fleksiyon İzokinetik Testi

Test sonrasında, $60^{\circ}/s$ ve $240^{\circ}/s$ açısal hızlarda elde edilen pik tork (PT) değerleri ve vücut ağırlığına göre pik tork (PT-VA) değerleri, diz ekstansiyon ve fleksiyon hareketleri için kaydedildi ve analiz edildi (Şekil 3.2). İzokinetik test her iki ekstremiteye de uygulandıktan sonra, katılımcıların soğuma yapmaları amacıyla 50-60 devir/dakikada 5 dakika süreyle bisiklet sürmeleri sağlandı.

Katılımcıların kliniğe ikinci ve üçüncü ziyaretleri planlandı. Bu ziyaretlerden önce, katılımcıların en az 24 saat alkolden ve en az 48 saat alt ekstremitayı içeren yoğun egzersizlerden uzak durmaları istendi. Ziyaretler arasında en az 48 saat bırakılması ve bu süre zarfında katılımcıların dinlenmeleri ve rutin dışı zorlayıcı aktivitelere katılmamaları önerildi. İkinci ve üçüncü ziyaretlerde de, yorgunluk protokolü ve dinlenme periyodunu takiben, izokinetik diz ekstansiyon ve fleksiyon testleri, önceden belirlenen protokole uygun şekilde tekrar uygulandı.

Katılımcıların kliniği ikinci ziyaretleri aynı test ortamında (ortalama sıcaklık $21,7^{\circ}\text{C} \pm 1,0^{\circ}\text{C}$, ortalama nem $\%35,8 \pm \%8,3$) gerçekleştirildi. Bu ortamda öncelikle oturur pozisyonda 5 dakika dinlendirilmeleri sağlandı. Daha sonra istirahat durumundaki kan basıncı, kalp hızı ve saturasyon değerleri ölçüldü.



Şekil 3.2: Diz Ekstansiyon-Fleksiyon İzokinetik Test Raporu ve İncelenen Değerler

3.2. Kan Basıncı ve Kalp Hızı Ölçümü

Kan basıncı ölçümlerinde kalibrasyonu yapılmış OMRON marka dijital tansiyon aleti kullanıldı (Şekil 3.3). Ölçümler, normal oda sıcaklığında, sessiz ve sakin bir ortamda gerçekleştirildi. Ölçüm öncesinde katılımcının oturur pozisyonunda en az 5 dakika dinlenmesi sağlandı. Katılımcı, sırtı destekli, ayakları yere temas edecek şekilde otururken sağ kolu kalp hizasında ve avuç içi açık pozisyonunda tutuldu; manşonun alt kısmı ise dirsek çukurunun 2,5–3 cm üzerinde olacak şekilde yerleştirildi. Koşu protokolü öncesinde dinlenme durumunda (t_{din}) alınan kan basıncı ve kalp hızı değerleri kaydedildi. Ölçümler, koşunun hemen ardından (t_0) ve 30 dakikalık dinlenme periyodu boyunca 5 dakikada bir tekrarlandı (t_5 , t_{10} , t_{15} , t_{20} , t_{25} , t_{30}). SKB, DKB ve cihaz tarafından gösterilen kalp hızı değerleri de aynı şekilde not edildi. Tüm ölçümler katılımcının kliniği 2. ve 3. ziyaretlerinde gerçekleştirildi.



Şekil 3.3: Tansiyon Aleti



Şekil 3.4: Katılımcının Kan Basıncı ve Kalp Hızı Değerlerinin Kaydedilmesi

3.3. Satürasyon Ölçümü

Katılımcıların oksijen satürasyon oranı, oksimetre cihazı kullanılarak ölçüldü (Şekil 3.5). Ölçümler sırasında katılımcı oturur pozisyonda, sağ kolu desteklenmiş şekilde bulunurken, nabız oksimetre aleti sağ işaret parmağına yerleştirildi (Şekil 3.6). Satürasyon değerleri, koşu öncesi dinlenme durumunda (t_{din}), koşu bitiminden hemen sonra (t_0) ve 30 dakikalık dinlenme periyodu boyunca 5 dakikada bir tekrarlandı (t_5 , t_{10} , t_{15} , t_{20} , t_{25} , t_{30}). Tüm ölçümler, katılımcının kliniği 2. ve 3. ziyaretlerinde gerçekleştirildi.



Şekil 3.5: Oksimetre Cihazı



Şekil 3.6: Katılımcının Satürasyon Değerlerinin Kaydedilmesi

3.4. Koşuya Bağlı Yorgunluk Protokolü

Koşu sporda kullanılan yaygın bir egzersiz modudur ve yorucu egzersizden sonra toparlanmayı artırmayı amaçlayan sporcular için farklı toparlanma metotlarının etkinliğini değerlendirmek gerekir. Daha önce açıklandığı gibi koşunun tüm vücudu ilgilendiriyor olması ve çok eklemli doğası, bu egzersiz protokolünü, atlamalar ve izole kol bacak egzersizleri gibi yaygın olarak kullanılan diğer modellerden daha spora özgü hale getirir. Futbol ve ragbi gibi birçok takım sporu da bu tezde kullanılan ve kas hasarı ve yorgunluk oluşturan koşu egzersizini içerir. Bu tür sporlar, çeşitli düzlemlerde çok sayıda kas kasılmasını ve kas inflamasyonuna yol açan hareketleri gerektirir [226, 227]. Ek olarak, bu tür sporların nispeten yüksek kardiyorespiratuar taleplerinin [228], sporda toparlanma metotlarını araştırmak için yorgunluk oluşturma yöntemi olarak koşunun kullanımını desteklediği iddia edilebilir.

Katılımcıların kliniği 2. ve 3. ziyaretlerinde, koşuya bağlı yorgunluk protokolü uygulanarak yorgunluk geliştirilmesi sağlandı. İstirahat durumundaki kan basıncı, kalp hızı ve saturasyon değerleri kaydedildikten sonra, yorgunluğun subjektif değerlendirilmesi amacıyla 20 puanlık Borg Skalası katılımcılara detaylı bir şekilde açıklandı. Katılımcının koşu sırasında yorgunluk seviyesinin belirlenmesi için Borg Skalası dışında Polar H10 kalp hızı monitörü (Şekil 3.7) de kullanıldı. Kalp hızı monitörü, sternum alt ucu hizasında göğse yerleştirildi ve koşu bandıyla senkronize çalışarak koşu boyunca kalp hızının sürekli takibini sağladı.

Kalp atışları, sternumun altına yerleştirilen Polar bant aracılığıyla ölçüldü. Bu bant, kalpteki elektrik sinyallerini tespit etmek için elektrokardiyografi prensibini kullanır. Göğüs kemerindeki iletken içerisindeki mikroişlemci, kalp hızını bu sinyale göre kaydeder ve veriyi monitör ekranıyla senkronize eder. Stres, hidrasyon durumu ve çevresel değişkenler gibi dış faktörlerin potansiyel etkilerine rağmen, Polar kalp hızı monitörleri egzersiz sırasında kalp hızının doğru ve geçerli ölçümleri için rutin olarak kullanılmaktadır ve enerji harcamasının tahmini için güvenilir bir araçtır [229]. Kalp hızı, oksijen tüketimi ve Algılanan Efor Derecelendirmesi ile birlikte değerlendirildiğinde, egzersiz yoğunluklarının doğru ve kapsamlı bir şekilde belirlenmesini sağlar ve submaksimal yoğunluklarda VO_2 max yüzdesi ile yakın ilişki gösterebilir. [230].

Koşu protokolü, daha önce yapılmış bir çalışmadan örnek alınarak uygulandı [231]. Protokol, normal oda sıcaklığında, gürültüsüz ve gözlemci dışında dış uyaranın olmadığı bir ortamda gerçekleştirildi. Protokolün başlangıcında koşu bandı eğimsiz şekilde ve hız 6 km/s olarak ayarlandı, hız her iki dakikada bir 1 km/s artırıldı. Katılımcı, koşuya elverişli duruma gelince koşmaya başladı. Bu sırada, katılımcının yorgunluk düzeyi sürekli olarak sorgulandı ve süre ile hız konusunda geri bildirim sağlandı. Katılımcı, Borg Skalasında 13 (“biraz zor”) puanına ulaşana kadar hız artırılmaya devam edildi, bu puana ulaşıldığında hız sabitlendi ve katılımcı Borg Skalasında 17 (“çok zor”) puanına veya maksimal kalp hızının $(220 - \text{yaş}) \%90$ 'ına ulaşana kadar koşmaya devam etti. Bu aşamadan sonra katılımcının iki dakika daha koşmasına izin verildi ve protokol sonlandırıldı. Bu aşamada katılımcının gönüllü tükenişi ulaştığı kabul edildi (Şekil 3.8).

Koşu protokolünün tamamlanmasının ardından, koşu bandının hızı hızlıca düşürüldü ve katılımcı oturtularak kan basıncı, kalp hızı, satürasyon ve yorgunluk değerleri ölçülüp kaydedildi.



Şekil 3.7: Polar H10 Kalp Hızı Monitörü



Şekil 3.8: Koşuya Bağlı Yorgunluk Protokolünün Uygulanması

3.5. Borg Skalası

Yorgunluğun subjektif değerlendirilmesi Borg Skalası kullanılarak yapıldı. Katılımcılardan, koşu bitiminin hemen ardından ve koşu sonrası 5 dakikada bir yorgunluklarını skala üzerinden puanlamaları istendi. Katılımcılar, genel olarak 10. dakikadan sonra yorgunluklarının puanlama yapılamayacak düzeyde azaldığını bildirdiler. Bu nedenle Borg Algılanmış Efor Derecelendirmesi yalnızca t_0 , t_5 ve t_{10} süre noktalarında ölçülebildi. Bu süre zarfından sonra yalnızca kan basıncı, kalp hızı ve saturasyon değerleri kaydedildi ve ölçümler daha önce belirtildiği şekilde yarım saatlik dinlenme periyodu içerisinde her 5 dakikada bir tekrarlandı.

Borg Skalası				
Derece	Yegınlık	Algılanan Efor	Olası Etki	Ant Kategorisi
6	20%			
7	30%	Çok çok hafif		
8	40%	Çok çok hafif		
9	50%	Çok hafif	Isınma ve soğuma için çok uygun	Toparlanma
10	55%			
11	60%	Hafif	Aer. End./ Şidd. Antr. Topr.	END-I
12	65%			
13	70%	Biraz zor	Aer. Kapasite	END-I
14	75%			
15	80%	Zor	Aer. Kapasite An. Eşikte / biraz düşük	END-II
16	85%			
17	90%	Çok zor	Aerob.-Anaerobik Kassal dayanıklılık	END-III
18	95%			
19	100%	Çok çok zor		
20	Exhaustion	Maksimal	Anaerobik Metabolizma	SPR-I, RP

Şekil 3.9: Borg Skalası

Katılımcıların hangi koşulu (PD veya TVK) ilk olarak uygulayacakları rastgele belirlendi. Her iki koşulda da koşu protokolü ve ölçümler aynı yöntem ve sıklıkta uygulandı. Katılımcıların her iki toparlanma metodu öncesinde, bir yöntemin diğerine üstünlüğü konusunda yanılgıya yol açmamak amacıyla eşit düzeyde yorgunluk

oluşturmaları sağlandı. Katılımcıların kliniği ikinci ve üçüncü ziyaretlerinde, dinlenme durumundaki değerleri kaydedildi, protokol detaylı şekilde açıklandı ve Polar H10 kalp hızı monitörü göğüs bölgesine yerleştirildi. Koşuya bağlı yorgunluk protokolü uygulandı, ancak yorgunluğu etkileyebilecek bireysel farklılıklar nedeniyle katılımcılar her iki seansta birebir aynı sürede yorgunluğa ulaşmadılar. Buna rağmen, her iki koşu süresi birbirine oldukça yakın bulundu. Yorgunluğun her iki seansta eşit düzeyde oluşturulduğunu doğrulamak amacıyla, kalp hızı, Borg skalası ile ölçülen subjektif yorgunluk değerleri ve koşu sonrasında kaydedilen kan basıncı ve kalp hızı değerleri karşılaştırıldı ve birbirine anlamlı derecede yakın olduğu tespit edildi.

PD koşulunda katılımcının, koşu sonrasında 30 dakika boyunca sırt ve ayakları destekli şekilde oturması sağlandı. TVK koşulunun uygulandığı günde ise katılımcı yine aynı şekilde oturarak dinlendirildi. t_{15} - t_{20} süre noktaları arasında TVK seansını aldı ve seansın ardından t_{20} - t_{30} süre noktaları arasında tekrar oturarak dinlendirildi ve ölçümler 5 dakikada bir tekrar edildi.

3.6. Tüm Vücut Kriyoterapi (TVK)

TVK seansı her katılımcıya, kliniği 2. veya 3. ziyaretlerinde uygulandı. Seanslar rutin olarak kalibre edilen iki aşamalı bir kriyojenik odada (Revocool, Türkiye) gerçekleştirildi. Kabinlerdeki sıcaklık ve nem değerleri kullanım süresi boyunca sabit tutuldu ve dijital bir ekran aracılığıyla yetkili gözlemci tarafından takip edilmesi sağlandı. Kriyojenik oda düzeneği, ortam ısısının gerekli seviyeye düşürülmesi için katılımcı girişinden 2 saat önce başlatıldı.

Katılımcılara, prosedürün aşamaları ve güvenlik yönergeleri hakkında sözlü talimatlar verildi. TVK odasına girişten hemen önce, kan basıncı, kalp hızı ve saturasyon ölçüldü. Bu ölçümlerin ardından, katılımcıların cilt yüzeyinde ter veya sıvı kalmaması için vücutlarını kuru ve temiz bir havluyla kurulamaları sağlandı. Ayrıca katılımcılara, tedavi sırasında yavaş ve kontrollü nefes almanın önemi hatırlatıldı. TVK sırasında kullanılan giysiler, vücudun donmaya karşı en hassas bölgelerini koruyacak şekilde seçildi. Bu bölgeler öncelikle eller, ayaklar, kulaklar ve dudaklardır. [171]. Bu nedenle, katılımcılar TVK odasına girmeden önce güvenlik amacıyla uygun koruyucu ekipmanla donatıldı. Katılımcılara bir kulaklık, yüz maskesi, iki çift eldiven, iki çift çorap ve bir çift ayakkabı giydirildi. Özellikle yüz maskesi, akciğerleri korumak için kritik öneme sahiptir. Çünkü

aşırı soğuk hava, akciğer dokularına ulaştığında ısınarak hacim değişimi yaratabilir ve bu durum solunumda baskı hissine yol açabilir. Böylece maskenin kullanımı, tedavi sırasında solunum yollarının aşırı soğuk havaya maruz kalmasını önlemeye yönelik temel bir güvenlik önlemidir [232].

Bununla beraber katılımcıların üzerlerinde bulunan tüm metal aksesuarları çıkarmaları ve olabildiğince az kıyafetle, üstsüz olarak TVK odasına girmeleri sağlandı. Katılımcılar ilk olarak adaptasyon kabine alındı ve bu sırada dijital ekrandaki kronometre başlatıldı. Adaptasyon süreci kapsamında, katılımcılar 30 saniye boyunca -30°C sıcaklıkta bekletildiler. Bu süre zarfında kabin çeperine temas etmeden, kendi etraflarında dönmeleri ve ekstremitelerini hafif şekilde hareket ettirmeleri teşvik edildi. Adaptasyon süresi tamamlandığında, katılımcıların gözlemcinin yönlendirmesiyle ara kapıyı açarak ana kabine geçmeleri sağlandı.

Ana kabin -85°C sıcaklıkta tutuldu ve katılımcıların burada 3 dakika kalması sağlandı. Bu süre boyunca katılımcılara hem dijital ekran hem de gözlemci tarafından süre hakkında bilgilendirme yapıldı ve katılımcıların kabinde hareketli kalmaları önerildi. Sürenin dolmasının ardından, katılımcılar tekrar ara kapıya yönlendirilerek adaptasyon kabine alındı. Ardından ana çıkış kapısından çıkış yapılarak TVK seansı tamamlandı.

TVK seansını bitiren katılımcı hemen oturtuldu ve aynı şekilde kan basıncı, kalp hızı ve satürasyon değerleri ölçülerek kaydedildi. Daha sonra katılımcının koruyucu ekipmanları çıkarıp kıyafetlerini giymesi sağlandı ve oturarak dinlenmeye devam ettirildi (ortalama sıcaklık $21,7^{\circ}\text{C} \pm 0,8^{\circ}\text{C}$, ortalama nem $\%36,4 \pm \%7,7$). Katılımcı 20. dakikada odayı terk ettikten sonra 10 dakika daha oturarak dinlendirildi, bu sürede 5 dakikada bir kan basıncı, kalp hızı ve satürasyon değerleri ölçüldü ve süre dolduktan sonra izokinetik diz ekstansiyon fleksiyon testi aynı şekilde uygulandı.



Şekil 3.10: TVK Öncesi Katılımcının Son Hali

3.7. Pasif Dinlenme (PD)

Pasif dinlenme metodunda, katılımcılara yorgunluk protokolü uygulandıktan sonra benzer düzeyde yorgunluk oluşturuldu. Protokol tamamlandıktan sonra katılımcılara 30 dakika boyunca PD koşulu uygulandı. Dinlenme süresince kan basıncı, kalp hızı ve saturasyon değerleri daha önce belirtilen süre noktalarında (t_0 , t_5 , t_{10} , t_{15} , t_{20} , t_{25} , t_{30}) kaydedildi. Katılımcılar, gürültüsüz ve sakin bir test ortamında (ortalama oda sıcaklığı $21,7^{\circ}\text{C} \pm 1,0^{\circ}\text{C}$, ortalama nem $\%35,8 \pm \%8,3$) rahat bir şekilde oturur pozisyonda dinlendirildi. Sırtları destekli ve ayakları yere temas halinde olacak şekilde oturtulan katılımcıların dinlenme esnasında herhangi bir fiziksel aktivite yapmamaları sağlandı. Bu yöntemde amaç, koşu sonrası yorgunluğun doğal olarak ve dış müdahaleye maruz kalmadan azalma düzeyini gözlemlemek ve TVK ile karşılaştırma yapabilmektir. Ayrıca, dinlenme süresince katılımcıların rahatlığı ve motivasyonu sürekli gözlemlendi, ortam koşullarının standart ve tutarlı olmasına özen gösterildi.

3.8. İstatistiksel Değerlendirme

Çalışmanın istatistiksel analizleri SPSS 30 programı kullanılarak gerçekleştirildi. Verilerin normal dağılıma uygunluğu Shapiro–Wilk testi ile değerlendirildi. Tanımlayıcı istatistikler ortalama $\pm$ standart sapma şeklinde ifade edildi. Normal dağılıma uyan verilerin ikili grup karşılaştırmalarında Bağımsız Örneklem T Testi (Independent Samples T Test) kullanıldı. Gruplar arası önce-sonra ölçümler arasındaki farklılıkların belirlenmesinde ise Tekrarlı Ölçümler Varyans Analizi (Repeated Measures ANOVA) uygulandı. İstatistiksel anlamlılık düzeyi $p < 0,05$ olarak kabul edildi ve Tip I hata düzeyi %5 olarak belirlendi.



4. BULGULAR

Bu çalışmada, sağlıklı genç erkek katılımcıların istirahat (İST) durumunda ve yorgunluk protokolü sonrasında, iki farklı toparlanma yönteminin (PD ve TVK) etkileri incelendi. Katılımcıların izokinetik test sonuçları karşılaştırılarak, her iki yöntemin akut yorgunluk sonrası kuvvetin geri kazanımı üzerindeki etkileri değerlendirildi. Ayrıca, bu yöntemlerin kardiyovasküler parametreler (kan basıncı, kalp hızı, satürasyon) üzerindeki etkileri de analiz edildi. Verilerin analizinde tanımlayıcı istatistikler, bağımlı gruplar t-testi ve tekrarlı ölçümler varyans analizi (ANOVA) kullanıldı; anlamlı farklılık gösteren değişkenler için ikili karşılaştırmalar (post hoc testler) gerçekleştirildi. Katılımcıların demografik bilgileri Tablo 4.1’de verildi.

Tablo 4.1: Katılımcıların Demografik Özellikleri

Parametreler	Ortalama (Ort±SS)	Minimum	Maksimum
Yaş (yıl)	20,77±1,61	18	24
Kilo (kg)	80,63±10,75	59	98
Boy (cm)	180,37±4,57	173	189
VKİ (kg/m ²)	24,75±2,86	18,51	30,40

VKİ: Vücut Kitle İndeksi, Ort±SS: Ortalama±Standart Sapma

4.1. Pik Tork Değerleri

Katılımcıların İST durumunda ve yorgunluk protokolü sonrasında, farklı toparlanma koşulları altında elde edilen 60°/s açısal hızda diz ekstansiyonu pik tork ve vücut ağırlığına göre pik tork değerleri Tablo 4.2’de verildi.

Tablo 4.2: 60°/s’de Diz Ekstansiyonu Kuvvet Değerleri

		İST DURUMU (1)	PD KOŞULU (2)	TVK KOŞULU (3)
PARAMETRELER		Ort±SS	Ort±SS	Ort±SS
PT (Nm)	Sağ	205,63±29,44	184,87±31,66	195,60±31,43
	Sol	195,87±33,46	174,83±32,68	190,03±33,49
PT-VA (Nm/kg)	Sağ	256,30±31,73	229,90±32,53	243,60±35,99
	Sol	244,03±36,23	218,13±40,57	236,87±39,86

İST: İstirahat; PD: Pasif Dinlenme; TVK: Tüm Vücut Kriyoterapi; Ort±SS: Ortalama±Standart Sapma; PT: Pik tork; PT-VA: Vücut Ağırlığına Göre Pik Tork

Katılımcıların İST durumunda ve yorgunluk protokolü sonrasında, farklı toparlanma koşulları altında elde edilen 240°/s açısal hızda diz ekstansiyonu pik tork ve vücut ağırlığına göre pik tork değerleri Tablo 4.3’te verildi.

Tablo 4.3: 240°/s’de Diz Ekstansiyonu Yapılan Toplam İş Değerleri

		İST DURUMU (1)	PD KOŞULU (2)	TVK KOŞULU (3)
PARAMETRELER		Ort±SS	Ort±SS	Ort±SS
PT (Nm)	Sağ	1557,57±274,77	1567,27±296,61	1655,50±302,44
	Sol	1487,43±289,97	1578,30±307,26	1585,67±313,01
PT-VA (Nm/kg)	Sağ	1944,10±310,09	1951,83±307,91	2059,20±291,67
	Sol	1854,13±327,17	1965,70±345,80	1971,57±318,50

İST: İstirahat; PD: Pasif Dinlenme; TVK: Tüm Vücut Kriyoterapi; Ort±SS: Ortalama±Standart Sapma; PT: Pik tork; PT-VA: Vücut Ağırlığına Göre Pik Tork

Katılımcıların İST durumunda ve yorgunluk protokolü sonrasında, farklı toparlanma koşulları altında elde edilen 60°/s açısal hızda diz fleksiyonu pik tork ve vücut ağırlığına göre pik tork değerleri Tablo 4.4’te verildi.

Tablo 4.4: 60°/s'de Diz Fleksiyonu Kuvvet Değerleri

		İST DURUMU (1)	PD KOŞULU (2)	TVK KOŞULU (3)
PARAMETRELER		Ort±SS	Ort±SS	Ort±SS
PT (Nm)	Sağ	128,33±20,81	130,30±23,43	135,60±21,36
	Sol	119,93±20,12	118,30±19,52	128,27±19,14
PT-VA (Nm/kg)	Sağ	160,60±26,81	162,47±28,41	169,63±26,46
	Sol	149,80±22,91	148,43±26,74	160,37±26,00

İST: İstirahat; PD: Pasif Dinlenme; TVK: Tüm Vücut Kriyoterapi; Ort±SS: Ortalama±Standart Sapma; PT: Pik tork; PT-VA: Vücut Ağırlığına Göre Pik Tork

Katılımcıların İST durumunda ve yorgunluk protokolü sonrasında, farklı toparlanma koşulları altında elde edilen 240°/s açısal hızda diz fleksiyonu pik tork ve vücut ağırlığına göre pik tork değerleri Tablo 4.5'te verildi.

Tablo 4.5: 240°/s'de Diz Fleksiyonu Yapılan Toplam İş Değerleri

		İST DURUMU (1)	PD KOŞULU (2)	TVK KOŞULU (3)
PARAMETRELER		Ort±SS	Ort±SS	Ort±SS
PT (Nm)	Sağ	1339,80±249,35	1417,33±289,92	1485,23±292,15
	Sol	1270,07±231,04	1309,37±241,14	1366,70±248,53
PT-VA (Nm/kg)	Sağ	1677,13±313,24	1767,80±350,67	1858,57±375,14
	Sol	1588,63±291,91	1636,77±303,29	1708,80±315,92

İST: İstirahat; PD: Pasif Dinlenme; TVK: Tüm Vücut Kriyoterapi; Ort±SS: Ortalama±Standart Sapma; PT: Pik Tork; PT-VA: Vücut Ağırlığına Göre Pik Tork

Tablo 4.6’da tekrarlı ölçümler varyans analizi (Repeated Measures ANOVA, RM-ANOVA) sonuçları verildi. Bu analiz kapsamında ölçüm zamanları arasındaki farklar da verildi. Analiz, İST durumu, PD ve TVK koşullarındaki ölçümler arasında anlamlı bir fark olup olmadığını değerlendirmek amacıyla yapıldı. RM-ANOVA sonuçları, 240°/s açısal hızda sol diz ekstansiyonu vücut ağırlığına göre pik tork değerlerinde anlamlı bir fark olmadığını gösterdi ($p>0,05$). Ancak, diğer tüm ölçüm parametreleri için İST durumu, PD ve TVK koşulları arasında gerçekleştirilen RM-ANOVA istatistiksel olarak anlamlı bulundu ($p<0,05$).

Tablo 4.6: İST Durumu, PD ve TVK Koşullarına Ait İzokinetik Parametrelerin Karşılaştırması

Parametreler		p değeri	
		PT	PT-VA
Ekstansiyon 60°/s	Sağ	<0,001***	<0,001***
	Sol	<0,001***	<0,001***
Ekstansiyon 240°/s	Sağ	0,030*	0,025*
	Sol	0,037*	0,056
Fleksiyon 60°/s	Sağ	0,002**	<0,001***
	Sol	<0,001*	<0,001*
Fleksiyon 240°/s	Sağ	0,002**	0,002***
	Sol	0,012*	0,009**

PT: Pik Tork; PT-VA: Vücut Ağırlığına Göre Pik Tork

* $p<0,05$; ** $p<0,01$; *** $p<0,001$

Bu bulgular, söz konusu ölçümler arasında genel bir farkın mevcut olduğunu göstermektedir. Ancak RM-ANOVA’nın yalnızca genel farkı ortaya koyması nedeniyle, bu anlamlılığın hangi grup veya gruplar arasındaki farklılıktan kaynaklandığını belirlemek için ek bir analiz yapılması gerekmektedir. Bu amaçla, Tablo 4.7’de sunulan ikili karşılaştırmalar (post hoc testleri) uygulandı ve gruplar arasındaki çiftler halinde karşılaştırmalar detaylı olarak değerlendirildi. Post hoc analizi, hangi koşullar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıkların bulunduğunu net bir şekilde ortaya koyarak, İST durumu, PD ve TVK koşullarının performans parametreleri üzerindeki etkilerini daha ayrıntılı olarak yorumlamaya olanak sağlamaktadır.

Tablo 4.7: İST Durumu, PD ve TVK Koşullarına Ait İzokinetik Parametrelerin İkili Karşılaştırması

Parametreler		(1)–(2) p değeri		(1)–(3) p değeri		(2)–(3) p değeri	
		PT	PT-VA	PT	PT-VA	PT	PT-VA
Ekstansiyon 60°/s	Sağ	<0,001***	<0,001***	0,002**	0,004**	<0,001***	<0,001***
	Sol	<0,001***	<0,001***	0,101	0,154	<0,001***	<0,001***
Ekstansiyon 240°/s	Sağ	1,00	1,00	0,030*	0,026*	0,073	0,070
	Sol	0,123	0,174	0,043*	0,059	1,00	1,00
Fleksiyon 60°/s	Sağ	1,00	1,00	0,008**	0,007**	0,054	0,044*
	Sol	1,00	1,00	0,005**	0,009**	<0,001***	<0,001***
Fleksiyon 240°/s	Sağ	0,046*	0,074	0,001**	0,001**	0,182	0,125
	Sol	0,121	0,112	0,009**	0,006**	0,079	0,075

PT: Pik Tork; PT-VA: Vücut Ağırlığına Göre Pik Tork

*p< 0,05; **p<0,01;***p<0,001

Bu analiz sonuçlarına göre;

- 60°/s açısal hızda sağ diz ekstansiyonu pik tork değerleri arasında (1), (2) ve (3) ölçümleri içinde anlamlı fark bulundu ($p<0,001$). Ort±SS değerleri incelendiğinde sıralama (1) > (3) > (2) şeklindedir. Bu durum, İST durumunda pik tork değerlerinin en yüksek, TVK koşulunda orta, PD koşulunda ise en düşük olduğunu göstermektedir. İST durumu ile PD koşulu karşılaştırmasında %11,2’lik bir düşüş gözlemlendi ve anlamlı fark bulundu ($p<0,001$). İST durumu ile TVK koşulu karşılaştırmasında %5,1’lik bir düşüş gözlemlendi ve anlamlı fark bulundu ($p=0,002$). PD koşulu ile TVK koşulu karşılaştırmasında ise TVK koşulunun değerleri daha yüksek ve anlamlı fark bulundu ($p<0,001$).
- 60°/s açısal hızda sağ diz ekstansiyonu vücut ağırlığına göre pik tork değerleri arasında (1), (2) ve (3) ölçümleri içinde anlamlı fark bulundu ($p<0,001$). Ort±SS değerleri incelendiğinde sıralama (1) > (3) > (2) şeklindedir. Bu durum, İST durumunda vücut ağırlığına göre pik tork değerlerinin en yüksek, TVK koşulunda orta, PD koşulunda ise en düşük olduğunu göstermektedir. İST durumu ile PD koşulu karşılaştırmasında %11,4’lük bir düşüş gözlemlendi ve anlamlı fark bulundu ($p<0,001$). İST durumu ile TVK koşulu karşılaştırmasında %5,2’lik bir düşüş gözlemlendi ve anlamlı fark bulundu ($p=0,004$). PD koşulu ile TVK koşulu

karşılaştırmasında ise TVK koşulunun değerleri daha yüksek ve anlamlı fark bulundu ($p<0,001$).

- 60°/s açısal hızda sol diz ekstansiyonu pik tork değerleri arasında (1), (2) ve (3) ölçümleri içinde anlamlı fark bulundu ($p<0,001$). Ort $\pm$ SS değerleri incelendiğinde sıralama (1) > (3) > (2) şeklindedir. Bu durum, İST durumunda pik tork değerlerinin en yüksek, TVK koşulunda orta, PD koşulunda ise en düşük olduğunu göstermektedir. İST durumu ile PD koşulu karşılaştırmasında %12'lik bir düşüş gözlemlendi ve anlamlı fark bulundu ($p<0,001$). İST durumu ile TVK koşulu karşılaştırmasında %3'lük bir düşüş gözlemlendi ancak anlamlı fark bulunmadı ($p=0,101$). PD koşulu ile TVK koşulu karşılaştırmasında ise TVK koşulunun değerleri daha yüksek ve anlamlı fark bulundu ($p<0,001$).
- 60°/s açısal hızda sol diz ekstansiyonu vücut ağırlığına göre pik tork değerleri arasında (1), (2) ve (3) ölçümleri içinde anlamlı fark bulundu ($p<0,001$). Ort $\pm$ SS değerleri incelendiğinde sıralama (1) > (3) > (2) şeklindedir. Bu durum, İST durumunda vücut ağırlığına göre pik tork değerlerinin en yüksek, TVK koşulunda orta, PD koşulunda ise en düşük olduğunu göstermektedir. İST durumu ile PD koşulu karşılaştırmasında %11,8'lik bir düşüş gözlemlendi ve anlamlı fark bulundu ($p<0,001$). İST durumu ile TVK koşulu karşılaştırmasında %3'lük bir düşüş gözlemlendi ancak anlamlı fark bulunmadı ($p=0,154$). PD koşulu ile TVK koşulu karşılaştırmasında ise TVK koşulunun değerleri daha yüksek ve anlamlı fark bulundu ($p<0,001$).
- 240°/s açısal hızda sağ diz ekstansiyonu yapılan toplam iş değerleri arasında (1), (2) ve (3) ölçümleri içinde anlamlı fark bulundu ($p=0,030$). Ort $\pm$ SS değerleri incelendiğinde sıralama (3) > (2) > (1) şeklindedir. Bu durum, TVK koşulunda yapılan toplam iş değerlerinin en yüksek, PD koşulunda orta, İST durumunda ise en düşük olduğunu göstermektedir. İST durumu ile PD koşulu karşılaştırmasında %0,7'lik bir artış gözlemlendi ancak anlamlı fark bulunmadı ($p=1,000$). İST durumu ile TVK koşulu karşılaştırmasında %6'lık bir artış gözlemlendi ve anlamlı fark bulundu ($p=0,030$). PD koşulu ile TVK koşulu karşılaştırmasında ise TVK koşulunun değerleri daha yüksek bulundu ancak anlamlı fark bulunmadı ($p=0,073$).

- 240°/s açısal hızda sağ diz ekstansiyonu vücut ağırlığına göre yapılan toplam iş değerleri arasında (1), (2) ve (3) ölçümleri içinde anlamlı fark bulundu ($p=0,037$). Ort $\pm$ SS değerleri incelendiğinde sıralama (3) > (2) > (1) şeklindedir. Bu durum, TVK koşulunda vücut ağırlığına göre yapılan toplam iş değerlerinin en yüksek, PD koşulunda orta, İST durumunda ise en düşük olduğunu göstermektedir. İST durumu ile PD koşulu karşılaştırmasında %0,4'lük bir artış gözlemlendi ancak anlamlı fark bulunmadı ($p=1,00$). İST durumu ile TVK koşulu karşılaştırmasında %5,6'lık bir artış gözlemlendi ve anlamlı fark bulundu ($p=0,026$). PD koşulu ile TVK koşulu karşılaştırmasında ise TVK koşulunun değerleri daha yüksek bulundu ancak anlamlı fark bulunmadı ($p=0,07$).
- 240°/s açısal hızda sol diz ekstansiyonu yapılan toplam iş değerleri arasında (1), (2) ve (3) ölçümleri içinde anlamlı fark bulundu ($p=0,037$). Ort $\pm$ SS değerleri incelendiğinde sıralama (3) > (2) > (1) şeklindedir. Bu durum, TVK koşulunda yapılan toplam iş değerlerinin en yüksek, PD koşulunda orta, İST durumunda ise en düşük olduğunu göstermektedir. İST durumu ile PD koşulu karşılaştırmasında %5,8'lik bir artış gözlemlendi ancak anlamlı fark bulunmadı ($p=0,123$). İST durumu ile TVK koşulu karşılaştırmasında %6,2'lik bir artış gözlemlendi ve anlamlı fark bulunmadı ($p=0,043$). PD koşulu ile TVK koşulu karşılaştırmasında ise TVK koşulunun değerleri daha yüksek bulundu ancak anlamlı fark bulunmadı ($p=1,00$).
- 240°/s açısal hızda sol diz ekstansiyonu vücut ağırlığına göre yapılan toplam iş değerleri arasında (1), (2) ve (3) ölçümleri içinde anlamlı fark bulunmadı ($p=0,056$).
- 60°/s açısal hızda sağ diz fleksiyonu pik tork değerleri arasında (1), (2) ve (3) ölçümleri içinde anlamlı fark bulundu ($p=0,002$). Ort $\pm$ SS değerleri incelendiğinde sıralama (3) > (2) > (1) şeklindedir. Bu durum, TVK koşulunda pik tork değerinin en yüksek, PD koşulunda orta, İST durumunda ise en düşük olduğunu göstermektedir. İST durumu ile PD koşulu karşılaştırmasında %1,6'lık bir artış gözlemlendi ancak anlamlı fark bulunmadı ($p=1,000$). İST durumu ile TVK koşulu karşılaştırmasında %5,4'lük bir artış gözlemlendi ve anlamlı fark bulundu ($p=0,008$). PD koşulu ile TVK koşulu karşılaştırmasında ise TVK koşulunun değerleri daha yüksek bulundu ancak anlamlı fark bulunmadı ($p=0,054$).

- 60°/s açısal hızda sağ diz fleksiyonu vücut ağırlığına göre pik tork değerleri arasında (1), (2) ve (3) ölçümleri içinde anlamlı fark bulundu ($p=0,001$). Ort $\pm$ SS değerleri incelendiğinde sıralama (3) > (2) > (1) şeklindedir. Bu durum, TVK koşulunda pik tork değerlerinin en yüksek, PD koşulunda orta, İST durumunda ise en düşük olduğunu göstermektedir. İST durumu ile PD koşulu karşılaştırmasında %1,2'lik bir artış gözlemlendi ancak anlamlı fark bulunmadı ($p=1,000$). İST durumu ile TVK koşulu karşılaştırmasında %5,4'lük bir artış gözlemlendi ve anlamlı fark bulundu ($p=0,007$). PD koşulu ile TVK koşulu karşılaştırmasında ise TVK koşulunun değerleri daha yüksek ve anlamlı fark bulundu ($p=0,044$).
- 60°/s açısal hızda sol diz fleksiyonu pik tork değerleri arasında (1), (2) ve (3) ölçümleri içinde anlamlı fark bulundu ($p<0,001$). Ort $\pm$ SS değerleri incelendiğinde sıralama (3) > (1) > (2) şeklindedir. Bu durum, TVK koşulunda pik tork değerlerinin en yüksek, İST durumunda orta, PD koşulunda ise en düşük olduğunu göstermektedir. İST durumu ile PD koşulu karşılaştırmasında %1,3'lük bir düşüş gözlemlendi ancak anlamlı fark bulunmadı ($p=1,000$). İST durumu ile TVK koşulu karşılaştırmasında %6,5'lik bir artış gözlemlendi ve anlamlı fark bulundu ($p=0,005$). PD koşulu ile TVK koşulu karşılaştırmasında ise TVK grubunun değerleri daha yüksek ve anlamlı fark bulundu ($p<0,001$).
- 60°/s açısal hızda sol diz fleksiyonu vücut ağırlığına göre pik tork değerleri arasında (1), (2) ve (3) ölçümleri içinde anlamlı fark bulundu ($p<0,001$). Ort $\pm$ SS değerleri incelendiğinde sıralama (3) > (1) > (2) şeklindedir. Bu durum, TVK koşulunda vücut ağırlığına göre pik tork değerlerinin en yüksek, İST durumunda orta, PD koşulunda ise en düşük olduğunu göstermektedir. İST durumu ile PD koşulu karşılaştırmasında %0,9'lük bir düşüş gözlemlendi ancak anlamlı fark bulunmadı ($p=1,000$). İST durumu ile TVK grubu karşılaştırmasında %6,6'lık bir artış gözlemlendi ve anlamlı fark bulundu ($p=0,009$). PD koşulu ile TVK koşulu karşılaştırmasında ise TVK koşulunun değerleri daha yüksek ve anlamlı fark bulundu ($p<0,001$).
- 240°/s açısal hızda sağ diz fleksiyonu yapılan toplam iş değerleri arasında (1), (2) ve (3) ölçümleri içinde anlamlı fark bulundu ($p=0,002$). Ort $\pm$ SS değerleri incelendiğinde sıralama (3) > (2) > (1) şeklindedir. Bu durum, TVK koşulunda

yapılan toplam iş değerlerinin en yüksek, PD koşulunda orta, İST durumunda ise en düşük olduğunu göstermektedir. İST durumu ile PD koşulu karşılaştırmasında %5,5'lik bir artış gözlemlendi ve anlamlı fark bulundu ($p=0,046$). İST durumu ile TVK koşulu karşılaştırmasında %9,8'lik bir artış gözlemlendi ve anlamlı fark bulundu ($p=0,001$). PD koşulu ile TVK koşulu karşılaştırmasında ise TVK koşulunun değerleri daha yüksek bulundu ancak anlamlı fark bulunmadı ($p=0,182$).

- 240°/s açısal hızda sağ diz fleksiyonu vücut ağırlığına göre yapılan toplam iş değerleri arasında (1), (2) ve (3) ölçümleri içinde anlamlı fark bulundu ($p=0,002$). Ort±SS değerleri incelendiğinde sıralama (3) > (2) > (1) şeklindedir. Bu durum, TVK koşulunda vücut ağırlığına göre yapılan toplam iş değerlerinin en yüksek, PD koşulunda orta, İST durumunda ise en düşük olduğunu göstermektedir. İST durumu ile PD koşulu karşılaştırmasında %5,2'lik bir artış gözlemlendi ancak anlamlı fark bulunmadı ($p=0,074$). İST durumu ile TVK koşulu karşılaştırmasında %9,8'lik bir artış gözlemlendi ve anlamlı fark bulundu ($p=0,001$). PD koşulu ile TVK koşulu karşılaştırmasında ise TVK koşulunun değerleri daha yüksek bulundu ancak anlamlı fark bulunmadı ($p=0,125$).
- 240°/s açısal hızda sol diz fleksiyonu yapılan toplam iş değerleri arasında (1), (2) ve (3) ölçümleri içinde anlamlı fark bulundu ($p=0,012$). Ort±SS değerleri incelendiğinde sıralama (3) > (2) > (1) şeklindedir. Bu durum, TVK koşulunda yapılan toplam iş değerlerinin en yüksek, PD koşulunda orta, İST durumunda ise en düşük olduğunu göstermektedir. İST durumu ile PD koşulu karşılaştırmasında %3,1'lik bir artış gözlemlendi ancak anlamlı fark bulunmadı ($p=0,121$). İST durumu ile TVK koşulu karşılaştırmasında %7,1'lik bir artış gözlemlendi ve anlamlı fark bulundu ($p=0,009$). PD koşulu ile TVK koşulu karşılaştırmasında ise TVK koşulunun değerleri daha yüksek bulundu ancak anlamlı fark bulunmadı ($p=0,079$).
- 240°/s açısal hızda sol diz fleksiyonu vücut ağırlığına göre yapılan toplam iş değerleri arasında (1), (2) ve (3) ölçümleri içinde anlamlı fark bulundu ($p=0,009$). Ort±SS değerleri incelendiğinde sıralama (3) > (2) > (1) şeklindedir. Bu durum, TVK koşulunda vücut ağırlığına göre yapılan toplam iş değerlerinin en yüksek, PD koşulunda orta, İST durumunda ise en düşük olduğunu göstermektedir. İST

durumu ile PD koşulu karşılaştırmasında %3'lük bir artış gözlemlendi ancak anlamlı fark bulunmadı ($p=0,112$). İST durumu ile TVK koşulu karşılaştırmasında %7,1'lik bir artış gözlemlendi ve anlamlı fark bulundu ($p=0,006$). PD koşulu ile TVK koşulu karşılaştırmasında ise TVK koşulunun değerleri daha yüksek bulundu ancak anlamlı fark bulunmadı ($p=0,075$).

4.2. Sistolik ve Diyastolik Kan Basıncı Değerleri

Katılımcıların dinlenme durumunda ve yorgunluk protokolü uygulandıktan sonra ölçülen sistolik kan basıncı (SKB) ve diyastolik kan basıncı (DKB) değerleri Tablo 4.8'de gösterildi. Yapılan bağımlı gruplar t-testi sonuçlarına göre dinlenme durumu (t_{din}) ve yorgunluk sonrası t_{15} ölçümüne kadar SKB ve DKB değerlerinde gruplar arası anlamlı bir fark görülmedi. t_{20} , t_{25} ve t_{30} SKB ölçümlerinde PD koşulu ve TVK koşulu arasında, TVK koşulu lehine anlamlı bir artış görüldü ($p<0,05$). t_{20} ve t_{25} DKB ölçümlerinde TVK grubu lehine anlamlı bir fark görüldü ($p<0,05$) ancak t_{30} ölçümünde bu fark ortadan kalktı ($p>0,05$).

Tablo 4.8: PD ve TVK Koşullarına Ait Sistolik ve Diyastolik Kan Basıncı Değerleri

		PD KOŞULU	TVK KOŞULU	p değeri
		Ort±SS	Ort±SS	
t_{din}	SKB	123,27±11,73	123,73±11,26	0,83
	DKB	70,43±9,42	69,53±8,50	0,54
t₀	SKB	148,07±16,88	149,37±17,31	0,70
	DKB	71,87±9,42	71,43±11,11	0,82
t₅	SKB	121,97±10,25	123,50±11,56	0,38
	DKB	70,93±8,12	70,33±9,09	0,65
t₁₀	SKB	118,67±9,75	119,30±11,84	0,72
	DKB	70,83±7,69	72,23±8,16	0,39
t₁₅	SKB	118,10±11,84	120,77±14,33	0,34
	DKB	70,97±9,97	70,00±9,86	0,69
t₂₀	SKB	115,07±9,43	133,90±11,97	<0,001***
	DKB	72,87±7,93	76,57±8,26	0,04*
t₂₅	SKB	116,03±7,69	122,30±11,09	0,001**
	DKB	71,47±8,14	80,33±15,11	0,005**
t₃₀	SKB	114,63±9,37	119,17±9,41	0,045*
	DKB	70,10±10,19	71,50±8,44	0,49

PD: Pasif Dinlenme; TVK: Tüm Vücut Kriyoterapi; SKB: Sistolik Kan Basıncı; DKB: Diyastolik Kan Basıncı;

Ort±SS: Ortalama±Standart Sapma

*p< 0,05; **p<0,01; ***p<0,001

4.3. Borg Skalası Değerleri

Katılımcıların yorgunluk protokolü sonrasında ölçülen Borg skalası değerleri Tablo 4.9’da sunuldu. Yapılan bağımlı gruplar t-testi sonucunda t₀, t₅ ve t₁₀ ölçümlerinde elde edilen Borg skalası değerleri açısından PD koşulu ile TVK koşulu arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmadı (p>0,05).

Tablo 4.9: PD ve TVK Koşullarına Ait Borg Skalası Değerleri

	PD KOŞULU	TVK KOŞULU	p değeri
	Ort±SS	Ort±SS	
t ₀	17,00±0,00	17,00±0,00	1,00
t ₅	9,50±1,75	9,27±1,81	0,50
t ₁₀	6,73±1,25	6,60±1,16	0,53

PD: Pasif Dinlenme; TVK: Tüm Vücut Kriyoterapi; Ort±SS: Ortalama±Standart Sapma
 *p< 0,05; **p<0,01;***p<0,001

4.4. Kalp Hızı Değerleri

Katılımcıların dinlenme durumunda ve yorgunluk protokolü uygulandıktan sonra ölçülen kalp hızı değerleri Tablo 4.10'da gösterildi. Yapılan bağımlı gruplar t-testi sonucunda dinlenme durumu (t_{din}) ve yorgunluk sonrası t₀, t₅, t₁₀, t₁₅, t₂₀, t₂₅ ölçümlerinde gruplar arasında anlamlı bir fark bulunmadı (p>0,05). Yalnızca t₃₀ ölçümlerinde PD koşulu ile TVK koşulu arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu belirlendi (p=0,02).

Tablo 4.10: PD ve TVK Koşullarına Ait Kalp Hızı Değerleri

	PD KOŞULU	TVK KOŞULU	p değeri
	Ort±SS	Ort±SS	
t _{din}	81,67±12,11	83,40±13,05	0,39
t ₀	144,33±15,25	148,00±18,20	0,17
t ₅	112,33±11,63	112,37±14,72	0,98
t ₁₀	107,17±11,09	108,77±11,15	0,41
t ₁₅	105,83±11,19	109,70±11,39	0,059
t ₂₀	105,03±11,96	110,20±14,99	0,053
t ₂₅	103,23±11,22	100,17±10,41	0,07
t ₃₀	101,50±11,06	97,27±12,12	0,02*

PD: Pasif Dinlenme; TVK: Tüm Vücut Kriyoterapi; Ort±SS: Ortalama±Standart Sapma
 *p< 0,05; **p<0,01;***p<0,001

4.5. Satürasyon Değerleri

Katılımcıların dinlenme durumda ve yorgunluk protokolü uygulandıktan sonra ölçülen satürasyon değerleri Tablo 4.11'de gösterildi. Yapılan bağımlı gruplar t-testi sonucunda dinlenme durumu (t_{din}) ve yorgunluk sonrası t₁₅ ölçümüne kadar PD koşulu ve TVK grubu

arasında anlamlı bir fark olmadığı görüldü ($p>0,05$). t_{20} satürasyon ölçümünde TVK koşulu lehine anlamlı bir fark görüldü ($p<0,05$). t_{25} ve t_{30} satürasyon ölçümlerinde ise bu fark ortadan kalktı ($p>0,05$).

Tablo 4.11: PD ve TVK Koşullarına Ait Satürasyon Değerleri

	PD KOŞULU	TVK KOŞULU	p değeri
	Ort±SS	Ort±SS	
t_{din}	98,43±0,89	98,47±0,73	0,87
t_0	97,97±1,06	98,00±0,94	0,88
t_5	97,97±0,89	97,73±1,17	0,35
t_{10}	98,07±0,78	97,80±1,09	0,24
t_{15}	97,73±0,90	98,00±1,05	0,27
t_{20}	97,77±0,81	98,57±1,10	0,001**
t_{25}	97,70±0,70	97,97±2,17	0,52
t_{30}	97,63±0,89	98,10±1,18	0,07

PD: Pasif Dinlenme, TVK: Tüm Vücut Kriyoterapi, Ort±SS: Ortalama±Standart Sapma

* $p<0,05$; ** $p<0,01$; *** $p<0,001$

TVK koşulunda kardiyovasküler parametrelerin değişimini değerlendirmek amacıyla t_{15} , t_{20} , t_{25} ve t_{30} ölçümleri varyans analizi ile incelendi.

Tablo 4.12’de TVK koşuluna ait SKB değerleri ve bu değerler arasındaki anlamlılık düzeyleri verildi. Analiz sonucunda, TVK koşulunda SKB değerlerinin zaman içerisinde anlamlı dalgalanmalar gösterdiği belirlendi. t_{15} ölçümünden sonra TVK uygulamasının tamamlandığı t_{20} ölçümünde artış gözlemlendi ve bu artış istatistiksel olarak anlamlı bulundu ($p=0,002$). Ardından t_{25} ’te SKB geriledi ve hem t_{15} – t_{25} hem de t_{20} – t_{25} karşılaştırmalarında anlamlı farklar saptandı ($p<0,001$). t_{30} ölçümünde ise SKB değeri tekrar düştü ve t_{20} – t_{30} karşılaştırmalarında anlamlı bir azalma kaydedildi. Bunun dışında diğer zaman noktaları arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmadı ($p>0,05$).

Tablo 4.12: TVK Koşuluna Ait SKB Değerleri ve Aralarındaki Anlamlılık Düzeyi

		t ₁₅	t ₂₀	t ₂₅	t ₃₀
		120,77±14,33	133,90±11,97	122,30±11,09	119,17±9,41
t ₁₅	120,77±14,33	-	0,002**	<0,001***	1,00
t ₂₀	133,90±11,97	0,002**	-	<0,001***	<0,001***
t ₂₅	122,30±11,09	1,00	<0,001***	-	1,00
t ₃₀	119,17±9,41	1,00	<0,001***	1,00	-

*p< 0,05; **p<0,01;***p<0,001

Tablo 4.13'te TVK koşuluna ait DKB değerleri ve bu değerler arasındaki anlamlılık düzeyleri verildi. TVK koşulunda DKB değerlerinin zaman içerisinde anlamlı dalgalanmalar gösterdiği belirlendi. t₁₅ ölçümü ile t₂₀ ölçümü arasında anlamlı bir artış görüldü (p = 0,022). t₁₅ ölçümü ile t₂₅ ölçümü arasında bu anlamlı artış devam etti (p = 0,014). t₂₀–t₃₀ (p = 0,031) ve t₂₅–t₃₀ (p = 0,018) karşılaştırmalarında da anlamlı farklar gözlemlendi.

Tablo 4.13: TVK Koşuluna Ait DKB Değerleri ve Aralarındaki Anlamlılık Düzeyi

		t ₁₅	t ₂₀	t ₂₅	t ₃₀
		70,00±9,86	76,57±8,26	80,33±15,11	71,50±8,44
t ₁₅	70,00±9,86	-	0,007**	0,029*	1,00
t ₂₀	76,57±8,26	0,007**	-	1,00	0,002**
t ₂₅	80,33±15,11	0,029*	1,00	-	0,027*
t ₃₀	71,50±8,44	1,00	0,002**	0,027*	-

*p< 0,05; **p<0,01;***p<0,001

Tablo 4.14'te TVK koşuluna ait kalp hızı değerleri ve bu değerler arasındaki anlamlılık düzeyleri sunuldu. Analiz sonuçlarına göre, TVK koşulunda kalp hızının başlangıçta görece yüksek seyrettiği, ardından zaman içerisinde kademeli bir azalma gösterdiği görüldü. Özellikle t₁₅ ve t₂₀ ölçümlerine kıyasla t₂₅ ve t₃₀ ölçümlerinde kalp hızında istatistiksel olarak anlamlı düşüşler saptandı (p<0,05).

Tablo 4.14: TVK Koşuluna Ait Kalp Hızı Değerleri ve Aralarındaki Anlamlılık Düzeyi

		t ₁₅	t ₂₀	t ₂₅	t ₃₀
		109,70±11,39	110,20±14,99	100,17±10,41	97,27±12,12
t ₁₅	109,70±11,39	-	1,00	<0,001***	<0,001***
t ₂₀	110,20±14,99	1,00	-	<0,001***	<0,001***
t ₂₅	100,17±10,41	<0,001***	<0,001***	-	<0,001***
t ₃₀	97,27±12,12	<0,001***	<0,001***	<0,001***	-

*p< 0,05; **p<0,01;***p<0,001

Tablo 4.15'te TVK koşuluna ait satürasyon değerleri ve bu değerler arasındaki anlamlılık düzeyleri verildi. TVK koşuluna ait tüm zaman noktalarında oksijen satürasyonu değerlerinin stabil kaldığı ve süreler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı görüldü .

Tablo 4.15: TVK Koşuluna Ait Satürasyon Değerleri ve Aralarındaki Anlamlılık Düzeyi

		t ₁₅	t ₂₀	t ₂₅	t ₃₀
		98,00±1,05	98,57±1,10	97,97±2,17	98,10±1,18
t ₁₅	98,00±1,05	-	0,053	1,00	1,00
t ₂₀	98,57±1,10	0,053	-	1,00	0,686
t ₂₅	97,97±2,17	1,00	1,00	-	1,00
t ₃₀	98,10±1,18	1,00	0,686	1,00	-

*p< 0,05; **p<0,01;***p<0,001

5. TARTIŞMA

TVK'nin kas hasarını azaltma ve toparlanma sürecini hızlandırma konusundaki etkileri literatürde uzun süredir tartışılmakta olup, bu alanda birbiriyle çelişen bulgular mevcuttur. Bazı çalışmalar, egzersiz sonrası uygulanan TVK'nin inflamasyonu baskıladığı [18, 116, 117], kas hasarına bağlı belirteçlerde azalma sağladığı [118, 119] ve subjektif toparlanma algısını iyileştirdiğini [153, 159, 161, 233] bildirmekteyken; diğerleri ise benzer etkilerin gözlenmediğini veya etkinin yalnızca kısa süreli olduğunu [20, 163, 168, 234] ortaya koymuştur. Bu farklılıklar, uygulama protokollerindeki değişkenlik, katılımcı özellikleri ve kullanılan egzersiz türleri gibi faktörlerden kaynaklanıyor olabilir. Dolayısıyla, farklı egzersiz protokolleri ve yorgunluk modelleri sonrasında TVK'nin kas hasarını azaltma ve toparlanmayı destekleme potansiyelinin daha kapsamlı şekilde araştırılması gerekmektedir.

TVK'nin öne sürülen en önemli faydalarından biri, egzersiz sonrası oluşan kas hasarını azaltarak toparlanma sürecini hızlandırmasıdır [166]. Bu bağlamda, mevcut tez çalışması, sporcu olmayan sağlıklı bireylerde koşu bandında oluşturulan yorgunluk sonrasında TVK'nin toparlanma sürecine etkilerini incelemeyi; yorgunluğu azaltma, kas fonksiyonlarını koruma ve toparlanmayı destekleme konusundaki potansiyel rolünü değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bu doğrultuda, 18–30 yaş arası fiziksel olarak aktif ve sağlıklı erkek katılımcılarda, istirahat koşullarında ve yorgunluk protokolü sonrasında uygulanan iki farklı toparlanma yönteminin ardından diz ekstansiyon-fleksiyon izokinetik kuvvet ve dayanıklılık parametreleri karşılaştırıldı. Ayrıca, yorgunluk protokolü sonrasında takip edilen kan basıncı, kalp hızı ve oksijen saturasyonu gibi fizyolojik yanıtlar da analiz edilerek TVK'nin PD'ye kıyasla ortaya koyabileceği avantajlara ışık tutacak yeni veriler sunuldu.

Çalışmamızda 60°/s açısal hızda sağ diz ekstansiyonu pik tork ve vücut ağırlığına göre pik tork değerleri incelendiğinde, TVK koşulu değerleri PD koşulu değerlerine kıyasla daha yüksek ve istatistiksel olarak anlamlı bulundu. Her iki metodun da İST durumu değerlerinin altında kalmasına rağmen, TVK'nin PD'ye göre daha iyi sonuç vermesi, bu yöntemin yorgunluk sonrası diz ekstansör grubu kas performansının korunmasına yönelik daha etkili bir toparlanma desteği sunduğunu düşündürmektedir. Fizyolojik açıdan, TVK'nin periferik sinir iletim hızını yavaşlatarak ağrı algısını azaltması [151], kas içi

metabolik yan ürünlerin uzaklaştırılmasına yardımcı olması ve kas içiği aktivitesini modüle etmesi [94], özellikle düşük açısal hızlarda toparlanmayı destekleyen mekanizmalar olarak değerlendirilebilir.

60°/s açısal hızda sol diz ekstansiyonu pik tork değerleri ve vücut ağırlığına göre pik tork değerleri incelendiğinde, TVK koşulu değerleri PD koşulu değerlerine kıyasla daha yüksek ve istatistiksel olarak anlamlı bulundu. Bu durum TVK'nin toparlanma sürecinde ek bir avantaj sunabileceğini desteklemektedir. Ayrıca TVK koşulunda İST durumuna kıyasla anlamlı düzeyde bir düşüş olmadığı görüldü. Bu durum TVK'nin yorgunluk sonrası kas kuvvetindeki kaybı belirgin ölçüde azaltabildiğini göstermektedir.

İST durumu ve TVK koşulu arasındaki pik tork değerlerinin yüzdesel düşüş oranının sol diz ekstansiyonunda sağ diz ekstansiyonuna göre daha az olduğu görüldü. Bu durum, TVK'nin her iki ekstremitede de yorgunluk sonrası toparlanmaya katkı sağladığını, ancak sol ekstremitede bu etkinin İST seviyesine daha yakın değerlere ulaşarak belirginleştiğini göstermektedir. Katılımcıların tamamının sağ dominant olması, sağ tarafta yorgunluk etkisinin daha belirgin olmasına ve buna bağlı olarak TVK sonrası toparlanmanın İST durumu değerlerine tam olarak ulaşamamasına neden olmuş olabilir.

Wilson ve arkadaşlarının endurans koşucuları ile yaptıkları çalışmada, maraton koşusu sonrasında uygulanan TVK (-85 °C) ve plasebo yöntemleri karşılaştırılmıştır [168]. Maratondan 15 dakika sonra başlanan toparlanma protokollerinin etkileri, 24 ve 48 saat sonrasında 60°/s açısal hızda dominant taraf diz ekstansiyon pik tork ölçümleri ile değerlendirilmiştir. TVK grubunda 24 ve 48 saat sonra plasebo grubuna kıyasla daha büyük kuvvet kaybı yaşanmıştır. Bizim çalışmamızda, Wilson ve arkadaşlarının bulgularının aksine, TVK sonrası kuvvet kaybı PD sonrası görülen kuvvet kaybından daha az oldu. Bu farklılıklar, katılımcı profilindeki değişiklikler (profesyonel sporcu yerine genç, sağlıklı bireyler), uygulanan egzersiz tipinin (maraton koşusu yerine kontrollü koşu bandı protokolü) ve toparlanma süresinin farklı olması gibi metodolojik unsurlarla açıklanabilir.

Costello ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, kuadriseps eksantrik egzersizi uygulandıktan 24 saat sonra deney grubuna TVK (-110 °C), kontrol grubuna ise SSD (15 °C) uygulanmış ve uygulamadan 24, 48 ve 72 saat sonra diz ekstansör izometrik

kuvvetleri değerlendirilmiştir [20]. Bulgular, iki grup arasında kuadriseps maksimal izometrik kasılma kuvveti açısından anlamlı bir fark olmadığını göstermiştir. Araştırmacılar, katılımcıların profesyonel sporcu olmamaları nedeniyle eksantrik kasılmalara alışkın olmamalarının, TVK'nin etkisinin gözlenememesine yol açabileceğini belirtmişlerdir. Bizim çalışmamızda ise, 60°/s açısal hızda sağ diz kuadriseps pik tork değerleri açısından TVK koşulunun PD'ye kıyasla anlamlı ölçüde daha yüksek kuvvet değerlerine neden olduğu bulundu. Costello ve arkadaşlarının bulgularından farklı olarak elde ettiğimiz bu sonuç, egzersiz tipi (eksantrik kas hasarı oluşturma vs. koşu bandı koşusu), uygulama sıcaklığı (-110 °C vs. -85 °C) ve kuvvet değerlendirme yöntemindeki (izometrik vs. izokinetik) farklılıklardan kaynaklanabilir.

Hauswirth ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, dokuz koşucuya koşu bandında simüle edilmiş koşu yarışı sonrasında toparlanma amacıyla TVK, infrared uygulama ve PD yöntemleri uygulanmış; uygulamadan 1, 24 ve 48 saat sonra katılımcıların diz ekstansiyonu izometrik kuvvetleri değerlendirilmiştir [153]. Bulgulara göre, maksimal istemli izometrik kasılma kapasitesi TVK seansı sonrası 1. saatte toparlanmışken, infrared uygulamasında bu toparlanma 24. saatte gerçekleşmiş, PD yönteminde ise 48 saatlik süreçte toparlanma sağlanamamıştır. Bizim çalışmamızda ise, 60°/s açısal hızda kuadriseps pik tork değerleri açısından TVK'nin PD'ye kıyasla anlamlı ölçüde daha yüksek olduğu bulundu. Hauswirth ve arkadaşlarının bulguları, TVK'nin erken dönemde toparlanma avantajı sağlayabileceğini ortaya koyarken, PD'ye göre daha etkili olabileceğini desteklemektedir. Bununla birlikte, elde edilen farklılıkların egzersiz tipi (yarış simülasyonu vs. koşu bandı koşusu), ölçüm parametresi (izometrik kuvvet vs. izokinetik tork) ve uygulama zamanlamasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Literatür taramalarımızın sonuçlarına göre, bu çalışma, TVK sonrasında yüksek açısal hızlarda (240°/s) kas dayanıklılığının değerlendirildiği literatürdeki ilk araştırmadır. Bu yönüyle çalışma, yalnızca TVK'nin toparlanma ve performans üzerindeki akut etkilerini ortaya koymakla kalmayıp, aynı zamanda yüksek hızda izokinetik ölçümler ile kas dayanıklılığının objektif olarak incelenmesine olanak tanımaktadır. Böylelikle, sporcularda veya yüksek performans gerektiren aktivitelerde TVK'nin potansiyel performans artırıcı rolü hakkında özgün ve bilimsel olarak değerli veriler sunmaktadır.

240°/s açısal hızda sağ diz ekstansiyonunda yapılan toplam iş değerleri ve vücut ağırlığına göre yapılan toplam iş değerleri incelendiğinde TVK koşulu değerleri İST durumu değerlerine kıyasla daha yüksek ve istatistiksel olarak anlamlı bulundu. PD koşulu ile TVK koşulu arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmadı. Bu sonuçlar, yüksek açısal hızlarda (240°/s) TVK'nin kasın toplam iş kapasitesini artırma potansiyeline sahip olabileceğini göstermektedir. TVK sonrası artışın İST durumuna kıyasla anlamlı olması, yorgunluk sonrası toparlanma sürecinde özellikle hızlı kasılma gerektiren hareketlerde avantaj sağlayabileceğini düşündürmektedir. Bununla birlikte, PD koşuluna kıyasla anlamlı fark bulunmaması, TVK'nin yüksek hız toparlanmasındaki etkisinin her zaman mutlak üstünlük sağlamadığını, bireysel farklılıklar ve anlık performans değişkenliğinin sonuçlara etki edebileceğini göstermektedir.

240°/s açısal hızda sol diz ekstansiyonunda yapılan toplam iş değerleri incelendiğinde, sağ taraf ölçümleri ile benzer sonuçlar elde edildi, TVK koşulu değerleri İST durumu değerlerine kıyasla daha yüksek ve istatistiksel olarak anlamlı bulundu. Vücut ağırlığına göre yapılan toplam iş değerlerinde ise gruplar arasında anlamlı bir fark bulunmadı. Bu durum, TVK'nin sol ekstremitede yüksek hızda iş üretimini mutlak değerlerde artırabilmesine rağmen, bireysel vücut kütlesi farkları hesaba katıldığında bu etkinin istatistiksel olarak anlamlı düzeye ulaşmadığını göstermektedir.

60°/s açısal hızda sağ diz fleksiyonu pik tork değerleri incelendiğinde TVK koşulu değerleri İST durumu değerlerine kıyasla daha yüksek ve istatistiksel olarak anlamlı bulundu. PD koşulu ile TVK koşulu arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmadı. Benzer eğilim, vücut ağırlığına göre pik tork değerlerinin sonuçlarında da gözlemlendi. Ancak burada dikkat çekici farklılık, PD ile TVK karşılaştırmasında anlamlı fark elde edilmesidir. Bu durumun olası açıklaması, normalize edilmiş verilerin bireysel vücut kütlesi farklılıklarını dengeleyerek gerçek kas kuvveti karşılaştırmasını daha hassas hale getirmesidir. Katılımcıların sağ dominant olması, sağ ekstremitenin mutlak kuvvet üretim kapasitesinin yüksek olmasına neden olabilir; bu da mutlak değerlerde PD ve TVK farkını maskelerken, normalize edildiğinde kriyoterapinin sağladığı toparlanma avantajını daha net ortaya çıkarabilir. Bu, özellikle spor bilimlerinde normalize edilmiş ölçümlerin gerçek toparlanma etkilerini tespit etmede önemini vurgulamaktadır.

60°/s açısal hızda sol diz fleksiyonu pik tork ve vücut ağırlığına göre pik tork değerleri incelendiğinde TVK koşulu değerleri, İST durumu ve PD koşulu değerlerine kıyasla daha yüksek ve istatistiksel olarak anlamlı bulundu. İST durumu, PD ve TVK karşılaştırmalarındaki anlamlılık, PD'nin tek başına yeterli olmadığını; buna karşılık TVK'nin, muhtemelen yorgun antagonistin ko-kontraksiyonunun azalması ve TVK'nin nöral/algısal etkileriyle, istirahat düzeyini aşan bir toparlanma sağladığını göstermektedir. Bu eğilimin normalize sonuçlarda da sürmesi, etkinin göreceli performans ölçütlerinde de geçerli olduğunu işaret eder.

TVK sonrasında gözlenen anlamlı artış, kriyoterapinin sağladığı akut fizyolojik etkilerle açıklanabilir. TVK sonrasında ortaya çıkan analjezik etki [110] ağrıya bağlı refleks inhibisyonunu azaltarak motor ünitelerin daha etkin bir şekilde devreye girmesini kolaylaştırmış olabilir. Dolayısıyla TVK sonrası sağ hamstring kaslarında gözlenen anlamlı artış hem nöral sürüşün güçlenmesi hem de algısal yorgunluk ve ağrı kaynaklı kısıtlayıcı faktörlerin ortadan kalkması ile ilişkilendirilebilir.

Çalışmamızda, koşu bandı koşusu sonrası diz ekstansör ve fleksör grubu kaslarının toparlanma yanıtları incelendi. Koşu sırasında hamstring kasları, özellikle salınım fazının sonlarında eksantrik olarak yüksek yüklenmeye maruz kalmaktadır [235]. Bu durum, kastendon ünitesinde mikrotravmaların ve nöromüsküler inhibisyonun ortaya çıkmasına neden olabilir. Yorgunluk sonrası TVK uygulamasıyla diz fleksör grubu kaslarında gözlenen pik tork artışı muhtemelen bu kas grubunun koşu sırasında yaşadığı yoğun eksantrik stresin [236] ardından soğuk maruziyetine daha duyarlı bir toparlanma yanıtı vermesiyle açıklanabilir [161, 237].

Öte yandan, kuadriseps kasları koşu sırasında özellikle itiş fazında konsantrik olarak aktif olup, daha çok metabolik yorgunluğa bağlı performans kayıpları sergileyebilir, enerji depolarının kısmen boşalması ve metabolik yan ürünlerin birikmesi kuvvet üretiminde azalmaya yol açabilir [237, 238]. TVK'nin metabolik kaynaklı yorgunluk üzerinde doğrudan iyileştirici bir etkisi bulunmadığından, diz ekstansör grubu kaslarında toparlanma yanıtı diz fleksör grubu kaslarına göre daha sınırlı kalabilir.

Sonuç olarak, koşu biyomekaniği ve kasların farklı görevleri göz önüne alındığında, TVK'nin hamstring kaslarında daha belirgin bir toparlanma etkisi gösterdiği, kuadriseps kaslarında ise etkisinin sınırlı kaldığı söylenebilir.

Abaıda ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, fiziksel olarak aktif erkek katılımcılara 60°/s açısal hızda eksantrik diz fleksiyon egzersizi uygulanarak kas hasarı oluşturulmuş, ardından toparlanma amacıyla TVK (-110 °C) ve SSD yöntemleri kullanılmıştır [234]. Uygulamanın hemen sonrasında, 24, 48 ve 72 saat sonrasında hamstring eksantrik kuvveti ve 60°'de hamstring izometrik kuvvetleri değerlendirilmiş ve kas kuvvetinin toparlanması açısından iki yöntem arasında anlamlı fark saptanmamıştır. Bizim çalışmamızda ise, 60°/s açısal hızda sağ diz fleksiyon pik tork değerleri karşılaştırıldığında, TVK koşulu ile İST durumu arasında anlamlı fark bulunurken, TVK koşulu ile PD koşulu arasında anlamlı bir fark saptanmadı. Bu durum, Abaıda ve arkadaşlarının bulgularıyla farklılıklar göstermektedir. Farklılığın olası nedenleri arasında istirahat sürelerindeki farkın dışında, söz konusu çalışmada eksantrik egzersiz uygulanarak kas hasarı oluşturulmuş olmasıdır. Bizim çalışmamızda ise koşu bandı koşusu sonrasında kas performansı değerlendirilmiş olup, egzersiz tipi ve oluşturulan fizyolojik stresin niteliği bakımından bu metodolojik farklılık, toparlanma sonuçlarının değişmesinde etkili olmuş olabilir. Ayrıca ölçüm parametreleri, katılımcı özellikleri ve toparlanma protokollerinin uygulanma zamanlaması da elde edilen sonuçlardaki farklılıklara katkıda bulunmuş olabilir.

240°/s açısal hızda sağ ve sol diz fleksiyonu yapılan toplam iş ve vücut ağırlığına göre yapılan toplam iş değerleri incelendiğinde, TVK koşulunda elde edilen değerlerin İST durumuna kıyasla daha yüksek ve istatistiksel olarak anlamlı olduğu görüldü. Ancak TVK koşulu değerleri, PD koşulu değerlerinden daha yüksek olmasına rağmen iki koşul arasında anlamlı bir fark saptanmadı. Bu bulgular, TVK'nin özellikle yorgunluk sonrası kasların iş kapasitesini artırarak toparlanmayı desteklediğini göstermektedir. PD ile TVK arasında anlamlı fark elde edilmemesi, iki metodun toparlanmaya benzer düzeyde katkı sağladığını veya çalışmanın örneklem büyüklüğünün bu farkı istatistiksel olarak ortaya koymaya yetmediğini düşündürülebilir.

240°/s açısal hızda elde edilen bulgular, kuadriseps ve hamstring kas gruplarının toparlanma yanıtlarının birbirinden farklılaştığını göstermektedir. Bu durum, kasların

yapısal ve fonksiyonel özellikleriyle açıklanabilir. Hamstring kas grubu yüksek oranda hızlı kasılan tip II liflerden [239, 240] oluştuğu için yorgunluğa farklı bir patern ile yanıt vermektedir. Bu farklılık, TVK uygulaması sonrasında hamstringte gözlenen anlamlı artışa rağmen kuadrisepste aynı ölçüde bir iyileşmenin ortaya çıkmamasını açıklayabilir. Ayrıca, yüksek açısal hızlarda kasların nöral aktivasyon stratejileri de farklılık gösterebilmekte; hamstring kaslarının bu hızlarda daha etkin motor ünite katılımı sergilemesi, toparlanma sonrasında iş kapasitesindeki artışı desteklemiş olabilir. Dolayısıyla, 240°/s hızda kas grupları arasındaki farklı yanıtlar, kas lifi kompozisyonu, fonksiyonel rol ve nöral aktivasyon paternleri ile ilişkili fizyolojik bir sonuç olarak değerlendirilebilir.

Ayrıca yoğun egzersiz sonrası bazı bireylerde nöromusküler sistem geçici olarak daha iyi performans gösterebilir [241]. Bu durum özellikle yüksek hızlarda yapılan ölçümlerde (240°/s) daha belirgin olabilir. Bu durum literatürde Aktivasyon Sonrası Potansiyel Artışı (ASPA) olarak tanımlanan fizyolojik bir adaptasyonla açıklanabilir. ASPA, yüksek yoğunluklu bir kas aktivitesinin ardından, kısa süreli bir performans artışı yaşanması durumudur. Bu etki; kas içi miyozin hafif zincir fosforilasyonu, kas sıcaklığındaki artış, motor ünite aktivasyonu ve sinir-kas iletim etkinliğinin geçici olarak artması gibi çeşitli mekanizmalarla ilişkilidir [242].

Özellikle hızlı kasılan motor ünitelerin daha aktif hale gelmesi, yüksek açısal hızlarda yapılan izokinetik ölçümlerde (240°/s) performansın artmasına katkı sağlayabilir. Seitz ve arkadaşlarının belirttiği gibi, ASPA etkisi daha çok yüksek hız ve güç gerektiren eylemler üzerinde görülür ve bu etkinin süresi kişisel özelliklere ve uygulanan yüke bağlı olarak değişiklik gösterebilir [242].

Krüger ve arkadaşlarının çalışmasında, endurans koşucuları yüksek yoğunluklu koşu sonrası 1 saat dinlenme periyodu içinde TVK (-110°C) veya plasebo yöntemi ile dinlendirilmiş ve TVK uygulanan seansta tükenişe ulaşma sürelerinin plasebo grubuna göre daha uzun olduğu bulunmuştur [150]. Ayrıca, TVK uygulaması sporcularda kardiyorespiratuvar ve algısal yük hissini azaltmış ve vastus lateralis kasının daha yüksek oranda oksijenlenmesini sağlamıştır. Bu sonuçlar, TVK'nin yüksek yoğunluklu egzersiz

sonrası akut performans toparlanmasını iyileştirebileceğini ve bunun çalışan kasların artan oksijenlenmesi, kardiyovasküler zorlanmanın azalması ve artan iş ekonomisi ile ilişkili olabileceğini göstermektedir. Bu bulgular, TVK'nin global performans kapasitesi ve dayanıklılık çıktıları üzerinde olumlu etkiler sağlayabileceğini göstermektedir. Bizim çalışmamızda ise daha çok kas grubu odaklı izokinetik performans parametreleri değerlendirilmiş ve özellikle 60°/s açısal hızda hem kuadriseps hem de hamstring pik tork değerlerinin TVK sonrasında pasif dinlenmeye kıyasla anlamlı derecede yüksek olduğu bulundu. Bu durum, Krüger ve arkadaşlarının gözlemlediği oksijenlenme artışı ve algısal yük azalmasının, lokal kas performansında da karşılık bulabileceğini düşündürmektedir. Ancak, bizim çalışmamızda 240°/s gibi yüksek hızlarda TVK ile PD arasında anlamlı bir fark bulunmaması, TVK'nin etkilerinin dayanıklılık ve oksijenlenme odaklı global performans parametrelerinde daha belirgin, kasın yüksek hızlardaki kuvvet üretim kapasitesi üzerinde ise daha sınırlı olabileceğini düşündürmektedir.

Russell ve arkadaşlarının çalışmasında, profesyonel futbolcular tekrarlı sprint egzersizi sonrası TVK (-135°C) veya PD yöntemine tabi tutulmuş ve 20 dakika içinde uygulanan TVK'nin Countermovement Jump (CMJ) ile ölçülen pik güç çıktısı üzerinde egzersiz öncesi, hemen sonrası, 2 saat ve 24 saat ölçümlerinde anlamlı bir fark yaratmadığı bulunmuştur [132]. Bu sonuç, yüksek yoğunluklu ve tekrarlı sprint egzersizleri sonrası TVK'nin bazı performans parametreleri üzerindeki etkisinin sınırlı olabileceğini göstermektedir. Bu bulgu, özellikle kısa süreli ve patlayıcı performans ölçütlerinde TVK'nin PD'ye kıyasla belirgin bir avantaj sağlamayabileceğini göstermektedir. Bizim çalışmamızda ise izokinetik testlerle değerlendirilen kas grubu odaklı performans parametrelerinde, özellikle 60°/s açısal hızda hem kuadriseps hem de hamstring pik tork değerlerinin TVK uygulaması sonrası PD'ye göre anlamlı derecede yüksek olduğu görüldü. Bu sonuç, Russell ve arkadaşlarının CMJ gibi global ve fonksiyonel bir performans göstergesi üzerinden ulaştıkları sınırlı etki bulgusunun aksine, TVK'nin kas temelli kuvvet çıktıları üzerinde daha belirgin bir etki gösterebileceğini ortaya koymaktadır. Ancak, bizim çalışmamızda da 240°/s gibi yüksek hızlarda TVK ile PD arasında anlamlı bir fark saptanmamış olması, Russell ve arkadaşlarının sonuçlarıyla benzer şekilde, TVK'nin özellikle yüksek hız gerektiren performans çıktılarında her zaman üstünlük sağlamayabileceğini düşündürmektedir.

Fonda ve arkadaşlarının çalışmasında, hamstring eksantrik egzersizleri sonrası bir seansta TVK (-140°C) uygulanırken, diğer seansta PD yöntemi uygulanmış ve 5 gün boyunca skuat zıplama, CMJ, maksimal izometrik tork ve maksimal izometrik patlayıcı tork ölçümleri yapılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, TVK bu performans ölçümlerinin hiçbirinde kontrol grubuna kıyasla istatistiksel olarak anlamlı bir iyileşme sağlayamamıştır [161]. Bizim çalışmamızda ise, daha kısa süreli bir toparlanma penceresinde izokinetik kuvvet ölçümleri yapıldı ve 60°/s açısal hızda hem hamstring hem de kuadriseps pik tork değerlerinde TVK uygulamasının PD'ye kıyasla anlamlı bir üstünlük sağladığı bulundu. Bununla birlikte, 240°/s gibi yüksek hızlarda TVK ve PD arasında anlamlı bir fark tespit edilmedi. Bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde, Fonda ve arkadaşlarının uzun vadeli toparlanma ve global performans ölçümleri üzerinden sınırlı etki gözlemlemesine karşın, bizim çalışmamız kas grubu odaklı ve kısa süreli toparlanma bağlamında TVK'nin daha belirgin bir fayda sağlayabileceğini göstermektedir.

Çalışmamızda tek seans TVK'nin etkileri incelendi. Buna karşın literatürde, TVK'nin uzun dönem uygulamalarını inceleyen çalışmalar da mevcuttur. Örneğin, 16 sağlıklı erkek üzerinde gerçekleştirilen bir çalışmada, 6 haftalık kuvvet ve endurans antrenmanı sonrası bir gruba haftada 2 seans TVK (-120°C) uygulanmıştır. Çalışmada izometrik kuadriseps kuvveti, skuat ve CMJ ölçümleri antrenman öncesi ve sonrasında değerlendirilmiş; izometrik kuadriseps kuvveti ve skuat kuvveti hem TVK hem de kontrol grubunda anlamlı artış göstermiştir. Ancak patlayıcı güç olarak değerlendirilen CMJ yüksekliğinde, kontrol grubunda anlamlı bir artış gözlenirken TVK grubunda artış kaydedilmemiştir [243]. Bu bulgular, tekrarlı TVK uygulamasının kas gücü adaptasyonlarını engellemediğini, fakat patlayıcı güç adaptasyonlarını sınırlandırabileceğini göstermektedir. Bu bulgu, düzenli TVK uygulamasının uzun vadeli adaptasyon sürecinde özellikle patlayıcı performansın gelişimini sınırlandırabileceğini düşündürmektedir. Bizim çalışmamızda 240°/s açısal hızda TVK ve PD koşulları arasında anlamlı bir fark elde edilemedi. Dolayısıyla, söz konusu iki çalışmanın bulguları birlikte değerlendirildiğinde, TVK'nin etkilerinin zaman ölçeği ve performans parametresine göre farklılık gösterebildiği söylenebilir.

Jaworska ve arkadaşlarının çalışmasında [244] 4 haftalık ve haftada 3 kez uygulanan alt ekstremite kuvvet programı sonrası bir gruba her antrenman sonrası TVK (-110°C), diğer gruba ise PD uygulanmıştır. Çalışmanın başında ve sonunda her iki grupta kuadriseps izometrik kuvveti ve 90°/s'de izokinetik kuvvet ölçülmüştür. Sonuçlar, TVK grubunda diz izokinetik ekstansiyon maksimum ortalama gücünün önemli ölçüde arttığını, kontrol grubunda ise güç seviyesinin sabit kaldığını göstermiştir. Diz ekstansiyonu pik tork değerlerinde TVK grubunda benzer ancak anlamlı olmayan değişiklikler gözlenmişken, kontrol grubunda azalma kaydedilmiştir; izometrik kuvvette ise her iki grupta olumsuz bir eğilim bulunmuştur. Bizim çalışmamızda ise, TVK'nin akut etkileri değerlendirildi; 60°/s açısal hızda hem kuadriseps hem de hamstring kaslarında PD'ye kıyasla pik tork değerlerinde anlamlı artışlar gözlenirken, 240°/s açısal hızda iki yöntem arasında fark bulunmadı. Yani, kısa vadede TVK özellikle düşük hızdaki kuvvet üretimini destekledi; yüksek hızda ise anlamlı bir katkı sağlamadı.

Schall ve arkadaşlarının elit yüzücüler üzerinde yaptığı çalışmada, [245] yoğun antrenman döneminde olan bir gruba 5 gün boyunca günde 1 defa TVK (-110°C) uygulanmış, diğer gruba ise herhangi bir kriyoterapi uygulanmamıştır. Kontrol grubunda başlangıç değerlerine göre 400 m yüzme hızında anlamlı bir azalma görülürken, TVK grubunda bu değerler başlangıç seviyelerine yakın kalmıştır. Bu bulgular, TVK'nin yoğun antrenman yükü altında performans düşüşünü sınırlayabileceğini göstermektedir. Bizim çalışmamızda ise TVK'nin akut etkileri değerlendirildi; 60°/s açısal hızda hem kuadriseps hem de hamstring kaslarında PD'ye kıyasla anlamlı pik tork artışları gözlendi, ancak 240°/s hızda iki yöntem arasında fark bulunmadı. Bu sonuçlar, TVK'nin kısa vadede özellikle düşük hızda kuvvet üretimini desteklediğini, ancak yüksek hız performansına akut olarak belirgin katkı sağlamadığını göstermektedir.

Ziemann ve arkadaşlarının profesyonel tenisçiler üzerinde yaptığı çalışmada, orta yoğunluktaki 5 günlük antrenman programı sonrasında bir gruba günde 2 defa TVK (-120°C) uygulanmış, kontrol grubu ise yalnızca antrenmanlara katılmıştır [117]. Sonraki tenis antrenmanlarında TVK grubunda vuruş etkinliğinde artış gözlenirken, kontrol grubunda benzer bir gelişme olmamıştır. Ayrıca TVK grubunda toparlanma süresinin kısaldığı ve yorgunluk belirtilerine karşı daha yüksek direnç geliştiği rapor edilmiştir. Bu bulgular, TVK'nin yoğun antrenman veya yorgunluk sonrası performans üzerinde koruyucu ve iyileştirici etkiler sağlayabileceğini göstermektedir. Bizim çalışmamızda ise

60°/s açısal hızda kuadriseps ve hamstring pik tork değerleri PD'ye kıyasla anlamlı derecede yüksek bulundu ancak 240°/s açısal hızda PD ile TVK arasında anlamlı bir fark gözlenmedi. Ziemann ve ark. tenis sporcularında spesifik motor beceriler ve tekrarlayan yük altındaki performansı incelerken, bizim çalışmamız izokinetik kas kuvveti ve pik tork gibi daha kas grubu odaklı, kontrollü parametreleri değerlendirmiştir.

TVK aynı zamanda fizyolojik düzenleyici mekanizmaları aktive etme etkisine sahip olduğundan uygulama sonrası kardiyovasküler parametrelerde de değişim görülür [246]. Kriyojenik sıcaklıklara maruz kalan bir organizmada meydana gelen değişiklikler hala tam olarak anlaşılamamıştır. Çalışmamızda kan basıncı, kalp hızı ve satürasyon değerleri her iki toparlanma metodunun uygulandığı seanslarda dinlenme durumunda ve yorgunluk sonrası belirli sıklıklarda ölçüldü ve bu değerler PD ve TVK koşulları arasında ayrıca TVK sonrası görülen değişiklikler açısından ayrı olarak incelendi.

TVK uygulaması öncesine kadar (t_{din} , t_0 , t_5 , t_{10} , t_{15}) yapılan ölçümlerde kan basıncı, kalp hızı ve satürasyon değerleri açısından iki yöntem arasında anlamlı bir fark gözlenmedi.

Çalışmamızda, iki yöntem arasındaki anlamlı farklar TVK uygulamasının hemen ardından ve devam eden ölçümlerde (t_{20} , t_{25} , t_{30}) ortaya çıktı. TVK kabininden çıkışı takip eden t_{20} ölçümünde, SKB, TVK koşulunda PD'ye kıyasla anlamlı şekilde yükseldi; bu yüksek ve anlamlı fark t_{25} ve t_{30} ölçümlerinde de devam etti. DKB için ise t_{20} ve t_{25} ölçümlerinde TVK koşulu lehine anlamlı farklar gözlemlendi, ancak t_{30} ölçümünde bu fark ortadan kalktı. Bu durum, soğuk uygulamanın vücutta kısa süreli bir vazokonstriksiyon [177] ve sonrasında sempatik aktivasyon tetiklemesi [181] ile SKB ve DKB ölçümlerinde geçici artışa yol açtığını düşündürmektedir. DKB ölçümlerinde t_{20} ve t_{25} 'te gözlenen anlamlı yükselmenin t_{30} 'da ortadan kalkması, damar tonusunun ve periferik direnç mekanizmalarının hızlı toparlanmasıyla beraber homeostatik mekanizmaların devreye girerek kan basıncını normale çekmesiyle açıklanabilir. SKB'nın ise daha uzun süreli etkilenmesi, kalbin atım gücündeki geçici artışa bağlı olabilir.

Kalp hızı değerleri açısından, TVK ve PD koşulları arasında t_{20} ve t_{25} ölçümlerinde anlamlı bir fark gözlenmedi. Ancak t_{30} ölçümünde TVK uygulaması sonrası kalp hızı, PD'ye kıyasla anlamlı olarak daha düşük bulundu. Bu durum, TVK'nin kısa süreli sempatik aktivasyonu ve periferik vazokonstriksiyonla birlikte, odadan çıkış sonrası

parasempatik geri dönüşün daha hızlı gerçekleşmesine bağlı olarak kalp hızının daha erken normale dönmesini yansıtır olabilir [138, 246, 247].

Satürasyon değerleri incelendiğinde, t_{20} ölçümünde, TVK koşulundaki değerler PD'ye kıyasla anlamlı derecede daha yüksek bulundu. Bu geçici artış, soğuk maruziyetin yol açtığı periferik vazokonstriksiyon ve kanın merkezi dolaşıma yönlenebilmesi ile dokuların daha iyi oksijenlenmesi sonucu meydana gelmiş olabilir [248]. Ancak t_{25} ve t_{30} ölçümlerinde bu farkın ortadan kalkması, soğuk maruziyetin ardından vücut sıcaklığının ve periferik kan akımının normale dönmesiyle oksijen satürasyonunun dengeye ulaşmasıyla açıklanabilir. Yani, TVK'nin satürasyon üzerindeki etkisi kısa süreli ve geçici bir fizyolojik yanıt olarak değerlendirilebilir.

Çalışmamızda TVK koşulu içinde uygulama sonrası değerlerin birbiriyle ilişkisi de incelendi. TVK sonrası SKB değerleri karşılaştırıldığında, t_{15} ölçümü sonrası t_{20} ölçümü yüksek ve anlamlı bulundu. t_{25} ve t_{30} ölçümlerinde düşüş olmasına rağmen anlamlı fark devam etti. Bu bulgular, TVK'nin kısa süreli olarak SKB'nı artırdığını, ardından kısmi normalleşme ile değerlerin uygulama öncesi seviyelere yaklaştığını göstermektedir. SKB değerlerinde bu geçici yükselme, daha önce açıklandığı gibi, soğuk maruziyetin neden olduğu periferik vazokonstriksiyon ve merkezi dolaşıma yönlenen kan hacmi artışı ile açıklanabilir.

Çalışmamızda, TVK uygulaması sonrası DKB değerlerinde belirgin geçici değişiklikler gözlemlendi. t_{20} ölçümünde katılımcıların DKB t_{15} ölçümüne kıyasla yükseldi ve bu artış t_{25} ölçümünde de devam etti. Ancak t_{30} ölçümünde bu fark kayboldu ve DKB başlangıç seviyelerine yaklaştı. Bu durum, kriyoterapinin kan damarları ve kardiyovasküler sistem üzerinde oluşturduğu fizyolojik etkilerle açıklanabilir. Soğuk maruziyeti sırasında vazokonstriksiyon gelişir bu da periferik dirençte artışa ve dolayısıyla DKB'nın yükselmesine yol açar. TVK odasından çıkıldıktan ve vücut tekrar ısıdıktan sonra damarlar genişlemeye başlar, periferik direnç azalır ve basınç normal seviyelerine döner.

TVK uygulaması sonrasında kalp hızı ölçümlerinde, uygulamanın hemen ardından t_{15} ve t_{20} değerleri arasında büyük değişiklik gözlenmezken, t_{25} ve t_{30} ölçümlerinde anlamlı düşüşler kaydedildi. Bu bulgu, kriyoterapinin otonom sinir sistemi üzerindeki etkileriyle açıklanabilir. Periferik damarların vazokonstriksiyonu ve merkezi kanın korunmasıyla

birlikte sempatik uyarı kısa süreli artar, bu da kalp hızında geçici stabilizasyon sağlar. TVK uygulamasının sona ermesinin ardından parasempatik aktivite artar ve sempatik tonus azalır; bunun sonucu olarak kalp hızı düşer ve dinlenme seviyelerine yaklaşır. Bu mekanizma, TVK'nin uygulama sonrası kalp hızını geçici olarak stabilize edip ardından düşürmesini açıklamaktadır.

TVK uygulaması sırasında ve sonrasında satürasyon değerlerinde anlamlı bir değişiklik gözlenmemesi, sistemik oksijen taşınım kapasitesinin ve hemoglobin doyumunun stabilize olduğunu göstermektedir. Bu durum, kısa süreli soğuk maruziyetinin arteriyel oksijen satürasyonu üzerinde belirgin bir etkisinin olmamasına bağlanabilir. TVK, periferik vazokonstriksiyon ve kan akışının yeniden dağılımını tetikleyerek merkezi organlara kan akışını korurken, pulmoner gaz değişimi büyük ölçüde etkilenmemektedir.

Coppi ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada profesyonel olmayan 10 koşucu üzerinde uygulanan TVK öncesi ve sonrası kan basıncı, kalp hızı ve satürasyon değerleri kıyaslanmış ve uygulama sonrası SKB, DKB ve kalp hızı değerlerinde anlamlı artışlar görülmüşken, satürasyonda herhangi bir değişiklik saptanmamıştır [249]. Bu bulgular, çalışmamızın sonuçlarıyla büyük ölçüde paralellik göstermektedir. Çalışmamızda da TVK uygulamasının hemen sonrasında SKB ve DKB değerlerinde anlamlı artış kaydedildi, satürasyon değerlerinde ise herhangi bir değişiklik gözlenmedi. Ancak kalp hızı bulgularımız Coppi ve arkadaşlarının sonuçlarından kısmen farklılık gösterdi. Çalışmamızda TVK uygulamasını takip eden erken dönemde (t_{20} ve t_{25}) kalp hızı değerlerinde anlamlı bir değişiklik gözlenmezken, geç dönemde (t_{30}) başlangıç değerlerine kıyasla anlamlı bir düşüş kaydedildi. Bu farklılığın, uygulama sonrası ortaya çıkan geç parasempatik yeniden aktivasyondan ve bireylerin fizyolojik adaptasyon yanıtlarındaki farklılıklardan kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Nitekim literatürde de soğuk maruziyetinin erken dönemde sempatik aktivasyonu artırarak kalp hızını yükselttiği, ancak uygulamanın ilerleyen dakikalarında parasempatik etkinin baskın hale gelmesiyle kalp hızında düşüşe yol açabileceği bildirilmiştir [110].

Kriyojenik sıcaklıklara maruz kalan organizmada temel kardiyovasküler göstergelerdeki değişikliklere ilişkin literatür verileri çelişkilidir. Bazı çalışmalarda TVK'den sonra SKB ve DKB değerlerinde önemli ancak kısa vadeli bir artış olduğu bildirilmiştir [248, 250, 251]. Benzer şekilde başka bir çalışmada -15°C 'ye maruz kalan hipertansif deneklerde

kan basıncında hızlı bir artış gözlemlenmiştir [252]. -110°C 'de 3 dakikalık TVK maruziyetini içeren başka bir çalışmada ise SKB ve DKB değerlerinde anlamlı bir değişiklik olmamış, yalnızca kalp hızında azalma bildirilmiştir [253]. Çalışmalarda elde edilen bu çelişkili bulguların nedeni sıcaklık değişimini etkileyen tedavi süreleri ve sıcaklık aralığı gibi farklı metotların kullanılmasına bağlanabilir.

TVK'den sonra kalp hızındaki azalma diğer çalışmalarda da gözlenmiştir [247, 248, 252, 254] ancak kalp hızında anlamlı bir değişim gözlenmeyen hatta artış gözlenen çalışmalar da mevcuttur. Bir çalışmada kalp atım hızındaki azalmanın yalnızca normal kan basıncına sahip kişilerde meydana geldiği, başlangıç SKB 140 mmHg'nin üzerinde olan kişilerde kalp hızında herhangi bir değişiklik gözlemlenmediği bulunmuştur [254]. Lubkowska ve arkadaşlarının genç erkek katılımcılarla yaptığı çalışmada, -130°C 'de uygulanan TVK sonrası SKB, DKB ve kalp hızı ölçülmüştür. TVK öncesi değerlere kıyasla SKB ve DKB değerlerinde anlamlı bir artış görülürken, kalp hızında anlamlı bir düşüş görülmüştür. Bu değerler TVK sonrası 10. dakikada ve 20. dakikada tekrar ölçülmüş ve uygulama öncesi değerlerle anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür [175]. Bir başka çalışmada tek seans TVK uygulaması sonrası katılımcılarda kalp hızı uygulama öncesine kıyasla anlamlı düzeyde düşüş göstermişken, kan basıncı değerleri anlamlı düzeyde artış göstermiştir [255]. Bonomi ve arkadaşlarının kadın ve erkek katılımcılarla yaptığı çalışmada farklı TVK yöntemleri ve seans sayıları uygulanmış ve uygulamanın hemen öncesi ve hemen sonrasında kan basıncı ve kalp hızı değerleri ölçülmüş ve uygulamanın bu değerler üzerinde anlamlı bir fark oluşturmadığı görülmüş [256]. Bir çalışmada cinsiyet faktörünün TVK sonrası kan basıncı, kalp hızı ve satürasyon parametreleri üzerinde etkisi olup olmadığı değerlendirilmiş. Katılımcılar 3 dakika -85°C 'de bir seanslık TVK'ye maruz kalmış ve uygulamanın hemen öncesinde ve sonrasında parametreler ölçülmüş. Satürasyon değerleri erkeklerde uygulama sonrası değişiklik göstermezken, kadınlarda anlamlı bir artışa neden olmuş. Kalp hızı değerleri erkeklerde uygulama sonrasında düşüş göstermişken kadınlarda artışa sebep olmuştur. Ayrıca erkeklerde SKB, kadınlara kıyasla uygulama sonrasında daha fazla artış göstermiştir [257]. Westerlund ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada kadın ve erkek katılımcılarda -110°C 'de uygulanan TVK uygulamasının hemen öncesinde ve sonrasında SKB, DKB ve kalp atım hızı ölçülmüş ve tüm katılımcılarda uygulama öncesine kıyasla kan basıncında anlamlı bir artış görülürken, kalp hızında anlamlı bir düşüş gözlenmiştir [248]. Zalewski ve arkadaşlarının

yaptığı çalışmada erkek katılımcılar -120°C 'de 3 dakikalık TVK uygulamasına maruz kalmış ve uygulama sonrası kalp hızında anlamlı bir düşüş görülmüş ancak uygulama sonrası 3 ve 6. saatlerde yapılan ölçümlerde başlangıç değerlerine dönmüştür. SKB ve DKB değerleri artış gösterse de anlamlı bir fark oluşturmamış ve uygulama sonrası 3 ve 6. saatlerde yapılan ölçümlerde de yüksek kalmasına rağmen başlangıçtaki değerler ile kıyaslanınca anlamlı bir fark görülmemiştir [247].



6. SINIRLILIKLAR

Bu çalışmada kullanılan TVK kabininin sıcaklığı -85°C olup, toparlanma aracı olarak bu sıcaklık tercih edildi. Ancak, bu değer literatürde bildirilen ideal sıcaklık aralığı (-110°C ile -140°C) içerisinde yer almamaktadır. Dolayısıyla, çalışmamızın bulguları mevcut literatüre değerli katkılar sağlamakla birlikte, daha düşük sıcaklıklara maruz kalmanın etkilerini araştıran ek çalışmalara ihtiyaç vardır.

Katılımcı grubumuz profesyonel sporculardan oluşmadı; bu nedenle, profesyonel sporcularla yapılacak benzer araştırmalar farklı sonuçlar ortaya koyabilir. Ayrıca katılımcıların yaş ortalaması görece düşük olup, daha ileri yaş gruplarında görülebilecek etkilerin farklılık gösterebileceği öngörülebilir.

Son olarak, morfolojik ve hormonal farklılıklar göz önünde bulundurularak, bu çalışmada yalnızca erkek katılımcılar değerlendirildi. Ancak, TVK'nin kadınlar üzerindeki olası etkilerini inceleyecek benzer bir araştırma, literatürdeki bilgi boşluğunu doldurmak açısından önem taşımaktadır.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sonuçlar

- Çalışmamızda, tüm katılımcıların benzer yaş, antropometrik özellikler ve antrenman geçmişine sahip olmasıyla homojen bir grup oluşturuldu ve böylece elde edilen bulguların güvenilirliği artırıldı.
- Yorgunluk protokolü sonrası yapılan izokinetik kuvvet testlerinde, 60°/s ve 240°/s açısal hızlarda elde edilen sonuçlar toparlanma yöntemlerine göre farklılık gösterdi.
- 60°/s açısal hızda yapılan ölçümlerde, özellikle diz ekstansiyonu sırasında elde edilen pik tork ve vücut ağırlığına göre pik tork değerlerinde, PD ve TVK koşulları arasında anlamlı farklar bulundu. Bu bulgu, düşük hızlarda yapılan kuvvet üretiminin toparlanma yöntemlerinden etkilendiğini göstermektedir.
- 240°/s açısal hızda sol diz ekstansiyonunda yapılan toplam işin vücut ağırlığına göre pik tork değerleri dışında, PD ve TVK koşulları arasındaki karşılaştırmalarda anlamlı farklar saptanmadı.
- TVK koşulunda uygulama sonrası SKB ve DKB değerlerinde anlamlı artış gözlemlendi, ancak bu artış kısa süreli oldu ve ilerleyen dakikalarda değerler normale döndü.
- Kalp hızı değerleri açısından, TVK uygulaması sonrasında erken dönemde anlamlı bir değişiklik izlenmedi, ancak geç dönemde (t_{30}) başlangıç ölçümlerine kıyasla anlamlı bir düşüş kaydedildi.
- Satürasyon değerlerinde ise TVK öncesi ve sonrası ölçümlerde anlamlı bir fark bulunmadı.
- Elde edilen sonuçlar, TVK'nin özellikle yüksek yoğunluklu egzersiz sonrası toparlanmada kas kuvveti ve kardiyovasküler yanıtlar üzerinde olumlu etkiler sağlayabileceğini göstermektedir.

Öneriler

- TVK uygulamaları, sporcularda yoğun egzersiz sonrası toparlanma stratejilerinin bir parçası olarak kullanılabilir.

- Özellikle kısa süreli sempatik aktivasyonun ardından gelişen parasempatik yeniden aktivasyon, TVK'nin kalp hızı düzenlenmesinde potansiyel bir fayda sağlayabileceğini düşündürmektedir.
- Kas kuvveti ve toparlanma üzerine olumlu etkiler gözlemlendiğinden, TVK'nin özellikle müsabaka dönemlerinde sporcuların performans sürdürülebilirliği açısından değerlendirilmesi önerilmektedir.
- Bununla birlikte, TVK sonrası erken dönemde kan basıncında görülen geçici yükselmeler dikkate alınmalı, kardiyovasküler riski olan sporcularda kontrollü bir şekilde uygulanmalıdır.
- Çalışmamız yalnızca erkek katılımcılar üzerinde yürütüldüğünden, ileride yapılacak çalışmalarda kadın sporcuların da dahil edilmesi, cinsiyet farklılıklarının ortaya konması açısından önem taşımaktadır.
- Gelecek araştırmalarda farklı süre ve protokollerde TVK uygulamaları incelenmeli, diğer toparlanma yöntemleriyle karşılaştırmalı çalışmalar yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Bernecker, C., et al., *Evidence for an exercise induced increase of TNF- α and IL-6 in marathon runners*. Scandinavian journal of medicine & science in sports, 2013. **23**(2): p. 207-214.
2. Warren, G.L., D.A. Lowe, and R.B. Armstrong, *Measurement tools used in the study of eccentric contraction-induced injury*. Sports medicine, 1999. **27**: p. 43-59.
3. Budgett, R., *Fatigue and underperformance in athletes: the overtraining syndrome*. Br J Sports Med, 1998. **32**(2): p. 107-10.
4. Taylor, K., et al., *Fatigue monitoring in high performance sport: a survey of current trends*. J Aust Strength Cond, 2012. **20**(1): p. 12-23.
5. Waldron, M. and J. Highton, *Fatigue and pacing in high-intensity intermittent team sport: an update*. Sports medicine, 2014. **44**: p. 1645-1658.
6. Jones, C.M., P.C. Griffiths, and S.D. Mellalieu, *Training load and fatigue marker associations with injury and illness: a systematic review of longitudinal studies*. Sports medicine, 2017. **47**: p. 943-974.
7. Cheung, K., P.A. Hume, and L. Maxwell, *Delayed onset muscle soreness: treatment strategies and performance factors*. Sports medicine, 2003. **33**: p. 145-164.
8. Halson, S.L., *Recovery techniques for athletes*. Sports Science Exchange, 2013. **26**(120): p. 1-6.
9. White, G.E. and G.D. Wells, *Cold-water immersion and other forms of cryotherapy: physiological changes potentially affecting recovery from high-intensity exercise*. Extreme physiology & medicine, 2013. **2**: p. 1-11.
10. Poppendieck, W., et al., *Cooling and performance recovery of trained athletes: a meta-analytical review*. Int J Sports Physiol Perform, 2013. **8**(3): p. 227-42.
11. Nadler, S.F., K. Weingand, and R.J. Kruse, *The physiologic basis and clinical applications of cryotherapy and thermotherapy for the pain practitioner*. Pain physician, 2004. **7**(3): p. 395.
12. Bleakley, C., S. McDonough, and D. MacAuley, *The use of ice in the treatment of acute soft-tissue injury: a systematic review of randomized controlled trials*. The American journal of sports medicine, 2004. **32**(1): p. 251-261.
13. Hubbard, T.J., S.L. Aronson, and C.R. Denegar, *Does cryotherapy hasten return to participation? A systematic review*. Journal of athletic training, 2004. **39**(1): p. 88.
14. Banfi, G., et al., *Whole-body cryotherapy in athletes*. Sports medicine, 2010. **40**: p. 509-517.
15. Yamauchi, T., et al., *Extreme cold treatment (-150°C) on the whole body in rheumatoid arthritis*. Rev Rhum, 1981. **48**(suppl): p. P1054.
16. Metzger, D., et al., *Whole-body cryotherapy in rehabilitation of patients with rheumatoid diseases--pilot study*. Die Rehabilitation, 2000. **39**(2): p. 93-100.
17. Ksiezopolska-Pietrzak, K., *Cryotherapy in the treatment of rheumatic disease*. Ortopedia, Traumatologia, Rehabilitacja, 2000. **2**(4): p. 66-69.
18. Banfi, G., et al., *Effects of whole-body cryotherapy on serum mediators of inflammation and serum muscle enzymes in athletes*. Journal of thermal biology, 2009. **34**(2): p. 55-59.

19. Rose, C., et al., *Whole-body cryotherapy as a recovery technique after exercise: a review of the literature*. International journal of sports medicine, 2017. **38**(14): p. 1049-1060.
20. Costello, J.T., L.A. Algar, and A.E. Donnelly, *Effects of whole-body cryotherapy (-110°C) on proprioception and indices of muscle damage*. Scandinavian journal of medicine & science in sports, 2012. **22**(2): p. 190-198.
21. Ferreira-Junior, J.B., et al., *Effects of a single whole body cryotherapy (-110°C) bout on neuromuscular performance of the elbow flexors during isokinetic exercise*. Int J Sports Med, 2014. **35**(14): p. 1179-83.
22. Enoka, R.M. and J. Duchateau, *Muscle fatigue: what, why and how it influences muscle function*. The Journal of physiology, 2008. **586**(1): p. 11-23.
23. Abd-Elfattah, H.M., F.H. Abdelazeim, and S. Elshennawy, *Physical and cognitive consequences of fatigue: A review*. Journal of advanced research, 2015. **6**(3): p. 351-358.
24. Meeusen, R., et al., *Central fatigue: the serotonin hypothesis and beyond*. Sports Medicine, 2006. **36**: p. 881-909.
25. Pyne, D.B. and D.T. Martin, *Fatigue-insights from individual and team sports*, in *Regulation of fatigue in exercise*. 2011, Nova Publishers. p. 177-186.
26. Nimmo, M. and B. Ekblom, *Fatigue and illness in athletes*. Journal of sports sciences, 2007. **25**(S1): p. S93-S102.
27. Ament, W. and G.J. Verkerke, *Exercise and fatigue*. Sports medicine, 2009. **39**: p. 389-422.
28. Kellmann, M., et al., *Recovery and performance in sport: consensus statement*. International journal of sports physiology and performance, 2018. **13**(2): p. 240-245.
29. Apte, S., et al., *Biomechanical response of the lower extremity to running-induced acute fatigue: a systematic review*. Frontiers in physiology, 2021. **12**: p. 646042.
30. McKenna, M.J. and M. Hargreaves, *Resolving fatigue mechanisms determining exercise performance: integrative physiology at its finest!* 2008, American Physiological Society. p. 286-287.
31. Zając, A., et al., *Central and peripheral fatigue during resistance exercise—a critical review*. Journal of human kinetics, 2015. **49**: p. 159.
32. Gandevia, S.C., *Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue*. Physiological reviews, 2001. **81**(4): p. 1725-1789.
33. Duchateau, J., J.G. Semmler, and R.M. Enoka, *Training adaptations in the behavior of human motor units*. J Appl Physiol (1985), 2006. **101**(6): p. 1766-75.
34. Allen, D.G., G.D. Lamb, and H. Westerblad, *Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms*. Physiol Rev, 2008. **88**(1): p. 287-332.
35. Bigland-Ritchie, B., et al., *Contractile speed and EMG changes during fatigue of sustained maximal voluntary contractions*. J Neurophysiol, 1983. **50**(1): p. 313-24.
36. Cordeiro, L.M., et al., *Physical exercise-induced fatigue: the role of serotonergic and dopaminergic systems*. Brazilian journal of medical and biological research, 2017. **50**: p. e6432.
37. Leavitt, V.M. and J. DeLuca, *Central fatigue: issues related to cognition, mood and behavior, and psychiatric diagnoses*. PM&R, 2010. **2**(5): p. 332-337.
38. Myburgh, K.H., *Can any metabolites partially alleviate fatigue manifestations at the cross-bridge?* Medicine & Science in Sports & Exercise, 2004. **36**(1): p. 20-27.

39. Woodward, M. and E.P. Debold, *Acidosis and phosphate directly reduce myosin's force-generating capacity through distinct molecular mechanisms*. *Frontiers in physiology*, 2018. **9**: p. 862.
40. Hill, A. and H. Lupton, *Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilization of oxygen*. *QJM: Quarterly Journal of Medicine*, 1923(62): p. 135-171.
41. Noakes, T.D., *Fatigue is a brain-derived emotion that regulates the exercise behavior to ensure the protection of whole body homeostasis*. *Frontiers in physiology*, 2012. **3**: p. 82.
42. Kristensen, M., et al., *Lactate and force production in skeletal muscle*. *The Journal of physiology*, 2005. **562**(2): p. 521-526.
43. Tornero-Aguilera, J.F., et al., *Central and Peripheral Fatigue in Physical Exercise Explained: A Narrative Review*. *Int J Environ Res Public Health*, 2022. **19**(7).
44. Thorpe, R.T., et al., *Monitoring fatigue status in elite team-sport athletes: implications for practice*. *International journal of sports physiology and performance*, 2017. **12**(s2): p. S2-27-S2-34.
45. Vøllestad, N.K., *Measurement of human muscle fatigue*. *Journal of neuroscience methods*, 1997. **74**(2): p. 219-227.
46. Borg, G., *Perceived exertion as an indicator of somatic stress*. *Scandinavian journal of rehabilitation medicine*, 1970.
47. Dunbar, C.C., et al., *The validity of regulating exercise intensity by ratings of perceived exertion*. *Medicine and science in sports and exercise*, 1992. **24**(1): p. 94-99.
48. Eston, R. and J. Williams, *Reliability of ratings of perceived effort regulation of exercise intensity*. *British journal of sports medicine*, 1988. **22**(4): p. 153-155.
49. Chen, M.J., X. Fan, and S.T. Moe, *Criterion-related validity of the Borg ratings of perceived exertion scale in healthy individuals: a meta-analysis*. *Journal of sports sciences*, 2002. **20**(11): p. 873-899.
50. Robertson, R., *Development of the perceived exertion knowledge base: An interdisciplinary process*. *International Journal of Sport Psychology*, 2001. **32**(2): p. 189-196.
51. Brill, P., *ACSM's Exercise Management for Persons With Chronic Diseases and Disabilities*, edited by J. Larry Durstine, Geoffrey E. Moore, Patricia L. Painter, and Scott O. Roberts. *Activities, Adaptation & Aging*, 2012. **36**: p. 182-183.
52. Kellmann, M., *Kellmann, M.(2002). Underrecovery and overtraining: Different concepts-similar impact? In M. Kellmann (Ed.), Enhancing recovery: Preventing underperformance in athletes (pp. 3-24). Champaign, IL: Human Kinetics. Enhancing recovery: Preventing underperformance in athletes, 2002: p. 3.*
53. Stone, M.H., M. Stone, and W.A. Sands, *Principles and practice of resistance training*. 2007: Human Kinetics.
54. Skorski, S., et al., *The temporal relationship between exercise, recovery processes, and changes in performance*. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2019. **14**(8): p. 1015-1021.
55. Peake, J.M., *Recovery after exercise: what is the current state of play?* *Current Opinion in Physiology*, 2019. **10**: p. 17-26.
56. Bergström, J., et al., *Diet, muscle glycogen and physical performance*. *Acta physiologica scandinavica*, 1967. **71**(2-3): p. 140-150.

57. Bergstrom, J., E. Hultman, and A. Roch-Norlund, *Muscle glycogen synthetase in normal subjects. Basal values, effect of glycogen depletion by exercise and of a carbohydrate-rich diet following exercise.* 1972.
58. Hermansen, L., E. Hultman, and B. Saltin, *Muscle glycogen during prolonged severe exercise.* Acta physiologica scandinavica, 1967. **71**(2-3): p. 129-139.
59. Burke, L.M., L.J. van Loon, and J.A. Hawley, *Postexercise muscle glycogen resynthesis in humans.* Journal of applied physiology, 2017.
60. Ivy, J., et al., *Muscle glycogen synthesis after exercise: effect of time of carbohydrate ingestion.* Journal of applied physiology, 1988. **64**(4): p. 1480-1485.
61. Burke, L.M., G.R. Collier, and M. Hargreaves, *Muscle glycogen storage after prolonged exercise: effect of the glycemic index of carbohydrate feedings.* Journal of applied physiology, 1993. **75**(2): p. 1019-1023.
62. Trommelen, J., M.W. Betz, and L.J. van Loon, *The muscle protein synthetic response to meal ingestion following resistance-type exercise.* Sports Medicine, 2019. **49**(2): p. 185-197.
63. Biolo, G., et al., *Increased rates of muscle protein turnover and amino acid transport after resistance exercise in humans.* American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism, 1995. **268**(3): p. E514-E520.
64. Phillips, S.M., et al., *Mixed muscle protein synthesis and breakdown after resistance exercise in humans.* American journal of physiology-endocrinology and metabolism, 1997. **273**(1): p. E99-E107.
65. Tipton, K.D., et al., *Postexercise net protein synthesis in human muscle from orally administered amino acids.* American Journal of Physiology-Endocrinology And Metabolism, 1999. **276**(4): p. E628-E634.
66. Sands, W.A., et al., *Stretching and its effects on recovery: A review.* Strength & Conditioning Journal, 2013. **35**(5): p. 30-36.
67. Hausswirth, C. and I. Mujika, *Recovery for performance in sport.* 2013: Human Kinetics.
68. Guo, J., et al., *Massage alleviates delayed onset muscle soreness after strenuous exercise: a systematic review and meta-analysis.* Frontiers in physiology, 2017. **8**: p. 747.
69. Dupuy, O., et al., *An evidence-based approach for choosing post-exercise recovery techniques to reduce markers of muscle damage, soreness, fatigue, and inflammation: a systematic review with meta-analysis.* Frontiers in physiology, 2018. **9**: p. 312968.
70. Field, T., *Massage therapy research review.* Complementary therapies in clinical practice, 2016. **24**: p. 19-31.
71. Best, T.M. and S.K. Crawford, *Massage and postexercise recovery: the science is emerging.* 2017, BMJ Publishing Group Ltd and British Association of Sport and Exercise Medicine. p. 1386-1387.
72. Kraemer, W.J., D.N. French, and B.A. Spiering, *Compression in the treatment of acute muscle injuries in sport.* International SportMed Journal, 2004. **5**(3): p. 200-208.
73. Cochrane, D.J., *Alternating hot and cold water immersion for athlete recovery: a review.* Physical therapy in sport, 2004. **5**(1): p. 26-32.
74. Wilcock, I.M., J.B. Cronin, and W.A. Hing, *Water immersion: does it enhance recovery from exercise?* International journal of sports physiology and performance, 2006. **1**(3): p. 195-206.

75. Allan, R., et al., *Athlete, coach and practitioner knowledge and perceptions of post-exercise cold-water immersion for recovery: a qualitative and quantitative exploration*. Sport Sciences for Health, 2021: p. 1-15.
76. Xiao, F., et al., *Effects of cold water immersion after exercise on fatigue recovery and exercise performance--meta analysis*. Frontiers in physiology, 2023. **14**: p. 1006512.
77. Ihsan, M., G. Watson, and C.R. Abbiss, *What are the physiological mechanisms for post-exercise cold water immersion in the recovery from prolonged endurance and intermittent exercise?* Sports Medicine, 2016. **46**: p. 1095-1109.
78. Bleakley, C., et al., *Cold-water immersion (cryotherapy) for preventing and treating muscle soreness after exercise*. Cochrane Database of Systematic Reviews, 2012(2).
79. Leeder, J., et al., *Cold water immersion and recovery from strenuous exercise: a meta-analysis*. British journal of sports medicine, 2012. **46**(4): p. 233-240.
80. Eston, R. and D. Peters, *Effects of cold water immersion on the symptoms of exercise-induced muscle damage*. Journal of sports sciences, 1999. **17**(3): p. 231-238.
81. Coté, D.J., et al., *Comparison of three treatment procedures for minimizing ankle sprain swelling*. Physical Therapy, 1988. **68**(7): p. 1072-1076.
82. Smith, L.L., *Acute inflammation: the underlying mechanism in delayed onset muscle soreness?* Medicine & Science in Sports & Exercise, 1991. **23**(5): p. 542-551.
83. Stephens, J.M., et al., *Core Temperature Responses to Cold-Water Immersion Recovery: A Pooled-Data Analysis*. Int J Sports Physiol Perform, 2018. **13**(7): p. 917-925.
84. Vromans, B.A., et al., *Cold water immersion settings for reducing muscle tissue temperature: a linear dose-response relationship*. J Sports Med Phys Fitness, 2019. **59**(11): p. 1861-1869.
85. Mawhinney, C., et al., *Cold Water Mediates Greater Reductions in Limb Blood Flow than Whole Body Cryotherapy*. Med Sci Sports Exerc, 2017. **49**(6): p. 1252-1260.
86. Algaflly, A.A. and K.P. George, *The effect of cryotherapy on nerve conduction velocity, pain threshold and pain tolerance*. Br J Sports Med, 2007. **41**(6): p. 365-9; discussion 369.
87. Ho, S.S., et al., *Comparison of various icing times in decreasing bone metabolism and blood flow in the knee*. The American journal of sports medicine, 1995. **23**(1): p. 74-76.
88. Merrick, M.A., *Secondary injury after musculoskeletal trauma: a review and update*. Journal of athletic training, 2002. **37**(2): p. 209.
89. Merrick, M.A. and N.M. McBrier, *Progression of secondary injury after musculoskeletal trauma—a window of opportunity?* Journal of sport rehabilitation, 2010. **19**(4): p. 380-388.
90. Kwiecien, S.Y. and M.P. McHugh, *The cold truth: the role of cryotherapy in the treatment of injury and recovery from exercise*. Eur J Appl Physiol, 2021. **121**(8): p. 2125-2142.
91. Zembron-Lacny, A., et al., *Multiple cryotherapy attenuates oxi-inflammatory response following skeletal muscle injury*. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2020. **17**(21): p. 7855.

92. Martins, C., et al., *Effects of cryotherapy combined with therapeutic ultrasound on oxidative stress and tissue damage after musculoskeletal contusion in rats*. *Physiotherapy*, 2016. **102**(4): p. 377-383.
93. Bleakley, C.M. and G. Davison, *Management of acute soft tissue injury using protection rest ice compression and elevation: recommendations from the Association of Chartered Physiotherapists in sports and exercise medicine (ACPSM)[executive summary]*. Association of Chartered Physiotherapists in Sports and Exercise Medicine, 2010: p. 1-24.
94. Bleakley, C. and J. Hopkins, *Is it possible to achieve optimal levels of tissue cooling in cryotherapy?* *Physical Therapy Reviews*, 2010. **15**(4): p. 344-350.
95. Swenson, C., L. Swärd, and J. Karlsson, *Cryotherapy in sports medicine*. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 1996. **6**(4): p. 193-200.
96. Mawhinney, C., et al., *Influence of cold-water immersion on limb and cutaneous blood flow after exercise*. *Medicine and science in sports and exercise*, 2013. **45**(12): p. 2277-2285.
97. Mawhinney, C., et al., *Changes in quadriceps femoris muscle perfusion following different degrees of cold-water immersion*. *J Appl Physiol* (1985), 2020. **128**(5): p. 1392-1401.
98. Nédélec, M., et al., *Recovery in soccer: part II—recovery strategies*. *Sports medicine*, 2013. **43**: p. 9-22.
99. Bongers, C.C., M.T. Hopman, and T.M. Eijssvogels, *Cooling interventions for athletes: an overview of effectiveness, physiological mechanisms, and practical considerations*. *Temperature*, 2017. **4**(1): p. 60-78.
100. Merrick, M.A., L.S. Jutte, and M.E. Smith, *Cold modalities with different thermodynamic properties produce different surface and intramuscular temperatures*. *Journal of athletic training*, 2003. **38**(1): p. 28.
101. Beiner, J.M. and P. Jokl, *Muscle contusion injuries: current treatment options*. *JAAOS-Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 2001. **9**(4): p. 227-237.
102. Knight, K.L., et al., *Muscle injury management with cryotherapy*. *International Journal of Athletic Therapy and Training*, 2000. **5**(4): p. 26-30.
103. Meeusen, R. and P. Lievens, *The use of cryotherapy in sports injuries*. *Sports medicine*, 1986. **3**: p. 398-414.
104. Mac Auley, D.C., *Ice therapy: how good is the evidence?* *International journal of sports medicine*, 2001. **22**(05): p. 379-384.
105. Nogueira, N.M., et al., *Effects of local cryotherapy for recovery of delayed onset muscle soreness and strength following exercise-induced muscle damage: systematic review and meta-analysis*. *Sport Sciences for Health*, 2020. **16**: p. 1-11.
106. Bouzigon, R., et al., *Whole-and partial-body cryostimulation/cryotherapy: Current technologies and practical applications*. *Journal of Thermal Biology*, 2016. **61**: p. 67-81.
107. Romanowski, M.W. and A. Straburzyńska-Lupa, *Is the whole-body cryotherapy a beneficial supplement to exercise therapy for patients with ankylosing spondylitis?* *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*, 2020. **33**(2): p. 185-192.
108. Straburzyńska-Lupa, A., et al., *The Effect of Whole-Body Cryotherapy at Different Temperatures on Proinflammatory Cytokines, Oxidative Stress Parameters, and*

- Disease Activity in Patients with Ankylosing Spondylitis*. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2018. **2018**(1): p. 2157496.
109. Pawik, M., J. Kowalska, and J. Rymaszewska, *The effectiveness of whole-body cryotherapy and physical exercises on the psychological well-being of patients with multiple sclerosis: A comparative analysis*. *Advances in Clinical and Experimental Medicine*, 2019. **28**(11): p. 1477-1483.
 110. Lombardi, G., E. Ziemann, and G. Banfi, *Whole-body cryotherapy in athletes: from therapy to stimulation. An updated review of the literature*. *Frontiers in physiology*, 2017. **8**: p. 258298.
 111. Partridge, E.M., et al., *Whole-body cryotherapy: potential to enhance athlete preparation for competition?* *Frontiers in physiology*, 2019. **10**: p. 1007.
 112. Furmanek, M.P., K. Słomka, and G. Juras, *The effects of cryotherapy on proprioception system*. *BioMed research international*, 2014. **2014**(1): p. 696397.
 113. Capodaglio, P., et al., *Whole-body cryostimulation: A rehabilitation booster*. *Journal of Rehabilitation Medicine-Clinical Communications*, 2022. **5**: p. 2810.
 114. Patel, K., et al., *Whole-body cryotherapy in sports medicine*. *Current sports medicine reports*, 2019. **18**(4): p. 136-140.
 115. Bleakley, C.M., et al., *Whole-body cryotherapy: empirical evidence and theoretical perspectives*. *Open access journal of sports medicine*, 2014: p. 25-36.
 116. Pournot, H., et al., *Time-course of changes in inflammatory response after whole-body cryotherapy multi exposures following severe exercise*. *PloS one*, 2011. **6**(7): p. e22748.
 117. Ziemann, E., et al., *Five-day whole-body cryostimulation, blood inflammatory markers, and performance in high-ranking professional tennis players*. *Journal of Athletic Training*, 2012. **47**(6): p. 664-672.
 118. Ziemann, E., et al., *Whole-body cryostimulation as an effective way of reducing exercise-induced inflammation and blood cholesterol in young men*. *European Cytokine Network*, 2014. **25**: p. 14-23.
 119. Wozniak, A., et al., *The effect of whole-body cryostimulation on lysosomal enzyme activity in kayakers during training*. *European journal of applied physiology*, 2007. **100**: p. 137-142.
 120. Mila-Kierzenkowska, C., et al., *The Effect of Submaximal Exercise Preceded by Single Whole-Body Cryotherapy on the Markers of Oxidative Stress and Inflammation in Blood of Volleyball Players*. *Oxidative medicine and cellular longevity*, 2013. **2013**(1): p. 409567.
 121. Lubkowska, A., et al., *Do sessions of cryostimulation have influence on white blood cell count, level of IL6 and total oxidative and antioxidative status in healthy men?* *European Journal of Applied Physiology*, 2010. **109**: p. 67-72.
 122. Del Giudice, M. and S.W. Gangestad, *Rethinking IL-6 and CRP: Why they are more than inflammatory biomarkers, and why it matters*. *Brain, behavior, and immunity*, 2018. **70**: p. 61-75.
 123. Ouyang, W., et al., *Regulation and functions of the IL-10 family of cytokines in inflammation and disease*. *Annual review of immunology*, 2011. **29**(1): p. 71-109.
 124. Tanaka, T., M. Narazaki, and T. Kishimoto, *IL-6 in inflammation, immunity, and disease*. *Cold Spring Harbor perspectives in biology*, 2014. **6**(10): p. a016295.
 125. Ouyang, W. and A. O'Garra, *IL-10 family cytokines IL-10 and IL-22: from basic science to clinical translation*. *Immunity*, 2019. **50**(4): p. 871-891.
 126. Wilson, L., *Recovery following a marathon: a comparison of col*. 2018.

127. Malik, A. and T.D. Kanneganti, *Function and regulation of IL-1 α in inflammatory diseases and cancer*. Immunological reviews, 2018. **281**(1): p. 124-137.
128. Yang, W., et al., *Delicate regulation of IL-1 β -mediated inflammation by cyclophilin A*. Cell reports, 2022. **38**(11).
129. He, J., et al., *Whole-body cryotherapy can reduce the inflammatory response in humans: a meta-analysis based on 11 randomized controlled trials*. Scientific Reports, 2025. **15**(1): p. 7759.
130. Saxton, R.A., et al., *Structure-based decoupling of the pro-and anti-inflammatory functions of interleukin-10*. Science, 2021. **371**(6535): p. eabc8433.
131. Bhasin, S., L. Woodhouse, and T. Storer, *Hormones and Sport-Proof of the effect of testosterone on skeletal muscle*. Journal of endocrinology, 2001. **170**(1): p. 27-38.
132. Russell, M., et al., *The effects of a single whole-body cryotherapy exposure on physiological, performance, and perceptual responses of professional academy soccer players after repeated sprint exercise*. The Journal of Strength & Conditioning Research, 2017. **31**(2): p. 415-421.
133. Wozniak, A., et al., *382 Jurecka A. Whole-body cryostimulation and oxidative stress in rowers: the preliminary 383 results*. Arch Med Sci, 2013. **9**(303-308): p. 384.
134. Leppäluoto, J., et al., *Effects of long-term whole-body cold exposures on plasma concentrations of ACTH, beta-endorphin, cortisol, catecholamines and cytokines in healthy females*. Scandinavian journal of clinical and laboratory investigation, 2008. **68**(2): p. 145-153.
135. Strahorn, J., et al., *Effect of physical and psychosocial interventions on hormone and performance outcomes in professional rugby union players: a systematic review*. The Journal of Strength & Conditioning Research, 2017. **31**(11): p. 3158-3169.
136. Grasso, D., et al., *Salivary steroid hormone response to whole-body cryotherapy in elite rugby players*. Journal of biological regulators and homeostatic agents, 2014. **28**(2): p. 291-300.
137. Huang, T., et al., *Effect of whole-body cryotherapy on recovery after high-intensity training in elite rowers*. Front Physiol, 2024. **15**: p. 1428554.
138. Hausswirth, C., et al., *Parasympathetic activity and blood catecholamine responses following a single partial-body cryostimulation and a whole-body cryostimulation*. PloS one, 2013. **8**(8): p. e72658.
139. Kregel, K.C., D.R. Seals, and R. Callister, *Sympathetic nervous system activity during skin cooling in humans: relationship to stimulus intensity and pain sensation*. The Journal of physiology, 1992. **454**(1): p. 359-371.
140. Brancaccio, P., et al., *Serum enzyme monitoring in sports medicine*. Clinics in sports medicine, 2008. **27**(1): p. 1-18.
141. Rossato, M., et al., *Effects of cryotherapy on muscle damage markers and perception of delayed onset muscle soreness after downhill running: A Pilot study*. Revista Andaluza de Medicina del Deporte, 2015. **8**(2): p. 49-53.
142. Lubkowska, A., B. Dołęgowska, and Z. Szygula, *Whole-body cryostimulation-potential beneficial treatment for improving antioxidant capacity in healthy men-significance of the number of sessions*. 2012.
143. Lubkowska, A., et al., *Body composition, lipid profile, adipokine concentration, and antioxidant capacity changes during interventions to treat overweight with*

- exercise Programme and whole-body Cryostimulation*. Oxidative medicine and cellular longevity, 2015. **2015**(1): p. 803197.
144. Sutkowy, P., et al., *Physical Exercise Combined with Whole-Body Cryotherapy in Evaluating the Level of Lipid Peroxidation Products and Other Oxidant Stress Indicators in Kayakers*. Oxidative Medicine and Cellular Longevity, 2014. **2014**(1): p. 402631.
 145. Haq, A., W. Ribbans, and A.W. Baross, *The effects of age and body fat content on post-downhill run recovery following whole body cryotherapy*. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2021. **18**(6): p. 2906.
 146. Haq, A., et al., *The comparative effect of different timings of whole body cryotherapy treatment with cold water immersion for post-exercise recovery*. Frontiers in sports and active living, 2022. **4**: p. 940516.
 147. Costello, J.T., et al., *Muscle, skin and core temperature after– 110 C cold air and 8 C water treatment*. PloS one, 2012. **7**(11): p. e48190.
 148. Cuttell, S., et al., *Individualising the exposure of– 110 C whole body cryotherapy: the effects of sex and body composition*. Journal of Thermal Biology, 2017. **65**: p. 41-47.
 149. Marino, F., *Methods, advantages, and limitations of body cooling for exercise performance*. British journal of sports medicine, 2002. **36**(2): p. 89-94.
 150. Krüger, M., et al., *Whole-body cryotherapy's enhancement of acute recovery of running performance in well-trained athletes*. International journal of sports physiology and performance, 2015. **10**(5): p. 605-612.
 151. Westerlund, T., et al., *Neuromuscular adaptation after repeated exposure to whole-body cryotherapy (– 110 C)*. journal of Thermal Biology, 2009. **34**(5): p. 226-231.
 152. Bailey, D., et al., *Influence of cold-water immersion on indices of muscle damage following prolonged intermittent shuttle running*. Journal of sports sciences, 2007. **25**(11): p. 1163-1170.
 153. Hausswirth, C., et al., *Effects of whole-body cryotherapy vs. far-infrared vs. passive modalities on recovery from exercise-induced muscle damage in highly-trained runners*. PloS one, 2011. **6**(12): p. e27749.
 154. Costello, J.T., et al., *The use of thermal imaging in assessing skin temperature following cryotherapy: a review*. Journal of Thermal Biology, 2012. **37**(2): p. 103-110.
 155. Costello, J.T., et al., *Effects of whole body cryotherapy and cold water immersion on knee skin temperature*. International Journal of Sports Medicine, 2014. **35**(01): p. 35-40.
 156. Costello, J., et al., *Tissue viability imaging of skin microcirculation following exposure to whole body cryotherapy (-110 C) and cold water immersion (8 C)*. Archives of Exercise in Health and Disease, 2014. **4**(1): p. 243-250.
 157. Savic, M., B. Fonda, and N. Sarabon, *Actual temperature during and thermal response after whole-body cryotherapy in cryo-cabin*. Journal of thermal biology, 2013. **38**(4): p. 186-191.
 158. Gregson, W., et al., *Influence of cold water immersion on limb and cutaneous blood flow at rest*. The American journal of sports medicine, 2011. **39**(6): p. 1316-1323.
 159. Hohenauer, E., et al., *Partial-body cryotherapy (– 135° C) and cold-water immersion (10° C) after muscle damage in females*. Scandinavian journal of medicine & science in sports, 2020. **30**(3): p. 485-495.

160. Bleakley, C.M. and G.W. Davison, *Cryotherapy and inflammation: evidence beyond the cardinal signs*. Physical therapy reviews, 2010. **15**(6): p. 430-435.
161. Fonda, B. and N. Sarabon, *Effects of whole-body cryotherapy on recovery after hamstring damaging exercise: a crossover study*. Scandinavian journal of medicine & science in sports, 2013. **23**(5): p. e270-e278.
162. Haq, A., *An Evaluation of the Effects of Whole Body Cryotherapy Treatment for Sports Recovery and Performance*. 2021, University of Northampton.
163. Selfe, J., et al., *The effect of three different (-135 C) whole body cryotherapy exposure durations on elite rugby league players*. PloS one, 2014. **9**(1): p. e86420.
164. Lubkowska, A., et al., *The effect of prolonged whole-body cryostimulation treatment with different amounts of sessions on chosen pro-and anti-inflammatory cytokines levels in healthy men*. Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation, 2011. **71**(5): p. 419-425.
165. Renata, S., et al., *Impact of 10 sessions of whole body cryostimulation on cutaneous microcirculation measured by laser Doppler flowmetry*. Journal of human kinetics, 2011. **30**: p. 75.
166. Ferreira-Junior, J.B., et al., *Could whole-body cryotherapy (below- 100° C) improve muscle recovery from muscle damage?* 2014, Frontiers Media SA. p. 247.
167. Ferreira-Junior, J., et al., *One session of partial-body cryotherapy (- 110° C) improves muscle damage recovery*. Scandinavian journal of medicine & science in sports, 2015. **25**(5): p. e524-e530.
168. Wilson, L.J., et al., *Recovery following a marathon: a comparison of cold water immersion, whole body cryotherapy and a placebo control*. European journal of applied physiology, 2018. **118**: p. 153-163.
169. Douzi, W., et al., *3-min whole body cryotherapy/cryostimulation after training in the evening improves sleep quality in physically active men*. European journal of sport science, 2019. **19**(6): p. 860-867.
170. Paulsen, G., et al., *Leucocytes, cytokines and satellite cells: what role do they play in muscle damage and regeneration following eccentric exercise?* Exercise immunology review, 2012. **18**.
171. Lubkowska, A., *Cryotherapy: Physiological considerations and applications to physical therapy*. Physical Therapy Perspectives in the 21st Century—Challenges and Possibilities, 2012: p. 155-176.
172. Lombardi, G., et al., *Hematological profile and martial status in rugby players during whole body cryostimulation*. PLoS One, 2013. **8**(2): p. e55803.
173. Castellani, J.W., I.K. Brenner, and S.G. Rhind, *Cold exposure: human immune responses and intracellular cytokine expression*. Medicine & Science in Sports & Exercise, 2002. **34**(12): p. 2013-2020.
174. Zeman, V., *Physical activity in a cool environment*. Med. Sport Prac, 2003. **4**: p. 4-8.
175. Lubkowska, A. and M. Suska, *The increase in systolic and diastolic blood pressure after exposure to cryogenic temperatures in normotensive men as a contraindication for whole-body cryostimulation*. Journal of Thermal Biology, 2011. **36**(5): p. 264-268.
176. Prior, J.O., et al., *Determinants of myocardial blood flow response to cold pressor testing and pharmacologic vasodilation in healthy humans*. European journal of nuclear medicine and molecular imaging, 2007. **34**: p. 20-27.

177. Wilson, T.E., et al., *Skin-surface cooling elicits peripheral and visceral vasoconstriction in humans*. Journal of Applied Physiology, 2007. **103**(4): p. 1257-1262.
178. Cui, J., et al., *Effect of skin surface cooling on central venous pressure during orthostatic challenge*. American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology, 2005. **289**(6): p. H2429-H2433.
179. Siegrist, P.T., et al., *Repeatability of Cold Pressor Test-Induced Flow Increase Assessed with H215O and PET*. Journal of Nuclear Medicine, 2006. **47**(9): p. 1420-1426.
180. Edwards, D.G., et al., *Acute effects of cold exposure on central aortic wave reflection*. Journal of Applied Physiology, 2006.
181. Manou-Stathopoulou, V., et al., *The effects of cold and exercise on the cardiovascular system*. Heart, 2015. **101**(10): p. 808-820.
182. Dubois-Rande, J.-L., et al., *Comparison of the effects of exercise and cold pressor test on the vasomotor response of normal and atherosclerotic coronary arteries and their relation to the flow-mediated mechanism*. The American journal of cardiology, 1995. **76**(7): p. 467-473.
183. Kaeding, C. and J. Borchers, *Hamstring and Quadriceps Injuries in Athletes: A Clinical Guide*. 2014.
184. Kopydłowski, N.J., A.E. Weber, and J.K. Sekiya, *Functional anatomy of the hamstrings and quadriceps*, in *Hamstring and Quadriceps Injuries in Athletes: A Clinical Guide*. 2014, Springer. p. 1-14.
185. Netter, F.H. and J.T. Hansen, *Netter's clinical anatomy*. (No Title), 2005.
186. Andrikoula, S., et al., *The extensor mechanism of the knee joint: an anatomical study*. Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy, 2006. **14**: p. 214-220.
187. Hallisey, M.J., et al., *Anatomy of the junction of the vastus lateralis tendon and the patella*. JBJS, 1987. **69**(4): p. 545-549.
188. Fj, L., *Quadriceps function-An anatomical and mechanical study using amputated limbs*. J Bone Joint Surg, 1968. **50**: p. 1535-1548.
189. Nicola, T.L. and D.J. Jewison, *The anatomy and biomechanics of running*. Clinics in sports medicine, 2012. **31**(2): p. 187-201.
190. Järvinen, T.A., M. Järvinen, and H. Kalimo, *Regeneration of injured skeletal muscle after the injury*. Muscles, ligaments and tendons journal, 2014. **3**(4): p. 337.
191. Ivan, Z., *Anatomy, physiology and biomechanics of hamstrings injury in football and effective strength and flexibility exercises for its prevention*. Journal of Human Sport and Exercise, 2012. **7**(1): p. S208-S217.
192. Silder, A., et al., *MR observations of long-term musculotendon remodeling following a hamstring strain injury*. Skeletal Radiol, 2008. **37**(12): p. 1101-9.
193. Li, G., et al., *The importance of quadriceps and hamstring muscle loading on knee kinematics and in-situ forces in the ACL*. Journal of biomechanics, 1999. **32**(4): p. 395-400.
194. Koulouris, G. and D. Connell, *Hamstring muscle complex: an imaging review*. Radiographics, 2005. **25**(3): p. 571-586.
195. James, S.L. and C.E. Brubaker, *Biomechanics of running*. Orthopedic Clinics of North America, 1973. **4**(3): p. 605-615.
196. MARSHALL, J.L., F.G. GIRGIS, and R.R. ZELKO, *The biceps femoris tendon and its functional significance*. JBJS, 1972. **54**(7): p. 1444-1450.

197. Tibor, L.M., et al., *Management of medial-sided knee injuries, part 2: posteromedial corner*. The American journal of sports medicine, 2011. **39**(6): p. 1332-1340.
198. Willigenburg, N.W., M.P. McNally, and T.E. Hewett, *Quadriceps and hamstrings strength in athletes*, in *Hamstring and quadriceps injuries in athletes: A clinical guide*. 2014, Springer. p. 15-28.
199. Lund, H., et al., *Learning effect of isokinetic measurements in healthy subjects, and reliability and comparability of Biodex and Lido dynamometers*. Clinical physiology and functional imaging, 2005. **25**(2): p. 75-82.
200. Anderson, D.E., M.L. Madigan, and M.A. Nussbaum, *Maximum voluntary joint torque as a function of joint angle and angular velocity: model development and application to the lower limb*. Journal of biomechanics, 2007. **40**(14): p. 3105-3113.
201. Alvares, J.B.d.A.R., et al., *Inter-machine reliability of the Biodex and Cybex isokinetic dynamometers for knee flexor/extensor isometric, concentric and eccentric tests*. Physical Therapy in Sport, 2015. **16**(1): p. 59-65.
202. Brown, L.E. and J.P. Weir, *ASEP procedures recommendation I: accurate assessment of muscular strength and power*. Journal of Exercise Physiology Online, 2001. **4**(3).
203. Hislop, H.J. and J. Perrine, *The isokinetic concept of exercise*. Physical therapy, 1967. **47**(1): p. 114-117.
204. Toonstra, J. and C.G. Mattacola, *Test-retest reliability and validity of isometric knee-flexion and-extension measurement using 3 methods of assessing muscle strength*. Journal of sport rehabilitation, 2013. **22**(1).
205. de Carvalho Froufe, A.C.P., et al., *Reliability of concentric, eccentric and isometric knee extension and flexion when using the REV9000 isokinetic dynamometer*. Journal of human kinetics, 2013. **37**: p. 47.
206. Graham, V.L., G.M. Gehlsen, and J.A. Edwards, *Electromyographic evaluation of closed and open kinetic chain knee rehabilitation exercises*. Journal of athletic training, 1993. **28**(1): p. 23.
207. Siqueira, C.M., et al., *Isokinetic dynamometry of knee flexors and extensors: comparative study among non-athletes, jumper athletes and runner athletes*. Revista do Hospital das Clinicas, 2002. **57**: p. 19-24.
208. Pincivero, D.M., P.T. Dixon, and A.J. Coelho, *Knee extensor torque, work, and EMG during subjectively graded dynamic contractions*. Muscle & Nerve: Official Journal of the American Association of Electrodiagnostic Medicine, 2003. **28**(1): p. 54-61.
209. Kellis, E., C. Sahinis, and V. Baltzopoulos, *Is hamstrings-to-quadriceps torque ratio useful for predicting anterior cruciate ligament and hamstring injuries? A systematic and critical review*. Journal of Sport and Health Science, 2023. **12**(3): p. 343-358.
210. Iossifidou, A., V. Baltzopoulos, and G. Giakas, *Isokinetic knee extension and vertical jumping: are they related?* Journal of sports sciences, 2005. **23**(10): p. 1121-1127.
211. Zvijac, J.E., et al., *Isokinetic concentric quadriceps and hamstring normative data for elite collegiate American football players participating in the NFL Scouting Combine*. The Journal of Strength & Conditioning Research, 2014. **28**(4): p. 875-883.

212. Ruas, C.V., et al., *Alternative methods of determining hamstrings-to-quadriceps ratios: a comprehensive review*. Sports medicine-open, 2019. **5**: p. 1-14.
213. Knapik, J.J., et al., *Preseason strength and flexibility imbalances associated with athletic injuries in female collegiate athletes*. The American journal of sports medicine, 1991. **19**(1): p. 76-81.
214. GONZÁLEZ-CAMARENA, R., et al., *Effect of static and dynamic exercise on heart rate and blood pressure variabilities*. Medicine & Science in Sports & Exercise, 2000. **32**(10): p. 1719-1728.
215. Duncker, D.J. and R.J. Bache, *Regulation of coronary blood flow during exercise*. Physiological reviews, 2008. **88**(3): p. 1009-1086.
216. Hogan, T.S., *Exercise-induced reduction in systemic vascular resistance: a covert killer and an unrecognised resuscitation challenge?* Medical hypotheses, 2009. **73**(4): p. 479-484.
217. Pawelczyk, J., et al., *Leg vasoconstriction during dynamic exercise with reduced cardiac output*. Journal of Applied Physiology, 1992. **73**(5): p. 1838-1846.
218. Clifford, P.S. and Y. Hellsten, *Vasodilatory mechanisms in contracting skeletal muscle*. Journal of applied physiology, 2004. **97**(1): p. 393-403.
219. Osada, T., et al., *Reduced blood flow in abdominal viscera measured by Doppler ultrasound during one-legged knee extension*. Journal of Applied Physiology, 1999. **86**(2): p. 709-719.
220. Laughlin, M.H., *Skeletal muscle blood flow capacity: role of muscle pump in exercise hyperemia*. American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology, 1987. **253**(5): p. H993-H1004.
221. Nobrega, A., J. Williamson, and J.H. Mitchell, *Left ventricular volumes and hemodynamic responses at onset of dynamic exercise with reduced venous return*. Journal of applied physiology, 1995. **79**(5): p. 1405-1410.
222. Vella, C. and R. Robergs, *A review of the stroke volume response to upright exercise in healthy subjects*. British journal of sports medicine, 2005. **39**(4): p. 190-195.
223. Åstrand, P.-O., et al., *Cardiac output during submaximal and maximal work*. Journal of applied physiology, 1964. **19**(2): p. 268-274.
224. Gobel, F.L., et al., *The rate-pressure product as an index of myocardial oxygen consumption during exercise in patients with angina pectoris*. Circulation, 1978. **57**(3): p. 549-556.
225. Kitamura, K., et al., *Hemodynamic correlates of myocardial oxygen consumption during upright exercise*. Journal of applied physiology, 1972. **32**(4): p. 516-522.
226. Ascensão, A., et al., *Effects of cold water immersion on the recovery of physical performance and muscle damage following a one-off soccer match*. Journal of sports sciences, 2011. **29**(3): p. 217-225.
227. Twist, C. and J. Highton, *Monitoring fatigue and recovery in rugby league players*. International Journal of sports physiology and performance, 2013. **8**(5): p. 467-474.
228. Bangsbo, J., M. Mohr, and P. Krstrup, *Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player*. Journal of sports sciences, 2006. **24**(07): p. 665-674.
229. Crouter, S.E., C. Albright, and D.R. Bassett Jr, *Accuracy of polar S410 heart rate monitor to estimate energy cost of exercise*. Medicine & Science in Sports & Exercise, 2004. **36**(8): p. 1433-1439.

230. Achten, J. and A.E. Jeukendrup, *Heart rate monitoring: applications and limitations*. Sports medicine, 2003. **33**: p. 517-538.
231. Koblbauer, I.F., et al., *Kinematic changes during running-induced fatigue and relations with core endurance in novice runners*. Journal of Science and Medicine in Sport, 2014. **17**(4): p. 419-424.
232. Zagrobelny, Z., *Local and whole-body cryotherapy*. Wroclaw: Wydawnictwo Medyczne Urban & Partner, 2003.
233. Qu, C., et al., *Cryotherapy Models and Timing-Sequence Recovery of Exercise-Induced Muscle Damage in Middle- and Long-Distance Runners*. J Athl Train, 2020. **55**(4): p. 329-335.
234. Abaïdia, A.-E., et al., *Recovery from exercise-induced muscle damage: cold-water immersion versus whole-body cryotherapy*. International journal of sports physiology and performance, 2017. **12**(3): p. 402-409.
235. Koller, A., et al., *Decrease in eccentric hamstring strength in runners in the Tirol Speed Marathon*. Br J Sports Med, 2006. **40**(10): p. 850-2; discussion 852.
236. Simonsen, E.B., L. Thomsen, and K. Klausen, *Activity of mono- and biarticular leg muscles during sprint running*. Eur J Appl Physiol Occup Physiol, 1985. **54**(5): p. 524-32.
237. Zhang, Q., et al., *Influence of Fatigue on the Rapid Hamstring/Quadriceps Force Capacity in Soccer Players*. Front Physiol, 2021. **12**: p. 627674.
238. Novacheck, T.F., *The biomechanics of running*. Gait & posture, 1998. **7**(1): p. 77-95.
239. Huygaerts, S., et al., *Does Muscle-Tendon Unit Structure Predispose to Hamstring Strain Injury During Running? A Critical Review*. Sports Med, 2021. **51**(2): p. 215-224.
240. Opar, D.A., M.D. Williams, and A.J. Shield, *Hamstring strain injuries: factors that lead to injury and re-injury*. Sports Med, 2012. **42**(3): p. 209-26.
241. Hodgson, M., D. Docherty, and D. Robbins, *Post-Activation Potentiation*. Sports Medicine, 2005. **35**(7): p. 585-595.
242. Seitz, L.B. and G.G. Haff, *Factors Modulating Post-Activation Potentiation of Jump, Sprint, Throw, and Upper-Body Ballistic Performances: A Systematic Review with Meta-Analysis*. Sports Medicine, 2016. **46**(2): p. 231-240.
243. Haq, A., et al., *The Effect of Repetitive Whole Body Cryotherapy Treatment on Adaptations to a Strength and Endurance Training Programme in Physically Active Males*. Front Sports Act Living, 2022. **4**: p. 834386.
244. Jaworska, J., et al., *Short-Term Resistance Training Supported by Whole-Body Cryostimulation Induced a Decrease in Myostatin Concentration and an Increase in Isokinetic Muscle Strength*. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2020. **17**(15): p. 5496.
245. SCHAAL, K., et al., *Whole-Body Cryostimulation Limits Overreaching in Elite Synchronized Swimmers*. Medicine & Science in Sports & Exercise, 2015. **47**(7): p. 1416-1425.
246. Westerlund, T., et al., *Heart rate variability in women exposed to very cold air (–110 C) during whole-body cryotherapy*. Journal of Thermal Biology, 2006. **31**(4): p. 342-346.
247. Zalewski, P., et al., *Thermal and hemodynamic response to whole-body cryostimulation in healthy subjects*. Cryobiology, 2013. **66**(3): p. 295-302.

248. Westerlund, T., et al., *The blood pressure responses to an acute and long-term whole-body cryotherapy (– 110 °C) in men and women*. Journal of Thermal Biology, 2004. **29**(6): p. 285-290.
249. Coppi, F., et al., *Cardiovascular effects of whole-body cryotherapy in non-professional athletes*. Frontiers in Cardiovascular Medicine, 2022. **9**: p. 905790.
250. Fricke, R., *Ganzkörperkältetherapie in einer Kaltekammer mit Temperaturen um –110 °C*. Z. Phys. Med. Baln. Med. Klim, 1989. **18**: p. 1-10.
251. Taghawinejad, M., et al., *Ganzkörperkältetherapie–Beeinflussung von Kreislauf- und Stoffwechselfparametern*. Z Phys Med Baln Med Klim, 1989. **18**: p. 23-30.
252. Komulainen, S., et al., *Blood pressure and thermal responses to whole body cold exposure in mildly hypertensive subjects*. Journal of Thermal Biology, 2004. **29**(7-8): p. 851-856.
253. Zalewski, P., et al., *Zmiany wybranych parametrów hemodynamicznych po zabiegu kriostymulacji ogólnoustrojowej u osób zdrowych*. Acta Bio-Optica et Informatica Medica. Inżynieria Biomedyczna, 2009. **15**(3): p. 209-214.
254. Koczorowska, M., S. Skorupska, and A. Mamcarz, *The influence of whole-body cryotherapy on chosen hemodynamic parameters*. Folia Cardiol. Excerpta, 2007. **2**(Suppl. A): p. 26.
255. Szczepanowska-Wołowicz, B., et al., *The influence of cryochamber on parameters of blood pressure and pulse*. Przegląd Lekarski, 2010. **67**(5): p. 360-364.
256. Bonomi, F.G., et al., *RETRACTED ARTICLE: Impact of Different Treatment of Whole-Body Cryotherapy on Circulatory Parameters*. Archivum immunologiae et therapiae experimentalis, 2012. **60**: p. 145-150.
257. Zakyntinos, G.E., et al. *The Effect of Whole-Body Cryostimulation in Healthy Adults: Whole-Body Cryostimulation According to Gender and Smoking Status*. in *GeNeDis 2020: Geriatrics*. 2021. Springer.

ETİK KURUL KARARI

FORMLAR**KATILIMCI TAKİP FORMU**

Adı, Soyadı:

Doğum Tarihi:

Yaş:

Dominant bacak: R ☐ L ☐

Boy:

Kilo:

VKİ:

Tel:

e-mail:

Düzenli ilaç kullanımı: Evet ☐ Hayır ☐**Özgeçmiş**Hipertansiyon: Var ☐ Yok ☐Kalp-damar ve solunumsal hastalıklar: Var ☐ Yok ☐Anemi: Var ☐ Yok ☐Soğuk alerjisi: Var ☐ Yok ☐Klostrofobi: Var ☐ Yok ☐Akut ya da kronik diz ağrısı şikayeti: Var ☐ Yok ☐Son 6 ay içinde alt ekstremitayı ilgilendiren yaralanma hikayesi: Var ☐ Yok ☐Son 3 ay içerisinde diz ağrısı şikayeti: Var ☐ Yok ☐

AD-SOYAD:

TARİH:

PASİF DİNLENME (PD)

	SKB/DKB	Kalp Hızı	Satürasyon	Borg Skoru
Dinlenme durumu				
0.dakika				
5. dakika				
10. dakika				
15. dakika				
20. dakika				
25. dakika				
30. dakika				

TÜM VÜCUT KRİYOTERAPİ (TVK)

TARİH:

	SKB/DKB	Kalp Hızı	Satürasyon	Borg Skoru
Dinlenme durumu				
0.dakika				
5. dakika				
10. dakika				
15. dakika (TVK öncesi)				
20. dakika (TVK sonrası)				
25. dakika				
30. dakika				

*SKB: Sistolik Kan Basıncı

*DKB: Diyastolik Kan Basıncı

İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI

TÜM VÜCUT KRİYOTERAPİNİN EGZERSİZE BAĞLI YORGUNLUK SONRASI İZOKİNETİK PERFORMANS ÜZERİNE ETKİSİ

ORJİNALLİK RAPORU

% 8	% 7	% 5	% 1
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	acikbilim.yok.gov.tr İnternet Kaynağı	% 4
2	www.researchgate.net İnternet Kaynağı	<% 1
3	acikerisim.ybu.edu.tr:8080 İnternet Kaynağı	<% 1
4	Submitted to Mersin Āniversitesi Öğrenci Ödevi	<% 1
5	libratez.cu.edu.tr İnternet Kaynağı	<% 1
6	dspace.ankara.edu.tr İnternet Kaynağı	<% 1
7	burkonturizm.com İnternet Kaynağı	<% 1
8	www.ozguryayinlari.com İnternet Kaynağı	<% 1
9	abis-files.gazi.edu.tr İnternet Kaynağı	<% 1
10	www.ichastaliklarihemsireligi.com İnternet Kaynağı	<% 1
11	Yenil, Sinem. "Sağlıklı kişilerde proprioseptif nöromuskuler fasilitasyon germe öncesi foam roller uygulamasının hamstring esnekliği ve	<% 1