



**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ANTRENÖRLÜK EĞİTİMİ ANA BİLİM DALI**

**SPORCULARDA SOLUNUM KASI ISINMA
UYGULAMASININ PULMONER DİFÜZYON KAPASİTESİNE
ETKİSİ**

Doktora Tezi

Emre KARADUMAN

Danışman
Prof. Dr. Özgür BOSTANCI

SAMSUN
2025

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ANTRENÖRLÜK EĞİTİMİ ANA BİLİM DALI**



**SPORCULARDA SOLUNUM KASI ISINMA
UYGULAMASININ PULMONER DİFÜZYON KAPASİTESİNE
ETKİSİ**

Doktora Tezi

Emre KARADUMAN

Danışman
Prof. Dr. Özgür BOSTANCI

Bu çalışma Ondokuz Mayıs Üniversitesi tarafından PYO.YDS.1901.22.002 proje numarası ile desteklenmiştir.

SAMSUN
2025

TEZ KABUL VE ONAYI

Emre KARADUMAN tarafından, **Prof. Dr. Özgür BOSTANCI** danışmanlığında hazırlanan “**SPORCULARDA SOLUNUM KASI ISINMA UYGULAMASININ PULMONER DİFÜZYON KAPASİTESİNE ETKİSİ**” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 16.6.2025 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	Sonuç
Başkan	Prof. Dr. Özgür BOSTANCI Ondokuz Mayıs Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Doç. Dr. Ali Kerim YILMAZ Ondokuz Mayıs Üniversitesi Rekreasyon Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Doç. Dr. Egemen ERMİŞ Ondokuz Mayıs Üniversitesi Antrenörlük Eğitimi Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Doç. Dr. Kürşat ACAR Sinop Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Üstün TÜRKER Gümüşhane Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

Prof. Dr. Faik Ahmet SESLİ
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım Doktora tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

Etik Kurul Gerekli mi?

Evet ☒

Hayır ☐

16/06/2025
Emre KARADUMAN

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez başlığı: SPORCULARDA SOLUNUM KASI ISINMA UYGULAMASININ
PULMONER DİFÜZYON KAPASİTESİNE ETKİSİ

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 12/05/2025 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 3

Tek kaynak oranı : % 3 çıkmıştır.

12/05/2025
Prof. Dr. Özgür BOSTANCI

ÖZET

SPORCULARDA SOLUNUM KASI ISINMA UYGULAMASININ PULMONER DİFÜZYON KAPASİTESİNE ETKİSİ

Emre KARADUMAN
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Antrenörlük Eğitimi Ana Bilim Dalı
Doktora, Haziran/2025
Danışman: Prof. Dr. Özgür BOSTANCI

Solunum kası ısınma (SKI) uygulamasının, egzersiz ve solunum performansını iyileştirebileceğine dair bazı kanıtlar ileri sürülmesine rağmen sonuçlar tartışmalı ve altta yatan mekanizmalar halen belirsizdir. Bu çalışmada, SKI'nın farklı disiplinlerden elit sporcularda solunum kas kuvveti, solunum fonksiyonu, pulmoner difüzyon kapasitesi (DL_{CO}), kardiyopulmoner ve algısal yanıtlar üzerinde nasıl bir etki yarattığını incelemeyi amaçladık. Araştırmaya 9 dayanıklılık, 9 güç, 8 beceri ve 9 karma disiplinlerden olmak üzere 35 elit erkek sporcu katıldı. Araştırmada plasebo, randomize, çapraz ve çift kör deney tasarımları kullanıldı. Katılımcılar üç farklı ısınma müdahalesi gerçekleştirdi: Kontrol (Genel Isınma [GI]), Plasebo_{%15} (GI + 2×30 nefes, %15 maksimal inspiratuar basınç [P_{imaks}]) ve SKI_{%40} (GI + 2×30 nefes, %40 P_{imaks}). Araştırma bulguları, ısınma protokolleri arasındaki en belirgin kardiyopulmoner yanıtların SKI_{%40} müdahalesinde elde edildiğini gösterdi. SKI_{%40} müdahalesi P_{imaks} 'te %Δ104, zorlu vital kapasitede (FVC) %Δ101, zirve ekspiratuar akımda (PEF) %Δ104, vital kapasitede (VC) %Δ103, inspiratuar kapasitede (IC) %Δ104, maksimum istemli ventilasyonda (MVV) %Δ106, DL_{CO} 'da %Δ104, alveoler ventilasyonda (V_A) %Δ102 ve transfer katsayısında (K_{CO}) %Δ102 oranında göreceli değişiklikler (%Δ) ortaya çıkardı ($p<0,050$). Benzer şekilde, SKI_{%40} oksijen tüketiminde (VO_2) %Δ104, maksimal oksijen tüketiminde (VO_{2maks}) %Δ104, karbondioksit üretiminde (VCO_2) %Δ105, ventilasyonda (V_E) %Δ104, kalp atım hızında (HR) %Δ99, maksimum aerobik tükenme süresinde (MATS) %Δ104, maksimum aerobik güçte (MAG) %Δ106, algılanan dispne (MBS_D) %Δ88 ve bacak yorgunluğunda (MBS_B) %Δ92 oranında önemli iyileşmeler sağladı ($p<0,050$). Ancak SKI'nın solunum kapasiteleri, kardiyopulmoner ve algısal yanıtlarda ortaya çıkardığı etkilerin spor disiplinleri arasında farklılaştığı görüldü. Solunum, özellikle de pulmoner difüzyon kapasitesi ve kardiyopulmoner yanıtlarda gözlemlenen iyileşmeler, dayanıklılık sporcularında anlamlı düzeyde daha belirgindi. Araştırma sonuçları, bu müdahalenin DL_{CO} gibi alveoler düzeyde seçilen hassas pulmoner ölçümler için spor disiplinlerinin özelliklerine bağlı olarak göz ardı edilmemesi gereken bireysel yanıtlar ortaya çıkarabileceğini göstermektedir.

Anahtar Sözcükler: İnspiratuar kas ısınması, Karbonmonoksit akciğer difüzyon kapasitesi, Solunum fonksiyonu, Solunum kas kuvveti, Kardiyopulmoner

ABSTRACT

THE EFFECT OF INSPIRATORY MUSCLE WARM-UP ON PULMONARY DIFFUSION CAPACITY IN ATHLETES

Emre KARADUMAN

Ondokuz Mayıs University

Institute of Graduate Studies

Department of Coaching Education

Ph.D., June/2025

Supervisor: Prof. Dr. Özgür BOSTANCI

Although some evidence suggests that inspiratory muscle warm-up (IWU) may improve exercise and respiratory performance, the results are conflicting and the underlying mechanisms remain still unclear. Therefore, we aimed to investigate the effects of IWU on respiratory muscle strength, respiratory function, pulmonary diffusion capacity for carbon monoxide (DL_{CO}), cardiopulmonary, and perceptual responses in athletes from different disciplines. The study included 35 elite male athletes from 9 endurance, 9 power, 8 skill, and 9 mixed disciplines. The study employed placebo, randomized, cross-over, and double-blind experimental designs. Participants performed three different warm-up interventions: Control (General Warm-up [GW]), Placebo_{15%} (GW + 2×30 breaths, 15% maximal inspiratory pressure [P_{imax}]), and IWU_{40%} (GW + 2×30 breaths, 40% P_{imax}). The findings showed that the most pronounced cardiopulmonary responses between warm-up protocols were obtained with the IWU_{40%} intervention. The IWU_{40%} intervention resulted in relative changes (%Δ) of %Δ104 in P_{imax} , %Δ101 in forced vital capacity (FVC), %Δ104 in peak expiratory flow (PEF), %Δ103 in vital capacity (VC), %Δ104 in inspiratory capacity (IC), %Δ106 in maximum voluntary ventilation (MVV), %Δ104 in diffusing capacity of the lung for carbon monoxide (DL_{CO}), %Δ102 in alveolar ventilation (V_A), and %Δ102 in transfer coefficient (K_{CO}) ($p<0.050$). Similarly, IWU_{40%} led to significant improvements of %Δ104 in oxygen consumption (VO_2), %Δ104 in maximal oxygen consumption (VO_{2max}), %Δ105 in carbon dioxide production (VCO_2), %Δ104 in ventilation (V_E), %Δ99 in heart rate (HR), %Δ104 in maximal aerobic exhaustion time (MAET), %Δ106 in maximal aerobic power (MAP), %Δ88 in perceived dyspnea (MBS_D), and %Δ92 in leg fatigue (MBS_L) ($p<0.050$). However, it was observed that the effects of IWU on respiratory capacity, cardiopulmonary and perceptual responses varied across sports disciplines. The improvements in respiratory—most notably in pulmonary diffusion capacity—and cardiopulmonary responses were significantly more pronounced in endurance athletes. The results of the study suggest that this intervention may reveal individual responses that should not be overlooked depending on the characteristics of the sport discipline for sensitive pulmonary measures selected at the alveolar level, such as DL_{CO} .

Keywords: Inspiratory muscle warm-up, Lung diffusion capacity for carbon monoxide, Respiratory function, Respiratory muscle strength, Cardiopulmonary

ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu gün, on iki yıllık üniversite yolculuğumda doktora maceramın, hayatımdaki en zorlu ancak aynı zamanda en büyüleyici deneyimlerden biri olduğunu fark ettim. Her şeye rağmen bu yolculuğun sonuna geldiğim için büyük bir rahatlama hissetsem de, bitmek bilmeyen araştırma arzumun beni geceleri uykusuz bırakmaya devam edeceğini biliyorum. Son beş yılda, kim olduğum ve kim olmak istediğim hakkında hayal ettiğimden çok daha fazlasını öğrendim. Ancak bunu kendi başıma başaramazdım ve bu hedefe ulaşmama yardımcı olan bazı kişilere teşekkür etmek istiyorum.

Öncelikle, doktora yolculuğum boyunca rehberliğini esirgemeyen, engin bilgi ve deneyimlerinden her daim faydalandığım değerli hocam ve danışmanım Prof. Dr. Özgür BOSTANCI'ya, minnettarlığımı kelimelerle ifade edemesem de, kalpten bir teşekkür etmek istiyorum. Onun rehberliği ve desteği bu yolculukta benim haritam ve pusulam oldu.

Her daim destekleriyle ayaklarımın yere sağlam basmasını sağlayan arkadaşlarım Candan ARIKAN, Emre ÇELEBİ, Ahmet KARA ve Caner BEŞKOÇ'a; ancak ruhumu gökyüzüne çıkaran sevgili eşim Eda KARADUMAN'a en içten duygularıyla teşekkür ederim. Hayatımda böyle harika insanlar olduğu için minnettarım. Ayrıca, her zaman koşulsuz sevgi ve destekleriyle yanımda olan sevgili kardeşlerim Edanur ve Eren KARADUMAN'a da gönülden teşekkür ediyorum. Elbette, özellikle tükenmişliğin kapıyı çaldığı anlarda stresimi hafifleten, tuhaf ama sevimli halleriyle yüzümü güldüren kedi dostlarıma da gönülden teşekkür ederim.

Son olarak ve belki de en önemlisi, anneme teşekkür etmek istiyorum. Annem sadece bir anne değil; aynı zamanda en iyi arkadaşım, destekçim, kahramanım ve en büyük ilham kaynağım. Annem, benim olmak istediğim her şeydir. O bir savaşçıdır; kararlı, hırslı ve tanıdığım en çalışkan insandır. Bizi tek başına bugünlere getirmiştir.

Anne, senin kim olduğunu ve bizi nasıl yetiştirdiğini biliyorum. Bu yüzden tezimi sana ve dünyadaki tüm annelere adıyorum.

Emre KARADUMAN

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI	i
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	ii
TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
TABLolar DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	4
2.1. Solunum Fizyolojisine Genel Bakış	4
2.1.1. Solunum Kasları ve Pulmoner Ventilasyon Etkileşimi	6
2.2. Pulmoner Gaz Değişimi (Difüzyon).....	7
2.2.1. Membran Difüzyon Kapasitesi ve Pulmoner Kapiller Kan Hacmi	11
2.2.2. Difüzyonu Etkileyen Faktörler	13
2.2.3. Egzersiz Anında Gaz Değişimi.....	18
2.3. Pulmoner Dolaşım	21
2.3.1. Pulmoner Arter Basıncı ve Pulmoner Vasküler Direnç.....	25
2.3.2. Pulmoner Arter Basıncı ve Vasküler Direncin Egzersiz Toleransı	31
2.4. Sporcularda Dolaşım-Solunum Sınırlamaları	33
2.4.1. Ventilasyon-Perfüzyon Uyumsuzluğu.....	35
2.4.2. Şantlar veya Venöz Karışım	40
2.4.3. Metaborefleks ve Solunum Kas Yorgunluğu	42
2.5. Isınma	51
2.5.1. Isınmanın Mekanizması ve Fizyolojik Etkileri.....	51
2.5.2. Isınma Stratejileri.....	53
2.5.3. Solunum Kas Isınma Uygulaması	57
3. MATERYAL VE METOT.....	63
3.1. Katılımcılar.....	63
3.2. Deneysel Tasarım	63
3.3. Isınma Protokolleri	65
3.3.1. Genel Isınma Uygulaması.....	65
3.3.2. Solunum Kası Isınma Uygulaması	67
3.4. Fizyolojik Ölçümler	67
3.4.1. Akciğer Karbonmonoksit Difüzyon Kapasitesi (DL _{CO}) Testi	68
3.4.2. Solunum Fonksiyon Testi	69
3.4.3. Solunum Kas Kuvveti Testi.....	70
3.4.4. Bisiklet Ergometresi	70
3.4.5. Kardiyopulmoner Test.....	71
3.4.6. Modifiye Borg Skalası.....	72
3.5. İstatistiksel Yöntem.....	73
4. BULGULAR.....	75
5. TARTIŞMA.....	105
5.1. Disiplinler Arası Solunum ve Kardiyopulmoner Farklılıklar.....	105
5.2. SKI Uygulamasının Solunum Kapasitelerine Etkisi	109
5.3. SKI Uygulamasının Kardiyopulmoner Yanıtlara Etkisi.....	117

5.4. P_{imaks} ile Solunum ve Kardiyopulmoner Yanıtlar Arasındaki İlişki	122
5.5. Difüzyon Kapasitesi ve Kardiyopulmoner Yanıtlar Arasındaki İlişki	123
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	126
KAYNAKLAR	129
EKLER.....	194
ÖZ GEÇMİŞ.....	195



SİMGELER VE KISALTMALAR

A-aDO ₂	: Alveoler-arteriyel oksijen gradyanı
Bf	: Solunum frekansı
CO	: Karbonmonoksit
CO ₂	: Karbondioksit
DL _{CO}	: Karbonmonoksit için pulmoner difüzyon kapasitesi
D _m	: Membran difüzyon kapasitesi
EIAH	: Egzersize bağlı arteriyel hipoksemi
ERV	: Ekspiratuar rezerv hacim
FEV ₁	: Birinci saniyedeki zorlu ekspiratuar hacim
FEF _{%25-75}	: Zorlu ekspiratuar akım (FVC'nin %25 ile %75'lik arası)
FVC	: Zorlu vital kapasite
IC	: İnspiratuar kapasite
IPAVA	: İntrapulmoner arteriovenöz anastomoz
IRV	: İnspiratuar rezerv hacim
KAH	: Kalp atım hızı
K _{CO}	: Difüzyon katsayısı
MAG	: Maksimal aerobik iş gücü
MATS	: Maksimal aerobik tükenme süresi
MBS _B	: Modifiye Borg skalasıyla alt ekstremite yorgunluk/zorlanma algısı
MBS _D	: Modifiye Borg skalasıyla dispne algısı
MVV	: Maksimum istemli ventilasyon
O ₂	: Oksijen
PA	: Alveoler basınç
Pa	: Pulmoner arter basınç
P _A O ₂	: Alveoler oksijenin parsiyel basıncı
P _A CO ₂	: Alveoler karbondioksitin parsiyel basıncı
P _a O ₂	: Arteriyel oksijenin parsiyel basıncı
P _a CO ₂	: Arteriyel karbondioksitin parsiyel basıncı
PAP	: Aktivasyon sonrası güçlenme
PAPE	: Aktivasyon sonrası performans gelişimi
PEF	: Zirve ekspiratuar akım
P _{emaks}	: Maksimal ekspiratuar basınç

P_{imaks}	: Maksimal inspiratuar basınç
PCO_2	: Karbondioksitin parsiyel basıncı
PH_2O	: Su buharı basıncı
PN_2	: Azotun parsiyel basıncı
PO_2	: Oksijenin parsiyel basıncı
P_v	: Venöz basınç
RV	: Rezidüal hacim
SaO_2	: Oksijen satürasyon değeri
SDO	: VCO_2 ve VO_2 oranına karşılık gelen solunum değişim oranı
SKA	: Solunum kası antrenmanı
SKI	: Solunum kası ısınması
TLC	: Toplam akciğer kapasitesi
TV	: Tidal hacim
V_A	: Alveoler hacim
VA/Q	: Ventilasyonun perfüzyona oranı
VC	: Vital kapasite
V_c	: Kapiller kan hacmi
VCO_2	: Karbondioksit üretimi/eliminasyonu
V_E	: Ventilasyon
VO_2	: Oksijen tüketimi
$VO_{2\text{maks}}$	: Maksimal oksijen tüketimi
Δ	: Delta
$\% \Delta$	: Göreceli (relatif) değişimler

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Kontrol, Plasebo ₁₅ ve SKI ₄₀ koşullarını/müdahalelerini gösteren randomize çapraz geçişli A) çalışma tasarımının ve B) test günlerinin şematik gösterimi	65
Şekil 3.2. Fizyolojik ölçümler için kurulum. A) LC7 bisiklet ergometresi B) Spirometrik ve kardiyopulmoner ölçümler için test cihazı ve C) CO gaz karışımını içeren sıkıştırılmış gaz tüpü	68
Şekil 4.1. Isınma uygulamalarına göre solunum değerlerindeki bireysel ve göreceli değişimler.....	80
Şekil 4.2. Isınma uygulamalarına göre solunum değerlerindeki bireysel ve göreceli değişimler.....	81
Şekil 4.3. Isınma uygulamalarına göre artırılmış bisiklet testi anında elde edilen fizyolojik yanıtların bireysel ve göreceli değişimleri.....	89
Şekil 4.4. Isınma uygulamalarına göre artırılmış bisiklet testi anında elde edilen fizyolojik yanıtların bireysel ve göreceli değişimleri.....	90
Şekil 4.5. Maksimal inspiratuar basınç (P_{imaks}) ve solunum parametreleri arasındaki ilişki.....	96
Şekil 4.6. Maksimal inspiratuar basınç (P_{imaks}) ve artırılmış bisiklet testi anında elde edilen fizyolojik yanıtlar arasındaki ilişki	97
Şekil 4.7. Akciğer karbonmonoksit difüzyon kapasitesi (DL_{CO}) ve artırılmış bisiklet testi anında elde edilen fizyolojik yanıtlar arasındaki ilişki	98
Şekil 4.8. Alveoler hacim (V_A) ve artırılmış bisiklet testi anında elde edilen fizyolojik yanıtlar arasındaki ilişki	99
Şekil 4.9. Toplam akciğer kapasitesi (TLC) ve artırılmış bisiklet testi anında elde edilen fizyolojik yanıtlar arasındaki ilişki	100
Şekil 4.10. Maksimal aerobik tükenme süresi (MATS) ve artırılmış bisiklet testi anında elde edilen fizyolojik yanıtlar arasındaki ilişki.....	102
Şekil 4.11. Maksimal aerobik güç (MAG) ve artırılmış bisiklet testi anında elde edilen fizyolojik yanıtlar arasındaki ilişki	103

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. SKI çalışmalarını içeren literatür özeti	58
Tablo 3.1. Isınma egzersizlerinin tanımları	66
Tablo 4.1. Katılımcıların tanımlayıcı özellikleri	75
Tablo 4.2. Spor disiplinlerine göre solunum kapasitelerinin karşılaştırılması.....	76
Tablo 4.3. Spor disiplinlerine göre egzersiz anındaki fizyolojik yanıtların karşılaştırılması.....	77
Tablo 4.4. Isınma uygulamalarına göre solunum kas kuvveti, solunum fonksiyonu ve pulmoner difüzyon kapasitesi (n = 35).....	79
Tablo 4.5. Dayanıklılık grubunda ısınma uygulamalarına göre solunum kas kuvveti, solunum fonksiyonu ve pulmoner difüzyon kapasitesi (n = 9)	84
Tablo 4.6. Güç grubunda ısınma uygulamalarına göre solunum kas kuvveti, solunum fonksiyonu ve pulmoner difüzyon kapasitesi (n = 9).....	85
Tablo 4.7. Beceri grubunda ısınma uygulamalarına göre solunum kas kuvveti, solunum fonksiyonu ve pulmoner difüzyon kapasitesi (n = 8)	86
Tablo 4.8. Karma grubunda ısınma uygulamalarına göre solunum kas kuvveti, solunum fonksiyonu ve pulmoner difüzyon kapasitesi (n = 9)	87
Tablo 4.9. Isınma uygulamalarına göre artırılmış bisiklet testi anında elde edilen fizyolojik yanıtlar (n = 35).....	88
Tablo 4.10. Dayanıklılık grubunda ısınma uygulamalarına göre artırılmış bisiklet testi anında elde edilen fizyolojik yanıtlar (n = 9)	92
Tablo 4.11. Güç grubunda ısınma uygulamalarına göre artırılmış bisiklet testi anında elde edilen fizyolojik yanıtlar (n = 9)	93
Tablo 4.12. Beceri grubunda ısınma uygulamalarına göre artırılmış bisiklet testi anında elde edilen fizyolojik yanıtlar (n = 8)	94
Tablo 4.13. Karma grubunda ısınma uygulamalarına göre artırılmış bisiklet testi anında elde edilen fizyolojik yanıtlar (n = 9)	95

1. GİRİŞ

Karbonmonoksit için pulmoner difüzyon kapasitesi (DL_{CO}), alveoler ve kapiller kan arasındaki gaz değişim verimliliğini gösteren kritik bir belirleyici olarak tanımlanır. Klinik olarak DL_{CO} , karbonmonoksit (CO) gazının alveoler-kapiller membrandan geçme hızını yansıtarak işlevsel membran geçirgenliğinin bütünlüğü hakkında bilgi verir (Roughton ve Forster, 1957). Pulmoner difüzyon kapasitesi sadece pulmoner vasküler hastalıklar, interstisyel akciğer bozuklukları ve anemideki tanınal kullanımlar için değil aynı zamanda elit sporcuların performansını etkileyen adaptif pulmoner yanıtları ortaya çıkarmak için de oldukça değerlidir. Bu nedenle son yıllarda DL_{CO} , hem dinlenme hem de egzersiz anında gaz değişim kapasitesini değerlendirmek için farklı disiplinlerdeki atletik popülasyonlarda giderek daha fazla araştırılmaya başlanmıştır (Brotto vd., 2025; Brotto vd., 2022; García vd., 2021a).

Solunum kasları, etkili alveoler ventilasyon ve optimum gaz değişimi için gerekli parsiyel basınç gradyanlarını oluşturmak için birincil mekanizma olarak hizmet eder (McKinley vd., 2021; Matuszak vd., 2020; Lumb ve Thomas, 2020; Hall ve Hall, 2020; Cloutier, 2018; Hughes ve Pride, 2012). Bu mekanizmanın gelişmiş solunum kaslarıyla torasik genişlemeye katkıda bulunarak pulmoner kapasiteleri optimize ettiği düşünülür (Manifield vd., 2024; Carvajal-Tello vd., 2024; Padkao ve Boonla, 2020; Shadmehri vd., 2021; Lanza vd., 2013). Araştırmalar solunum kaslarının nöromüsküler koordinasyonu ile kuvvet kapasitesinde ortaya çıkan potansiyel bir iyileşmenin daha büyük ve daha hızlı torasik ekskürsionu kolaylaştırarak akciğer parankiminde daha homojen bir genişlemeye izin verebileceğini raporlamıştır (Carvajal-Tello vd., 2024; Padkao ve Boonla, 2020; Da Fonsêca vd., 2019). Bu gelişmiş koordinasyon, diyafram ve interkostal (internal ve eksternal) kasların aktivasyonunu optimize ederek torasik boşluğun rostral-kaudal, anterior-posterior ve transvers boyutlarda çapının artmasına neden olur ki bu alveoler-kapiller septanın genişlemesini kolaylaştırır (Donley vd., 2024; Hussain ve Burns, 2023; Lumb ve Thomas, 2020; Spiesshoefer vd., 2020; Da Fonsêca vd., 2019).

Bununla birlikte solunum kaslarında meydana gelen optimal düzeydeki bir kuvvet artışı, akciğerleri daha etkin bir şekilde genişleterek alveoler ventilasyonu artırır ve alveol-kapiller membran boyunca gaz değişimini kolaylaştırarak gelişmiş difüzyon kapasitesine katkı bulunabilir (Hennigs vd., 2022; Hall ve Hall, 2020; Mickleborough vd., 2008). Bu gelişmiş pulmoner difüzyon kapasitesi, ventilatuar

talepleri azaltarak, solunum kısıtlamalarının başlangıcını geciktirerek ve arteriyel oksijenasyonu koruyarak yüksek yoğunluklu egzersiz anında kardiyopulmoner yanıtları modüle etmede önemli bir rol oynar (McNeill vd., 2022; Dominelli ve Molgat-Seon, 2022; Zavorsky ve Smoliga, 2017; Coffman vd., 2017; Tedjasaputra vd., 2016a). Buna karşılık özellikle azalmış solunum kas kuvveti artan solunum iş yükü, bozulmuş ventilasyon, hipoventilasyon veya hiperkapniye katkıda bulunarak gaz değişim verimliliğini önemli ölçüde azaltabilir (Hennigs vd., 2022; Patel vd., 2022; Mauro ve Aliverti, 2016; Hart vd., 2002). Solunum kas fonksiyonlarının, atletik performansı doğrudan etkileyen artmış pulmoner difüzyon kapasitesini belirlemedeki kritik rolü göz önüne alındığında özellikle günümüzde gaz değişim verimliliğini optimize etmek ve dolayısıyla egzersiz performansını modüle etmek için solunum kas aktivasyonlarını hedefleyen solunum kası ısınma (SKI) uygulaması gibi müdahalelere olan ihtiyaç giderek artmıştır.

SKI uygulaması, tipik olarak iki set 30 nefesten oluşan ve maksimal inspiratuar basıncın (P_{imaks}) ~%40 yoğunluğunda inspiratuar direnç uygulayarak solunum kas aktivasyonunu arttırmak için tasarlanmış özel bir ısınma stratejisidir (Cirino vd., 2023). Önceki araştırmalar SKI'nın sporcularda performans ölçütlerini etkilediği ve etkilemediği yönünde değişken bulgular sunmuş olsa da, bu farklılıkları açıklayan sınırlı kanıtlar nedeniyle altta yatan temel mekanizmalar halen belirsizliğini korumaktadır. Optimal solunum performansının yedeklilik, düzenleme, adaptasyon ve geri bildirim ilkeleri tarafından yönetildiği dikkate alındığında (Dominelli ve Molgat-Seon, 2022) spor disiplinine dayalı değişkenlerin pulmoner ve/veya vasküler yapılarda ortaya çıkardığı adaptasyonlara yanıt olarak uygulamaların solunum kapasitelerinde farklı seviyelerde tepkilere neden olabileceği düşünülmektedir (Squeo vd., 2025; Brotto vd., 2025; Thomsen vd., 2025; Ehnes vd., 2024; Domenech-Ximenes vd., 2020). Önceki araştırmalar dayanıklılık disiplinlerindeki sporcuların gelişmiş membran difüzyon kapasitesi ve artmış pulmoner kapiller kan hacmiyle diğer disiplinlerdeki sporcu veya sedanterlere kıyasla daha yüksek pulmoner difüzyon kapasitesi sergilediğini göstermiştir (Brotto vd., 2025; Ehnes vd., 2024; García vd., 2021a; Tedjasaputra vd., 2016a). Benzer şekilde, araştırmalar egzersiz yoğunluklarına özgü ventilatuar gereksinimlerin solunum kaslarının gelişimini şekillendirerek disiplinler arası farklılıklara yol açabileceğini raporlamıştır (Karaduman vd., 2022; Ohya vd., 2017; Ohya vd., 2016). Birçok araştırmacı SKI uygulamasının potansiyel

etkilerini ortaya çıkarmak için farklı disiplinlerden sporcuların performans değişimlerini çok boyutlu yaklaşımlarla inceleyerek inspiratuar kas kuvveti (Koizumi ve Ohya, 2024; Koizumi ve Ohya, 2023; Barnes ve Ludge, 2021; Özdal ve Bostancı, 2018; Özdal, 2016), gelişmiş nöral fasilasyon (Koizumi ve Ohya, 2023), azalmış dispne ve/veya bacak algısı (Oliveira vd., 2024; Koizumi ve Ohya, 2024; Barnes ve Ludge, 2021) ve geciktirilmiş solunum kas yorgunluğu (Oliveira vd., 2024; Koizumi ve Ohya, 2024) gibi çeşitli mekanizmaların varlığını öne sürmüşlerdir. Ancak SKI uygulamasıyla uyarılan değişikliklerin disipline özgü bireysel farklılıklarla ilgili olarak performansı nasıl etkilediği özellikle karbonmonoksit için pulmoner difüzyon kapasitesi testi gibi alveoler düzeydeki özel bir yaklaşımla daha önce incelenmemiştir. Bu araştırma SKI uygulamasının egzersiz ve solunum performansı üzerindeki potansiyel etkilerini disiplin bağlamında incelemek ve literatürde raporlanan mekanizmalara yeni bir bakış açısı kazandırmak için gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda, araştırmada SKI'nın farklı disiplinlerdeki elit sporcularda solunum kas kuvveti, solunum fonksiyonu, pulmoner difüzyon kapasitesi, kardiyopulmoner ve algısal yanıtlar üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Solunum Fizyolojisine Genel Bakış

Solunum sisteminin en önemli organı olan akciğerler, gaz değişiminin gerçekleştiği solunum bronşiyolları ve alveollerde sonlanan dallanmış hava yollarından oluşur. Bronşiyolların ve büyük hava yollarının büyük bir bölümü, havayı alveollerdeki gaz değişim alanlarına transfer eden pulmoner iletim bölgeleridir. Gaz değişimi, akciğerlerdeki alveoler hava ile pulmoner kılcal damarlardaki kan arasında gerçekleşir. Etkili bir gaz değişiminin (difüzyon) sağlanabilmesi için hem alveollerin havalandırılması (ventilasyon) hem de perfüze edilmesi gerekir. Ventilasyon, havanın akciğerlerin içine ve dışına hareketini ifade ederken, difüzyon, alveoler-kılcal ara yüzeyde meydana gelen gaz geçişini ve perfüzyon ise alveoler kılcal damarlara kan akışını ifade eder (Powers vd., 2024; Petersson ve Glenn, 2023; Weinberger vd., 2023; Clark, 2022; McKinley vd., 2021; Bhakta ve Kaminsky, 2021; Hall ve Hall, 2020; Powers vd., 2020; Lumb ve Thomas, 2020; Powers ve Dhamoon, 2019; McKinley vd., 2019; Thiboutot vd., 2018; Cloutier, 2018).

Pulmoner ventilasyon, inspirasyon ve ekspirasyonu içeren iki temel solunum mekanizmasından oluşur. Inspirasyon, torasik hacmi artıran ve intrapulmoner basıncı düşürerek havanın akciğerlere akmasını sağlayan diyafram ve eksternal interkostal kasların kasılması ile yönlendirilen aktif bir süreçtir. Bunun aksine, ekspirasyon, karın ve internal interkostal kaslar gibi yardımcı solunum kaslarının aktif olarak kullanıldığı zorlu ekspirasyon manevraları dışında, diyaframın ve eksternal interkostal kasların gevşemesinden ve akciğer dokularının elastik geri tepmesinden kaynaklanan pasif bir süreçtir (Powers vd., 2024; Petersson ve Glenn, 2023; Clark, 2022; McKinley vd., 2021; Powers vd., 2020; Hall ve Hall, 2020; Lumb ve Thomas, 2020; Powers ve Dhamoon, 2019; McKinley vd., 2019; Thiboutot vd., 2018; Cloutier, 2018).

Diğer taraftan alveoler gaz değişimi ise, temelde solunum kasları tarafından yönlendirilen ve intrapulmoner basınç değişikliklerine yol açan solunum mekanizmasının bir sonucudur. Inspirasyon ve ekspirasyon fazlarında ortaya çıkan negatif/pozitif basınç değişiklikleri gaz difüzyonu için gerekli olan bölgeler arası basınç farklılıklarını meydana getirir (Powers vd., 2024; Petersson ve Glenn, 2023; Clark, 2022; McKinley vd., 2021; Bhakta ve Kaminsky, 2021; Powers vd., 2020; Hall ve Hall, 2020; Cloutier, 2018).

Gaz değişimi, alveoler ile kapiller arasında solunum membranı boyunca difüzyon yoluyla gerçekleşir. Özellikle solunum membranının (kan gaz bariyeri) anatomik özelliklerinden olan genişleyen yüzeyi ve minimal kalınlığı gaz değişimini etkileyen en önemli faktörlerden biridir (Powers vd., 2024; Petersson ve Glenn, 2023; McKinley vd., 2021; Bhakta ve Kaminsky, 2021; Hall ve Hall, 2020; Lumb ve Thomas, 2020; West ve Luks, 2020; Powers ve Dhamoon, 2019; McKinley vd., 2019; Thiboutot vd., 2018). Bu membran, bir sürfaktan tabakasıyla kaplı tip 1 pnömositlerden oluşan alveoler duvar, interstisyum (potansiyel bir boşluk veya interstisyel sıvı içeren alan) ve kapillerin endotelinden oluşur (Powers ve Dhamoon, 2019; Barrett vd., 2019; Graham vd., 2018; Cloutier, 2018). Yetişkin sağlıklı insanlarda, akciğerlerinin büyüklüğüne bağlı olarak 200-800 milyon arasında alveol olduğu tahmin edilmektedir (Graham vd., 2018). Bu alveollerdeki solunum membranının minimal kalınlığının 0,5 mikrometreye ve gaz değişimi için yüzey alanının ise toplam akciğer kapasitesi düzeyinde yaklaşık 100 metrekareye kadar ulaşabildiği raporlanmıştır (Powers ve Dhamoon, 2019; Barrett vd., 2019; Graham vd., 2018; Önen, 2017). Gaz değişimi için etkili yüzey alanını korumak için çeşitli mekanizmalar olsa da alveoller daralıp/büzölüp genişledikçe, pulmoner kapiller arasındaki alveoler duvarda katlanma ve açılma/genişleme meydana gelir. Bu mekanizmalar düşük akciğer hacimlerinde kan-gaz bariyeri boyunca gerçekleşen difüzyon için etkili yüzey alanını korur ancak akciğer hacmi azaldıkça yüzey alanında ortaya çıkan azalmanın önüne geçemez (Graham vd., 2018). şüphesiz membranın mevcut toplam yüzey alanının büyüklüğü ve son derece ince yapıda oluşu akciğeri gaz alışverişi için en ideal mekanizma haline getirmiştir (Powers ve Dhamoon, 2019; Weibel, 2017; Weibel, 2009).

Alveoler membran boyunca gaz değişimi sadece yukarıda bahsedilen faktörlere değil, aynı zamanda pulmoner kapillerdeki etkin kan akışına dolayısıyla gazların taşıma kapasitesine de bağlıdır (Bhakta ve Kaminsky, 2021; Østergaard, 2020). Sistemik dolaşıma kıyasla düşük basınçlı bir sistem olan pulmoner dolaşım, deoksijenlenmiş kanı kalbin sağ ventrikülünden pulmoner arter yoluyla akciğerlere taşır. Pulmoner arter, alveolleri yakından saran ve gaz değişimi için geniş bir yüzey alanı oluşturan bir dizi kapiller (kılcal) damar ağına ayrılır. Burada, solunan havadan gelen oksijen ince alveoler membran boyunca difüze olur ve kırmızı kan hücrelerindeki hemoglobine bağlanarak kan dolaşımına karışır. Eş zamanlı olarak,

hücresel metabolizmanın atık ürünü olan karbondioksitte parsiyel basınç farklılığının bir gereği olarak alveollere difüze olur. Oksijenlenmiş kan daha sonra pulmoner venler tarafından toplanır ve kalbin sol atriyumuna iletilerek sistemik dolaşım tarafından pompalanarak vücuttaki dokulara ulaştırılır. Pulmoner dolaşım ve gaz değişimi arasındaki bu senkronize süreç, yaşamın sürdürülmesi için hayati önem taşıyan oksijenin sürekli olarak tedarik edilmesini ve karbondioksitin uzaklaştırılmasını sağlar (Powers vd., 2024; Petersson ve Glenn, 2023; Weinberger vd., 2023; McKinley vd., 2021; Bhakta ve Kaminsky, 2021; Powers vd., 2020; Hall ve Hall, 2020; Lumb ve Thomas, 2020; Powers ve Dhamoon, 2019; McKinley vd., 2019; Thiboutot vd., 2018).

2.1.1. Solunum Kasları ve Pulmoner Ventilasyon Etkileşimi

Akciğer hacminde ritmik değişiklikleri meydana getiren solunum kasları, toraksı genişletmek ve hava akışına karşı direncin üstesinden gelebilmek için önemli bir rol üstlenir (Lumb ve Thomas, 2020; Hall ve Hall, 2020). Postür, hareket ve istemli aktiviteden etkilenen bu hacimsel değişikliklerde, üst hava yolu direnci için faringeal ve laringeal kaslar; inspirasyonda diyafram ve toraks kasları; aktif ekspirasyonda ise karın duvarı, toraks ve omurga kasları dahil olmak üzere birbiriyle ilişkili kas grupları kullanılır (Lumb ve Thomas, 2020; McKinley vd., 2019; Cloutier, 2018; Aliverti, 2016; Dempsey vd., 2011; De Troyer ve Boriek, 2011).

Pulmoner ventilasyon mekaniğinde rol oynayan diyafram, inspirasyon sırasında kasılarak ve düzleşerek torasik boşluğun dikey boyutunu artırır. Eş zamanlı olarak, eksternal interkostal kaslar kasılarak kostaları kaldırır ve torasik kaviteyi yatay olarak genişletir (Lumb ve Thomas, 2020; Hall ve Hall, 2020; McKinley vd., 2019; Cloutier, 2018). Torasik hacimdeki bu artış intraplevral basıncı azaltarak havayı akciğerlere yönlendiren negatif bir basınç gradyanı oluşturur. Bunun aksine ekspirasyon sırasında diyafram ve interkostal kaslar gevşeyerek torasik hacimde azalmaya ve intraplevral basınçta artışa neden olur ki bu havayı akciğerlerden dışarı çıkmaya zorlayan pozitif bir basınç gradyanı oluşturur (Kaminsky vd., 2023; McKinley vd., 2021; Lumb ve Thomas, 2020; Hall ve Hall, 2020; McKinley vd., 2019; Cloutier, 2018; Lutfi, 2017; Roan ve Waters, 2011; De Troyer ve Boriek, 2011; Ratnovsky vd., 2008).

Solunum kaslarının etkili işlevi, alveollerin yeterli miktarda havalandırılmasına ve optimum gaz difüzyonu için gerekli parsiyel basınç gradyanlarının oluşturulmasına yardımcı olur (McKinley vd., 2021; Matuszak vd., 2020; Lumb ve Thomas, 2020; Hall ve Hall, 2020; Cloutier, 2018; Hughes ve Pride, 2012). Fizyolojik olarak gerçekleşen

intraplevral basınç farkı alveoler basıncını da doğrudan etkiler. İnspirasyon sırasında, negatif hale gelen intraplevral basınç akciğer dokuları tarafından uygulanan dışa doğru çekilme nedeniyle mikroskobik hava kesecikleri olan alveollerin yüzeyinin genişlemesine neden olur. Bu genişleme, gaz alışverişi için önemli bir faktör olan alveol yüzey alanını dolayısıyla hacimini artırır. Benzer şekilde, ekspirasyon anında, intraplevral basınçtaki değişim alveoler basıncı atmosferik basınçtan daha yüksek hale getirerek alveollerin sıkıştırılmasına ve dolayısıyla yüzey alanının azalmasına neden olur. Alveoler basınçtaki bu döngüsel değişiklikler, etkili gaz alışverişi için gerekli olan havanın alveollerin içine ve dışına sürekli hareketine olanarak tanır (Tony ve Abdelrahim, 2022; McKinley vd., 2021; Matuszak vd., 2020; Lumb ve Thomas, 2020; Hall ve Hall, 2020; McKinley vd., 2019; Cloutier, 2018; Roan ve Waters, 2011).

Alveollerle intratorasik boşluk arasındaki transmural basınç farkı (transpulmoner basınç gradyanı) akciğer hacmiyle doğrusal bir ilişkiye sahiptir. Bir alveol içindeki basınç, hacmin sıfıra indirildiği durumlar hariç, her zaman çevredeki interstisyel dokudaki basınçtan daha büyüktür. Buna göre transmural basınç gradyanı arttıkça akciğer hacmi de sürekli olarak artar. Bu ilişki normal tidal hacim aralığında neredeyse doğrusaldır. Solunum kaslarının etkinliğiyle torasik bölgede ortaya çıkan bu hacimsel değişim, transmural basıncı etkileyen en önemli etmenlerden biridir. Dolayısıyla rezidüel hacimden toplam akciğer kapasitesine kadar alveolleri genişletmek için gerekli basıncın oluşturulmasında önemli rol oynar. Ancak küçük hava pasajlarının kalibresi alveoler hacime paralel olarak azalır ve rezidüel hacimde görüldüğü gibi hava yolları kapanma kapasitesine geldiğinde daralmaya başlar. İnspiratuar kas aktivasyonunun bir sonucu olan transmural basınç gradyanı, pulmoner fonksiyonları birçok yönden etkiler. Bu nedenle hava yolu kapanması, alveoler ventilasyonun perfüzyona oranı (VA/Q) ve dolayısıyla gaz değişimi dahil olmak üzere pulmoner fonksiyonun birçok özelliği üzerinde bölgesel bir fark yaratır (Clark, 2022; Lumb ve Thomas, 2020; McKinley vd., 2019; Cloutier, 2018; Arroyo ve Schweickert, 2015).

2.2. Pulmoner Gaz Değişimi (Difüzyon)

Torasik boşluktaki hacimsel değişiklikler alveol içi basınçta farklılıklar yaratarak gazları, difüzyonunun gerçekleşeceği alveollere yönlendirir. Difüzyon, gaz moleküllerinin yüksek konsantrasyonlu bölgeden düşük konsantrasyonlu bölgeye hareketini (pasif) ifade eder (Petersson ve Glenni, 2023; Clark, 2022; West ve Luks,

2020; Lumb ve Thomas, 2020; Cloutier, 2018). Bu prensip, alveoler havayı kılcal damarlardaki kandan ayıran ve ince bir zar tabakası olan alveoler-kapiller bariyerindeki bir konsantrasyon gradyanıyla sağlanır. Ventilasyon yoluyla sürekli oksijen (O_2) ile yenilenen alveoler hava, dokulardan dönen kandan (hücre solunum nedeniyle tüketilmiş O_2 konsantrasyonu) daha yüksek bir O_2 konsantrasyonu yaratarak alveollerdeki O_2 parsiyel basıncını artırır (Bhakta ve Kaminsky, 2021; West ve Luks, 2020; Lumb ve Thomas, 2020; Cloutier, 2018). Bunun aksine hücre solunum metabolizmanın atık bir ürünü olan karbondioksit (CO_2), kanda alveoler havadan daha yüksek bir konsantrasyon yaratarak kandaki CO_2 parsiyel basıncını artırır. Bu konsantrasyon gradyanları, O_2 difüzyonunu kan dolaşımına ve CO_2 difüzyonunu alveollere yönlendiren mekanizmanın temelini oluşturur (Petersson ve Glenn, 2023; West ve Luks, 2020; Lumb ve Thomas, 2020; Barrett vd., 2019; Petersson ve Glenn, 2014). Bu temel alveoller ve kılcal damarlardaki O_2 ve CO_2 'nin parsiyel basınçlarıyla yönlendirilir. Dalton yasası tarafından açıklanan bu gazların parsiyel basınç değişimleri, oksijenin dokulara iletilmesini ve karbondioksitin vücuttan uzaklaştırılmasını temel alır. Dalton yasasına göre, bir gaz karışımının toplam basıncı, her bir gazın bağımsız olarak uygulayacağı basınçların toplamına eşittir ($P_{\text{Toplam}} = P_{N_2} + P_{O_2} + P_{CO_2} + P_{H_2O}$, sırasıyla azot, oksijen, karbondioksit ve su buharı) (Powers ve Dhamoon, 2019; Cloutier, 2018; Arroyo ve Schweickert, 2015). Alveollerde O_2 'nin parsiyel basıncı (PO_2) yaklaşık 104 mmHg'dır. Pulmoner kapillerde, deoksijenlenmiş kandaki (dokulardan dönen) O_2 'nin parsiyel basıncı yaklaşık 40 mmHg'dır. Bu, oksijeni alveollerden kana yönlendiren önemli bir gradyan ($\Delta PO_2 \approx 64 \text{ mmHg} - 6,7 \text{ kPa}$) oluşturur. Benzer şekilde alveollerde CO_2 'nin parsiyel basıncı (PCO_2) yaklaşık 40 mmHg'dır. Pulmoner kılcal damarlarda, deoksijenlenmiş kandaki CO_2 parsiyel basıncı yaklaşık 46 mmHg'dır. Bu nispeten daha küçük bir gradyan ($\Delta PCO_2 \approx 6 \text{ mmHg} - 0,7 \text{ kPa}$) olmasına rağmen, CO_2 'nin yüksek çözünürlüğü sayesinde karbondioksiti kandan alveollere yönlendirmek için yeterlidir (Clark, 2022; Powers ve Dhamoon, 2019; McKinley vd., 2019; Petersson ve Glenn, 2014). Bununla birlikte pulmoner kılcal damarlardaki kan akış hızı alveoler-kapiller membran boyunca gaz değişim verimliliğini etkileyebilir (Barrett vd., 2019; Graham vd., 2018). Temel olarak alveoler-kapiller O_2 gradyanı tarafından yönlendirilen bu süreç neredeyse 0,25 saniye içinde tamamlanır, bu da 0,75 ila 2,5 saniye arasında olduğu tahmin edilen istirahat halindeki kırmızı kan hücresi geçiş süresinin yalnızca bir kısmını oluşturur. Diğer taraftan CO_2 difüzyonu daha da hızlıdır ve oksijenden yaklaşık ~24 kat daha hızlı

gerçekleşir (Dominelli ve Sheel, 2024; Petersson ve Glenný, 2023; Mottram, 2022; Clark, 2022; Levitsky, 2022; Pruitt, 2021; Bhakta ve Kaminsky, 2021; Barrett vd., 2019; Graham vd., 2018; Cloutier, 2018; Wagner, 2015; Petersson ve Glenný, 2014).

Alveoller içinde oldukça hassas bir gaz basınç dengesi bulunur. Alveoler O₂ ve CO₂, parsiyel basınç farklarına (P_{AO₂} ve P_{ACO₂}) bağılı olarak ince alveoler membranlar boyunca sürekli olarak difüze olur (Petersson ve Glenný, 2023; West ve Luks, 2020; Lumb ve Thomas, 2020; Petersson ve Glenný, 2014). Bir gazın dokular arasındaki difüzyonu Fick yasasına göre tanımlanmıştır. Bu yasa bir gazın dokudan transfer hızını, dokunun yüzey alanı, gazın difüzyon katsayısı ve dokunun iki tarafındaki gazın parsiyel basınç farkıyla doğru ancak kalınlıkla ters orantılı olduğu şeklinde açıklar (Levitsky, 2022). Bir doku tabakasından gaz difüzyon hızını gösteren denklem:

$$V_{gaz} = \frac{A}{T} \cdot D \cdot (P_1 - P_2)$$

Denkleme göre V_{gaz}, dakika başına dokular arası difüze olan gaz hacmi (mL/dk); A, alveol-kapiller bariyerin yüzey alanı (m²); T, alveol-kapiller bariyerin kalınlığı (m); D, gazın difüzyon katsayısı (m²/s) (difüzyon sabiti); P₁, alveoldeki gazın parsiyel basıncı (Pa veya atm) ve P₂, kapillerdeki gazın parsiyel basıncı (Pa veya atm) anlamına gelmektedir. Basit bir ifadeyle, difüzyon için yüzey alanı geniş ve dokunun iki tarafı arasındaki “itici basınç” yüksek olduğuunda gazın difüzyon oranı yükselir. Buna karşılık, alveol-kapiller membran bölgesindeki doku kalınlığı gazın difüzyonunu zorlaştırır. Buna ek olarak, gazların transfer hızı, dokunun ve belirli gazın özelliklerine bağılı olan difüzyon sabitiyle orantılıdır. Bu sabit (D), gazın çözünürlüğüyle doğru ancak molekül ağırlığının kareköküyle ters orantılıdır. Bu, CO₂’nin solunum membranı boyunca O₂’den çok daha hızlı difüze olduğu anlamına gelir, çünkü CO₂ çok farklı bir molekül ağırlığına sahip olmasa bile O₂’den 24 kat daha hızlı çözünür (Levitsky, 2022; Pruitt, 2021; West ve Luks, 2020; Graham vd., 2018; Cloutier, 2018). Gazların kandaki çözünürlüğü, gaz değişimini etkileyen bir diğerkritik faktördür. Bu faktör bir gazın sıvıdaki çözünürlüğünün (ne kadar gazın sıvıya girebileceğı veya sıvıdan çıkabileceğı), gazın havadaki parsiyel basıncına ve gazın sıvıdaki çözünürlük katsayısına bağılı olduğunu belirten Henry yasası ile özetlenir (McKinley vd., 2019; Arroyo ve Schweickert, 2015). Alveolden kapiller kana difüze olan oksijenin büyük bir kısmı hemoglobin ile kimyasal birleşime girer. Ancak bu kimyasal reaksiyon hızla

gerçekleşmesine rağmen oksijen transferine karşı toplam direncin kayda değer bir kısmını oluşturur (Bhakta ve Kaminsky, 2021; West ve Luks, 2020; Arroyo ve Schweickert, 2015).

Tipik olarak, her bir alveolü terk eden pulmoner kapiller kan, alveoler gazın içeriğine benzer PO_2 ve PCO_2 basınçlarına sahiptir. Ancak, nihai arteriyel O_2 basıncı (P_aO_2) ve daha az ölçüde arteriyel CO_2 basıncı (P_aCO_2), her bir alveoler-kapiller gaz değişim birimindeki VA/Q oranına ve bu oranların dağılımına bağlı olarak değişkenlik gösterebilir (Graham vd., 2018). Dolayısıyla O_2 transferi koşullara bağlı olarak perfüzyon veya kısmen difüzyon sınırlı olabilir (West ve Luks, 2020; Cloutier, 2018). Bununla birlikte oksijenin kapiller membrandan geçiş bölgelerinde yarattığı hızlı parsiyel basınç değişiklikleri oksijen için difüzyon kapasitesinin ölçülmesini oldukça zorlaştırır. Bu anomaliler nedeniyle klinik olarak akciğerlerin difüzyon kapasitesinin doğru bir şekilde değerlendirilebilmesi için transfer hızları perfüzyon ya da parsiyel basınç değişimlerinden etkilenmeyen tamamen difüzyonla sınırlı gazların kullanılması gerekir. Bu nedenle genellikle difüzyon kapasitesinin belirlenmesinde hemoglobin için yüksek bir afiniteye sahip olan ve kan dolaşımına girdikten sonra hızla bağlanarak transferinin parsiyel değişimlerden ya da kan akışından (perfüzyon) etkilenmediği karbonmonoksit ya da nitrik oksit (NO) gibi gazlar tercih edilir (Bourke vd., 2022; Mottram, 2022; Clark, 2022; Lumb ve Thomas, 2020). CO'nun hemoglobine afinitesi o kadar yüksektir ki pulmoner kapiller kanda gazın parsiyel basıncı etkin bir şekilde sıfır kalır. CO ve hemoglobin arasında oluşan bu sıkı bağ gazın pulmoner kapiller kanda geri basınç oluşmasını engeller ve gazın alveoler duvar boyunca hızla hareket etmesine yardımcı olur. Bu CO miktarının mevcut kan akışıyla değil, kan-gaz bariyerinin difüzyon özellikleriyle sınırlı olduğu anlamına gelir (Bourke vd., 2022; West ve Luks, 2020; Lumb ve Thomas, 2020). CO için pulmoner difüzyon kapasitesi (DL_{CO}), genellikle bilinen gaz karışımından tek bir inspirasyon yapılarak nefesin 10 saniye tutulduğu ve ekspirasyonla verilen gaz hacminde karbonmonoksitin eksilen oranının hesaplandığı noninvaziv bir yöntemle elde edilir. Bu yöntemde verilen gazın hacmi, nefes tutma süresi boyunca kan tarafından emilen CO miktarını belirlemek için analiz edilir (Bourke vd., 2022; Clark, 2022; Lumb ve Thomas, 2020; Barrett vd., 2019). Akciğer karbonmonoksit difüzyon kapasitesi için basitleştirilmiş denklem:

$$DL_{CO} = \frac{\dot{V}_{CO}}{P_{ACO}}$$

Denkleme göre DL_{CO} , akciğer karbonmonoksit difüzyon kapasitesi (mL/dk/mmHg); $\dot{V}_{CO}$, kana karışan CO hacmi (mL/dk); ve P_{ACO} , alveoler karbonmonoksit parsiyel basıncını (mmHg) ifade eder (West ve Luks, 2020; Lumb ve Thomas, 2020; Barrett vd., 2019). DL_{CO} , kana karışan CO miktarının alveollerdeki parsiyel CO basıncına bölünmesiyle elde edilen değerden pulmoner kapillerde bulunan CO parsiyel basıncının çıkarılmasıyla elde edilen değerle orantılıdır. Ancak uzun süreli sigara içenler dışında, P_{ACO} sıfıra yakındır, bu nedenle göz ardı edilir ve denklem yukarıdaki şekilde gösterilir (Barrett vd., 2019).

2.2.1. Membran Difüzyon Kapasitesi ve Pulmoner Kapiller Kan Hacmi

Gazların alveollerden pulmoner kapillerdeki kana geçişine dair nicel bir değerlendirme sunan DL_{CO} , membran difüzyon kapasitesi (D_m) ve kapiller kan hacmi (V_c) olmak üzere iki ana bileşenle birlikte çeşitli faktörlerden etkilenir (Graham vd., 2017; Mottram, 2022; Roughton ve Forster, 1957). Akciğerler genişleyip değişen alveoler yüzey alanı nedeniyle D_m artarken alveoler ve ekstra alveoler kapillerin gerilmesi ve yassılaşması/düzleşmesi nedeniyle V_c farklı etkiler gösterebilir (Graham vd., 2017; Roy ve Secomb, 2014). Bu bileşenler, çeşitli patolojik durumlarda solunum bozukluklarını teşhis etmenin yanı sıra egzersiz kapasitesini sınırlayan faktörleri ve solunum fonksiyonu ile performans gelişimi arasındaki ilişkiyi değerlendirmek için oldukça önemlidir (Dominelli ve Sheel, 2024; Zavorsky, 2024a; Zavorsky, 2024b; Peters vd., 2023; Dempsey vd., 2020; Zavorsky ve Smoliga, 2017; Wagner, 2015).

Membran iletkenliğini temsil eden D_m , CO'nun alveoler-kapiller membran, plazma ve eritrositin iç kısmı boyunca gaz değişimindeki etkinliğini gösterir. Bu, alveoler-kılcal bariyerin gaz difüzyonunu kolaylaştırmak için sahip olduğu doğal yeteneğinin bir ürünüdür (Hsia vd., 2016; Roy ve Secomb, 2014). Bu süreç, gaz transfer hızının; membranın yüzey alanı ve kısmi basınç farkı (bölgeler arası) ile doğru orantılı, membran kalınlığı ile tersi orantılı olduğunu belirten Fick'in difüzyon yasası tarafından yönetilir. Önceki araştırmalar çok ince katmanlardan oluşan alveoler epitel, interstisyel boşluk ve kapiller endotelin bütünlüğünün interstisyel veya alveoler ödemin varlığına işaret eden bozulmuş akciğer parankimi gibi çeşitli faktörlerden etkilenebileceğini raporlamıştır. Pulmoner fibroz, amfizem ve akut solunum sıkıntısı sendromu (ARDS) gibi durumlar membranı kalınlaştırarak veya alveoler-kapiller arayüzün dokusunu bozarak D_m 'yi önemli ölçüde olumsuz etkiler. Sonuç olarak bu durum gaz değişimi için gerekli yüzey alanının azalmasına ve DL_{CO} kapasitesinin

olumsuz etkilenmesine neden olur (Casitas vd., 2024; Ravi vd., 2024; Weisenburger vd., 2024; Petersson ve Glenn, 2023; Plantier vd., 2018).

Pulmoner vasküler sistemin etkinliğini temsil eden V_c , pulmoner kapillerde herhangi bir zamanda gaz değişimi için mevcut olan toplam kan hacmini ifade eder. V_c , büyük oranda CO'nun bağlanması ve taşınmasında önemli rol oynayan hemoglobin oranıyla düzenlenir. Yüksek bir kapiller kan hacmi, gaz değişimi için daha büyük bir yüzey alanı anlamına gelir ve potansiyel olarak difüzyon verimliliğini etkiler (Roy ve Secomb, 2014). Araştırmalar kapiller hacmin, kardiyak çıktı, pulmoner kapiller aktivasyon, distansiyon (genişleme) ve pulmoner vaskülatürün genel sağlığı dahil olmak üzere çeşitli faktörlerden etkilenebileceğini bildirmiştir (Widrich ve Shetty, 2024; Gao, 2022; Østergaard, 2020; Suresh ve Shimoda, 2016; Roy ve Secomb, 2014). Sol kalp yetmezliği, pulmoner hipertansiyon ve kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOAH) gibi durumlar pulmoner kan akışını ve kapiller yatak özelliklerini etkileyerek V_c 'yi değiştirir ve sonuç olarak gaz değişimi için gerekli yüzey alanının azalmasına ve DL_{CO} kapasitesinin olumsuz etkilenmesine neden olur (Widrich ve Shetty, 2024; Tadafumi, 2024; Pezzuto vd., 2024; McCormack vd., 2024; Gao, 2022; Diamanti vd., 2021).

Pulmoner gaz değişimi, bir gazın yalnızca pulmoner kapiller bariyerden difüze olmasından daha fazlasını içerir. Teoride CO'nun kandaki difüzyon kapasitesi, plazma membranı ve eritrositler boyunca difüzyonu ve gazın hemoglobin ile kimyasal kombinasyonunu içerir (Lumb ve Thomas, 2020; Roy ve Secomb, 2014). Oksijenin doğal engellerine karşın CO'nun hemoglobin ile reaksiyon hızı önemli bir faktördür. Kan için bu difüzyon kapasitesi, V_c ile CO'nun hemoglobinle reaksiyon hızının (θ_{co}) çarpımına eşittir ve bu değer hemoglobinin oksijen doygunluğuna göre değişir (Mottram, 2022; Lumb ve Thomas, 2020; West ve Luks, 2020; Graham vd., 2018). Roughton ve Forster (1957), CO alımının iletkenliğinde D_m ve V_c dirençlerinin çiftin toplam direncine eşit olduğunu ve her iki bileşeninde kabaca eşit öneme sahip olduğunu raporlamıştır (Roughton ve Forster, 1957). Buna göre DL_{CO} 'nun, membran ve vasküler bileşenleri arasındaki ilişki şu denklemle ifade edilebilir:

$$\frac{1}{DL_{CO}} = \frac{1}{D_m} + \frac{1}{\theta \cdot V_c}$$

Denkleme göre DL_{CO} , akciğer karbonmonoksit difüzyon kapasitesi (mL/dk/mmHg); D_m , membran difüzyon kapasitesi (mL/dk/mmHg); V_c , pulmoner

kapiller hacim (mL); ve θ (teta) karbonmonoksitin hemoglobinle spesifik reaksiyon (bağlanma) hızıdır (CO transfer katsayısı). Direnç, iletkenliğin (veya difüzyon kapasitesinin) tersi olduğundan, kan-gaz bariyerinin direnci $1/D_m$ olarak gösterilmektedir. Diğer taraftan O_2 'nin (veya CO) hemoglobinle reaksiyon hızı, θ ile gösterilir ve O_2 'nin (veya CO) parsiyel basıncının her mmHg'si için dakikada 1 mL kanla birleşen O_2 (veya CO) hacmini (mililitre cinsinden) ifade eder. Bu, 1 mL kanın "difüzyon kapasitesine" benzer ve V_c ile çarpıldığında, O_2 'nin hemoglobinle reaksiyon hızının potansiyel "difüzyon kapasitesi" yanıtını verir. Benzer şekilde bunun tersi olan $1/(\theta \cdot V_c)$, bu reaksiyonun direncini tanımlar (Mottram, 2022; Bhakta ve Kaminsky, 2021; Lumb ve Thomas, 2020; West ve Luks, 2020; Graham vd., 2018). Bu ilişki, pulmoner kapiller kan hacmi arttıkça DL_{CO} 'nun artacağını göstermektedir. Ayrıca, CO'nun hemoglobinle reaksiyon hızı kandaki hemoglobin konsantrasyonuna bağlıdır dolayısıyla Hb konsantrasyonu arttıkça θ artacaktır (Graham vd., 2018). Bunun aksine bir denek yüksek O_2 karışımı solursa CO için θ azalır, çünkü O_2 hemoglobine bağlanmak için CO ile yarışır. Bunun sonucunda, ölçülen difüzyon kapasitesi O_2 solunumuyla azalma gösterir ki bu DL_{CO} 'nun inspire edilen O_2 'nin fraksiyonuyla ters orantılı olduğunu gösterir (West ve Luks, 2020). Oksijen konsantrasyonunun bu potansiyel etkisinden yola çıkarak farklı arteriyel oksijen saturasyonlarında (farklı oksijen konsantrasyonları solunarak elde edilen) difüzyon kapasitesinin ölçümünü tekrarlayarak, D_m ve V_c değerlerini elde etmek için çözülebilecek iki bilinmeyenli ve iki eşzamanlı denklem elde etmek mümkündür. Pulmoner kapiller kan hacminin bu teknikle ölçülmesi 60 ila 110 mL (deneğin boyuna bağlı olarak) arasında normal değerler verir ve bu da yaklaşık 100 mL'lik bir morfometrik tahminle oldukça iyi uyumlu bir sonuç gösterir (Lumb ve Thomas, 2020; West ve Luks, 2020). Ayrıca kombine bir DL_{CO} ve DL_{NO} testi kullanılarak, D_m ve V_c iletkenliğini belirlemekte mümkündür (Alves vd., 2022; Zavorsky vd., 2017; Borland vd., 2014).

2.2.2. Difüzyonu Etkileyen Faktörler

Pulmoner difüzyon kapasitesi, akciğer kompliyansı, pulmoner vasküler bozukluklar (membran yüzey alanını ve membran kalınlığını etkileyen), yaş, cinsiyet ve egzersiz dahil olmak üzere çok sayıda faktörden etkilenir (Mark vd., 2024; Lumb ve Thomas, 2020; Roy ve Secomb, 2014).

Difüzyon kapasitesi dolaylı olarak akciğer hacmiyle ilişkilidir (Mark vd., 2024; Fragoso vd., 2017; Hsia vd., 2016; Saydain vd., 2004) ve toplam akciğer kapasitesinde

en yüksek değere ulaşır (Hsia vd., 2016). Akciğer hacmi, fonksiyonel rezidüel kapasiteden toplam akciğer kapasitesinin %75-80'ine ulaştığında, alveollerde izotropik “balon benzeri” distansiyonu düşündüren hareketi meydana getirir ki bu membran hacmini yaklaşık 2 kat ve yüzey alanını ise %70 oranında artıran önemli değişikliklere neden olur (Matuszak vd., 2020; Graham vd., 2018). Membranın yüzey alanındaki bu değişimler, D_m kapasitesini etkiler. Buna karşılık, pulmoner kapiller kan hacmi üzerindeki etkiler değişkendir ve alveoler ile ekstra alveoler kapillerin farklı derecelerde gerilmesi ve düzleşmesinden etkilenir (Graham vd., 2018). Dolayısıyla bu değişiklikler potansiyel olarak akciğer kapasitesinin DL_{CO} 'yu etkileyebileceğini gösterir (García vd., 2021a). Buna karşın, DL_{CO} ve akciğer hacmi arasındaki ilişki nispeten karmaşıktır ve DL_{CO} değerinde gerçekleşebilecek olası bir değişiklik akciğer hacmi değişikliklerinden önemli ölçüde daha az etkilenebilir (Graham vd., 2018).

Araştırmalar özellikle kas distrofisi gibi durumlarda *azalmış solunum kas kuvvetinin* artan solunum yükü, bozulmuş ventilasyon, hipoventilasyon, hiperkapniye katkıda bulunarak gaz değişim verimliliğini önemli ölçüde azaltabileceğini bildirmiştir (Hennigs vd., 2022; Patel vd., 2022; Mauro ve Aliverti, 2016; Hart vd., 2002). Bununla birlikte patolojik değişiklikler de membran yüzey alanını dolayısıyla gaz değişimi için gerekli alveol-kapiller bariyeri bozarak pulmoner difüzyon kapasitesini önemli ölçüde azaltabilir (Mark vd., 2024; Mottram, 2022; Hsia vd., 2016). Kronik bronşit ve amfizem ile karakterize KOAH ya da pulmoner fibrozis, gaz değişimi için *mevcut yüzey alanını azaltır ve alveolokapiller membranı kalınlaştırır* (Weisenburger vd., 2024; Yamamoto vd., 2022; Mottram, 2022; Ni vd., 2021; Berg ve Wright, 2016). Ayrıca alveoler hava ile kapiller kan arasına ek bir bariyer koyan pulmoner ödem, alveoler inflamasyon ve sıvı birikimi yoluyla gaz alışverişini daha da engelleyen pnömoni gibi patofizyolojik durumlar da, gaz alışverişi için *mevcut yüzey alanının azalmasına* neden olabilir (Weisenburger vd., 2024; Alfaro vd., 2024; Vahidy vd., 2024; de Roos vd., 2024; Mottram, 2022; Taylor vd., 2014). Benzer şekilde bronşiyal vasküler bozukluklar, akciğerlere *yetersiz kan akışına* yanıt olarak tüm gaz alışverişini etkileyen anormalliklere yol açabilir (Weatherald vd., 2021; Weatherald vd., 2020; Marini vd., 2018). Pulmoner vaskülatürün tıkanması veya kaybı nedeniyle *bozulmuş kardiyak fonksiyon*, bölgesel VA/Q eşleşmesinde heterojenliğe neden olarak gaz değişiminin etkinliğini azaltır ve sonuç olarak difüzyon kapasitesini olumsuz etkiler (Hopkins ve Stickland, 2023; Weatherald vd., 2021; Weatherald vd., 2020).

Yaşlanma ile ortaya çıkan yapısal değişiklikler ve bunların gaz değişimi üzerindeki etkileri, yaş ile pulmoner difüzyon kapasitesi arasında doğrusal bir ilişki olduğunu göstermiştir (Cho, 2023; Cho ve Stout-Delgado, 2020; Lumb ve Thomas, 2020; Barroso vd., 2018). Ortaya çıkan bu ilişki, bireylerin alveoler yüzey alanında, elastik geri tepme fonksiyonunda, alveoler-kapiller arayüzünde ve pulmoner vaskülaritede meydana gelen modifikasyonlardan kaynaklanabileceği şeklinde açıklanmıştır (Cho, 2023; Bowdish, 2019; Skloot, 2017; Ramly vd., 2015; Bentov ve Reed, 2015). Alveollerin, alveoler kanalların ve kapiller segmentlerin sayısı yetişkinlikte sabit kalsa da, yaşlanmayla birlikte alveoler boyutta ve alveoler-kapiller yüzey alanında belirgin değişiklikler meydana gelmektedir (Bowdish, 2019; Skloot, 2017; Quirk vd., 2016). Bununla birlikte yaşlanmayla terminal hava yollarının kapanmasıyla artan kapanma hacmi, ventilasyon kusurlarıyla birlikte VA/Q uyumsuzluğunu artırır (Bowdish, 2019; Vaz Fragoso ve Gill, 2012). Maksimum etkili gaz değişimi ventilasyonun akciğer perfüzyonu ile eşleşmesine bağlı olduğundan, düşük VA/Q bölgeleri ile karakterize edilen bu uyumsuzluk, P_aO_2 'de düşüşe ve alveoler-arteriyel oksijen gradyanında ($A-aDO_2$) önemli artışlara neden olur (Stickland ve Hopkins, 2025; Gonzalez-Garcia vd., 2020; Coffman vd., 2018a; Coffman vd., 2018b). Bununla birlikte yaşlanma, pulmoner vaskülatürde sertleşme ve pulmoner arter sistolik basınçta artışları tetikleyerek aynı zamanda VA/Q eşitsizliklerini ortaya çıkar. Bu durum akciğerin bazı bölgelerinde yüksek VA/Q oranlarının ve ölü boşluk ventilasyonunun (ventile edilen ancak perfüze edilmeyen alanlar) gelişmesine katkıda bulunur (Coffman vd., 2018a; Coffman vd., 2018b; Lalley, 2013). Pulmoner vaskülatürdeki değişiklikler ve alveoler-kapiller yoğunluktaki gerileme, yaşlanmayla birlikte pulmoner kapiller kan hacminde kademeli bir azalmayı tetikleyerek difüzyon kapasitesini düşürebilir (Cho, 2023; Bowdish, 2019; Coffman vd., 2018a; Coffman vd., 2018b; Skloot, 2017; Ramly vd., 2015; Bentov ve Reed, 2015). Storebø ve diğerleri (2016), 9 yıllık bir takip çalışmasında, katılımcıların öngörülen DL_{CO} değerlerinin ortalama %3 azaldığını bulmuştur (Storebø vd., 2016). Başka bir çalışma, cinsiyet farklılığının etkilerini araştırmış ve DL_{CO} kapasitesindeki azalmanın erkeklerde yılda 0,20–0,32 mL/dk/mmHg, kadınlarda ise 0,06–0,18 mL/dk/mmHg olduğunu bildirmiştir (Cho, 2023).

Pulmoner difüzyon kapasitesi, cinsiyet farklılıklarından kaynaklanan anatomik ve fizyolojik varyasyonlardan etkilenir (Leahy vd., 2023; Dominelli ve Molgat-Seon, 2022; LoMauro ve Aliverti, 2021; Prakash vd., 2021; Silveyra vd., 2021; Archiza vd., 2021; Bassett vd., 2020; Ansdell vd., 2020; Dominelli vd., 2018; LoMauro ve Aliverti, 2018; Molgat-Seon vd., 2018). Araştırmalar erkeklerin daha fazla sayıda bronş, daha geniş bir alveoler yüzey alanı ve hava yolu çapına (kalibresine) sahip olduğunu bildirmiştir (Leahy vd., 2023; LoMauro ve Aliverti, 2021; Archiza vd., 2021; Bassett vd., 2020; Molgat-Seon vd., 2018; Dominelli vd., 2018; LoMauro ve Aliverti, 2018; Townsend vd., 2012; Cohen vd., 2008). Doğum sonrası akciğer gelişimi sırasında, akciğer geometrisindeki değişikliklerle (Torres-Tamayo vd., 2018) birlikte alveol sayısı ve boyutunun arttığı, ancak kadınların daha küçük akciğerlere ve daha az bronşiyole sahip olmasına rağmen (Torres-Tamayo vd., 2018; Dominelli vd., 2018) birim yüzey alanı başına düşen alveol sayısının cinsiyetler arasında benzer olduğu raporlanmıştır (Dominelli ve Molgat-Seon, 2022; LoMauro ve Aliverti, 2021; LoMauro ve Aliverti, 2018). Bouwsema ve diğerleri (2017), egzersiz sırasında benzer boy uzunluklarındaki kadın ve erkekleri karşılaştırdığı çalışmada kadın deneklerin daha düşük kardiyak çıktı oranına, difüzyon kapasitesine, pulmoner kapiller kan hacmine ve membran difüzyon kapasitesine sahip olduğunu buldu (Bouwsema vd., 2017). Benzer şekilde birçok çalışma DL_{CO} 'nun cinsiyetten etkilendiğini ve kadınların benzer yaştaki erkeklere kıyasla daha düşük değerler sergilediğini göstermiştir (Priel vd., 2023; Tiller vd., 2022; Archiza vd., 2021; García vd., 2021a; Munkholm vd., 2018; Kim vd., 2016). Cinsiyete göre difüzyon kapasitesindeki bu değişikliklerin hormonal faktörlerden, özellikle de testosteron, östrojen ve progesteronun potansiyel etkilerinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir (Dominelli ve Molgat-Seon, 2022; LoMauro ve Aliverti, 2021; LoMauro ve Aliverti, 2018). Buna ilaveten literatürde, kadınların vasküler ve hava yolu dinamikleri üzerinde, menstrüel döngünün farklı evrelerinde ve hamilelik sırasındaki hormonal değişikliklere bağlı olarak, özellikle kapiller kan hacimlerinde meydana gelen değişikliklerin difüzyon kapasitesinde belirgin dalgalanmalara neden olduğunu bildiren çalışmalar da mevcuttur (LoMauro ve Aliverti, 2021; Bouwsema vd., 2017; Smith vd., 2015).

Fiziksel aktivitenin kardiyovasküler sistem üzerinde oluşturduğu stres, kardiyak çıktı ve kalp atım hızı (KAH) gibi faktörler akciğerlerdeki potansiyel gaz değişim verimliliğini değiştirebilir (Dalen vd., 2024; Dridi vd., 2023; Peters vd., 2023;

Claessen ve La Gerche, 2017; Motoji vd., 2017; Tedjasaputra vd., 2016a; Flaherty vd., 2014; Dridi vd., 2006; Stickland vd., 2006). Araştırmalar sistemik dolaşımdakiyle benzer olan ve kardiyak çıktının artışıyla egzersiz sırasında dinlenme değerinin yaklaşık altı katına kadar artabilen pulmoner kan akışının gaz difüzyonu için potansiyel yüzey alanını artırabileceğini raporlamıştır (Lumb ve Thomas, 2020; Østergaard, 2020; Naeije ve Chesler, 2012). Zavorsky ve Smoliga (2017) yaptığı çalışmada pulmoner difüzyon kapasitesi ve aerobik kapasite arasında %16-20'lik bir ortak varyans olduğunu ve yüksek (Üstün/mükemmel) kardiyovasküler dayanıklılığa sahip olanların düşük (Zayıf/çok zayıf) olanlara kıyasla daha yüksek DL_{CO} kapasitesi sergilediklerini göstermiştir (Zavorsky ve Smoliga, 2017). Başka bir araştırmada, dayanıklılık antrenmanı yapan sporcuların genellikle pulmoner membranlarında yoğun egzersizler anında artan oksijen taleplerini karşılama yeteneklerini geliştiren adaptasyonlar yaşayabileceklerini belirtilmiştir (Tedjasaputra vd., 2016a). Aynı alışma dayanıklılık sporcularının egzersiz öyküsü olmayanlara göre gelişmiş kardiyovasküler fonksiyonlara ve maksimal oksijen tüketiminin (VO_{2maks}) %80 ve %90'ında gerçekleştirilen egzersizlere yanıt olarak daha yüksek bir DL_{CO} ve D_m kapasitesi sergilediğini raporlamıştır (Tedjasaputra vd., 2016a). Sağlıklı genç koşucular üzerinde yapılan diğer bir araştırma, sekiz haftalık yüksek yoğunluklu dayanıklılık egzersiz programının hem D_m hem de V_c kapasitelerini önemli ölçüde geliştirdiğini ortaya çıkardı. Bu bulgular, düzenli egzersizle pulmoner kapiller ve vasküler fonksiyonların iyileştirilebileceğini düşündürmektedir (Dridi vd., 2021). Bununla birlikte birçok çalışma egzersizin kardiyak çıkışı yükselterek pulmoner kapiller yatağı şekillendirdiği ve akciğerlerdeki mevcut VA/Q eşleşmesine katkıda bulunduğunu göstermiştir (Powers vd., 2024; Gibb vd., 2022; Maturana vd., 2021; Powers vd., 2020; Kissane ve Egginton, 2019; Armstrong ve Vogiatzis 2019; Powers ve Dhamoon, 2019; Arboleda Serna vd., 2016; Weatherwax vd., 2016; Galy vd., 2013; Stickland vd., 2006; Dridi vd., 2006). Bu adaptasyonlar DL_{CO} 'nun önemli belirleyicileri olan alveoler-kapiller yüzey alanında ve kapiller kan hacminde kayda değer artışlara yol açabilir (Peters vd., 2023; Tedjasaputra vd., 2017; Tedjasaputra vd., 2016a; Dridi vd., 2006). Özellikle düzenli egzersizlerin pulmoner vaskülatürde neden olduğu fonksiyonel ve yapısal adaptasyonlar anjiyogenez ve vasküler yeniden şekillenmeyle gaz değişim yüzeyini daha da optimize edebilir (Peters vd., 2023; Kissane ve Egginton, 2019; Laughlin vd., 2012). Literatürdeki bulgular farklı disiplinlerde düzenli egzersiz yapan sporcuların potansiyel olarak daha yüksek

pulmoner fonksiyon (Peters vd., 2023; Rochat vd., 2022; García vd., 2021b; Tetzlaff vd., 2021; Rosser-Stanford vd., 2019; Mazic vd., 2015) ve difüzyon kapasitesi sergileme eğiliminde olabileceğini doğrulamaktadır (Dridi vd., 2021; Flaherty vd., 2014; Degens vd., 2013; Mickleborough vd., 2008; Dridi vd., 2006).

Bu faktörlerin dışında DL_{CO} değerinin vücut pozisyonundan (oturma, sırtüstü ya da yüzüstü) (Katz vd., 2018), boy uzunluğundan (Priel vd., 2023; Wardyn vd., 2021; Thompson vd., 2008) ve vücut ağırlığından da (Zavorsky vd., 2010) kayda değer derecede etkilendiği görülmüştür. Bu durum, mevcut pulmoner kan hacmi ve akciğer perfüzyonundaki dağılımları etkileyen temel fizyolojik faktörlerle açıklanmıştır (Mark vd., 2024; Priel vd., 2023; Barroso vd., 2018).

2.2.3. Egzersiz Anında Gaz Değişimi

Egzersiz anında artan ventilasyon taleplerinin bir sonucu olarak büyük tidal hacimler gaz değişimi için mevcut alveoler yüzey alanını önemli ölçüde değiştirir (Panza vd., 2024; Pruitt, 2021; Hall ve Hall, 2020; Peracchia, 2014a). Bununla birlikte egzersiz yoğunluğuna bağlı olarak artan kardiyak çıkış daha fazla kılcal damarı aktive ederek gaz değişimi için gerekli yüzey alanını genişletir (Widrich ve Shetty, 2024; Dominelli ve Sheel, 2024; Clark, 2022; Pruitt, 2021; Hall ve Hall, 2020). Bu süreçler oksijenin kan dolaşımına karbondioksitin ise alveollere difüzyonunu kolaylaştıran dolayısıyla pulmoner gaz değişim verimliliğini etkileyen alveoler-arteriyel PO_2 farkıyla ($A-aDO_2$) optimize edilir (Stickland ve Hopkins, 2025; Dominelli ve Sheel, 2024; Leahy vd., 2023; Clark, 2022; Bhakta ve Kaminsky, 2021; Dempsey vd., 2020; Tedjasaputra vd., 2015). $A-aDO_2$, büyük ölçüde alveoler ventilasyonun akciğerden geçen kana ne kadar iyi dağıldığına göre değişir ve genellikle VA/Q homojenitesini ya da heterojenitesini (dağılımını) yansıtır (Stickland ve Hopkins, 2025; Leahy vd., 2023; Orr ve Hopkins, 2021). Yüksek yoğunluklu egzersizle ilişkili hiperventilasyonun bir sonucu olarak artan $A-aDO_2$ arteriyel PO_2 'yi koruyarak etkili difüzyonun sürdürülmesine katkıda bulunabilir (Dominelli ve Sheel, 2024; Dempsey vd., 2020; Peters ve Sheel, 2019). İstirahat halindeki sağlıklı bir insanda $A-aDO_2$ parsiyel basınç gradyanı 5 ila 10 mmHg arasında değişir (Peters vd., 2023; Peters ve Sheel, 2019; Tedjasaputra vd., 2015). Ancak dinamik egzersizler kardiyopulmoner transit zamanı dolayısıyla difüzyonu yönlendiren $A-aDO_2$ 'yi dinlenme değerinin yaklaşık üç katına kadar çıkarabilir (Dominelli ve Sheel, 2024; Monahan vd., 2023; Peters vd., 2023; Dempsey vd., 2020; Peters ve Sheel, 2019; Tedjasaputra vd., 2015; Zavorsky vd.,

2003). Bunun nedeni artan kardiyak çıktının pulmoner kan akışını (Widrich ve Shetty, 2024; Dominelli ve Sheel, 2024; Siebenmann vd., 2015) hızlandırmasıyla birlikte gazların difüzyonu için gerekli mevcut sürenin kısalmasına neden olan ve dolayısıyla venöz kanın pulmoner kapiller sistemden daha hızlı geçmesini sağlayan sınırlayıcı potansiyel bir mekanizmadır (Dominelli ve Sheel, 2024; Hopkins vd., 2024a; Hopkins vd., 2024b; Clark, 2022; Dempsey vd., 2020; Østergaard, 2020). Ancak dikkat çekici bir şekilde sağlıklı akciğerlerin, metabolik hızdaki önemli artışlara rağmen yoğun egzersiz boyunca P_aO_2 ve oksihemoglobin saturasyonunu egzersiz öncesi seviyelerde tutabilen ve difüzyon kapasitesi için sınırlayıcı bir faktör olan transit sürenin telafi edici potansiyel etkilerin varlığını da dikkate almak önemlidir (Dominelli ve Sheel, 2024; Zavorsky, 2024a; Zavorsky, 2024b; Dempsey vd., 2020; Peters ve Sheel, 2019). Yukarıdaki bilgilere ilaveten, egzersiz anında artan difüzyon kapasitesinin özellikle bazı bireylerde oksijen taşınmasında difüzyon sınırlamalarını önlemek için her zaman yeterli olmayacağı göz ardı edilmemelidir (Stickland ve Hopkins, 2025).

Egzersiz anında gaz değişiminin etkinliği (kapasitesi), pulmoner kapillerdeki kan hacminin yaklaşık %150 artmasıyla ve kapiller yüzey alanının genişlemesiyle elde edilir (Monahan vd., 2023; Hall ve Hall, 2020). Pulmoner kapiller yatakların aktivasyonu ve distansiyonundan kaynaklanan artan kan hacmi, yüksek kardiyak çıktıyla ilişkili kırmızı kan hücresi geçiş süresindeki (geçiş süresi = pulmoner kapiller kan hacmi / kan akışı) azalmayı minimize edebilir (Dominelli ve Sheel, 2024; Østergaard, 2020; Peters ve Sheel, 2019). Dolayısıyla maksimal yoğunluktaki bir egzersiz anında, daha önce perfüze olmayan pulmoner kapillerin devreye girmesi, azalmış kırmızı kan hücresi geçiş süresini (~0,75 saniyeden ~0,25 saniyeye) (Dominelli ve Sheel, 2024; Monahan vd., 2023; Phyu vd., 2023; Hall ve Hall, 2020; Peters ve Sheel, 2019; Groves vd., 2016) telafi ederek, P_aO_2 'yi korur ve difüzyon için gerekli mevcut yüzey alanındaki genişlemeye neden olarak pulmoner difüzyon kapasitesini artırır (Petersson ve Glenney, 2023; Mottram, 2022; Dempsey vd., 2020; Peters ve Sheel, 2019). Hsia ve diğerleri (2016) akciğer yapısının dinlenme halindeyken ihtiyaç duyulmayan ancak egzersizle birlikte hızla devreye girebilen büyük bir oksijen difüzyon kapasitesi (DL_{O_2}) rezervine sahip olduğunu raporlamıştır (Hsia vd., 2016). Araştırmalar egzersiz anında pulmoner kapillerle temas halindeki işlevsel alveollerin fonksiyonel kapasitelerindeki bazı değişimlerin pulmoner difüzyon kapasitesinde dinlenme değerlerinin yaklaşık iki katına kadar çıkabilen ciddi artışlara

yol açabileceğini bildirmiştir (Bhakta ve Kaminsky, 2021; Gold ve Koth, 2016). Tedjasaputra ve diğerleri (2016a) dayanıklılık antrenmanı yapan sporcularda hem DL_{CO} hem de D_m kapasitelerinin VO_{2maks} 'ın %70 ve %90'ına karşılık gelen egzersiz yoğunlukları anında önemli derecede arttığını göstererek, sporcu olmayanlara kıyasla daha yüksek pulmoner alveoler-kılcal membran işlevi sergileme potansiyellerini sahip olduklarını vurgulamıştır (Tedjasaputra vd., 2016a). Başka bir araştırma, hem genç ($26,7 \pm 3,7$ yıl) hem de yaşlı ($70,0 \pm 3,1$ yıl) deneklerde DL_{CO} kapasitesinin egzersiz yoğunluğuna (%0, %10, %15, %30, %50 ve %70) bağlı olarak tutarlı bir şekilde arttığını göstermiştir (Coffman vd., 2018a). Benzer şekilde önceki araştırmalar dinlenmeden maksimal egzersize kadar pulmoner kan akışıyla doğrusal bir ilişki içinde olan difüzyon kapasitesinin, D_m ve V_c 'deki artışlara bağlı olarak daha önce kapalı olan kapillerin aktivasyonu ve distansiyonundan kaynaklanan artmış gaz değişim yüzey alanıyla yönlendirildiğini doğrulamıştır (Østergaard, 2020; Michaelchuk vd., 2019; Bouwsema vd., 2017; Tedjasaputra vd., 2016a; Baldi vd., 2014). Bununla birlikte egzersize bağlı kapiller hematokritin artması, kırmızı kan hücrelerinin kapiller içinde ve arasında homojen dağılımı ve alveoler hacmin artması gibi doğal fizyolojik faktörler de egzersiz anındaki difüzyon kapasitesinin artışına katkıda bulunabilir (Bhakta ve Kaminsky, 2021; Angleys ve Østergaard, 2020; Østergaard, 2020; Nader vd., 2019; Zavorsky ve Smoliga, 2017; Roy ve Secomb, 2014; Jacobs vd., 2012; Romain vd., 2011; Connes vd., 2010).

Diğer taraftan egzersiz anında artmış difüzyon kapasitesinin özellikle dayanıklılık sporcularında bile her zaman mükemmel şekilde korunmadığı bilinmelidir. Araştırmalar, çeşitli koşullar altında gerçekleştirilen uzun süreli yüksek yoğunluklu egzersiz uygulamalarının, azalmış pulmoner kapiller katılım veya bozulmuş intrapulmoner şant ve/veya periferde kan birikmesi (kan göllenmesi) dahil olmak üzere kardiyovasküler fonksiyonları olumsuz etkileyebileceğini ve genellikle egzersiz sonrası azalmış gaz değişimiyle ilişkili DL_{CO} kapasitesinde önemli bozulmalara yol açabileceğini raporlamıştır (Stewart vd., 2024; Hédon vd., 2024; Tiller vd., 2022; García vd., 2021d; Illidi vd., 2021; Tedjasaputra vd., 2017; Galy vd., 2013; Agostoni vd., 2013; Lalande vd., 2012; Lovering vd., 2008; Stickland vd., 2004). Tiller ve diğerleri (2022), bir ultra-maraton koşusuna katılan erkek sporcularda yarış öncesine kıyasla DL_{CO} 'nun %16 ve V_c kapasitesinin ise %26 azaldığını tespit etmiştir (Tiller vd., 2022). Benzer şekilde antrenmanlı erkek triatletlerden oluşan

koortun 14 saat süren yarışma sonrası DL_{CO} kapasitesinin %10 ve D_m kapasitesinin %26 azaldığı bulunmuştur. Aynı çalışmada sporcuların yarışma sonrası sistolik ve diyastolik kardiyak fonksiyonlarında azalmanın yanı sıra %18'inde bronkokonstriksiyon, %58'inde dinamik hiperinflasyon ve %40'ında bozulmuş difüzyon kapasitesi meydana geldiği görülmüştür (Hédon vd., 2024). Bununla birlikte Boussana ve diğerleri (2021) olimpik mesafeleri (1,5 km yüzme, 40 km bisiklete binme, 10 km koşu) içeren bir triatlon yarışından sonra sporcuların DL_{CO} kapasitesinde önemli düşüşler gözlemlemiştir (Boussana vd., 2021). Araştırmacılar, uzun süreli yüksek yoğunluklu egzersizin kardiyak hasarın biyo-belirteçlerini geçici olarak yükseltebileceğini, hafif pulmoner sıvı birikimine yol açarak alveoler-kapiller membran boyunca bozulmuş gaz iletkenliği veya pulmoner kapiller kan hacmindeki azalmayla DL_{CO}'yu azaltabileceğini bildirmiştir (Stewart vd., 2024; Hédon vd., 2024; Hopkins ve Stickland, 2023; Tiller vd., 2022; Boussana vd., 2021; Galy vd., 2013; Lavin vd., 2012; Hopkins, 2010). Buna karşılık, önceki çalışmalarda kısa süreli yüksek yoğunluklu egzersizin ardından DL_{CO} kapasitesinde, pulmoner vaskülatürdeki aktif vazokonstriksiyona ve/veya periferik vazodilatasyona atfedilen yaklaşık %10'a varan geçici düşüşlerin de olduğu gözlemlenmiştir (García vd., 2021c; Baldi vd., 2014; Fitzgerald vd., 2014; Zavorsky ve Lands, 2005; Johns vd., 2004)

2.3. Pulmoner Dolaşım

Dolaşım sistemi; kalp, kan damarları ve kandan oluşan karmaşık bir ağıdır ve oksijen, besin maddeleri ve atık ürünlerin vücutta taşınmasından, homeostazın korunmasından ve hücresel işlevlerin desteklenmesinden sorumludur. Kanın sol ventrikülden aorta pompalanarak vücuda dağıtıldığı sistemik dolaşım ile kanın sağ ventrikülden oksijenlenmek üzere akciğerlere pompalandığı pulmoner dolaşımdan oluşur. Düşük basınçlı yüksek akışlı olan pulmoner dolaşım, asit-baz dengesinin korunmasına ve karbondioksitin atılmasına yardımcı olarak etkili gaz değişimi için kanın akciğerler ve kalp arasında taşınmasında önemli rol oynar (Amador vd., 2023; Albertine vd., 2021; Cloutier, 2018; Kandathil ve Chamrathy, 2018; Suresh ve Shimoda, 2016).

Akciğerler pulmoner ve bronşiyal arterlerden oluşan iki farklı dolaşımla perfüze edilir. Pulmoner arter venöz (oksijensiz) kan taşırken, bronşiyal arterler arteriyel (oksijenli) kan taşır. Bu ikili dolaşım düşük basınçlı büyük hacimli kan içirme kabiliyeti açısından benzersizdir (Amador vd., 2023; Clark, 2022; Cloutier, 2018;

Garcia, 2016; Walker vd., 2015; Peracchia, 2014b). Sistemik dolaşımda arterler, oksijenlenmiş kanı kalpten uzağa taşıyan kan damarları, venler ise oksijeni azalmış kanı kalbe taşıyan kan damarlarıdır. Pulmoner dolaşımda ise bu durum tersine döner: arterler oksijeni azalmış kanı kalpten akciğerlere taşıyan, venler ise alveollerde oksijenlenen kanı kalbe geri taşıyan damarlardır (Clark, 2022; Peracchia, 2014b).

Pulmoner dolaşımda vücudun somatik hücrelerinden gelen oksijeni azalmış kan önce sağ atriyuma ardından sağ ventriküle girerek ana pulmoner arter ve dalları yoluyla oksijenlenme ve gaz değişimi için akciğerlere doğru iletilir. Ana pulmoner arter (truncus pulmonalis), orta mediastende karina (carina) seviyesinde (T4 vertebra hizasında) ve aortik arkın hemen altında neredeyse dik açılarla çatallanan sağ ve sol pulmoner arterlere ayrılır. Dört odacıklı kalbin sağ ventrikülünden çıkan pulmoner arter, sağ ve sol akciğerleri perfüze eden iki artere ayrıldıktan sonra pulmoner arteriyoller olarak bilinen daha küçük arterlere aşamalı olarak dallanır (Tucker vd., 2023; Amador vd., 2023; Batıhan, 2023; Amorós ve Lluveras, 2023; Capuano vd., 2019; Kandathil ve Chamarchy, 2018; Garcia, 2016; Peracchia, 2014b). Bu küçük arterler de daha sonra alveolleri kaplayan ince bir kılcal damar ağına dallanır. Ana pulmoner arterler nispeten büyüktür ve daha küçük arteriollere dallandıkça damar çapı azalır, bu da basınçta kademeli bir düşüşe yol açar. Bu dallanma sistemi kanın akciğer parankimi boyunca eşit olarak dağılmasını sağlar. Pulmoner arter duvarının ~%2'si ince bir düz kas lifi tabakasını içeren aralıklı elastik liflerden (sekiz katman) oluşur. Pulmoner arter daha küçük arterlere dallandıkça elastik tabaka azalır ve yerini ana bileşeni düz kas lifi olan ~100 µm çapındaki arteriyollere bırakır. Arteriyoller küçüldükçe düz kas tabakası giderek azalır ve çapı ~30 µm'den küçük neredeyse kas içermeyen yapılara dönüşür. Bu küçük arteriyoller (~13 µm çapında) ~280 milyar kapillere (10-12 µm çapında) kadar dallanarak milyonlarca alveolü perfüze eden bir kapiller ağ sisteminin parçasını oluşturur (Hall ve Hall, 2020; Graham vd., 2018; Cloutier, 2018; Garcia, 2016; Peracchia, 2014b). Solunum burada gerçekleşir; oksijen alveoler ve kapiller endotel boyunca kırmızı kan hücrelerine geçerken, karbondioksitte kandan alveollere aktarılır. Kapiller duvarlar incedir ve kan ile alveoler hava arasındaki difüzyon mesafesini en aza indiren tek bir endotelial hücre katmanından oluşur. Kapiller ağ tarafından sağlanan geniş yüzey alanı ve alveollere yakınlık etkili gaz değişimini kolaylaştırır. Son olarak kapiller birleşerek venülleri ve ardından pulmoner venleri oluşturur. Her akciğerden iki tane olmak üzere dört pulmoner ven

kapiller seviyede yeni oksijenlenmiş kanı kalbin sol atriyumuna taşıyarak pulmoner dolaşım sistemini tamamlar (Albertine vd., 2021; McKinley vd., 2019; Kandathil ve Chamarchy, 2018; Garcia, 2016). Pulmoner venler gevşek interlobüler bağ dokusu septaları içinde yer alır ve birçok akciğer ünitesinden kan alır. Konvansiyonel (conventional) ve süpernümerer (supernumerary) dallar aracılığıyla kanı sol atriya geri gönderir. Çok sayıda olmaları ve ince duvarları nedeniyle pulmoner venler kan için geniş bir rezerv alanı sağlar. Bu venler değişken pulmoner arteriyel akış karşısında sabit bir sol ventrikül çıkışı sağlayarak kapasitanslarını artırabilmekte veya azaltabilmektedir. Bununla birlikte pulmoner arterlerde olduğu gibi daha büyük pulmoner venler (çapları 50 µm'nin üzerinde) düz kas içerir ve otonom sinir sisteminin sempatik dalları aracılığıyla innerve edilir. Bu damarların çapı, dış bağ dokusu tabakasında (adventitia) bulunan kapsamlı duysal innervasyonları nedeniyle vasküler basınç ve kimyasal uyaranlardaki değişikliklere yanıt olarak uyarılabilir. Bu duysal ağ, damarların mekanik gerilimi ve çeşitli biyo-kimyasal sinyalleri algılamasını sağlayarak optimum kan akışını korumak için damar tonusunda ve direncinde dinamik değişimler yapılmasına olanak tanır (Albertine vd., 2021; McKinley vd., 2019; Graham vd., 2018; Cloutier, 2018; Kandathil ve Chamarchy, 2018; Garcia, 2016).

Bronşiyal dolaşım (sistemik), aorttan gelen oksijenli kanı trakeobronşiyal ağaç yolu boyunca terminal bronşiyollere kadar ileten ve akciğer parankiminin (trakea, ana bronşlar ve visseral plevra) beslenmesini sağlayan yapılardan oluşur (Amorós ve Lluveras, 2023; Albertine vd., 2021; Cloutier, 2018; Kandathil ve Chamarchy, 2018; Suresh ve Shimoda, 2016; Walker vd., 2015). Tipik olarak, sol subklavian arterin 2-3 cm distalinde bulunan interkostal arterlerden çıkan bronşiyal arterler (ikisi solda ve biri sağda) lobar ve segmental bronşlar seviyesinde pulmoner arteriyel dolaşım ile geniş bir anastomoz ağı oluşturur. Bu seviyede beslenen dokulardan ayrılan bronşiyal venöz kanın önemli bir kısmı pulmoner venlere drene olur (Amador vd., 2023; Batihan, 2023; Amorós ve Lluveras, 2023; Walker vd., 2015). Ancak bronşiyal dolaşımdan gelen kan kalbe iki şekilde geri döner. Bronşiyal dolaşımın plörohiler (pleurohilar) kısmından gelen kan (~1/3), azigos ve hemiazygos venleri aracılığıyla vena kava superiora drene olur ve hilum etrafında bir pleksus oluşturur. Bu fraksiyon ne pulmoner dolaşımdan kaynaklanan ne de pulmoner dolaşıma geri dönen normal bir sistemik akış olarak kabul edilir. Oksijeni azalan bu kan alveollerden gelen yeni oksijenlenmiş kanla karışarak sol atriya akar ve venöz karışıma (oksijenli kan ile

oksijensiz kanın karışması) neden olur. Buna karşılık, bronşiyal dolaşımın akciğerde daha periferik olarak dağılan diğer bir fraksiyonu (kalan $\sim 2/3$) postkapiller anastomozlardan geçerek pulmoner venlere katılır. Bu alveoler kapiller ağlardan gelen oksijenli kan ile venöz kanın bir karışımını oluşturarak sol atriyumuna giren venöz karışıma katkıda bulunur. Bronşiyal kan dolaşımı akciğer dokularına ek olarak özofagus, perikardiyuma, mediastinal lenf sistemine, torasik aortun vasa vasorum sistemine ve pulmoner sinirlere de kan taşıyarak dokuların oksijenlenmesine yardımcı olur (Stoller vd., 2024; Albertine vd., 2021; Rodriguez ve Silva, 2021; Lumb ve Thomas, 2020; Thiboutot vd., 2018; Peracchia, 2014b).

Dinlenme halindeyken dolaşımdaki kanın en az %50'si sistemik venlerde, %7-12'si kalp odacıklarında (boşluklarında) ve %9-18'i düşük basınçlı pulmoner dolaşımda bulunur. Toplam kan hacminin yaklaşık %2'sini aort, %8-13'ünü arterler, yaklaşık %6-7'sini arterioller ve kapiller damarlar tutar (Hall ve Hall, 2020; Barrett vd., 2019). Bununla birlikte kardiyak çıkışın neredeyse tamamı sağ ventrikül tarafından pulmoner arteriyel sistem, pulmoner kapiller yatak ve sol atriyumuna drene olan pulmoner venöz sistemden oluşan pulmoner vasküler yatağa yönlendirilir (Graham vd., 2018). Tüm venöz kan sağ ventrikülden akciğerlere pompalandığı için pulmoner kan akışı sağ ventrikülün tüm çıkışını yansıtır. Dolayısıyla dinlenme sırasında pulmoner kan akışı kardiyak çıktıya eşit olan yaklaşık 6 L/dk'dır ve şiddetli egzersiz sırasında bu 25 L/dk'ya kadar çıkabilir (Lumb ve Thomas, 2020; Cloutier, 2018). Pulmoner kapiller yatakta bulunan kan ortalama bir yetişkin erkek için ~ 90 mL ve ortalama bir yetişkin kadın için ise ~ 65 mL'dir (Eyuboglu, 2023; Barrett vd., 2019; Graham vd., 2018; Garcia, 2016). Sonuç olarak yaklaşık 280 milyar kılcıl damardan oluşan bu geniş kılcıl damar ağı, milyonlarca alveolü besleyerek 70 ila 80 m²'lik etkili bir gaz değişim yüzey alanı oluşturur. Birçok kılcıl damar istirahat halinde kapalı olmasına rağmen, egzersiz gibi kan akışının arttığı durumlarda açılarak metabolik talepleri karşılamak üzere aktif hale gelir (Hall ve Hall, 2020; Graham vd., 2018; Cloutier, 2018; Garcia, 2016).

Egzersiz anında kardiyak çıktıdaki artışın bir sonucu olarak akciğerdeki kan hacminde meydana gelen artış iki farklı süreçle gerçekleşir. İlk olarak, kardiyak çıktıdaki artış pulmoner vasküler basıncı yükselttiği için kapalı veya sıkışmış kapiller segmentler aktif hale gelir ve açılır. İkincisi, daha önce açık olan ovuler kapillerin yükselen iç basınçları nedeniyle daha dairesel hale gelerek genişler. Bu baskın

mekanizma yüksek pulmoner arter basınçlarında düşük pulmoner vasküler dirence katkıda bulunarak etkili kan akışına katkıda bulunur (Widrich ve Shetty, 2024; Levitsky, 2022; Langleben vd., 2022; Lumb ve Thomas, 2020; West ve Luks, 2020; Langleben vd., 2019; Cloutier, 2018; Kovacs vd., 2012). Egzersiz anında pulmoner dolaşımda meydana gelen açık kapillerin genişlemesi, sol atriyal basıncın yükselmesi ve pulmoner kapiller hacimdeki artış, pulmoner dolaşımı geliştiren, oksijen değişimini optimize etmede ve egzersiz toleransını desteklemede kritik bir rol oynayan benzersiz bir uyarlanabilir mekanizma oluşturur (Dominelli ve Sheel, 2024; Monahan vd., 2023; Langleben vd., 2022; Lumb ve Thomas, 2020; West ve Luks, 2020; Peters ve Sheel, 2019). Bu süreç, akciğerlerin artan kardiyak çıkışını verimli bir şekilde karşılamasına olanak tanıyarak etkili difüzyonun gerçekleşmesini sağlar.

2.3.1. Pulmoner Arter Basıncı ve Pulmoner Vasküler Direnç

Pulmoner dolaşım sağ atriyumda başlar ve burada deoksijenlenmiş kan triküspit kapakçık yoluyla sağ ventriküle akar. Ardından kan buradan düşük bir basınçla (~15-17 mmHg; sistolik ve diyastolik basınçlar sırasıyla yaklaşık ~25 ve 8 mmHg) pulmonik kapak aracılığıyla pulmoner artere pompalanır. Pulmoner gövde olarak da bilinen ana pulmoner arter yaklaşık 3 cm çapındadır; sağ ventrikülden ~5 cm uzaklıkta sırasıyla sağ ve sol akciğerlere kan sağlayan sağ-sol pulmoner arterlere dallanır. Pulmoner sisteme özgü olan bu arterler azalmış oksijen doygunluğuna sahip kan taşır (Weinberger vd., 2023; Jain vd., 2023; Hall ve Hall, 2020; Lumb ve Thomas, 2020; West ve Luks, 2020; McKinley vd., 2019; Barrett vd., 2019; Xiang ve Hester, 2017; Powell vd., 2016). Bu arterlerdeki kan, giderek küçülen bir dizi dallanan damarlardan (damar çapları: arterler >500 µm, arterioller 10-200 µm, kapiller <10 µm) geçerek çok ince duvarlara ve duvar kalınlıklarına göre büyük iç çaplara sahip yoğun bir kapiller ağda son bulur. Kırmızı kan hücrelerinin oksijenlenmesi, optimum gaz değişimini sağlayan pulmoner kapiller yatak ve alveoller duvarlar arasındaki bir konfigürasyonla gerçekleşir. Oksijenlenen kan alveolü küçük pulmoner venüller (15-500 µm çapında) ve venlerden oluşan bir ağ aracılığıyla terk eder. Ardından bu yapılar birleşerek daha büyük pulmoner venler (>500 µm çapında) aracılığıyla oksijenli kanı kalbin sol atriyumuna taşır (Eyuboglu, 2023; Hall ve Hall, 2020; Garcia, 2016). Hava yollarının dallanma şekillerini yakından takip eden arterler, arterioller ve kapillerin aksine, venüller ve venler hava yollarından oldukça uzakta seyreder (McKinley vd., 2019). Pulmoner sistemdeki arterler, sistemik arterlere kıyasla çok daha ince duvarlara ve

daha az düz kaslara sahiptir, bu da kan akışına karşı daha düşük dirençle sonuçlanır (Weinberger vd., 2023; Jain vd., 2023; Hall ve Hall, 2020; Lumb ve Thomas, 2020; West ve Luks, 2020). Buna ek olarak, pulmoner arterler sistemik arterlere kıyasla yedi kat daha fazla kompliyans ile daha fazla genişleyebilir (distensibil) ve sıkıştırılabilir özelliğe sahiptir. Bu yüksek kompliyans, sol ventrikülden daha az kaslı olan sağ ventrikülün nispeten “zayıf” pompalama eylemi yoluyla pulmoner dolaşımdan kan akışına yardımcı olan düşük çabalı az dirençli bir dolaşım sistemine izin verir (Lumb ve Thomas, 2020; McKinley vd., 2019). Pulmoner arter ve sol atriyum arasındaki basınç gradyanı sadece yaklaşık 8 mmHg’dır (pulmoner arterde ~14-15 mmHg ve sol atriyumda ~5-8 mmHg). Buna karşın, aort ve sağ atriyum arasındaki basınç gradyanı yaklaşık 92 mmHg’dır (aort ~90-100 mmHg ve sağ atriyumda ~2-3 mmHg). Bununla birlikte sistemik sistemdeki aort basıncı pulmoner sistemdeki pulmoner arter basıncından yaklaşık altı kat daha fazladır. Ancak sağ (~2-3 mmHg) ve sol (~5-8 mmHg) atriyumlardaki basınçlar birbirinden çokta farklı olmamakla birlikte pulmoner ve sistemik sistemlerin girişinden çıkışına kadar olan basınç farkları yaklaşık 84 mmHg’lık bir gradyan sergiler (yaklaşık 10 kat) (Lumb ve Thomas, 2020; West ve Luks, 2020; Barrett vd., 2019).

Pulmoner arter veya pulmoner venöz basınçtaki potansiyel bir artış genellikle pulmoner vasküler dirençte kayda değer bir azalmayla sonuçlanır çünkü kapiller basınç arttıkça hem aktivasyon hem de distansiyon meydana gelir (Hall ve Hall, 2020; Powell vd., 2016). Bununla birlikte pulmoner vasküler direnç; pulmoner intravasküler basınç, akciğer hacmi, yerçekimi, düz kas tonusu ve alveoler hipoksi dahil olmak üzere çeşitli mekanizmalardan etkilenebilir (Hall ve Hall, 2020; Lumb ve Thomas, 2020; Cloutier, 2018; Powell vd., 2016). Atmosferik basınca göre dolaşımın herhangi bir noktasındaki basıncı ifade eden pulmoner intravasküler basınç, artmış kan akışını karşılamak için egzersiz sırasında olduğu gibi artmış kardiyak çıkışa karşı adapte olmalıdır. Bu adaptasyon, ancak pulmoner vasküler direnci azaltan kapiller aktivasyon ve kapiller distansiyon gibi mekanizmalar yoluyla pulmoner vaskülatürün artan ileri akımı düzenlemesine izin vererek gerçekleşir. Bu mekanizmalar, özellikle akciğerin apeksinde diğer bir ifadeyle bölge 1’deki kapalı olan kapillerin açılmasını (aktivasyonunu) ve artan kan akışını karşılamak için mevcut kapillerin genişletilmesini (distansiyonunu) içerir. Pulmoner kapillerin bu adaptasyon yeteneği pulmoner intravasküler basınç ve pulmoner vasküler direnç için ters orantılı bir ilişkinin

olduğunu ifade eder (Langleben vd., 2022; Hall ve Hall, 2020; Domenech-Ximenes vd., 2020; Lumb ve Thomas, 2020; Thenappan vd., 2018; Xiang ve Hester, 2017; Powell vd., 2016).

Akciğer hacmi, ilgili damarların türüne bağlı olarak vasküler direnci etkiler. Düz kas ve elastik dokuya sahip ekstra alveoler damarlar, yüksek akciğer hacimlerinde çaplarını artırarak direnci azaltır. Bu nedenle, büyük akciğer hacimlerinde vasküler direnç oldukça düşüktür. Bunun aksine düşük akciğer hacimleri anında, damar esnekliğinin karşı konulamayan etkisi nedeniyle yüksek direnç ortaya çıkar. Alveoler duvarlardaki kapiller akciğer distansiyonunun miktarını belirleyen transmural basınçtan (damar içi ve çevresindeki dokunun basınç farkı) etkilenir ve dolayısıyla alveoler basınç akciğer bölgeleri arasında değişkenlik gösterir. Alveoler basınç bölge 1'de (apekslere yakın) en yüksek ve bölge 3'te (tabanlara yakın) en düşüktür. İnspirasyon sırasında alveoler basınç yükselir ve çevredeki alveoler kapilleri sıkıştırır. İnspirasyonda sağ kalp dönüşünün artmasıyla alveoler duvarların gerilmesi ve incilmesi kapiller kalibreyi azaltır ve pulmoner vasküler direnci artırır. Bunun bir sonucu olarak pulmoner vasküler direnç ölçüldüğünde toplam akciğer kapasitesinde en yüksek, rezidüel hacimde yüksek ve fonksiyonel rezidüel kapasitede ise en düşük olarak belirlenir (Weinberger vd., 2023; Hall ve Hall, 2020; Lumb ve Thomas, 2020; West ve Luks, 2020; Barrett vd., 2019; Powell vd., 2016; Garcia, 2016). Bununla birlikte muhtemelen bu büyük intratorasik basınç değişimleri merkezi hemodinamiği ve pulmoner vaskülatürdeki kan akışını değiştirerek V_c ve/veya ventilasyon dağılımını da önemli ölçüde etkileyebilir (Jorgenson vd., 2018; Powell vd., 2016; Garcia, 2016).

Pulmoner dolaşım, yerçekimi kuvvetinden önemli ölçüde etkilenen düşük basınçlı ve düşük dirençli bir sistem olarak çalışır ki bu da akciğer bölgelerinde farklı bir kan akışı dağılımına yol açar. Kan akışı ayakta duran bir kişide akışın minimum hatta belirli koşullar altında sıfır olabileceği apeksten maksimum olduğu tabana (bölge 3) doğru artan doğrusal bir gradyan sergiler. Benzer şekilde bir kişi sırtüstü yatarken kan akışı akciğer boyunca daha homojen hale gelir ancak posterior bölgeler hala anterior bölgelere kıyasla daha yüksek akış sergiler (Levitsky, 2022; West ve Luks, 2020; Wieslander vd., 2019; Handa, 2019). Egzersiz gibi stres koşulları altında, ayakta apikal ve bazal bölgelerdeki kan akışı farkı, temel olarak kan akışındaki ve arteriyel basınçtaki artış nedeniyle daha az olur (Lumb ve Thomas, 2020; Roy ve Secomb, 2019; Langleben vd., 2019; Wright vd., 2019). Akciğerin apeksi ile tabanı arasında

ortalama 30 cm yükseklik farkı vardır ve aralarındaki basınç farkı ~ 30 cmH₂O veya 23 mmHg'dır (1 mmHg = 1,36 cmH₂O) (kalp seviyesinden akciğerin apeksine doğru -15 mmHg ve tabanına doğru +8 mmHg) (Hall ve Hall, 2020; West ve Luks, 2020). Bu basınç farkı, pulmoner arterlerdeki basıncın kalbin üzerindeki her santimetre yükseklik için yaklaşık 0,74 mmHg azaldığı hidrostatik basınç farklılıklarından kaynaklanır (Cloutier, 2018). Bu damarlardan geçen akış perfüzyon basıncına bağlı olduğundan, tabanlardaki kapiller ağ apekslerdeki kapillerden çok daha fazla akış alır. Bu da akciğer tabanında akciğer tepesine kıyasla yaklaşık 5 kat daha fazla kan akışına neden olur (Jain vd., 2023; West ve Luks, 2020). Pulmoner kan akışı modeli, pulmoner arter basıncı (Pa), venöz basınç (Pv) ve alveoler basınç (PA) arasındaki ilişkilere dayanarak akciğeri üç bölgeye ayırır. Apekte bulunan bölge 1, PA'nın (normalde atmosfer basıncına yakın) hem Pa hem de Pv'yi aştığı bölgedir ($PA > Pa > Pv$, akış yok). Bu bölgedeki yüksek eksternal PA, kapilleri baskılar ve düz bir şekilde kapanmasına neden olarak kan akışını ciddi derecede engeller ya da imkansız hale getirir. Bu durum tipik olarak normal koşullar altında meydana gelmez çünkü pulmoner arter basıncı kanı akciğerin apeksine kadar çıkartmak için yeterlidir ancak arter basınç düştüğünde (örneğin, şiddetli kanamayı takiben) veya alveoler basınç normalden daha fazla yükseldiğinde (pozitif basınçlı ventilasyon sırasında) ortaya çıkabilir. Bu koşullar altında etkilenen alveoller, yetersiz gaz değişimiyle akciğerlerin iyi havalandırıldığı ancak yeterince perfüze edilmediği fizyolojik ölü boşlukların (alveoler ölü boşluk) bir parçası haline gelir. Bölge 2, hidrostatik etki nedeniyle Pa'nın PA'yı aştığı ancak Pv'nin hem Pa'dan hem de PA'dan daha düşük olduğu akciğerin üst üçte birlik kısmını temsil eder ($Pa > PA > Pv$, akış $Pa - PA$). Bu koşullar altında kan akışı için itici güç, pulmoner arter basıncı ile pulmoner venöz basınç arasındaki farktan ziyade pulmoner arter basıncı ile alveoler basınç arasındaki fark tarafından belirlenir. PA, Pv'yi aştığından, daha yüksek bir eksternal PA aşağı akım kapillerini kısmen daraltarak venöz sisteme girmeden önce kan akışını yavaşlatan bir "barajlama" etkisi (şelale etkisi) yaratır. Bölge 3, hem Pa hem de Pv'nin PA'yı aştığı akciğerin alt bölgelerinden oluşur. Bu bölgede kan akışı, arteriyel ve venöz basınçlar arasındaki farktan kaynaklanan tipik basınç gradyanını takip eder ($Pa > Pv > PA$, akış $Pa - Pv$). Akciğerin bu bölgesindeki artmış kan akışı, büyük ölçüde kapillerin genişlemesinden kaynaklanır. Dışarıdaki basınç (alveoler) sabit kalırken arteriyel ve venöz basınçlar arasında kalan kapiller içi basınç bölgenin aşağısına doğru artar ki bu alveoler basınç tarafından üretilen damarların sıkışmasını azaltarak akciğerlerin tabanına doğru pulmoner kan

akışını artırır (Stoller vd., 2024; Weinberger vd., 2023; Levitsky, 2022; Hall ve Hall, 2020; Rodriguez ve Silva, 2021; Lumb ve Thomas, 2020; West ve Luks, 2020; Prisk, 2020; Barrett vd., 2019; Graham vd., 2018; Cloutier, 2018; Xiang ve Hester, 2017; Garcia, 2016). Pulmoner vasküler direnç bölge 1’de en yüksektir çünkü yüksek alveoler basınç alveoler-kapiller membran üzerinde içe doğru transmural basınç uygulayarak kapillerin kollabe olmasına ve direncin yükselmesine neden olur. Buna karşılık pulmoner vasküler direnç, arteriyel basıncın alveoler basıncı aştığı, damarları genişleten ve direnci azaltan dışa doğru transmural basıncın arttığı bölge 3’te en düşüktür. Normal şartlar altında ve ayaktaiken, akciğerlerin çoğu bölge 2 ve 3 olarak adlandırılan alanlarda işlev görür. Ancak pulmoner dolaşımın akciğerler içindeki kan akışının bölgesel dağılımını kontrol etme kabiliyeti sınırlıdır ve akciğerlerin bağımlı bölgelerinin aşırı perfüzyonuna bağlı olarak farklı şekillerde etkilenebilir (Stoller vd., 2024; Weinberger vd., 2023; Levitsky, 2022; Hall ve Hall, 2020; Rodriguez ve Silva, 2021; Lumb ve Thomas, 2020; Barrett vd., 2019; Xiang ve Hester, 2017; Garcia, 2016). Dolayısıyla pulmoner kan akışının heterojen dağılımının gaz alışverişi için önemli sonuçları vardır ve bunlar bölüm 2.4’te ele alınmıştır.

Pulmoner vasküler direnç, sistemik vasküler dirence kıyasla oldukça düşüktür ve bu özellik pulmoner arter ve venlerin farklı morfolojik ve fonksiyonel özelliklerinden kaynaklanır (Widrich ve Shetty, 2024; Lumb ve Thomas, 2020). Pulmoner arterler, benzer çaptaki sistemik damarlara kıyasla oransal olarak daha az düz kas içerir, bu da pulmoner dolaşımdaki daha düşük vasküler tonusa ve daha yüksek kompliyansa katkıda bulunur. Bu daha düşük düz kas içeriği, pulmoner damarların medial tabakasındaki düz kasın düzensiz dağılımı ile birleştiğinde, pulmoner dolaşımın düşük direncinin korunmasında merkezi bir rol oynar (Hall ve Hall, 2020). Pulmoner arter gövde ve ana dalları gibi çapları 2 mm’den büyük olan peri-bronşiyal arterler hem elastik hem de kaslıdır. Pulmoner arterler daha küçük damarlara dallandıkça, kademeli olarak kaslı arterlerden daha elastik alveoler arterlere geçiş yapar. Yüksek elastik yapıdaki ekstra alveoler arterler, pulmoner vasküler direnci nöral, humoral (adrenalin ya da nitrik oksit gibi kan dolaşımındaki kimyasal haberciler) veya gaz mediatörleri aracılığıyla kontrol eder. Azalan düz kas hücresi ve artan esnekliğin kombinasyonu, kan akışındaki dalgalanmalara etkili bir uyumun sağlanmasına olanak tanıyarak basınçtaki değişikliklere karşı benzersiz bir tolerans sağlar (Widrich ve Shetty, 2024; Naeije vd., 2022; Hall ve Hall, 2020; Guigui vd.,

2020; Garcia, 2016; Ghio vd., 2015). Özellikle pulmoner arterler, venlere göre daha fazla düz kas içerir ve bu nedenle vazoaaktif mediatörlerin etkisinde daralmanın en çok görüldüğü bölgelerdir. Serotonin, epinefrin, norepinefrin, histamin, adenosin, nörokinin A, endotelin, anjiyotensin, tromboksan A, prostaglandinler ve lökotrienler gibi çeşitli faktörler, sempatik sinir sistemini aktive ederek, öncelikle $\alpha 1$ -adrenerjik reseptörlerin uyarılması yoluyla düz kas kasılmasını indükleyebilir ve pulmoner vasküler direnci artırabilir, bu da pulmoner vazokonstriksiyona yol açar (Widrich ve Shetty, 2024; Gardenhire, 2024; Meki vd., 2023; Gao, 2022; Clark, 2022; Méndez-Barbero vd., 2021; Bosch-Rué vd., 2020; Prisk, 2020; Li vd., 2018; Suresh ve Shimoda, 2016).

Sonuç olarak pulmoner dolaşımın düşük direnci, azalmış düz kas içeriği ve damarların yüksek kompliyansı gibi yapısal özelliklerinin yanı sıra yukarıda bahsedilen vazokonstriktör faktörlerin dengesi sayesinde korunur. Bu benzersiz özellikler, pulmoner dolaşımın, pulmoner arter basıncını kritik ölçüde yükseltmeden, egzersiz anında da olduğu gibi kan hacmindeki büyük artışları karşılamasına izin verir. Ancak hipoksiye kronik olarak maruz kalmak, özellikle küçük pulmoner arterlerde vasküler yeniden şekillenmeyi tetikleyerek düz kas içeriğinde artışa ve pulmoner hipertansiyonun ayırt edici özelliği olan hipoksik pulmoner vazokonstriksiyonda (pulmoner vasküler dirençte) yükselmeye yol açabilir. Alveoler hipoksiye yanıt olarak, tetiklenen düz kas kasılması etkilenen akciğer bölgelerini besleyen arteriyollerin vazokonstriksiyonuna yol açar. Bu homeostatik mekanizma kan akışını akciğerlerin daha az havalandırılan bölgelerinden daha iyi havalandırılan bölgelerine doğru yeniden dağıtır, böylece VA/Q oranını dengeler ve ortaya çıkan hipoksemiye hafifleterek etkili gaz iletimine yardımcı olur (Widrich ve Shetty, 2024; Bousseau vd., 2023; Chai vd., 2022; Marquis, 2022; Farrell ve Curley, 2021; Licker vd., 2021; Hall ve Hall, 2020; Olschewski vd., 2018). Bununla birlikte bu mekanizmaların kılcal damar yatağı genişleterek ve dolayısıyla yüzey alanını ve eritrosit geçiş süresini artırarak sistemik hipoksemi ve/veya lokal hipoksinin etkilerini hafifletme ve egzersiz toleransının iyileştirilmesine katkıda bulunma potansiyeli de mevcuttur (Durand vd., 2020; Kissane ve Egginton, 2019; Laughlin vd., 2012). Bu nedenle, düşük direnci ve yüksek kompliyansı sayesinde pulmoner dolaşım, kan akışındaki dalgalanmaları yönetmeye iyi adapte olmuştur ancak yine de bu adaptasyon yeteneği, hipoksik pulmoner vazokonstriksiyonun dolayısıyla pulmoner vasküler direncin arttığı

koşullarda difüzyon için sınırlayıcı bir faktör haline gelen patolojik durumların üstesinden gelemeyebilir (Bousseau vd., 2023; Weinberger vd., 2023; Chai vd., 2022; Naeije vd., 2022; Licker vd., 2021; Durand vd., 2020).

2.3.2. Pulmoner Arter Basıncı ve Vasküler Direncin Egzersiz Toleransı

Akciğerler, tüm kardiyak çıktıyı karşılayabilmeleri bakımından benzersiz yapılardır (Dominelli ve Sheel, 2024; Langleben vd., 2022). Dinlenme koşullarında, pulmoner dolaşımdaki basınçlar nispeten düşük kalır; ancak yoğun egzersiz sırasında, kardiyak çıktıdaki belirgin artış pulmoner vasküler direnci artırabilir, bu da sağ ventriküle baskı uygulayabilir ve alveoler-kapiller bariyerin bütünlüğünü bozabilir (Dominelli ve Sheel, 2024; Gargani vd., 2023; Thenappan vd., 2018; Tran vd., 2018). Pulmoner arter sistemi içindeki ortalama basınç dinlenik durumda yaklaşık 14 mmHg'dır ve egzersizde 20 mmHg'ya yükselir, pulmoner vasküler direnç ise 1,43 mmHg/L/dk'dan 0,62 mmHg/L/dk'ya kadar düşer (Langleben vd., 2022; Graham vd., 2018). Dolayısıyla artan kardiyak çıktıya karşı pulmoner vasküler yanıtlardaki değişkenlik, egzersiz toleransını belirlemede ve uzun vadeli kardiyovasküler sağlık sonuçlarını etkilemede kritik bir rol oynayabilir (Dalen vd., 2024; Domenech-Ximenes vd., 2020; Forton vd., 2020; Naeije ve Chesler, 2012).

Özellikle kardiyak çıktı arttığında, normal pulmoner vaskülatür pulmoner kapiller yatakta gerçekleşen bir dizi adaptasyon sonucunda akıştaki artışı idare edebilir (Hall ve Hall, 2020; Domenech-Ximenes vd., 2020; Xiang ve Hester, 2017; Garcia, 2016). Bu süreç üç temel mekanizma ile sağlanır. İlk olarak, pulmoner vaskülatürün düşük direnci, pulmoner arter basıncında minimum yükselme ile kan akışında yaklaşık altı kat artışa kadar izin verir. Bu durum daha önce kapalı olan kapillerin devreye girmesi ve diğer damarların şişmesi veya kalibresinin artması yoluyla gerçekleştirilir. Bu değişiklikler gaz difüzyonu için mevcut yüzey alanını genişletir ve egzersiz sırasında düşük vasküler direncin korunmasına katkıda bulunur (Dominelli ve Sheel, 2024; Langleben vd., 2022; Hall ve Hall, 2020; Domenech-Ximenes vd., 2020; Xiang ve Hester, 2017). İkincisi, pulmoner arter basıncının yoğun egzersiz anında akciğerlerde yedi kata kadar artan kan akışına karşı uyum sağlama yeteneğidir. Bu durum, kan akışına yönelik kapiller aktivasyon ve distansiyon kapasitesine (her bir kapilden geçen kan akış hızının iki kat artması) ulaşıldığında ortaya çıkar. Bununla birlikte akciğerlerin egzersiz anında pulmoner arter basıncını artırmadan büyük ölçüde artan kan akışını karşılama yeteneği kalbin sağ tarafının enerjisini korur. Ayrıca, bu

mekanizma pulmoner vasküler direnci aşamalı olarak azaltarak kapiller aşırı yüklenmeyi önler, böylece pulmoner ödem riskini en aza indirir ve artan kan akışı taleplerine etkili bir adaptasyon sağlar (Dominelli ve Sheel, 2024; Jain vd., 2023; Langleben vd., 2022; Hall ve Hall, 2020; Naeije ve Chesler, 2012). Hind ve diğerleri (2025), akciğer ödemi gelişimini optimize etmek için tasarlanmış koşullar altında (örneğin yüksek eğitilmiş sporcuların maksimal egzersize yakın egzersize tabi tutulması gibi) ne erkeklerde ne de kadınlarda akciğer ödemi kanıtı gözlenmediğini raporlamıştır. Bu bulgu, pulmoner vaskülatürün yoğun egzersiz anında yüksek eğitilmiş sporcuların yüksek kardiyak çıktılarını dayanmak için gereken yapısal bütünlüğe sahip olduğunu göstermektedir (Hind vd., 2025). Son olarak olarak, lenfatik sistem akciğerlerde artan su döngüsünün yönetilmesinde çok önemli bir rol oynar. Lenfatik drenaj sistemi, akciğer interstisyel boşluklarından fazla sıvıyı verimli bir şekilde temizleyerek, kardiyak çıktının yüksek olduğu durumlarda bile alveollerin kuru kalmasına yardımcı olur. Plazmanın kılcal damarlardan interstisyuma doğru dışa akışı da egzersiz sırasında artarak sıvının alveollere girmesini önler ve böylece gaz değişimi için en uygun koşullar korunmuş olur (Dominelli ve Sheel, 2024; Jain vd., 2023; Miserocchi ve Beretta, 2023; Miserocchi, 2023; Langleben vd., 2022).

Diğer taraftan dirençte meydana gelen bu artışlar, kan akışını az oksijenli bölgelerden daha yüksek oksijen seviyelerine sahip alanlara yönlendirerek ventilasyon-perfüzyon eşleşmesini optimize eder. İyileştirilmiş VA/Q oranı, genel pulmoner gaz değişim verimliliğini artırarak kanın daha iyi oksijenlenmesini sağlar. Direnç artışının aracılık ettiği pulmoner vazokonstriksiyon ayrıca hipoksik bölgelere kan akışını en aza indirerek oksijenlenmeyecek perfüzyon kaybını önlemeye yardımcı olur ki bu fizyolojik ölü boşluğu azaltır. Bu adaptif mekanizma sadece optimal VA/Q oranlarının korunmasına katkıda bulunmakla kalmaz, aynı zamanda alveoler kapiller üniteler arasında kan akışının daha homojen dağılımını sağlayarak difüzyon kapasitesinin artırılmasında kritik bir rol oynar (Hopkins ve Stickland, 2023; Weinberger vd., 2023; Farrell ve Curley, 2021; Yamaguchi, 2020a; Yamaguchi, 2020b; Hopkins, 2020). Önceki araştırmalar pulmoner dolaşımdaki bu adaptasyonların, egzersiz anındaki yüksek kardiyak çıktı yanıtlarına rağmen pulmoner arter basıncını önemli ölçüde yükseltmeden verimli gaz alışverişinin sürdürülmesine yardımcı olduğunu raporlamıştır (Dominelli ve Sheel, 2024; Peters vd., 2023; Dempsey vd., 2020; Zavorsky ve Smoliga, 2017). Lalande ve diğerleri (2012), yüksek

egzersiz yoğunluklarında V_c 'de meydana gelen artışın, kapiller aktivasyondan ziyade esas olarak kapiller dilatasyondan kaynaklandığını bildirmiştir (Lalande vd., 2012). Bu durum, egzersiz anında pulmoner dolaşımdan daha fazla kan akışını kolaylaştıran kapiller çapta artış olduğuna ve bunun da pulmoner vasküler direnci azalttığına dair kanıtlarla desteklenmektedir (Dominelli ve Sheel, 2024; Peters vd., 2023; Dempsey vd., 2020; Lalande vd., 2012). Özellikle, en yüksek V_c 'ye sahip bireylerin aynı zamanda en yüksek maksimal oksijen alımını sergilemesi, sağlıklı bireylerde pulmoner vasküler gerilebilirlik ile aerobik egzersiz kapasitesi arasında bir bağlantı olduğunu düşündürmektedir (Lalande vd., 2012). Benzer şekilde, toplum temelli geniş bir yetişkin kohortunda, daha yüksek pulmoner difüzyon kapasitesi gelişmiş egzersiz performansı ile ilişkilendirilmiştir. Çalışmada ayrıca daha yüksek pulmoner vasküler hacme sahip bireylerin daha yüksek VO_{2pik} kapasitesi sergileme eğiliminde olduğunu ve bunun da daha güçlü bir aerobik fitness seviyesine işaret ettiğini belirtilmiştir (McNeill vd., 2022). Son çalışmalar, sağlıklı bireylerde gelişmiş VO_{2pik} kapasitesinin pulmoner vasküler yatağın miktarında (pulmoner kapiller kan hacmi), aktivasyonunda (kapalı kapillerin devreye girmesi) ve etkinliğinde (egzersiz anındaki difüzyon kapasitesi) meydana gelen iyileşmelerle ilişkili olduğunu raporlamıştır (Faoro ve Forton, 2020; Stewart vd., 2018; Zavorsky ve Smoliga, 2017; Coffman vd., 2017; Al Dandachi vd., 2014). Sonuç olarak egzersiz anında pulmoner kapiller membrandan etkili bir oksijen alımı normal bir difüzyon kapasitesinin (Peters vd., 2023; Roy ve Secomb, 2014) yanı sıra ventilasyonu-perfüzyonu eşleştirmek için sağlam bir pulmoner vasküler sistem gerektirir (Peters vd., 2023; Roy ve Secomb, 2019).

2.4. Sporcularda Dolaşım-Solunum Sınırlamaları

Dolaşım-solunum sınırlamaları, bir sporcunun yüksek yoğunluklu egzersizi sürdürme kapasitesini önemli ölçüde etkileyebilir. Kardiyovasküler kapasitenin aksine, sağlıklı genç sporcuların kardiyopulmoner sistemi genellikle yüksek yoğunluklu dayanıklılık egzersizleri için önemli bir sınırlayıcı faktör olarak görülmez. Bunun nedenleri olarak, akciğerlerin optimum gaz değişimi için gerekli geniş yüzey alanlarına sahip olması, kan-gaz bariyerinin ince olması, laminer hava akışını arttırmak için β_2 -adrenerjik reseptörler tarafından zengin bir şekilde innerve edilen hava yollarının varlığı gibi çeşitli fizyolojik değişkenler olduğu düşünülür. Bununla birlikte, yorucu dayanıklılık egzersizleri anında artan ventilasyon ve gaz değişim gereksinimlerini karşılamada etkili olan, yüksek oksidatif kapasiteye sahip solunum

kaslarının yeterliliği de bu durumu destekleyen diğer önemli fizyolojik faktörlerden biri olabilir (Dominelli ve Sheel, 2024; Panza vd., 2024; Peters vd., 2023; Allado vd., 2022; Welch vd., 2020; Phillips ve Stickland, 2019). Fakat yüksek yoğunluklu egzersizler anında artan kardiyak çıktıların kardiyovasküler ve pulmoner sistem üzerinde önemli stres faktörlerini tetikleyerek kan akış dağılımını bozabileceği ve alveoler-kılcal bariyerin bütünlüğünü tehlikeye atabileceği göz ardı edilmemelidir (Dominelli ve Sheel, 2024; Allado vd., 2022; Dempsey vd., 2020; Phillips ve Stickland, 2019; Dempsey, 2019). Bir akciğer bölgesindeki perfüzyon alveoler ventilasyonu aştığında kan tam olarak oksijenlenmez ve bu da VA/Q uyumsuzluğuna neden olan A-aDO₂ değerinde bir artışa yol açarak hipoksemiye şiddetlendirir (Hopkins ve Stickland, 2023; Peters vd., 2023; Hsia vd., 2016). Pulmoner gaz değişim etkinliğinin birincil ölçüsü olan A-aDO₂, alveoler gazdaki ile arteriyel kandaki parsiyel oksijen basıncı arasındaki uyumsuzluğu yansıtır (Peters vd., 2023). Araştırmalar, VA/Q uyumsuzluğu, fizyolojik şantlar (intrapulmoner veya intrakardiyak), hızlı kırmızı hücre geçiş süresi veya geçici pulmoner ödeme bağlı difüzyon kısıtlaması gibi faktörlerin belirli koşullar altında A-aDO₂'yi artırarak (>25-30 mmHg) egzersize bağlı arteriyel hipoksemiye (EIAH) ve dolayısıyla solunum kas yorgunluğuna katkıda bulunabileceğini raporlamıştır (Stickland ve Hopkins, 2025; Dominelli ve Sheel, 2024; Crispino vd., 2024; Mark vd., 2024; Peters vd., 2023; Shiffman vd., 2023; Reinhard vd., 2023; Weinberger vd., 2023; Petek vd., 2021; Durand vd., 2020; West ve Luks, 2020; Dominelli ve Sheel, 2019; Twomey vd., 2017; Dominelli vd., 2017a).

Egzersiz anında kötüleşen hipoksemi, kapiller yataktaki normal vazodilatasyon hacminin sınırlı olmasından kaynaklanabilir; bu da egzersizle ilişkili artmış kardiyak çıkışı karşılamak için gereken yeni pulmoner kapillerin aktivasyonunu kısıtlayarak gaz değişim sınırlamalarına yol açan VA/Q anormalliklerine katkıda bulunabilir (Stickland ve Hopkins, 2025; Weinberger vd., 2023; Hopkins ve Stickland, 2023; Gallardo-Vara vd., 2023; Phillips vd., 2020; Hopkins, 2020). Araştırmalar özellikle iyi antrenmanlı dayanıklılık sporcularının deniz seviyesinde (Hind vd., 2025; Hind, 2023; Granger vd., 2020; Constantini vd., 2017) ve irtifa koşulları (Rabin vd., 2021; Rabin vd., 2020) altında gerçekleştirdiği maksimal egzersizler anında artmış EIAH'ye (O₂ saturasyonunda dinlenmeye göre >%5 azalma) neden olarak VO_{2maks} performanslarının sınırlandığını göstermiştir. Bununla birlikte yapılan bir çalışma, 25 yaşındaki elit bir erkek bisikletçinin iş yükünün arttıkça arteriyel hipoksemisinin

giderek kötüleştiğini (normal bireylerde görülmeyen bir yanıt), egzersiz sonunda ise elde edilen arteriyel kan gazları değerlerinin (pH: 7,18, P_aCO_2 : 30 mmHg, P_aO_2 : 81 mmHg ve SaO_2 : %88) ciddi EIAH'nin varlığını işaret ettiğini bildirmiştir (Petersson ve Glenn, 2014). Ortaya çıkan bu bulgular arteriyel kan gazı homeostazının egzersiz anında, özellikle dayanıklılık sporcularında bile her zaman mükemmel şekilde korunmadığını ifade etmektedir (Peters vd., 2023).

Son olarak araştırmalar uzun süreli şiddetli egzersiz anında ($>80\% VO_{2max}$) yetersiz hiperventilasyonun (maksimum metabolik talepleri karşılayamayan), A-aDO₂'ye bağlı hipoksemiye uyararak (Dominelli ve Sheel, 2024; Schwartz vd., 2021; Hicks ve Wang, 2021; Phillips ve Stickland, 2019; Constantini vd., 2017) bir egzersiz görevi sırasında toplam iş miktarında azalmaya ve aktif lokomotor kaslara giden oksijen iletimini bozan solunum kas yorgunluğunun artmasına/hızlanmasına katkıda bulunabileceğini raporlamıştır (Reinhard vd., 2023; Peters vd., 2023; Phillips ve Stickland, 2019; Sheel vd., 2018; Constantini vd., 2017; Twomey vd., 2017; Romer vd., 2007). Son olarak solunum kas yorgunluğu ve/veya solunum işindeki büyük artışların da, lokomotor kas O₂ iletimini azaltarak egzersiz performansını olumsuz etkilediğini belirtmek önemlidir (Rodrigues ve McConnell, 2024; Peters vd., 2023; Welch vd., 2018; Dominelli vd., 2017a; Xiang ve Hester, 2017).

2.4.1. Ventilasyon-Perfüzyon Uyumsuzluğu

Ventilasyon-perfüzyon uyumsuzluğu, akciğerler boyunca hava ve pulmoner kan akışının homojen olmayan dağılımını tanımlamak için kullanılan bir terimdir (Mark vd., 2024; Weinberger vd., 2023; Clark, 2022). Uyumsuzluk genellikle ventilasyon ve perfüzyon arasında bir dengesizlik olduğunda ortaya çıkar ve fizyolojik koşullara bağlı olarak bozulmuş gaz değişimlerine katkıda bulunur (Sageer ve Rozario, 2024; Mark vd., 2024; Panza vd., 2024; Clark, 2022; Farrell ve Curley, 2021; Aboussouan, 2021; West ve Luks, 2020; Yamaguchi, 2020a). Ventilasyon-perfüzyon (VA/Q) oranı, alveoler ventilasyonun (VA) pulmoner kapiller kan akışıyla (Q) eşleşmesini yansıttığı için akciğerlerdeki gaz değişim verimliliğinin önemli bir belirleyicisidir (Stickland ve Hopkins, 2025; Mark vd., 2024; Weinberger vd., 2023; Marquis, 2022; Marquis vd., 2021; Cohen, 2021; Pruitt, 2021; Prisk, 2020; Lumb ve Thomas, 2020; Yamaguchi, 2020a; Hopkins, 2020; Jindal, 2019). VA/Q oranı, dakikada alveollere ulaşan hava hacminin (alveoler ventilasyon) pulmoner kapillerden akan kan hacmine (perfüzyon) bölünmesiyle (alveoler ventilasyon ÷ pulmoner kan akışı) hesaplanır. Dinlenme

koşullarında, alveoler ventilasyon dakikada yaklaşık 4,2 L iken pulmoner kan akışı (kardiyak çıktı) dakikada 5 L'dir ($4,2 \div 5,0$) ve bu da $\sim 0,8$ 'lik bir VA/Q oranını gösterir. Bu oran, pulmoner kapiller damarlardan geçen her litre kan için 0,8 litre havanın alveolleri havalandırdığını gösterir ki bu noktada P_{AO_2} ve P_{ACO_2} değerleri ideal değerler olan 100 ve 40 mmHg'ya eşittir (Stickland ve Hopkins, 2025; Saklica, 2023; Farrell ve Curley, 2021; Cohen, 2021; Lumb ve Thomas, 2020). Ventilasyonun olmadığı ancak perfüzyonun normal olduğu bir senaryoda VA/Q oranı sıfır olarak kabul edilir (çünkü sıfırın herhangi bir sayıya bölümü sıfırdır), perfüzyonun olmadığı ancak ventilasyonun normal olduğu ters senaryoda ise VA/Q oranı sonsuza (∞) yaklaşır (çünkü sıfıra bölünen her şey sonsuzdur). VA/Q oranı sıfır olan ventilasyonsuz alveollerin PO_2 ve PCO_2 değerleri karışık venöz kandaki gazların parsiyal basınçlarıyla (PvO_2 40mmHg ve $PvCO_2$ 45mmHg) benzerdir. Bunun nedeni ventilasyonsuz alveollerde hapsolmuş havanın karışık venöz kanla dengelenmesidir. Diğer taraftan, VA/Q oranının sonsuza yaklaştığı perfüzyonsuz alveollerde, gaz değişimini kolaylaştıran ve solunan gazların bileşimini değiştiren her hangi bir kan akışı olmadığından, PO_2 ve PCO_2 değerleri solunan hava ile aynı değerler gösterir (Weinberger vd., 2023; Peyton, 2021; Cohen, 2021; Lumb ve Thomas, 2020; West ve Luks, 2020; Arroyo ve Schweickert, 2015). VA/Q oranı tipik olarak tabanda $\sim 0,3$ - $0,6$, apekte yaklaşık ~ 2 - 3 ve akciğerlerin orta bölgelerinde en uygun değer olan $1,0$ 'a yakındır (McArdle vd., 2023; Levitsky, 2022; Cohen, 2021; Pruitt, 2021). Sağlıklı bir bireyde VA/Q oranı, akciğer içindeki ventilasyon ve perfüzyon dağılımındaki farklılıklar nedeniyle önemli bölgesel değişiklikler gösterebilir (Sageer ve Rozario, 2024; McArdle vd., 2023; Phyu vd., 2023; Cohen, 2021; Lumb ve Thomas, 2020). Araştırmalar dinlenme halindeki gaz değişim gereksinimlerini karşılamak için $0,5$ üstü ventilasyon-perfüzyon oranının yeterli olabileceğini raporlamıştır (McArdle vd., 2023; Levitsky, 2022).

Akciğerin apeksinde hem ventilasyon hem de perfüzyon azalırken, tabanında ise ventilasyon apekse göre yaklaşık %50 daha fazladır çünkü plevral boşluktaki sıvının ağırlığı tabandaki intraplevral basıncı daha az negatif bir değere yükseltir. Bu durum, daha yüksek kompliyanse sahip daha az genişlemiş alveollere yol açar ve inspirasyon sırasında alveoler hacimde daha büyük bir artış sağlayarak ventilasyon hacminin artmasına katkıda bulunur (McArdle vd., 2023; Prisk, 2020; Powers ve Dhamoon, 2019). Bununla birlikte daha büyük hacimde kanı, akciğerin alt bölgelerine

yönlendiren yerçekiminin etkileri nedeniyle perfüzyon da akciğer tabanında en yüksek seviyededir. Bu da ventilasyon-perfüzyon oranının tabanda 1,0'dan az (aşırı perfüzyon veya yetersiz ventilasyon göstergesi) ve tepede 1,0'dan büyük (yetersiz perfüzyon veya aşırı ventilasyon göstergesi) ortaya çıkmasıyla VA/Q uyumsuzluğunu tetikler (Sageer ve Rozario, 2024; McArdle vd., 2023; Weinberger vd., 2023; Phyu vd., 2023; Pruitt, 2021). VA/Q uyumsuzluğunun ortaya çıkması iki temel durumla karakterize edilir. Birincisi ventilasyonun perfüzyonu aştığı VA/Q oranının artmasıdır. Bu durum genellikle artmış tidal hacim veya azalmış pulmoner kan akışı gibi faktörlere bağlı olarak ventilasyonun perfüzyonu aştığı durumlarda ortaya çıkar ve genelde yüksek VA/Q oranlarına sahip bölgelerde PO₂'nin yükselmesine ve PCO₂'nin azalmasına neden olur. Bu dengesizlik artmış tidal hacimden, azalmış pulmoner kan akışından veya her iki faktörün kombinasyonundan kaynaklanabilir. Sonuç olarak, alveollere giren havanın önemli bir kısmı gaz değişimine katılamaz ve bu da yüksek anatomik veya fizyolojik ölü boşluk ventilasyonuna neden olur. Dolayısıyla, yüksek alveoler oksijen gerilimine rağmen genel gaz değişim etkinliği azalır, bu da arteriyel oksijen seviyelerinin düşmesine ve potansiyel hipoksemi gelişimine yol açar (Mark vd., 2024; Weinberger vd., 2023; Pruitt, 2021; Powers ve Dhamoon, 2019; Graham vd., 2018; Saklica, 2023; Phyu vd., 2023; Farrow vd., 2023; Farrell ve Curley, 2021; West ve Luks, 2020; Jindal, 2019).

İkinci durum ise perfüzyonun ventilasyonu aştığı VA/Q oranının azalmasıdır. Bu durum da tipik olarak belirli alveoler ünitelerde azalmış hava akımı veya artmış pulmoner kan akışı nedeniyle perfüzyonun ventilasyonu aştığı durumlarda ortaya çıkar ve düşük VA/Q oranlarına sahip bölgelerde PO₂'nin azalmasına ve PCO₂'nin artmasına neden olur. Bu dengesizlik, azalmış tidal hacimden, artmış pulmoner kan akışından veya her ikisinin kombinasyonu gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak ortaya çıkabilir. Sonuç olarak, kanın yeterli oksijenasyona uğramadan pulmoner sistemden geçtiği bir durum olan fizyolojik şanta neden olur. Dolayısıyla, bu durum arteriyel oksijen gerilimini düşürerek potansiyel hipoksemi gelişimini tetikler (Mark vd., 2024; Weinberger vd., 2023; Pruitt, 2021; Powers ve Dhamoon, 2019; Graham vd., 2018; Saklica, 2023; Phyu vd., 2023; Farrell ve Curley, 2021; West ve Luks, 2020; Jindal, 2019).

Birçok araştırma patolojik VA/Q uyumsuzluklarının ventilasyon ve perfüzyon dağılımından etkilendiğini ve nihayetinde pulmoner gaz değişiminin ve dokulara

oksijen iletiminin genel verimliliğini tehlikeye atan hipoksemiye neden olduğunu doğrulamıştır (Panza vd., 2024; Slobod vd., 2023; Farrell ve Curley, 2021; Marquis vd., 2021; Aboussouan, 2021; Cohen, 2021; West ve Luks, 2020; Prisk, 2020). Bu dengesizlik sıklıkla yeterli perfüzyona rağmen ventilasyonun azaldığı düşük VA/Q oranlarına sahip alanlarla karakterize edilir (Farrell ve Curley, 2021). Bozulmuş VA/Q eşleşmesinin KOAH (Neder vd., 2022; Mortensen ve Berg, 2019; Hajian vd., 2018), pulmoner hipertansiyon (Delcroix vd., 2021), astım (Weinberger vd., 2023; Wong ve Maffei, 2021; Taytard vd., 2020), pulmoner fibrozis (Plantier vd., 2018) ve ARDS (Slobod vd., 2023; Weinberger vd., 2023) dahil olmak üzere birçok akciğer hastalıklarında raporlanan en karakteristik özelliklerden biridir. Bu durumların şiddetlenmeleri anında ortaya çıkan bronkospazm, mukus tıkanması, enflamasyon ve erken hava yolu kapanması gibi çeşitli faktörler özellikle etkilenen alveollerdeki hava akışının azalmasına katkıda bulunur (Aboussouan, 2021; Prisk, 2020; Peracchiai 2014c). Benzer şekilde, pulmoner enfeksiyonlar, kalp yetmezliği ve inhalasyon yaralanmaları gibi diğer durumlar da kısmi alveoler kollapsına veya alveoller sıvı birikimine yol açarak ventilasyonu daha da bozabilir ve gaz değişim verimliliğini azaltarak kanın oksijenlenme seviyesini düşürebilir (Stoller vd., 2024; De Martino ve Agostoni, 2022; Rodriguez ve Silva, 2021; Farrell ve Curley, 2021; Marquis vd., 2021). Bu tür patolojik durumlara ek olarak, VA/Q uyumsuzluğu, artan kalp debisinin pulmoner kan akışını bazı alveoler ünitelerin etkili bir şekilde gaz alışverişi gerçekleştirme kapasitesinin ötesine yükselttiği yüksek yoğunluklu egzersiz gibi fizyolojik durumlarda da ortaya çıkabilir (Ferretti vd., 2022).

Yüksek yoğunluklu egzersiz anında ventilasyon yaklaşık 5 L/dk'lık bir dinlenme değerinden ~60 L/dk veya daha yüksek bir değere çıkabilir (Weinberger vd., 2023) ancak bu değişiklik kardiyak çıktıdaki eşzamanlı artışlarla tolere edilir (Nath, 2024; Verma ve Cooper, 2023; Fitzpatrick vd., 2023). Bu dinamik yanıt, pulmoner kapiller kan akışını (perfüzyonu) artırarak yüksek ventilasyon taleplerini destekler ve aktif kasların artan oksijen ihtiyacını ve karbondioksit eliminasyon gereksinimlerini karşılayarak daha etkili ventilasyon-perfüzyon eşleşmesine yardımcı olur (Nath, 2024; Dempsey vd., 2020; Peters ve Sheel, 2019; Roy ve Secomb, 2019; Tedjasaputra vd., 2019b). Akciğerler artan perfüzyon taleplerine hipoksik pulmoner vazokonstriksiyon yoluyla ekstra kapilleri devreye sokarak (kapiller aktivasyon) ve perfüze olan alanları genişleterek (kapiller dilatasyon) yanıt verir. Bu mekanizma, kan akışını pulmoner

vasküler ağa daha eşit bir şekilde dağıtarak pulmoner vasküler direnci azaltır ve böylece VA/Q oranını optimize eder (Tkacs vd., 2024; Weinberger vd., 2023; Sietsema ve Rossiter, 2023; Marquis, 2022; Pruitt, 2021; Roy ve Secomb, 2019). İyileştirilmiş VA/Q oranı, yeterince havalandırılan alveollerin uygun kan akışı almasını sağlayarak ve boşa harcanan ventilasyon-perfüzyonu en aza indirerek gaz değişim verimliliğini artırır (Weinberger vd., 2023; Dempsey vd., 2020; Peters ve Sheel, 2019). Ancak, bu adaptif yanıtlara rağmen yüksek yoğunluklu egzersiz anında artan kan akışı, belirli pulmoner kapillere etkili bir şekilde ventile edebileceklerinden daha fazla kan ulaştırır ki bu durum gaz alışverişini tamamen atlayan küçük bir kan oranı (yani ~%5 anatomik şant) ile birleştiğinde $P_{A}O_2$ 'de P_aO_2 'ye göre hafif bir düşüşü tetikleyebilir. Bu nedenle egzersiz anında, herhangi bir akciğer bölgesindeki VA/Q dağılımı biraz daha homojen olmayan bir duruma gelerek A-aDO₂'nin bozulmasına katkıda bulunabilir (Stickland ve Hopkins, 2025; Dominelli ve Sheel, 2024; Mark vd., 2024; Sietsema ve Rossiter, 2023; Peters vd., 2023; Weinberger vd., 2023; Ferretti vd., 2022; Orr ve Hopkins, 2021; Cohen, 2021; D'Silva ve Sharma, 2019; Phillips ve Stickland, 2019; Ward, 2018; Stickland vd., 2013; Burnham vd., 2009). Özellikle pulmoner gaz değişim kapasitesinin sınırlarını zorlayan maksimal egzersizler anında (ya da sonrasında) ortaya çıkarak arteriyel oksijenasyonun gaz değişim verimliliğinde geçici azalmalara neden olur (Stickland ve Hopkins, 2025; McArdle vd., 2023; Ferretti vd., 2022; Phillips ve Stickland, 2019; Stewart vd., 2018). Egzersizin VA/Q oranı üzerindeki etkisi aynı zamanda aktivitenin türüne, yoğunluğuna ve süresine bağlı olarak değişebilir. Hafif ve orta şiddetteki egzersizler genellikle VA/Q oranını 0,8'e yakın tutarak etkili gaz değişimine yardımcı olurken yüksek yoğunluklu uzun süreli egzersizlerde 5,0'ı aşmasına neden olabilir. Ortaya çıkan bu dengesizlik, izogravitasyonel etkilerden dolayı akciğerin belirli bölgelerinin perfüzyona göre ya aşırı ya da yetersiz ventilasyona maruz kalmasıyla ciddi bir tutarsızlık meydana getirir (Guazzi ve Adami, 2019; Beck vd., 2012). Sonuç olarak VA/Q oranındaki bu tür uyumsuzluklar genel gaz değişim verimliliğini azaltarak çalışan kaslara oksijen iletimini bozabilir (Iannetta vd., 2024; Phillips ve Stickland, 2019).

Araştırmalar şiddetli egzersize bağlı olarak ortaya çıkan potansiyel bir VA/Q uyumsuzluğunun (artmış A-aDO₂ gradyanı) interstisyel pulmoner ödeme (Tedjasaputra vd., 2019a), hiperkapniye ve solunum iş yükünde önemli artışlara neden olarak egzersiz performansını kısıtlayabileceğini raporlamıştır (Stoller vd., 2024;

Mons, 2023; Rodriguez ve Silva, 2021; Phillips ve Stickland, 2019). Bununla birlikte egzersize bağılı bozulmuş hava akışı nedeniyle artan yorgunluk, solunum işi, merkezi ventilasyon dürtüsündeki anormallikler (Weinberger vd., 2023; Mons, 2023) ve etkili bir şekilde ölü alan görevi gören yüksek ventilasyon-perfüzyon oranlarına sahip uyumsuz VA/Q gibi çeşitli faktörler potansiyel olarak bu duruma katkıda bulunabilir (Fernandes vd., 2020; Phillips ve Stickland, 2019).

2.4.2. Şantlar veya Venöz Karışım

Şant, ventilasyonun olmadığı ($VA/Q = 0$) ve perfüzyonun devam ettiği VA/Q uyumsuzluğunun ileri bir versiyonudur (Stickland ve Hopkins, 2025; Tkacs vd., 2024; Stoller vd., 2024; Brinkman ve Sharma, 2023; Rodriguez ve Silva, 2021; Tkacs vd., 2021). Solunum fizyolojisinde şant terimi, kanın akciğerin havalandırılan bölgelerinden geçmeden (gaz değişimine katılmadan) venöz sistemden arteriyel sisteme doğrudan geçişini ifade eder. Bu fenomen, özellikle kardiyopulmoner sistemde oksijenli ve oksijensiz kan karışımına (venöz kan) yol açarak arteriyel oksijenasyonu (P_aO_2) azaltır ve dolayısıyla A-aDO₂'yi artırır (Peters vd., 2023; Phyu vd., 2023; Boulet vd., 2023; West ve Luks, 2020; Lumb ve Thomas, 2020). Şantlar genel olarak fizyolojik ve anatomik (ekstrapulmoner) şant olarak sınıflandırılır ve farklı mekanizmalar yoluyla gaz değişim kapasitesinde azalmalara katkıda bulunur.

Fizyolojik şant, kanın yetersiz havalandırılan ya da hiç havalandırılmayan alveollerden geçişini tanımlar. Bu şant genellikle bronşiyal obstrüksiyonları içeren atelettazi (Cohen, 2021), ARDS (Cutuli vd., 2023; Yuan vd., 2023; Haddad ve Sharma, 2023), pulmoner ödem (Ahmed ve Karnatovskaia, 2023), veya pnömoniye bağılı alveoler göllenme (sıvı birikimi) (Phyu vd., 2023; Ahmed ve Karnatovskaia, 2023) gibi durumlardan kaynaklanır (Mark vd., 2024; Stoller vd., 2024; McCormack ve West, 2021; Rodriguez ve Silva, 2021). Fizyolojik şantta etkili perfüzyon devam etmesine rağmen alveollerin yetersiz ventilasyonu sonucunda kan oksijenlenmeden arteriyel dolaşıma katılır. Dolayısıyla yeterli ventilasyon olmadan normal perfüzyonun gösterdiği azalmış bir VA/Q oranı ve potansiyel bir yüksek A-aDO₂ gradyanı görülür (Saklica, 2023). Fizyolojik şantlar özellikle KOAH gibi obstrüktif akciğer hastalıklarında (Saklica, 2023; Cohen, 2021) veya heterojen akciğer tutulumunun ventilasyon ve perfüzyonda önemli uyumsuzluklara yol açtığı ARDS gibi akut durumlarda oldukça yaygındır (Paunekar ve Chakole, 2024; Florio vd., 2024; Cave vd., 2024; Cutuli vd., 2023; Yuan vd., 2023; Ahmed ve Karnatovskaia, 2023; Cohen,

2021). Diğer taraftan anatomik şant, kanın havalandırılan alveollerden geçmeden kalbin sağ tarafından sol tarafına doğrudan hareket etmesini (sağdan sola şant) ifade eder (Brinkman ve Sharma, 2023). Sağlıklı insanlarda küçük anatomik şantlar pulmoner dolaşımın normal bir parçası olarak görülür ve genellikle bronşiyal venöz drenaj (akciğer dokularını besledikten sonra pulmoner venlere veya sol atriyuma akar) ve Thebesian venöz drenaj (venöz kan doğrudan pulmoner venlere veya sol atriyuma akar) olarak ikiye ayrılır. Bronşiyal şantlar, deoksijenlenmiş kanın sistemik bronşiyal dolaşımdan pulmoner venlere drenajı veya intrapulmoner arteriovenöz anastomozlar (IPAVA) yoluyla pulmoner arteriyoller ve venler arasında doğrudan bağlantılar dahil olmak üzere çeşitli mekanizmalar yoluyla alveoler kapilleri (gaz değişim alanını) atlayan kanı tanımlar. Bununla birlikte Thebesian venöz drenaj, venöz kanın küçük bir kısmının Thebesian venler yoluyla doğrudan kalbin odacıklarına, özellikle de sol atriyum ve sol ventriküle akması anlamına gelir. Bu şantta, bronşiyal venöz drenaj gibi pulmoner dolaşımı atlayan ve gaz değişimine katılmayan venöz kana katkıda bulunur (Mark vd., 2024; Clark, 2022; Lumb ve Thomas, 2020; Boulet vd., 2020; Graham vd., 2018). Sağlıklı bireylerde, toplam kardiyak çıktının yaklaşık ~%5'inin bu anatomik şantlar nedeniyle pulmoner dolaşımı bypass ettiği tahmin edilmektedir (Mark vd., 2024; Clark, 2022; Cohen, 2021; McCormack ve West, 2021). Sağdan sola şantta yetersiz oksijenlenmiş venöz kan doğrudan arteriyel dolaşıma geçtiği için arteriyel kanın O₂ içeriğini azaltır (~%2 mmHg) (Tkacs vd., 2024; Boulet vd., 2023; McCormack ve West, 2021; Powell vd., 2016). Bu normal şantlar birlikte, A-aDO₂ gradyanının yaklaşık dörtte üçünü oluşturur. Kalan fark pulmoner ventilasyon ve perfüzyondaki normal eşitsizliklerin bir sonucudur (Lumb ve Thomas, 2020). Bununla birlikte daha büyük anatomik şantlar, Fallot Tetralojisi, persistan trunkus arteriosus ve büyük damarların transpozisyonu gibi konjenital, siyanotik kalp hastalıklarında ortaya çıkar. Benzer şekilde anatomik soldan sağa şantlar, atriyal septal defekt, ventriküler septal defekt ve patent duktus arteriosus (patent ductus arteriosus) olarak meydana gelir (Weinberger vd., 2023; Haddad ve Sharma, 2023; Clark, 2022; Paramothayan, 2019).

Son yıllarda pulmoner arterler ve venler arasında alveoler kapiller ağı bypass eden ve doğrudan bağlantılar olan IPAVA'ların pulmoner dolaşım üzerindeki tartışmalı rolü araştırmacılar tarafından oldukça ilgi görmüştür. Özellikle yükselti ve egzersizle ilgilenen bilim insanları, IPAVA kan akışıyla pulmoner arter basıncı

modüle eden ve pulmoner gaz değişim kapasitesini etkileyen faktörlerin mekanizmasının ortaya çıkarılmasına odaklanmıştır (Möller vd., 2024; Boulet, 2024; Davis vd., 2023; Stickland vd., 2019; Foster, 2019; Tedjasaputra vd., 2017; Boulet vd., 2017; Tedjasaputra vd., 2015; Lovering vd., 2015). Egzersiz anında pulmoner kapillerin tamamen aktif hale gelmesiyle birlikte IPAVA’larda etkinleşerek akciğerleri, pulmoner arter basınçtaki büyük artışlardan ve dolayısıyla alveoler ödem gelişiminden koruyan önemli bir emniyet valfi olabileceği düşünülmektedir (Möller vd., 2024; Miserocchi ve Beretta, 2023; Tedjasaputra vd., 2016b). Ancak egzersiz veya hipoksik koşullar altında devreye giren bu anatomik şantlar venöz karışımı kayda değer derecede artırarak daha büyük bir A-aDO₂ gradyanına katkıda bulunabilir (Davis vd., 2023; Grocott vd., 2019; Petrassi vd., 2018; Duke vd., 2016). Önceki çalışmalar intrapulmoner arteriovenöz şantların, pulmoner kan akışında egzersize bağlı değişiklikler anında daha belirgin hale geldiğini ve bu şantlar ile yüksek alveoler-arteriyel oksijen gerilimi farklılıklarına (A-aDO₂) yansıyan gaz değişimi anormallikleri arasında potansiyel bir bağlantı olabileceğini raporlamıştır (Davis vd., 2023; Tedjasaputra vd., 2017; Tedjasaputra vd., 2016b; Tedjasaputra vd., 2015; Elliott vd., 2014; Stickland ve Lovering, 2006). Benzer şekilde yükseltinin hipoksik uyarılarıyla yüksek pulmoner vasküler basınç veya artmış kardiyak çıktı dahil olmak üzere birden fazla mekanizma yoluyla IPAVA aktivasyonunu tetikleyerek istirahat halindeki sağlıklı insanlarda gaz değişim verimliliğini (P_aO₂’nin P_vO₂’ye yaklaşması) bozabileceği de bildirilmiştir (Petrassi vd., 2018; Foster vd., 2014).

2.4.3. Metaborefleks ve Solunum Kas Yorgunluğu

Egzersiz, kontraksiyon halindeki iskelet kaslarının metabolik taleplerini karşılamak için kardiyovasküler sistemde bir dizi değişikliğe neden olur. Merkezi sinir sistemi, egzersiz baskı refleksi (yani metaborefleks/mekanorefleks), barorefleksler (arteriyel/kardiyopulmoner) ve kemorefleksleri kapsayan otonom kontrol mekanizmaları, kalp üzerindeki parasempatik etkiyi azaltmak ve lokomotor kaslardaki sempatik aktiviteyi arttırmak için birlikte hareket eder. Bu da kalp atım hızının yükselmesi, kardiyak kontraktilitenin artması ve kaslarda yaygın sistemik vazokonstriksiyon veya vazodilatasyon gibi bir dizi fizyolojik mekanizmaların tetiklenmesine neden olur (Ogoh, 2024; Wan vd., 2023; Thurston vd., 2023; Stone ve Samora, 2023; Xiang ve Hester, 2017). Özellikle egzersiz anında kullanılan kaslardaki lokal mekanizmalar (fonksiyonel sempatoliz ve vazodilatasyon) sempatik

vazokonstriksiyona karşı koyarak kas sempatik sinir aktivitesi yoluyla aktif dokulara kan akışı için gerekli artışların tercihli yönlendirilmesine katkıda bulunur (Wan vd., 2023; Thurston vd., 2023; Stone ve Samora, 2023; Teixeira ve Vianna, 2022; Wan vd., 2022; Wan vd., 2020a; Wan vd., 2020b; Teixeira vd., 2019; Michelini vd., 2015). Katayama ve diğerleri (2021) yaptığı çalışmada kas sempatik sinir aktivitesinde inspirasyon ve ekspirasyon arasındaki farkın kademeli tüm vücut egzersizi (maksimal iş yükünün %40, %60 ve %80’inde bisiklet sürme) anında arttığını göstererek fiziksel eforun nöral kontrolle (sempatik vazomotor çıkış) solunum modülasyonunu etkilediğini göstermiştir (Katayama vd., 2021). Bununla birlikte Teixeira ve diğerleri, egzersize verilen kardiyovasküler yanıtların soliter traktus çekirdeğindeki GABA içeren nöronlarla bağlantı kuran grup III/IV kas afferentleri tarafından yönlendirildiğini vurgulayarak parasempatik geri çekilme ve sempatik uyarımla artmış kardiyak çıktı, periferik direnç ve arteriyel kan basıncındaki değişimlerin dinamiğini açıklamıştır (Teixeira vd., 2020; Teixeira vd., 2019). Benzer şekilde önceki araştırmalar, egzersiz anında solunum ve lokomotor kaslar arasındaki etkileşimin çeşitli hemodinamik mekanizmalardan etkilenen nöral ve kardiyovasküler tepkilerin bir sonucu olarak ortaya çıktığını belirtmiştir (Wan vd., 2022; Sheel vd., 2018; Smith vd., 2017; Taylor vd., 2016).

Solunum ve lokomotor kas gruplarının eş zamanlı aktivasyonu, özellikle nefes alma işinin önemli ölçüde arttığı (aşırı inspiratuar ve ekspiratuar solunum işi) yüksek yoğunluklu egzersiz anında kan akışı dağılımını modüle eden bir refleksi (metoborefleks veya metabolik refleksi) ortaya çıkarır (Dempsey vd., 2020; Welch vd., 2019; Sheel vd., 2018; Smith vd., 2017). Temel olarak metoborefleks, egzersiz anında çalışan kaslarda metabolitlerin birikmesine yanıt olarak sempatik olarak tetiklenen vazokonstriksiyona karşı lokal metaboliklerin indüklendiği vazodilatasyonun etkisini temsil eden ve bunun bir sonucu olarak uzuv vasküler direncini değiştiren fizyolojik bir mekanizmadır (Murphy ve O’Halloran, 2023; Lindinger ve Cairns, 2021; Dempsey vd., 2020; Peterson vd., 2020; Sundberg ve Fitts, 2019; Sheel vd., 2018). Bu metabolitler biriktiğinde kasların içinde bulunan grup III ve IV afferent lifler (sinir uçları) adı verilen özel duyuşal reseptörler aktive edilir (Sundberg ve Fitts, 2019; Sheel vd., 2018; Michelini vd., 2015). Bu afferentler merkezi sinir sistemine sinyaller göndererek (Amann vd., 2020; Teixeira vd., 2019) sempatik sinir sistemi aktivitesinde karşı konulmadığı takdirde kasılmakta olan iskelet kasının önemli vazodilatör

kapasitesini kullanarak yeterli perfüzyon basıncının (ortalama arter basıncı) korunmasına yardım eden refleksif bir artışı başlatır (Amann vd., 2020; Thurston vd., 2020; Teixeira vd., 2019; Sheel vd., 2018).

Egzersiz sırasında mekanik ve metabolik uyaranlara duyarlı olan grup III ve IV kas afferentleri (Iannetta vd., 2024; Wan vd., 2023; Thurston vd., 2023; Stone ve Samora, 2023; Teixeira ve Vianna, 2022; Wan vd., 2022; Amann vd., 2020; Thurston vd., 2020) kalp atış hızı, kan basıncı, ventilasyon yanıtları, gaz değişim verimliliği, arteriyel oksijenasyon, asit-baz dengesi ve kan akışı dağılımı dâhil olmak üzere kardiyovasküler tepkilerin sürekli olarak düzenlenmesinde önemli bir rol oynar (Iannetta vd., 2024; Ducrocq vd., 2024; Peterson vd., 2020; Teixeira vd., 2020). Iannetta ve diğerleri (2024), sağlıklı bireylerde sabit yükte bisikletle gerçekleştirilen uzun süreli (>5 dakika) egzersizin, steady-state anındaki pulmoner yanıtların düzenlenmesinde grup III-IV kas afferentlerinin rolünü araştırdıkları çalışmada, bu afferentlerden gelen geri bildirimin bloke edilmesi durumunda pulmoner ventilasyonun tüm yoğunluklarda %20 azaldığını; bunun da arteriyel oksijen seviyelerinde %10'luk bir düşüşe ve alveoler-arteriyel oksijen farkında %25'lik bir genişlemeye yol açtığını göstermiştir. Bu değişiklikler egzersizin ilk dakikasından son dakikasına kadar devam ederek egzersiz anında ventilasyon ve gaz değişim verimliliğini modüle etmede lokomotor kas afferentlerinin zamandan bağımsız kritik rolünü vurgulamıştır (Iannetta vd., 2024). Literatürdeki benzer araştırmalar, grup III/IV kas afferent geri bildirimlerinin lokomotor kas egzersizleri anında merkezi yorgunluk ve ventilasyon yanıtlarını etkilediği hipotezini destekleyen bulgular sunmuştur (Amann vd., 2020; Sidhu vd., 2018; Sidhu vd., 2017).

Mekanoreseptörler (mekanosensitif) olarak da bilinen “Grup III” afferentleri, kas kasılmasının mekanik etkilerine (gerilim) yanıt olarak egzersizin başlangıcında aktive olur. Buna karşılık, metaboreseptörler (metabosensitif) diğer adıyla “Grup IV” afferentler, laktat, hidrojen ve potasyum iyonları gibi metabolitlerin birikmesine yanıt olarak ortaya çıkar. Bu afferentlerin aktivasyonu, sempatik sinir aktivitesinde refleks bir artışı tetikleyerek çalışmayan kaslarda ve organlarda vazokonstriksiyona neden olur ve sonuç olarak kan akışını aktif kaslara yönlendirir (Ducrocq vd., 2024; Smith vd., 2023; Murphy ve O'Halloran, 2023; Lindinger ve Cairns, 2021; Peterson vd., 2020; Teixeira vd., 2020; Sundberg ve Fitts, 2019). Benbaruğ ve diğerleri (2024) ritmik el kavrama ve inspiratuar basınç-eşikli yükleme seanslarından oluşan egzersizler

anında ön kol ve diyafram kaslarının aynı göreceli veya mutlak işi gerçekleştirdiğinde ortalama arteriyel kan basıncı tepkisinin benzer olduğunu göstermiştir (Benbaruj vd., 2024). Bununla birlikte, birçok araştırma alt ekstremitenin yoğun kullanıldığı maksimal egzersizlerde kollara ve gövdeye giden vasküler iletkenlik ve kan akışının azaldığı, buna karşılık üst ekstremiteye özgü egzersizlerde kollara giden kan akışının arttığı, gövdeye olanın sabit kaldığı ve bacaklara giden kanın ise özellikle yüksek iş yüklerinde azaldığı tercihli potansiyel dağılımın olduğunu ortaya koymuştur (Swift vd., 2022; Richard vd., 2021; Sheel vd., 2020; Calbet vd., 2015; Boushel vd., 2014; Calbet vd., 2007).

Egzersiz sırasında artan solunum işiyle birlikte solunum kaslarındaki metabolik ve mekanik değişimleri merkezi sinir sistemine grup III ve IV afferentleri aracılığıyla bildirilerek, kardiyovasküler ve solunum yanıtlarının modüle edilmesini sağlar (Murphy ve O'Halloran, 2023; Sheel vd., 2020; Dominelli vd., 2019; Katayama vd., 2018). Başka bir ifadeyle bu afferentler sempatik çıkışta refleks bir artışı tetikleyerek (Murphy ve O'Halloran, 2023; Sheel vd., 2020; Phillips ve Stickland, 2019) lokomotor kas perfüzyonu yerine solunum kaslarına kan akışına potansiyel olarak öncelik veren inspiratuar kas metaborefleksini ortaya çıkarır (Murphy ve O'Halloran, 2023; Phillips ve Stickland, 2019). Bazı araştırmalar çalışmayan kaslara kıyasla diyafram gibi solunum kasları arteriollerindeki adrenerjik reseptörlerin noradrenaline karşı değişen duyarlılığının bir sonucu olarak kan akışı regülasyonunda rol oynadığını ve dolayısıyla solunum kaslarının lokomotor kaslardan kan “çaldığını” öne sürdüğüne dair bazı kanıtlar sunmaktadır (Borzykh vd., 2021; Vogiatzis vd., 2020; Borzykh vd., 2020; Borzykh vd., 2017). Katayama ve diğerleri (2019), sağlıklı insanlarda submaksimal egzersiz (bilateral dinamik diz ekstansiyon ve fleksiyonu) anında istemli bir hiperpnönin eşlik ettiği dirençli ya da dirençsiz inspiratuar kas odaklı iş yükünün aktif ve inaktif uzuv kaslarına kan akışını değiştirip değiştirmediğini araştırmıştır. Kan akışı, Doppler ultrason kullanılarak brakiyal (inaktif uzuv) ve femoral (aktif uzuv) arterlerde değerlendirilmiştir. Brakiyal arter kan akışı, inspiratuar direnç olmadan egzersiz anında artarken, bu artış inspiratuar direncin eklendiği koşullarda düşmüştür. Buna karşılık, femoral arter kan akışı inspiratuar direnç eklendiğinde etkilenmemiştir. Ancak araştırmacılar submaksimal egzersiz anında aktif uzuvlara kan akışının yeniden dağılımının kontrolünün yeterli büyüklükte olması koşuluyla solunum kas iş yükü tarafından modüle edilebileceğini raporlamıştır (Katayama vd., 2019). Benzer şekilde

Dominelli ve diğeri (2017b) yüksek yoğunluklu egzersiz anında solunum işinin manipüle edilmesinin solunum kaslarına gelen kan akışını değiştirip değiştirmediğini incelemiştir. Quadriceps ve sternokleidomastoid kaslara giden kan akışı, sağlıklı katılımcılarda yoğun egzersiz anında (pik iş oranının %90'ı) indosiyanin yeşil boya enjeksiyonuyla yakın kızılötesi spektroskopi kullanılarak değerlendirilmiş ve solunum işi yardımcı bir ventilatör cihazı kullanılarak azaltılmış veya inspirasyon devresine yerleştirilen dirençler aracılığıyla artırılmıştır. Araştırmacılar solunum işindeki değişikliklerin, solunum kası kan akışındaki değişimlerle pozitif, lokomotor kası kan akışındaki değişimlerle ise negatif ilişkili olduğunu gözlemlemiştir. Bu bulgular, belirli direnç koşullarında çalıştırılan solunum kaslarının hem lokomotor hem de solunum kaslarına giden kan akış dağılımını önemli ölçüde etkileyebildiğini göstermiştir (Dominelli vd., 2017b). Diğer bir araştırma yüksek (%75 P_{imaks}) ve düşük (%15 P_{imaks}) yoğunluklu tek bir inspiratuar kas kuvveti antrenmanı seansına (30 nefes) verilen akut hemodinamik tepkileri incelemek için brakiyal ve popliteal arterlerde alt ve üst ekstremiteler kan akışını değerlendirmiştir. Araştırmaya göre düşük yoğunluklu uygulama anında kan akışı ve kan akışı kayma hızının popliteal arterde ~%10, brakiyal arterde ise ~%40 oranında azaldığını göstermiştir. Buna karşılık yüksek yoğunluklu uygulama anında azalmış kan akışı ve kan akışı kayma hızının popliteal arterde ~%20, brakiyal arterde ise ~%35 olduğu tespit edilmiştir (Plouffe vd., 2023). Benzer şekilde önceki araştırmalar dirençli solunum uygulamaların (manipülasyonların) ya da solunum iş yükünde ciddi artışlara neden olan yüksek yoğunluklu egzersizlerin çalışan lokomotor kaslardaki kan akışını azalttığını ve sempatik modülasyon yoluyla solunum kas periferik kan akışını artırdığını göstermiştir (Dominelli vd., 2019; Phillips ve Stickland, 2019; Smith vd., 2017; Dominelli vd., 2017b).

Uzun süreli veya yüksek yoğunluklu egzersizin solunum kas yorgunluğu oluşturmasıyla birlikte genellikle maksimal inspiratuar ve ekspiratuar basınçta bir azalma ve diyafragmatik kuvvet üretiminde bir bozulmanın meydana geldiği birçok çalışma ile kanıtlanmıştır (Tiller vd., 2022; Tiller, 2019; Oueslati vd., 2018; Archiza vd., 2018; McEntire vd., 2016; Aliverti, 2016; Taylor ve Romer, 2008). Bir çalışmada diyafram kasının oksidatif, kılcal damar yoğunluğu fazla ve yorgunluğa dirençli olacak şekilde tasarlanmış özelliklerine rağmen yüksek seviyelerde kuvvetle karşılaştığında basınç üretme kapasitesinde önemli düşüşler sergileyebileceği belirtilmiştir (Sheel vd.,

2020). Briskey ve diğerleri (2020) %50 ve %70 yoğunluklardaki 30 dakikalık inspiratuar akış dirençli solunum egzersizlerinden sonra düşük frekanslı periferik yorgunluğun oluşumuyla birlikte transdiyaframatik basınçta kayda değer derecede azalmalar olduğunu bildirmiştir (Briskey vd., 2020). Benzer bir çalışmada ise 5 dakikalık inspiratuar basınç-eşikli yüklemeye yanıt olarak katılımcıların transdiyaframatik basıncında önemli düşüşler gözlemlenmiştir (Geary vd., 2019). Bu durum potansiyel bir altta yatan mekanizma olarak GABA_B nöron aracılı inhibisyonun tetiklenmesiyle ilişkili olarak merkezi yorgunluğun oluşturulmasına katkıda bulunmasından kaynaklanabilir (Hardy vd., 2024; Amann vd., 2020; Sidhu vd., 2018). Hem periferik kas yorgunluğunu hem de merkezi sinir sistemi inhibisyonunu içeren bu mekanizmalar, lokomotor kaslardan gelen geri bildirimi kısmen blokaj yapabilmek için bir intratekal uygulamasının kullanıldığı deneylerle araştırılmıştır. Deneylerde, kas afferentlerinin bu şekilde bloke edilmesinin merkezi (santral) motor sürücünün normal geri besleme/bildirim inhibisyonunu önleyerek kuvvet çıktısında önemli artışlara neden olduğu gözlemlenmiştir. Bu azaltılmış geri bildirim, egzersizin sonunda daha yüksek seviyelerde uzuv yorgunluğuna yol açmış ancak performans süresini iyileştirmiştir (Hardy vd., 2024; Amann vd., 2022; Amann vd., 2020; Sidhu vd., 2018; Black vd., 2017; Hureau vd., 2016).

Yüksek yoğunluklu bir egzersizin solunum paternini simüle eden istemli bir hiperpne uygulaması anında artmış solunum iş yükünün bir sonucu olarak, solunum kaslarının oksijen tüketiminin tüm vücut oksijen kullanımına göre genç kadınlarda ~%13 (%7,9 – %18,9) ve genç erkeklerde ~%11'e (%6,1 – %15,3) karşılık geldiği raporlanmıştır (Kipp vd., 2024). Aynı çalışmada yaşlı bireylerin ortalama olarak solunum kaslarının daha büyük oranda VO₂ harcadığı ve üst sınırın tüm sağlıklı yetişkinler için yaklaşık %20'e kadar yükseldiği belirtilmiştir (Kipp vd., 2024). Rodrigues ve diğerleri (2024), artırılmış inspiratuar eşik yüklemesine maruz kalan sağlıklı yetişkinlerin sternokleidomastoid kasında doku oksijen satürasyonu, kan akış indeksi ve oksijen tüketiminin metabolik hızını araştırmıştır. Düşük yüklerden (8 ± 2 cmH₂O) başlayarak deneğin tükenene kadar (her 2 dakikada bir 50 g artan) devam ettiği inspiratuar egzersiz boyunca kan akış indeksinde ve oksijen tüketiminin metabolik hızında eşzamanlı ve istikrarlı bir artış gözlemlenmiştir. Buna karşılık, kas oksijen satürasyonu inspiratuar eşik yüklemesinin başlangıcından itibaren kademeli olarak azalmıştır. Araştırmacılar bu durumu sternokleidomastoid kasındaki

artan oksijen emiliminin yanı sıra azalan doku satürasyonu ile ilişkilendirmiştir (Rodrigues vd., 2024). Buna ilaveten solunum kas yorgunluğu oluşturmak için gerçekleştirilen 5 dakikalık inspiratuar ve ekspiratuar basınç-eşikli yüklemeye yanıt olarak ortalama arteriyel kan basıncının kademeli olarak arttığı bulunmuştur (Hardy vd., 2021; Geary vd., 2019). Egzersiz anında solunum kaslarının artan oksijen ihtiyacına yanıt olarak vücut gelişmiş perfüzyon kapasitesini kullanarak (Kipp vd., 2024) kan akışını öncelikli olarak bu kaslara yönlendiren mekanizmayı (inspiratuar kas metaborefleksi) aktive eder (Peters vd., 2023; Katayama vd., 2019; Sheel vd., 2018; Dominelli vd., 2017b; Dominelli vd., 2015). Bu mekanizma, solunum kaslarına yeterli oksijen verilmesini sağlayarak egzersizin sürdürülmesine yardımcı olur ancak lokomotor kaslara giden kan akışını sınırlayarak bu kaslardaki yorgunluk potansiyelini hızlandırabilir (Reinhard vd., 2023; Archiza vd., 2018; Xiang ve Hester, 2017). Bu nedenle araştırmacılar inspiratuar kas metaborefleksinin, solunum kasları için koruyucu bir mekanizma görevi görmesine rağmen periferik kas yorgunluğunun hızlanmasına ve egzersiz dayanıklılığının azalmasına katkıda bulunan temel mekanizmalardan biri olabileceğini düşünmektedir (Hardy vd., 2024; Dickinson ve Boniface, 2020; Phillips ve Stickland, 2019).

Yüksek yoğunluklu egzersizlerde ortaya çıkan hiperpne (egzersiz hiperpnesi), vücudun artan metabolik talepleri karşılamak için verdiği birincil yanıttır (Phillips vd., 2025; Boyle vd., 2020; Welch vd., 2019) ancak bu yüksek solunum çabası solunum kasları üzerinde önemli bir stres yaratarak inspiratuar kas yorgunluğuna ve dolayısıyla azalmış egzersiz toleransına katkıda bulunabilir (Boyle vd., 2020; Welch vd., 2019). Araştırmalar diyaframın kasılma gücünün (yani frenik sinirlerin uyarılmasına yanıt olarak transdiyafragmatik esneme basıncı) devamlı yüksek yoğunluklu dayanıklılık egzersizlerinin başlangıcından tükenmeye kadarki süreçte kademeli olarak azaldığını ve toparlanma bölümünün ilk bir saatine kadar depresif kaldığını raporlamıştır (Dominelli ve Sheel, 2024; Angus vd., 2023; Ramscook vd., 2022; Boyle vd., 2020; Archiza vd., 2018). Diyaframın kuvvet çıktısıyla yorgunluk derecesi arasındaki güçlü ilişki solunum kas yorgunluğunun üretilen basınç seviyesi ve yapılan iş miktarıyla yakından ilişkili olduğunu göstermektedir (Angus vd., 2023; Ramscook vd., 2022; Boyle vd., 2020; Archiza vd., 2018). Araştırmalar egzersize bağlı solunum kas yorgunluğunun genellikle maksimal oksijen tüketiminin $\geq 85\%$ yoğunluktaki uzun süreli egzersizlerde ortaya çıktığını ve kan akış sınırlamasıyla dayanıklılık

performansını olumsuz etkilediğini göstermiştir (Powers vd., 2024; Powers vd., 2020; Boyle vd., 2020; Archiza vd., 2018). Beltrami ve diğerleri (2023), güç çıkışının %90'ında tükenene kadar artımlı bisiklet testi ile gerçekleştirdiği çalışmasında orta düzey antrenmanlı ($VO_{2pik} > 45$ mL/dk/kg) sporcuların inspiratuar kas yorgunluğu sergilediğini bulmuştur (Beltrami vd., 2023). Başka bir çalışmada, solunum kaslarının aerobik enerji sistemini maksimum düzeyde uyarmak için farklı yoğunluk ve aralıklarda uyguladıkları hiperpne protokolü seansları sonrasında P_{imaks} 'in azaldığını raporlamıştır (Sato vd., 2024). Genç ($26,3 \pm 4,2$ yıl; $VO_{2maks} 65,8 \pm 4,8$ mL/dk/kg) ve yaşlı ($64,7 \pm 5,3$ yıl; $VO_{2maks} 48,3 \pm 5,8$ mL/dk/kg) dayanıklılık sporcularının, maksimal inspiratuar basıncın %60 ve %2 dirençlerinde gerçekleştirdikleri inspiratuar solunumunu takiben pik güç çıkışının %90'ında bisiklet ergometresinde tükenene kadar sabit iş yüküne karşı egzersiz gerçekleştirmiştir. P_{imaks} egzersiz sonrası, %60 dirençle çalışanlarda önemli ölçüde azalmış ancak %2 grubundakilerde değişmemiştir. Ayrıca araştırma %60 grubunun egzersizde tükenme süresinin kayda değer derecede azaldığını göstermiştir. Bu bulgular, inspiratuar kas yorgunluğunun lokomotor kas yorgunluğunun şiddetini arttırmak yerine gelişimini hızlandırdığını ve dayanıklılık antrenmanı yapmış erkeklerde egzersiz performansını bozduğunu göstermiştir (Mons vd., 2023). Benzer şekilde on dört yaşlı dayanıklılık sporcusunda ($67,9 \pm 5,9$ yıl; $VO_{2maks} 50,8 \pm 5,8$ mL/dk/kg; öngörülen %151) gerçekleştirilen bir çalışma, P_{imaks} ve P_{emaks} değerlerinin 5 km zaman denemeli bisiklet egzersizi sonrası kayda değer derecede azaldığını bildirmiştir (Haddad vd., 2024). Önceki araştırmalar yukarıdaki sonuçları destekleyen benzer bulgular raporlamıştır (Oliveira vd., 2024; Silapabanleng vd., 2021a).

Yüksek yoğunluklu interval egzersizlere verilen fizyolojik yanıtta cinsiyet farklılıkları gözlenmektedir. Wilson ve diğerleri (2024), kadınların egzersizin ilk aşamalarında erkeklere kıyasla daha fazla hiperpne sergilediklerini, ancak egzersiz sonrası nöromusküler yanıtların kasılma işlevlerinde daha az düşüş yaşadıklarını gözlemlemiştir (Wilson vd., 2024). Bununla birlikte birkaç çalışma, ilginç bir şekilde kadınların diyaframının erkeklere göre daha yavaş yorulduğunu ve bunun egzersiz anında kan akışı dağılımını etkileyen sempatik çıkışın metabolit kaynaklı reflekslerinde (inspiratuar kas metaborefleksi) meydana gelen potansiyel bir zayıflamadan kaynaklanabileceğini raporlamıştır (Ramsook vd., 2022; Geary vd., 2019; Welch vd., 2018; Mitchell vd., 2018). Ancak Welch ve diğerleri (2018) tüm

vücut egzersizinden önce inspiratuar kaslarda meydana gelen potansiyel bir diyafragmatik yorgunluğun cinsiyetten bağımsız olarak egzersiz toleransını yaklaşık %15 azalttığını göstermiştir (Welch vd., 2018). Önceki araştırmalar, solunum kas yorgunluğunun kardiyovasküler etkileri ve artan dispnenin atletik performansı modüle eden solunum kas dayanıklılığını sınırlayabileceğini (Mizuno vd., 2022; Amann vd., 2020; Boyle vd., 2020; Welch vd., 2019; Welch vd., 2018) ve dolayısıyla tükenme süresini ve genel kardiyovasküler dayanıklılık kapasitesini azaltabileceğini raporlamıştır (Ladriñán-Maestro vd., 2024a; Ladriñán-Maestro vd., 2024b). Son olarak, inspiratuar kas yorgunluğuyla ortaya çıkan uzuv kan akışının azalması solunum kas kuvvetini, dikey sıçrama mesafesini ve kas oksijen saturasyonunu da olumsuz etkileyebileceğini belirtmek önemlidir (Ladriñán-Maestro vd., 2024a).

Bununla birlikte, bazı hastalıklar, kas mekanorefleksi ve metaborefleksinde anormal aktivasyona neden olarak solunum kası perfüzyonunun bozulmasını sağlarken ventilasyon yanıtlarında değişikliğe ve pulmoner vaskülerin yeniden şekillenmesine yol açarak egzersiz intoleransına katkıda bulunabilir (Plunkett vd., 2024; White ve Bruce, 2020; Bruce vd., 2016). Özellikle KOAH, kalp yetmezliği ya da pulmoner arteriyel hipertansiyon gibi hastalıklarda algılanan dispne derecelendirmelerinde klinik olarak önemli artışlara neden olduğu raporlanmıştır (Aranda vd., 2024; Plunkett vd., 2024; Hammer vd., 2022; Bruce vd., 2016). Louvaris ve diğerleri (2021), yüksek yoğunluklu egzersiz anında, KOAH hastalarının lokomotor kaslar üzerindeki artan iş yükü nedeniyle ekstradiafragmatik solunum kaslarının perfüzyonunda bozulma yaşadıklarını ve bunun da artan dispneye katkıda bulunabileceğini bildirmişlerdir (Louvaris vd., 2021). Benzer şekilde ejeksiyon fraksiyonu azalmış kalp yetmezliği olan hastalarda, yüksek yoğunluklu egzersiz, solunum kaslarının yoğun çalışması ve anormal grup III/IV afferent geri bildirimi ile solunum ve lokomotor kasların perfüzyonunda bozulmaya yol açarak dispnenin şiddetlenmesine ve egzersiz intoleransına neden olduğu gösterilmiştir (Smith vd., 2023; Smith ve Olson, 2019). Ayrıca birçok araştırma pulmoner arteriyel hipertansiyon hastalarında, solunum ve uzuv kas disfonksiyonun dispne, yorgunluk ve egzersiz intoleransına önemli ölçüde katkıda bulunduğunu raporlamıştır (Plunkett vd., 2024; Tobita vd., 2020; Riou vd., 2020; Panagiotou vd., 2015). Sonuç olarak bu tür popülasyonlarda, bozulmuş ventilasyon yanıtları egzersiz toleransını önemli ölçüde bozabilir ve fonksiyonel kapasiteyi azaltarak yaşam kalitesini olumsuz yönde

etkileyebilir (Aranda vd., 2024; O’Leary ve Mannozi, 2024; Plunkett vd., 2024; Hammer vd., 2022; Iepsen vd., 2021).

2.5. Isınma

2.5.1. Isınmanın Mekanizması ve Fizyolojik Etkileri

Isınma, atletik performansı artırmadaki rolü yaygın olarak kabul edilen ve çoğu sporcu tarafından içgüdüsel olarak benimsenen fiziksel aktivitenin çok önemli bir bileşenidir (Washif vd., 2025; Afonso vd., 2024a; Jeffreys, 2024; ACSM, 2022). Uygun bir ısınma, hedeflenen egzersiz aktivitesine hazırlık olarak fizyolojik, biyo-mekanik, biyo-enerjetik ve psikolojik uyarlamalarla vücudu yüksek yoğunluklu egzersiz taleplerine hazırlamaya hizmet eder (Afonso vd., 2024a; Jeffreys, 2024; ACSM, 2022; Jeffreys, 2021; Jeffreys, 2019; Knudson, 2018; McGowan vd., 2015). Temel olarak ısınma uygulamaları, vücut ısısının yükselmesi, kaslara giden kan akışının artması, eklem hareketliliğinin iyileşmesi, sinirsel aktivasyonun gelişmesi ve psikolojik hazırlığın tamamlanması gibi çok yönlü mekanizmaları harekete geçirir (Jeffreys, 2024; Bushman, 2024; Carmo vd., 2023; Pieters vd., 2022; Gamma vd., 2020; McGowan vd., 2015). Bu değişiklikler toplu olarak daha iyi kas esnekliğine, artmış kuvvet üretme potansiyeline, verimli oksijen iletimine (VO_2 kinetiği) dolayısıyla daha yoğun fiziksel efor için daha yüksek hazırlığa katkıda bulunur (Bushman, 2024; Li vd., 2023a; Jeffreys, 2021; Barranco-Gil vd., 2020; Gil vd., 2019; Jeffreys, 2019; McCrary vd., 2015; McGowan vd., 2015). Sistematik incelemelerde gözden geçirilen çalışmaların yaklaşık %50-80’inde ısınmanın çeşitli atletik performans göstergelerini iyileştirdiği raporlanmıştır (Vieira vd., 2021; Silva vd., 2018; McCrary vd., 2015; Fradkin vd., 2010).

Isınmanın temel ve en önemli amaçlarından biri vücudun merkezi sıcaklığını kademeli olarak artırmaktır (Jeffreys, 2024; Jeffreys, 2021). Tüm fiziksel aktiviteler enerji tüketiminin artmasına neden olur ve bunun sonucunda ortaya çıkan metabolik etki bu enerjinin ısıya dönüşmesiyle sonuçlanır. Kapnia ve diğerleri (2023) basketbol sporcularında 20 dakikalık bir ısınma rutinini takiben tibialis anterior kas sıcaklığının her dakikada bir $0,1^{\circ}C$ arttığını ve benzer şekilde hareketsizlik sırasında her dakikada bir aynı miktarda düştüğünü raporlamıştır (Kapnia vd., 2023). Fiziksel aktivite yoğunluğu arttıkça kas sıcaklığı yükselir ve bu da merkezi vücut sıcaklığının artmasına neden olur (Carmo vd., 2023; Kapnia vd., 2023; Jeffreys, 2021; Tsurubami vd., 2020; Jeffreys, 2019). Yüksek vücut ısısı kas lifleri içindeki viskoziteyi azaltarak kas

fonksiyonunu iyileştirir ve kasılmayı artırarak daha geniş dinamik hareket aralığı sağlamaya yardımcı olur (Jeffreys, 2021; Jeffreys, 2019; Jeffreys, 2016). Sıcaklıktaki bu artış aynı zamanda bu kasların nöral aktivasyonunu optimize ederek (Rodrigues vd., 2022a; Rodrigues vd., 2021; Rodrigues vd., 2020; Barranco-Gil vd., 2020; Racinais ve Oksa, 2010) daha hızlı kas kasılmalarına ve hareket hızını artırmada önemli bir faktör olan agonist-antagonist kas çiftlerinin daha hızlı gevşemesine izin verir (Esteban-García vd., 2024; Ratamess, 2021; Jeffreys, 2021; Jeffreys, 2016). Özellikle vücut sıcaklığındaki artışı tetikleyen ısınma rutinlerinin aktivasyon sonrası potansiyelleşmeyle birlikte enerji sağlayan yolları (Fosfajen ve Glikolitik sistem) ve tip II kas lifi kullanımını değiştirerek kasların kuvvet üretme kapasitesine katkıda bulunabilir (Jeffreys, 2024; Tabuchi vd., 2024; Lee vd., 2024a; Park vd., 2021; Johnson vd., 2019; MacIntosh vd., 2012; Pearce vd., 2012; Gray vd., 2011). Ayrıca artmış kan akışını ve daha yüksek merkezi sıcaklıkla birlikte hemoglobinin ve miyoglobinden oksijen salınımını kolaylaştırarak (Bohr etkisi) çalışan kaslara oksijen taşınmasını iyileştirebilir ve dolayısıyla yorgunluğa katkıda bulunan metabolik atık ürünlerin uzaklaştırılmasına veya geciktirilmesine yardımcı olabilir (Jeffreys, 2024; Carmo vd., 2023; Danek vd., 2022; Czelusniak vd., 2021; Boullosa vd., 2018; Wahl vd., 2010). Bununla birlikte Schoeberlein ve diğerleri (2024), bisiklet egzersizi anında sıcaklığın, potansiyel olarak pulmoner kapiller aktivasyon ve/veya distansiyonu artırarak gaz değişim yüzey alanını etkilediği ve bunun sonucu olarak DL_{CO} 'yu artırdığını raporlamıştır (Schoeberlein vd., 2024). Fizyolojik etkilerinin ötesinde ısınma, konsantrasyonu ve duygusal hazırlığı artırarak egzersizin algılanan zorluğunu önemli ölçüde etkileyebilir ve zihinsel hazırlığın önemli bir aracı olarak hizmet edebilir (Fujii vd., 2023; González-Fernández vd., 2022; Belkhir vd., 2021; Faelli vd., 2021; Romaratezabala vd., 2018).

Araştırmalar farklı egzersiz uygulamalarıyla uygun ısınma rutinlerinin topa vuruş hızı (Chen vd., 2022; Vieira vd., 2021), sprint (Zhou vd., 2024; Carmo vd., 2023; Thapa vd., 2023; González-Fernández vd., 2022; Silva vd., 2018), denge (Daneshjoo vd., 2022; Brighenti vd., 2022), sıçrama (Zhou vd., 2024; Li vd., 2023b; Thapa vd., 2023; González-Fernández vd., 2022; Silva vd., 2018), çeviklik (Thapa vd., 2023; Silva vd., 2018), yüzme (Lee vd., 2025; Hancock vd., 2015) performansı ve egzersiz sonrası daha hızlı toparlanma (Carmo vd., 2023) gibi çeşitli fizyolojik kapasitelerde iyileşme sağladığını göstermiştir. Bununla birlikte özellikle dinamik esneme ve spora

özgü hareketleri içeren ısınma rutinlerinin daha fazla eklem stabilitesine ve gelişmiş hareket verimliliğine katkıda bulunarak atletik performans anında potansiyel yaralanma risklerinin azalmasına katkıda bulunabilir (Li vd., 2024a; De Sire vd., 2021; Takeuchi vd., 2021; Padua vd., 2019). Ancak ısınmanın sakatlanma riskini önlediğine dair uzun süredir bir inanç olsa da (Vrindten vd., 2024; Räisänen vd., 2021; Munoz-Plaza vd., 2021) araştırma sonuçları bu etkinin dolaylı ve çok yönlü olduğunu, bunun temel olarak tutarlı ısınma uygulamalarının zaman içindeki kazanımlarından kaynaklandığını düşündürmektedir (Paravlic vd., 2024; Ding vd., 2022; Emery vd., 2022; Davis vd., 2021; Tomsofsky vd., 2021; Munoz-Plaza vd., 2021; Ullman vd., 2021; Ehlert ve Wilson, 2019). Bununla ilgili olarak Alfonso ve diğerleri (2024b) sakatlanmayı önlemeye yönelik ısınma protokollerinin genellikle geleneksel ısınmayla karşılaştırıldığını ve protokoller arasındaki eksik raporlama ve tutarsız tanımlamalardan dolayı göreceli etkilerinin güvenilir bir şekilde değerlendirilmesinin zorlaştırıldığını raporlamıştır (Alfonso vd., 2024b).

2.5.2. Isınma Stratejileri

Isınma stratejilerinin, türü, süresi, yoğunluğu ve içeriği gibi yapısal farklılıklar, uygulamalarda dikkate değer çeşitliliklerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Dolayısıyla spor bilimleri alanında genç sporcuları hedeflenen antrenman veya müsabakaya hazırlamak için en uygun yaklaşım konusunda net bir fikir birliği yoktur (Afonso vd., 2024a; Myburgh vd., 2020). Bir ısınma tipik olarak genel ısınma ve özel ısınmayı kapsayan iki ana bileşenden oluşur. Genel ısınma, kalp ve solunum hızlarını yükseltmek, kan akışını ve kas sıcaklığını arttırmak, terlemeyi uyarmak ve eklem sıvısı viskozitesini azaltmak için tasarlanmış düşük yoğunluklu aerobik aktiviteyle birlikte, ilgili spor dalının temel teknik/hareketleri için gereken eklem aralığına göre uyarlanmış germe egzersizlerini içerir. Buna karşılık özel ısınma, o spora özgü aktivitenin taleplerini oldukça benzer şekilde simule eden hareketlere ve egzersizlere odaklanır (Jeffreys, 2024; Jeffreys, 2021; Jeffreys, 2016).

Genellikle ısınma, fiziksel aktivite öncesi vücut yapılarını pasif ve aktif yöntemlerle fizyolojik olarak hazırlamayı gerektirir (Knudson, 2018). Pasif ısınma, sıcak duşlar, banyolar, saunalar, diatermi ve/veya ısıtıcı giysiler kullanılarak merkezi iç sıcaklığın harici yollarla yükseltilmesini içerir (Vrindten vd., 2024; McGawley vd., 2021; Takeuchi vd., 2021; Fairbank vd., 2021; Hyldahl ve Peake, 2020; Avelar vd., 2012). Her ne kadar yaygın olmasa da günümüzde pasif ısınma, aktif ısınma ile hedef

fiziksel aktivitenin başlaması arasındaki süre boyunca yüksek merkezi ve kas sıcaklığını korumak için bir yöntem olarak kullanılmaktadır (Cowper vd., 2022; Myburgh vd., 2020; Gil vd., 2019). Fairbank ve diğerleri (2021), ragbi oyuncularında ısınmadan sonra merkezi vücut sıcaklığını korumak için pasif ısınma uygulamasının spora özgü hareket simülasyonundaki bazı performans değişkenlerine olası etkileri incelemiştir. Araştırma sonuçları pasif ısı koruma giysisi kullanımının yüksek yoğunlukta katedilen mesafe ($>14 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) ve zirve sprint hızını önemli ölçüde iyileştirdiğini göstermiştir (Fairbank vd., 2021). Benzer şekilde Faulkner ve diğerleri (2013), bisikletçilerde ısıtılmalı giysiyle birlikte aktif bir ısınma uygulamasının standart giysili bir ısınmaya kıyasla bisiklet sprint testi anındaki göreceli ve zirve güç çıkışında $\sim 9\%$ 'luk bir iyileşmenin yanı sıra kas sıcaklığında 1 cm derinlikte 1°C ve 3 cm derinlikte $0,4^\circ\text{C}$ 'lik bir artışa neden olduğunu bildirmiştir (Faulkner vd., 2013). Bununla birlikte sistematik bir inceleme ve meta-analiz çalışması, aktif ısınma ve egzersiz arasında uygulanan pasif ısınma stratejilerinin performansla ilgili zirve güç çıktısını olumlu yönde etkilediğini raporlamıştır (Cowper vd., 2022). Enerji substratlarını tüketmeden merkezi vücut ısını ve hedef kas sıcaklığını artırabilen bu yöntem zaman, ekipman ve uzmanlık kısıtlamaları nedeniyle çoğu sporcu için uygulanabilir olmayabilir. Buna karşın aktif ısınma, müsabaka öncesinde genel ve spora özel egzersizlerle vücut ısını arttırmak için kullanılan en yaygın stratejidir. Genel aşama tipik olarak koşu, dinamik esneme, jimnastik ve direnç egzersizleri gibi aktiviteleri içerirken, spora özgü aşama branşın gerekliliklerine göre uyarlanmış hareketlere odaklanır (McGowan vd., 2015).

Önceki araştırmalar, hedef performansı arttırmak ve antrenman ya da müsabaka için etkili ısınma stratejilerinin planlanmasını sağlamak amacıyla kısa, orta ve uzun vadede etkili ısınma ve esneme protokolleri geliştirmeye odaklanmıştır (Jeffreys, 2024; Afonso vd., 2024a; Panasci vd., 2024; Jeffreys, 2021; Gil vd., 2019). Bu kapsamda ortaya çıkan trendlerin her aşaması bir öncekinin üzerine inşa edilerek tasarlanan ve hareketlilik, güç, kuvvet, hız ya da çeviklik gibi bireysel fiziksel bileşenleri optimize eden yenilikçi yaklaşımlar sunmaktadır (Jeffreys, 2024; Vadher vd., 2024; Jeffreys, 2019). Her yaklaşım, farklı özelliklerine rağmen, belirli zaman pencereleri içinde farklı temel mekanizmalardan yararlanarak aktivasyon sonrası güçlenme (Post Activation Potential [PAP]) veya aktivasyon sonrası performans gelişimi (Post-activation performance enhancement [PAPE]) gibi hedef performansı

arttırmak için uyarlanabilir (Gallardo vd., 2024; Kasicki vd., 2024; Botton vd., 2024; Fischer ve Paternoster, 2024; Li vd., 2024b; Rumeau vd., 2024; Bartolomei vd., 2023; Finlay vd., 2022; Prieske vd., 2020; Blazeovich ve Babault, 2019). Bu bağlamda özellikle mevcut uygulamalardaki belirsizlikleri gidermek için geliştirilen “RAMP” sistemi, performans hazırlığını aşamalı olarak artıran etkili ısınma stratejileri tasarlamak için yapılandırılmış sistematik bir çerçeve sağlamaktadır. Yükseltme, etkinleştirme, mobilize etme ve güçlendirme (yoğunluk) (RAMP) olmak üzere farklı aşamalardan oluşan bu yaklaşım ısınma boyunca kademeli olarak artan egzersiz karmaşıklığı ve yoğunluğuyla fiziksel gelişimin farklı bileşenlerini bölümlere ayırmayı hedefleyerek mevcut sistemlerin eksikliklerini gidermek için tasarlanmıştır (Jeffreys, 2024; Jeffreys, 2021; Jeffreys, 2019; Jeffreys, 2016). Bununla ilgili olarak, günümüzde yaygın olarak kullanılan ısınma stratejileri, genel antrenman sürecinin bir uzantısı olarak RAMP sisteminin çeşitli varyasyonlarına dayalı şekilde geliştirilmekte ve bu stratejilerin etkinliğini artırmaya yönelik çalışmalarla desteklenmektedir (Girginer vd., 2025; Jeffreys, 2024; Jeffreys, 2021; Jeffreys, 2019). Bu stratejiler, sporcuları yalnızca anlık aktiviteye hazırlamak için değil aynı zamanda uzun vadeli fiziksel gelişimi destekleyen ısınma egzersizlerinin yapılandırılmasını hedeflemektedir (Jeffreys, 2024; Bushman, 2024; Jeffreys, 2021; Gil vd., 2019; Jeffreys, 2019).

Isınma uygulamaları kendi içinde genel egzersizlerden spora özgü aktivitelere kadar her biri seansın hedeflerine bağlı olarak değişen çeşitli stratejilerle gerçekleştirilebilir (Afonso vd., 2024a; Mukhopadhyay, 2022).

(i) *Genel ısınma*: Koşu, atlama veya hafif esneme hareketleri gibi doğrudan belirli bir sporla ilgili olmayan ancak vücudu genel olarak fiziksel aktiviteye hazırlamak için tasarlanmış hareketleri içerir.

(ii) *Fiziksel Kondisyona Dayalı Isınma*: Bu ısınma, doğrudan sporun özel taleplerine bağlı olmayan genel fiziksel kondisyona odaklanan aktivitelerin yanı sıra güç ve esneklik gibi spora özgü performans özelliklerini geliştirmek için tasarlanmış hedef odaklı egzersizlerdir.

(iii) *Ludik (oyunlu) ısınma*: Antrenman öncesi oluşabilecek monotonluğu gidermek ve özellikle yüksek stres dönemlerinde sporcularda görülen gerginliği azaltmak amacıyla kullanılan eğlence/oyun odaklı bu ısınma türünde, seçilen oyunlar hem genel hareketleri içerebilir hem de spora özgü talepleri karşılayacak şekilde tasarlanabilir.

(iv) *Spora özgü ısınma*: Bu ısınma türü spor dalına özgü aktiviteleri yüksek yoğunlukta gerçekleştirmek yerine düşük yoğunlukta simüle edilmesini içerir. Havuzda sprint yüzme performansı öncesi daha yavaş bir tempoda yüzme, futbolda düşük yoğunlukla top sürme veya basketbolda bire bir antrenman anında rakibin daha düşük şiddette savunma yapması örnek olarak verilebilir.

(v) *Antrenman içeriğine göre özel ısınma*: Sadece spora özgü olmayan aynı zamanda ilgili antrenman için planlanan egzersizlerin az yoğun veya karmaşık tekrarları gibi hedef antrenman drillerinin basitleştirilmiş versiyonlarını içerir.

Çeşitli ısınma stratejilerinin etkinliği üzerine yakın zamanda gerçekleştirilen araştırmalar geleneksel ısınma yöntemlerini geliştirebilecek ya da tamamlayabilecek alternatif stratejilerin önemini vurgulamıştır (Afonso vd., 2024a; Quagliarotti vd., 2024; Cirino vd., 2023; Gil vd., 2019). Özellikle araştırmalar, sürekli ve yüksek düzeyde efor gerektiren fiziksel aktivitelerde performansın artırılması ve fiziksel gelişimin desteklenmesi amacıyla, ergojenik uygulamaların geleneksel ısınma yöntemlerine entegre edilerek bunun ısınma sürecinin doğal bir uzantısı olarak kabul edilmesini gerektiğini tavsiye etmektedir (Afonso vd., 2024a; Jeffreys, 2024; Quagliarotti vd., 2024; Cirino vd., 2023; Jeffreys, 2021). Araştırmalar ısınma stratejilerinin sporcuların atletik performansını olumlu yönde etkilediğini gösterse de bu stratejilerin türüne (aktif, pasif, balistik, nöromüsküler, aktivasyon öncesi ve sonrası potansiyelleştirme egzersizleri ve/veya statik-dinamik esnemeyle multimodal yöntemler) (Afonso vd., 2024a; Lee vd., 2024b; Silva vd., 2024a; Panasci vd., 2024; Koutsourdis vd., 2023; Chen vd., 2022; Faelli vd., 2021; Takeuchi vd., 2021; Fiorilli vd., 2020; Fernandez-Fernandez vd., 2020; Gil vd., 2019; Boullosa vd., 2018; McGowan vd., 2015), yoğunluğuna (1RM ya da VO_{2maks} ve/veya HR_{maks} yüzdesi) (Tsurubami vd., 2020; Ribeiro vd., 2020; Silva vd., 2018) ve hacmine (tekrar, süre ve/veya zamanlama) (Silva vd., 2024b; Abade vd., 2024; Koubaa vd., 2023; Myburgh vd., 2020; Yanci vd., 2019; Silva vd., 2018; Neiva vd., 2015) bağlı olarak değişebileceğini bildirmiştir. Bununla birlikte son yıllarda, solunum ve kardiyopulmoner performansını optimize etmek için nefes tutma, dinamik apne, hiperkapni ve solunum kası ısınma uygulaması gibi tekniklerin artan kullanımı, sporcuların performansını geliştirmek için bireyselleştirilmiş yaklaşımlara duyulan ihtiyacın önemini vurgulamaktadır (Vijitsoonttronkul vd., 2025; Danek vd., 2025; Elia

ve Lemaître, 2025; Wang vd., 2024; Wendi vd., 2024; Cirino vd., 2023; Romanchuk, 2023).

2.5.3. Solunum Kas Isınma Uygulaması

Solunum Kası Antrenmanı (SKA) veya SKI uygulamaları, özellikle solunum sisteminde önemli talepler gerektiren yüksek yoğunluklu antrenman veya rekabetçi etkinlikler öncesinde performansı optimize etmek için yaygın olarak kullanılan yeni ergojenik yardımcılarıdır (Xavier vd., 2025; Cirino vd., 2023; Fernández-Lázaro vd., 2021). Genellikle SKI, inhalasyon anında hava akışını kısıtlayarak başta diyafram olmak üzere inspiratuar kaslara direnç uygulayan çeşitli cihazlar kullanılarak gerçekleştirilir. Cihazın direnci, yorgunluğa neden olmadan solunum kaslarını etkili bir şekilde uyaran bir yüzdeye göre ayarlanarak bireyin ihtiyaçlarına göre kişiselleştirilmiş bir yaklaşıma izin verir (Cirino vd., 2023).

SKI uygulaması, sporda yorgunluk, nefes darlığı ve uzuvlardaki algısal zorlanma gibi bilinen sınırlayıcı faktörlerin etkisini azaltarak, dayanıklılık ve yüksek yoğunluklu efor gerektiren egzersizlerde performansı artırmasının (Koizumi & Ohya, 2024) yanı sıra klinik ve rehabilitasyon ortamlarında genel yaşam kalitesi, solunum fonksiyonu ve egzersiz kapasitesinin iyileştirilmesine katkı sağlayan çok yönlü ve pratik yaklaşımlardan biri olarak ortaya çıkmıştır (Aktan vd., 2024). Her ne kadar mevcut araştırmalar, SKI uygulamasının atletik performansı etkileyen olası mekanizmalarına dair çeşitli açıklamalar sunsa da, sınırlı kanıtlar nedeniyle bu etkilerin altında yatan temel mekanizmalar halen belirsizliğini korumaktadır. Mevcut çalışmalarda mekanizmalar, artmış inspiratuar kas kuvveti (Koizumi ve Ohya, 2024; Koizumi ve Ohya, 2023; Barnes ve Ludge, 2021; Özdal ve Bostancı, 2018; Özdal, 2016), gelişmiş nöral fasilasyon (Koizumi ve Ohya, 2023), azalmış solunum kas yorgunluğu (Oliveira vd., 2024) ya da azalmış dispne ya da bacak algısı (Oliveira vd., 2024; Koizumi ve Ohya, 2024; Barnes ve Ludge, 2021) olarak yer almaktadır. Tartışma bölümünde ayrıntılı olarak ele alınan bu mekanizmalar, çeşitli performans ve fizyolojik bağlamlarda SKI'nın gözlemlenen faydalarını anlamak için bir temel sağlayacaktır.

Aşağıda tabloda sunulan çalışmalar, SKI'nın solunum kas kuvveti, pulmoner fonksiyonlar, kardiyopulmoner parametreler, algısal egzersiz yanıtları ve bir dizi atletik performans üzerindeki etkilerini özetlemek amacıyla yapılmıştır (Tablo 2.1).

Tablo 2.1. SKI çalışmalarını içeren literatür özeti

Yazar (yıl)	Örneklem (N)	Isınma protokolleri	Egzersiz yanıtları ve performans değişimleri
Gabler vd., 2025	Rekreasyonel olarak aktif katılımcılar (13)	PLA = %15 P _{imaks} Set × tekrar = 2×30 SKI = %40 P _{imaks} Set × tekrar = 2×30 Dinlenme = 60 sn Koşullar = Normoksi ve Hipoksi	↔Dispne algısı değişmedi ↔Doku saturasyon indeksi değişmedi (Normoksi ve Hipoksi) ↓V _E ve Bf yükseldi (Normoksi)
Oliveira vd., 2024	Bisiklet sporcuları (8)	PLA = %15 P _{imaks} Set × tekrar = 2×30 SKI = %40 P _{imaks} Set × tekrar = 2×30 Dinlenme = 60 sn Koşullar = Normoksi ve Hipoksi	↑P _{imaks} 10 km zamanlı yarış sonrası daha az azaldı (Normoksi) ↑Algısal yanıtlar yarışın ilk çeyreğinde (2,5 km) daha düşüktü (Normoksi) ↑Kardiyak çıktı yarışın ilk çeyreğinde (2,5 km) daha düşüktü (Normoksi) ↑Performans süresi azaldı (10 km) ↓V _E arttı ve SaO ₂ azaldı (10 km zamanlı yarış anında) (Hipoksi) ↓SaO ₂ 10 km zamanlı yarış testi anında azaldı (Hipoksi)
Soares de Araujo vd., 2024	Yüzme sporcuları (14)	KON = Spora özgü ısınma SKI = %40 P _{imaks} Set × tekrar = 2×15 Dinlenme = 60 sn	↔La değeri değişmedi ↔Kuvvet çıktısı değişmedi ↔Cilt sıcaklığı değişmedi ↔Dispne ve periferik kasların efor algısı değişmedi
Koizumi ve Ohya, 2024	Sağlıklı katılımcılar (10)	PLA = %15 P _{imaks} SKI = %80 P _{imaks} Set × tekrar = 3×10 Dinlenme = 60 sn	↑P _{imaks} arttı ↑Egzersiz toleransı yükseldi ↑Egzersiz anındaki vastus lateralis oksihemoglobin yükseldi ↑Bacak için efor algısı azaldı.
Aktan vd., 2024	Hastalar (KOA ve inspiratuar kas güçsüzlüğü) (30)	KON = SKI uygulanmadı (8 haftalık FA + %60 P _{imaks} SKA) Set × tekrar = 1×30 SKI = %40 P _{imaks} (8 haftalık FA + %60 P _{imaks} SKA) Set × tekrar = 2×30 Dinlenme = 60 sn	↑P _{imaks} arttı ↑Egzersiz kapasitesi yükseldi ↑Solunum fonksiyonu (FEV ₁) yükseldi ↑Dispne algısı azaldı ↑Yaşam kalitesi puanları yükseldi

Tablo 2.1. (Devam)

Koizumi ve Ohya, 2023	Sağlıklı katılımcılar (11)	PLA = %15 P_{imaks} Set × tekrar = 2×30 (%15) SKI = %40 ve %80 P_{imaks} Set × tekrar = 2×30 (SKI %40) Set × tekrar = 3×10 (SKI %80) Dinlenme = 60 sn	$\uparrow P_{\text{imaks}}$ arttı $\uparrow$ Sternokleidomastoid ve interkostal EMG yanıtları arttı (SKI _{%80} > SKI _{%40} > PLA)
Marostegan vd., 2022	Fiziksel olarak aktif katılımcılar (16)	KON = SKI uygulanmadı SKI = %15, %40 ve %60 P_{imaks} Set × tekrar = 2×15 Dinlenme = 60 sn	$\uparrow$ Sprint testindeki (30sn tükenme) koşu gücü arttı (W/kg) $\uparrow$ Sprint testindeki kuvvet arttı (N/kg) $\uparrow$ Sprint testindeki ortalama hız arttı (SKI _{%60}) ↔ Kas oksijenasyonu değişmedi (Biceps brachii ve vastus lateralis) ↔ KAH egzersiz ve toparlanma anında değişmedi $\uparrow$ Toparlanma anında doku satürasyon indeksi arttı (SKI _{%40}) ↔ Toparlanma anında La değeri değişmedi
Manchado-Gobatto vd., 2022	Fiziksel olarak aktif katılımcılar (16)	KON = SKI uygulanmadı SKI = %40 P_{imaks} Set × tekrar = 2×15 Dinlenme = 60 sn	$\uparrow$ Sprint testindeki (30sn tükenme) koşu gücü arttı (W/kg) ↔ KAH, La ve SaO ₂ değişmedi ↔ Kas oksijenasyonu değişmedi (Biceps brachii ve vastus lateralis)
Cirino vd., 2021	Judo sporcuları (10)	KON = Spora özgü ısınma SKI = %15 ve %40 P_{imaks} (Spora özgü ısınma + SKI) Set × tekrar = 2×15 (SKI %15) Set × tekrar = 2×15 (SKI %40) Dinlenme = 60 sn	$\uparrow$ Judo maçından elde edilen Ippon skorları arttı $\uparrow$ Ayakta mücadele ve duraklama süreleri arttı $\uparrow$ Yerde mücadele süresi ve efor-duraklama oranı azaldı ↔ KAH, La ve efor algısı değişmedi
Arend vd., 2021	Kürek sporcuları (10)	KON = Spora özgü ısınma SKI = %40 P_{imaks} (Spora özgü ısınma + SKI) Set × tekrar = 2×30 Dinlenme = 120 sn	↔ VO ₂ kinetiği değişmedi

Tablo 2.1. (Devam)

Barnes ve Ludge, 2021	Koşu sporcuları (17) (Orta mesafe)	KON = Spora özgü ısınma Set × tekrar = 1×30 SKI = %50 S-indeks (Spora özgü ısınma + SKI) Set × tekrar = 1×30	↑P_{imaks} arttı ↑İnspiratuar zirve güç, akış ve hacim değerleri arttı ↑Performans süresi azaldı (3200m koşu) ↔VO _{2pik} , V _E ve KAH değişmedi ↑Dispne algısı koşu denemesi boyunca daha azdı
Tong vd., 2019	Takım sporu sporcuları (9) (Futbol ve Hentbol)	KON = Pasif dinlenme (Aralıklı egzersiz protokolü sonrası 15 dk) SKI = %40 P _{imaks} (11 dk pasif dinlenme + Gövde kas sistemine yönelik dört egzersizle eş zamanlı SKI) Not: Müdahaleler aralıklı koşu bandı egzersizleri arasında gerçekleştirilmiştir.	↑P_{imaks} daha hızlı iyileşti ↑Gövde kas dayanıklılık performansında daha hızlı iyileşme ↑Tekrarlı sprint testindeki zirve ve ortalama hız arttı ↔Anterior uyluk kas perfüzyonu değişmedi ↔La ve KAH değişmedi ↔Dispne ve efor algısı değişmedi
Richard ve Billaut, 2019	Sürat pateni sporcuları (8)	PLA = %15 P _{imaks} Set × tekrar = 2×30 SKI = %40 P _{imaks} Set × tekrar = 2×30 Dinlenme = 60 sn	↔Performans süresi değişmedi (3000m buz pist) ↔Doku satürasyon indeksi değişmedi ↔Dispne ve efor algıları değişmedi
Merola vd., 2019	Judo sporcusu (11)	KON = Spora özgü ısınma PLA = %15 P _{imaks} (Spora özgü ısınma + SKI) Set × tekrar = 2×15 SKI = %60 P _{imaks} (Spora özgü ısınma + SKI) Set × tekrar = 2×15 Not: Isınma aktiviteleri anında her hareketten hemen sonra bir nefesle toplamda 30 inspirasyon manevrası)	↔Spora özgü kondisyon testi skorları değişmedi ↔KAH kondisyon testi sonrası değişmedi ↓Efor algısı yükseldi
Özdal ve Bostancı, 2018	Hokey sporcuları (30)	KON = SKI uygulanmadı SKI = %40 P _{imaks} Set × tekrar = 2×30 Dinlenme = 120 sn	↑P_{imaks} arttı ↑P_{emaks} arttı ↑VO_{2pik}, KAH ve V_E değerleri arttı

Tablo 2.1. (Devam)

Richard ve Billaut, 2018	Sürat pateni sporcuları (7)	PLA = %15 P _{imaks} (10 mmHg'da 3×5 dakikalık kompresyon ve 5 dakikalık reperfüzyon + SKI) Set × tekrar = 2×30 SKI = %40 P _{imaks} (180 mmHg'da 3×5 dakikalık kompresyon ve 5 dakikalık reperfüzyon + SKI) Set × tekrar = 2×30 Dinlenme = 60 sn Not: Kronik iskemik önkoşullanmalı kombine protokoller	↔Performans süresi değişmedi (600m buz pist) ↑Vastus lateralis HHbMb oranı yükseldi (15-40. saniyede) ↔KAH değişmedi ↔Dispne ve efor algıları değişmedi
-----------------------------	--------------------------------	--	--

Standartlaştırmak için tüm tabloda MİP yerine P_{imaks} terimi kullanılmıştır. Tablodaki egzersiz yanıtları ve performans değişimleri istatistiksel anlamlılıkları dikkate alınmadan raporlanmıştır. ↑=Pozitif etkiler; ↓=Negatif etkiler; ↔=Nötr etkiler; FA=Fiziksel aktivite; Bf=Solumun frekansı; FEV₁=Birinci saniyedeki zorlu ekspiratuar hacim; HHbMb=Deoksihemoglobin-deoksimeyoglobin oranı; SKA=Solumun kası antrenmanı; SKI=Solumun kas ısınması; PLA=Plasebo; KAH=Kalp atış hızı; KON=Kontrol; V_E=Ventilasyon; SaO₂=Oksijen saturasyonu; La=Laktat.

Yukarıdaki tabloda gösterildiği üzere, birçok araştırma SKI sonrasında egzersiz yanıtlarında veya performans değişkenlerinde potansiyel iyileşmeler bildirmiştir; ancak bu değişikliklerin yalnızca sınırlı bir kısmı istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Her ne kadar istatistiksel olarak anlamlı sonuçlar olmasa bile çalışma gruplarında belirgin değişim eğilimleri görülmektedir. Bu değişken yanıtları raporlayan araştırmaların birbirinden farklı disiplinlerdeki sporcularda gerçekleştirildiği ve değişen hacim/yoğunluklardaki SKI protokollerinin kullanıldığını belirtmek önemlidir. Sonuç olarak bu çalışmaların birçoğu daha tutarlı ve etkili bulgular elde etmek için potansiyel olarak bireyselleştirilmiş farklı yoğunlukları veya daha büyük hacimleri içeren yeni SKI protokollerinin optimize edilmesi veya uygulanması gerekliliğini vurgulamaktadır (Soares de Araujo vd., 2024; Koizumi ve Ohya, 2024; Marostegan vd., 2022).

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Katılımcılar

Araştırmaya 9 dayanıklılık (Bisiklet, Triatlon, Kano), 9 güç (Güreş, Judo, Atletizm_{100m}), 8 beceri (Okçuluk, Masa tenisi, Jimnastik) ve 9 karma (Futbol, Voleybol, Basketbol) spor disiplinlerinden (Pelliccia vd., 2021) antrenmanlı toplam 35 erkek sporcu katıldı. Katılımcılar bölgeselden uluslararası (21 milli) düzeye kadar çeşitli yarış/müسابaka deneyimlerine sahipti. Araştırmanın örneklem büyüklüğü G-power yazılımı (sürüm 3.1.9.7, Franz Faul, Kiel Üniversitesi, Almanya) kullanılarak en az 24 (8 katılımcı $\times$ 3 ısınma uygulaması) katılımcı olarak hesaplanmış olsa da potansiyel eksilmelere karşı eklenen yedek deneklerle birlikte toplam 37 gönüllü çalışmaya dâhil edildi. Ancak laboratuvar ziyaretlerini tamamlayamayan 2 katılımcının çıkartılması sonucunda araştırma 35 katılımcıyla tamamlandı.

Katılımcıların araştırmaya dâhil etme kriterleri: (i) 18-28 yaş aralığında olması (ii) en az 8 yıl antrenman geçmişine sahip olması ve (iii) haftada en az 4 kez düzenli antrenman yapıyor olması olarak belirlendi. Dışlama kriterleri: (i) sigara içme öyküsü olması (ii) son 3 ay içinde fiziksel sakatlık, akut solunum veya kardiyovasküler hastalık geçmişi olması, (iii) son 3 ay içinde SARS-CoV-2 pozitif hastalık tanısı almış olması ve (iv) solunum fonksiyon ölçümlerinin (FEV_1) normal klinik aralığın dışında olması ($\leq \%80$) (Graham vd., 2019; Stanojevic vd., 2022) olarak belirlendi.

Araştırmaya Ondokuz Mayıs Üniversitesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulunun 2022/388 sayılı onay kararından sonra başlandı (EK 1). Katılımcılar çalışma hakkında Helsinki Bildirgesine uygun olarak ayrıntılı şekilde bilgilendirildi ve “Gönüllü Olur Formu” alındıktan sonra araştırmaya dâhil edildi.

3.2. Deneysel Tasarım

Bu araştırmada plasebo, randomize, çapraz ve çift kör araştırma tasarımları kullanıldı. Bu tasarıma göre, her bir sporcu kendisine randomize olarak atanmış (randomizer.org) farklı zamanlar için çapraz tasarımı takip eden ısınma uygulamalarını (Kontrol, Plasebo_{%15} ve SKI_{%40}) gerçekleştirildi (Şekil 3.1). Bu uygulamalar; a) Kontrol (Genel ısınma), b) Plasebo_{%15} (Genel ısınmaya ek %15 dirençte SKI) ve c) SKI_{%40} (Genel Isınmaya ek %40 dirençte SKI) olmak üzere 3 gruba ayrılmaktadır.

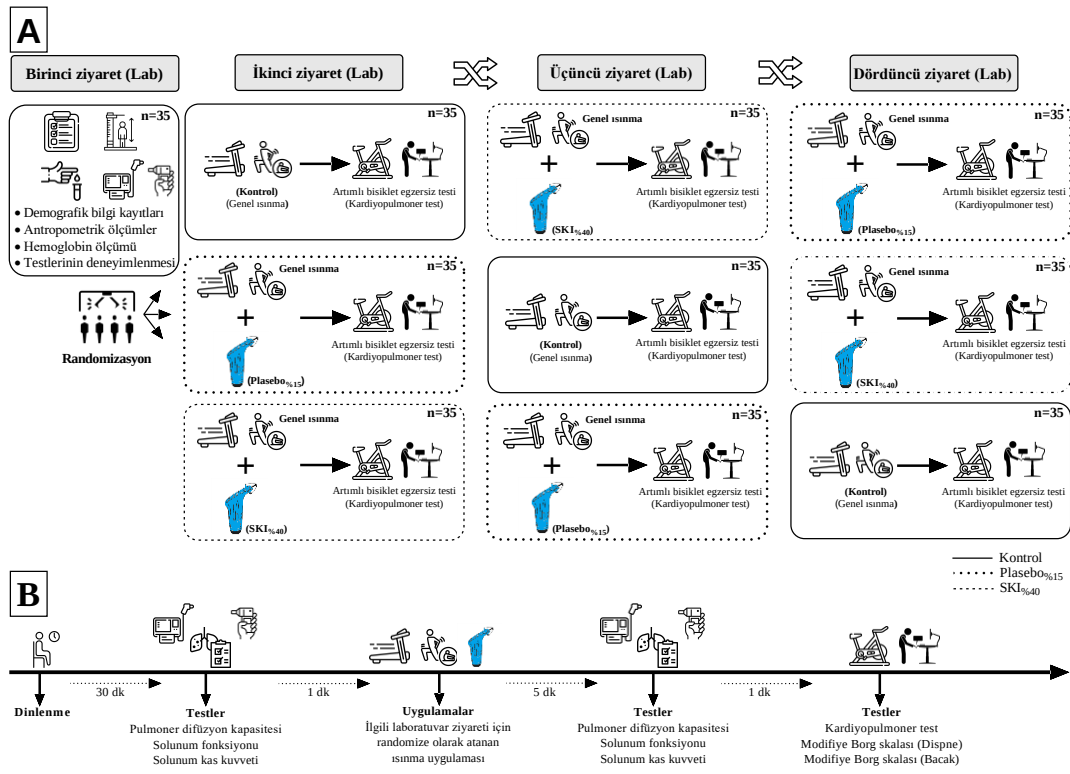
Verilerin doğruluğunu ve güvenilirliğini artırmak için araştırma süreci boyunca hem katılımcıların hem de laboratuvar ölçümlerini gerçekleştiren araştırmacının ısınma koşullarına/durumlarına (Kontrol, Plasebo%15 ve SKI%40) karşı kör olması sağlandı. Bu ziyaretler sırasında katılımcılara dayanıklılık tipi, güç tipi ve direnç tip ısınma uygulamalarının en etkili kombinasyonunu belirlemeyi amaçlandığı söylenerek çalışmanın gerçek amacı gizlendi. Katılımcılara hiçbir şekilde çalışmanın varsayımları anlatılmadı ve araştırma sürecini tamamlayana kadar test sonuçları kendilerine verilmedi.

Katılımcılar için her bir laboratuvar ziyareti arasındaki süre 72-84 saat olarak planlandı ve tutarlılık için uygulamalar günün aynı saatinde gerçekleştirildi. Katılımcılardan her ziyaretten önceki 24 saat içinde ilk laboratuvar gününe benzer bir diyet uygulamaları, hidrasyon durumlarını dengede tutmak için en az 1.8 L/24sa su tüketmeleri (Armstrong ve Johnson, 2018) ve ziyaretler arasındaki günlerde düzenli egzersiz rutinlerini sürdürmeleri istendi. Ayrıca ziyaretlerden önceki gece en az 8 saat uyumaları tavsiye edildi. Bununla birlikte ölçüm verileri üzerinde akut karıştırıcı etkileri azaltmak için katılımcılara ziyaretten en az 3 saat önce son öğünlerini tüketmeleri, en az 24 saat öncesine kadar kafeinli/alkollü içecek tüketiminden kaçınmaları ve yoğun egzersizden uzak durmaları talimatı verildi (Coffman vd., 2017; Coffman vd., 2018; Ohya vd., 2015). Test ve uygulamaların gerçekleştirildiği laboratuvar günlerinde katılımcılar şort, tişört ve spor ayakkabıları da dâhil olmak üzere spor kıyafetleri giydi. Tüm testler laboratuvar koşullarında (sıcaklık: 20°C $\pm$ 1; bağıl nem: %55 $\pm$ 3) gerçekleştirildi ve çalışmada kullanılan cihazların kalibrasyonları her test gününün başlangıcında tamamlandı.

Katılımcılar laboratuvarı toplamda dört kez ziyaret etti. Birinci laboratuvar ziyareti sırasında katılımcılara araştırma hakkında bilgilendirme yapıldı, antropometrik ölçümler gerçekleştirildi, hemoglobin testi uygulandı ve uygulamalı olarak testler deneyimletildi. İkinci, üçüncü ve dördüncü laboratuvar ziyaretleri anında katılımcılar kendilerine randomize olarak atanan sıralamada ısınma müdahalelerinden/koşullarından (Kontrol, Plasebo%15 ve SKI%40) birini gerçekleştirdi. Dördüncü laboratuvar ziyaretinin sonunda, her bir katılımcı tüm ısınma koşullarını (Kontrol, Plasebo%15 ve SKI%40) ve ilgili testleri tamamlayarak araştırmayı tamamlamıştır.

Laboratuvar günlerindeki uygulamalar sırasıyla ısınma öncesi testler, müdahale

(ısınma uygulamaları) ve ısınma sonrası testler olmak üzere üç aşamada gerçekleştirildi. Testlere geçmeden önce kalp atış hızını ve diğer karıştırıcı fizyolojik faktörleri en aza indirmek için, her laboratuvar ziyareti başlangıcında katılımcılar 30 dakika boyunca oturur pozisyonda dinlendirildi. Her ziyaretteki ısınma uygulaması toplamda yaklaşık 30 dakika sürdü. Tüm ısınma seansları öncesi ve sonrası pulmoner difüzyon kapasitesi, solunum fonksiyonları ve solunum kas kuvveti testleri yapıldı. Ardından, katılımcıların ısınma uygulamalarına göre egzersize karşı verdikleri fizyolojik yanıtları belirlemek için artımlı bir bisiklet testi gerçekleştirildi (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Kontrol, Plasebo₁₅ ve SKI₄₀ koşullarını/müdahalelerini gösteren randomize çapraz geçişli A) çalışma tasarımının ve B) test günlerinin şematik gösterimi

3.3. Isınma Protokolleri

3.3.1. Genel Isınma Uygulaması

Genel ısınma (Kontrol) uygulamasının içeriği, çalışmaya dahil edilen spor disiplinlerini kapsayacak şekilde yapılandırılmış üç dakikalık hafif bir koşu (60sn dinlenme), on üç dakikalık aktif, yedi dakikalık pasif (statik) ve yaklaşık beş dakikalık dinamik hareketlerden oluşturuldu. Isınma egzersizleriyle ilgili ayrıntılı bilgiler Tablo 3.1’de verildi.

Tablo 3.1. Isınma egzersizlerinin tanımları

Egzersizler	S	Z/M	D
1) Koşu			
Tempolu koşu Kendi temposunda (9±1 km/sa ve %0 eğim) koşu bandında koşmak	—	180 sn	60 sn
2) Aktif hareketler			
Kolları yukarı aşağı hareket ettirme (Arms up/down) Kolları önde yukarı kaldırma ve aşağı indirme	3	20 sn	10 sn
Kolları açıp kapatma (Open/close arms) Kolları yanlara doğru uzatma ardından önde birleştirme	3	20 sn	10 sn
Yanlara eğilme (Waist side-to-side) Kolları yanda salık pozisyonunda bırakma ve sağa-sola eğilme	3	20 sn	10 sn
Bel çevirme (Waist circles)* Beli/kalçayı dairesel yönde çevirme	3	20 sn	10 sn
İleri-geri bacak sallama (Leg swinging—antero-posterior direction)* Bacağı hareket aralığı boyunca sagittal düzlemde ileri/geri hareket ettirme	3	20 sn	10 sn
Medio-lateral yönde bacak sallama (Leg swinging—medio-lateral)* Bacağı hareket aralığı boyunca koronal düzlemde yanlara hareket ettirme	3	20 sn	10 sn
3) Pasif (statik) hareketler			
Oturarak tek bacak hamstring (Seated single leg hamstring)* Bir bacağı düz diğerini iç kısma yerleştirme ve öne doğru uzanma	3	15 sn	5 sn
Çift bacak gastrocnemius (Double leg gastrocnemius) Duvardan bir metre uzakta ileriye doğru hamle yaparak duvara uzanma	3	15 sn	5 sn
Kalça/uyluk fleksör hareketi (Hip/thigh flexor lunge)* Bir diz yerde diğeri ileri hamle halinde (vücut merkezi) öne doğru eğilme	3	15 sn	5 sn
Quadriceps esnetme (Quadriceps stretch)* Ayaktayken bir dizi bükme ve topuğu kalçaya doğru yaklaştırmak	3	15 sn	5 sn
4) Dinamik hareketler			
Yüksek diz sekme (High knee skip) Hızla ileri doğru hareket ederken diz kaldırma (kollar dinamik/hareketli)	2	10 m	10 sn
Başüstü ileri hamle yürüyüşü (Overhead lunge walk) Kolları başın üstüne uzatma ve her adımda dizi yere yaklaştırarak yürüme	2	10 m	10 sn
Yana hamle yürüyüşü (Lateral lunge walk)* Yana doğru bir ayağı uzatma diğerini sürükleyerek yanına çekme	2	10 m	10 sn
İleri kapı/engel salınımları (Forward gate swings) Hızlı tempo yürürken sağ ardından sol bacağı açık yönde yukarı kaldırma	2	10 m	10 sn
Geri kapı/engel salınımları (Backward gate swings) Tempolu geri yürürken sağ ardından sol bacağı açık yönde yukarı kaldırma	2	10 m	10 sn
Topuk vuruşu/kaldırma (Heel kick/ups) İleriye doğru hareket ederken topukları hızla kalçalara doğru kaldırma	2	10 m	10 sn

*Tek yönlü ya da tek taraflı açıklamalar için hareketler her iki yön ya da her iki taraf (uzuv) için tekrarlanır. Pasif hareketler ağırsız tolere edilebilir noktaya kadar gerçekleştirildi (Gil vd., 2019). Dinlenme süreleri her set arasındaki potansiyel dinlenme zamanlarını ifade etmektedir. S=Set; Z/M=Zaman/Mesafe; D=Dinlenme.

Bu egzersizlerin belirlenme aşamasında önceki araştırmalar ve mevcut rehberlerle uyumlu olarak herhangi bir spora özgü olmayan genel bir ısınma protokolü dikkate alındı. Genel ısınma protokolü; kalp atım hızı, solunum, kan akışı, kas sıcaklığı ve eklem sıvısının viskozitesinde potansiyel değişiklikler yaratan düşük düzeyli aerobik aktiviteyi, hedef aktiviteye yönelik hareket aralığını etkileyebilecek esneme egzersizlerini ve spora özgü temel hareket kalıplarını simüle eden dinamik hareketleri içermektedir (Li vd., 2024; Kovacs, 2009; Jeffreys, 2019; Walker, 2011; Afonso vd., 2024; Jeffreys, 2024; Gil vd., 2019; Jeffreys, 2016). Isınma hareketlerinde tipik olarak yukarıdan aşağıya doğru olacak şekilde sırasıyla kolların, omuzların, göğüs kafesinin, belin ve bacakların hareketliliği hedeflendi. Her laboratuvar ziyaretinde, katılımcılara tüm ısınma egzersizleri istenilen teknik ve hızda gösterilerek benzer sayılarda tekrar uygulamaları sağlandı. Bununla birlikte egzersizler anında hareketlerin uygun formlarda gerçekleştirildiğinden emin olmak için müdahale boyunca izlendi.

3.3.2. Solunum Kası Isınma Uygulaması

Sistematik bir inceleme çalışmasında, inspiratuar (%4–21) ve performans (%2–34) çıktılarında iyileşmenin görüldüğü en sık kullanılan direnç yoğunluğunun %40 olduğu ifade edilmiştir (Cirino vd., 2023). Bu nedenle, araştırmada SKI uygulamasının optimal sonuçlarını elde edebilmek amacıyla cihazın basınç direnci hedef müdahale için %40 olarak belirlendi. Bu bağlamda ısınma uygulaması, POWERbreath (IMT Technologies Ltd., Birmingham, UK) cihazı kullanılarak %40 (SKI_{%40}) ve %15 (Plasebo_{%15}) maksimal inspiratuar basınca (P_{maks}) karşılık gelen direnç yoğunluklarında gerçekleştirildi. SKI uygulaması, iki set 30 inspirasyondan (nefes) ($2 \times 30 = 60$ manevra) oluşturuldu ve setler arasında 60 sn dinlenme verildi (Cirino vd., 2023; Lomax vd., 2011). Katılımcıya her bir inspirasyon sırasında “*olabildiğince sert, hızlı ve derin nefes almaları*” ve her ekspirasyonda “*akciğerlerini tamamen boş hissedinceye kadar yavaş ve pasif nefes vermeleri*” talimatı verildi. Tüm uygulamalar oturur pozisyonda ve burun klipsi takılıyken gerçekleştirildi. Her laboratuvar ziyaretinde katılımcılara uygulama tekniği gösterildi ve uygun formlarda gerçekleştirildiğinden emin olmak için müdahale boyunca izlendi.

3.4. Fizyolojik Ölçümler

Şekil 3.2’de katılımcıların fizyolojik ölçümleri için uygun şekilde donatılmış laboratuvar alanı gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Fizyolojik ölçümler için kurulum: A) LC7 bisiklet ergometresi B) Spirometrik ve kardiyopulmoner ölçümler için test cihazı ve C) CO karışımını içeren sıkıştırılmış gaz tüpü

3.4.1. Akciğer Karbonmonoksit Difüzyon Kapasitesi (DL_{CO}) Testi

DL_{CO} testi, Quark PFT (COSMED, Albano Laziale, Rome, Italy) cihazı kullanılarak Amerikan Toraks Derneği ve Avrupa Solunum Derneği kılavuzuna uygun olarak yapıldı (Graham vd., 2017). DL_{CO}, gaz karışımının (%0,3 CO, %0,3 CH₄, %21 O₂ ve Bal. N₂) inspire edilmesini ve 10 saniye nefes tutma süresinin ardından tamamen ekspire edilmesini içeren, akciğerlerden kan dolaşımına ne kadar karbonmonoksit (CO) geçtiğini belirleyen önemli bir pulmoner fonksiyon testidir. DL_{CO} testi, oturur pozisyonda tek nefes tutma tekniği (single-breath) kullanılarak gerçekleştirildi. Katılımcı ısınma uygulamaları sonrasında 5 dakika dinlendirildikten sonra teste tabi tutuldu. Test, burun klipsi ve ağızlık hava kaçağı olmayacak şekilde yerleştirildikten sonra başlatıldı. Katılımcının ağızlığa uyum sağladığından emin olana kadar tidal hacim (TV) düzeyinde nefes alıp vermesi istendi. DL_{CO} manevrası, rezidüel hacme (RV) kadar zorlanmadan ekspirasyonla başladı. RV'ye ulaşıldığında katılımcının ağızlığına test gazının kaynağı yönlendirildi ve katılımcıya toplam akciğer kapasitesine (TLC) kadar hızlı bir şekilde inspirasyon yapması talimatı verildi. Katılımcı test gazını soluduktan sonra nefesini 10 saniye tuttu ve ardından kesintisiz ve hızlı bir şekilde (≤ 4 sn) maksimum güç olmadan ekspirasyon yaptı. Bu testin

sonuçları DL_{CO} olarak raporlandı. Bu testle ayrıca alveoler hacim (V_A), difüzyon katsayısı (K_{CO}) ve TLC hesaplandı (Graham vd., 2017; Stanojevic vd., 2022). En yüksek değerler kaydedilmeden önce aralarında 4 dakika olan en az iki test (her biri arasında $\Delta 2 \text{ mL} \cdot \text{dak}^{-1} \cdot \text{mmHg}^{-1}$) yapıldı (Graham vd., 2017).

Tüm ölçümler tek kullanımlık (Üfleme rolesi–Filtreli) ağızlıklar kullanılarak gerçekleştirildi. Birinci laboratuvar ziyaretindeki deneyimlemelere rağmen tüm katılımcılara testten önce solunum manevrası hatırlatıldı. Her laboratuvar ziyareti öncesinde 3 L’lik şırıngayla (Hans Rudolph, Shawnee, KS, ABD) hacim kalibrasyon kontrolü yapıldı. Ayrıca her manevradan önce akış ve gaz analizörleri sıfırlama protokolü gerçekleştirildi (Graham vd., 2017).

DL_{CO} ölçümlerinin doğruluğunu arttırmak için her bir katılımcının bireysel hemoglobin (Hb) değerleri parmak ucundan alınan yaklaşık 10 mikrolitre (μL) kan numunesiyle doğrudan bir okuma hemoglobinometre (EKG Diagnostic, Magdeburg, Germany) kullanarak analiz edildi. Analizi yapılan Hb değeri daha sonra OMNIA sisteminin ara yüzüne aktararak düzeltilmiş DL_{CO} ($DL_{CO,HbCorr}$) verileri elde edildi (Graham vd., 2017).

DL_{CO} ölçümleri her bir laboratuvar ziyaretindeki ısınma uygulamaları öncesi, sonrası ve kardiyopulmoner test sonrası alındı. Başka bir ifadeyle her bir katılımcı toplamda 6 DL_{CO} testine katıldı.

3.4.2. Solunum Fonksiyon Testi

Solunum fonksiyon testi, Quark PFT (COSMED, Albano Laziale, Rome, Italy) cihazı kullanılarak Amerikan Toraks Derneği ve Avrupa Solunum Derneği kılavuzuna uygun olarak yapıldı (Graham vd., 2019; Stanojevic vd., 2022). Solunum fonksiyon test verileri, hacim, kapasite ve akım parametreleri olarak üç kategoride gruplandırıldı.

i) Solunum hacim parametreleri: (1) tidal hacim (VT); (2) inspiratuar rezerv hacim (IRV); (3) ve ekspiratuar rezerv hacim (ERV).

ii) Solunum kapasite parametreleri: (1) inspiratuar kapasite (IC); (2) vital kapasite (VC); (3) toplam akciğer kapasitesi (TLC).

iii) Solunum akım parametreleri: (1) zorlu vital kapasite (FVC); (2) birinci saniyedeki zorlu ekspiratuar hacim (FEV_1); (3) Tiffeneau-Pinelli indeksi (FEV_1/FVC) (4) zirve ekspiratuar akım (PEF); (5) zorlu ekspiratuar akım (FVC ’nin %25 ile %75’i arasındaki) ($FEF_{\%25-75}$); (6) ve maksimum istemli ventilasyon (MVV).

Tüm ölçümler tek kullanımlık filtreli ağızlıklar kullanılarak oturma pozisyonunda ve burun klipsi takılıyken gerçekleştirildi. Birinci laboratuvar ziyaretindeki deneyimlemelere rağmen tüm katılımcılara testten önce solunum manevraları hatırlatıldı. En yüksek değerler kaydedilmeden önce her biri 150 mL dâhilinde en az üç test uygulandı (Graham vd., 2019; Stanojevic vd., 2022; McConnell, 2007).

3.4.3. Solunum Kas Kuvveti Testi

Solunum kas kuvveti testi, MicroRPM (CareFusion Micro Medical, Kent, UK) cihazı kullanılarak Amerikan Toraks Derneği ve Avrupa Solunum Derneği kılavuzuna uygun olarak maksimal inspiratuar basınç (P_{imaks}) ve maksimal ekspiratuar basınç (P_{emaks}) ölçülerek gerçekleştirildi (Laveneziana vd., 2019). Testler, katılımcının doğrudan karşıya baktığı ve burun klipsi kullandığı bir oturma pozisyonunda (90°) gerçekleştirildi. P_{imaks} , rezidüel hacimden (RV) izometrik inspirasyon manevrasıyla, P_{emaks} ise toplam akciğer kapasitesinden (TLC) izometrik ekspirasyon manevrasıyla başlayan maksimum bir eforla gerçekleştirildi. Katılımcının en az 1,5 saniye boyunca maksimum efort üretmelerini sağlamak için sözlü teşvik sağlandı. En yüksek değerler kaydedilmeden önce her biri %5'ten az değişkenlik gösteren veya birbiriyle 5 cmH₂O dâhilinde en az üç test yapıldı (Laveneziana vd., 2019; McConnell, 2007). Birinci laboratuvar ziyaretindeki deneyimlemelere rağmen tüm katılımcılara testten önce solunum manevraları hatırlatıldı.

3.4.4. Bisiklet Ergometresi

Kardiyopulmoner egzersiz testi, bisiklet ergometresi (Monark LC7, Vansbro, İsveç) üzerinde gerçekleştirildi. Önceki çalışmalarla tutarlı olarak, iş yükünün her iki dakikada bir arttığı ve sürekli aşamalı artım protokolü uygulandı (Brotto vd., 2022; Bouwsema vd., 2016; Tedjasaputra vd., 2016; Tedjasaputra vd., 2017; Does vd., 2024; Glaab ve Taube, 2022; Petek vd., 2021).

Katılımcı teste, 50 (Watt) iş yükünde başladı ve her iki dakikada bir 25 (Watt) iş yükü arttırılarak devam etti. Test boyunca pedal çevirme hızı (ritmi) bisiklet ekranından sürekli olarak izlendi ve katılımcıya ortalama $\geq 60 (\pm 5)$ rpm aralığında sabit bir tempoyu korumaları talimatı verildi. Test sırasında sözlü desteğe rağmen katılımcı 55 rpm pedal ritminin altında 10 saniyeden fazla geçirdiğinde ve daha fazla devam edemeyeceğine karar verdiğinde (istemli tükenme) test sonlandırıldı. Testin

sonlandırılmasının ardından katılımcılar yaklaşık 2 dakika aktif toparlanma etkisi için 20 (Watt) iş yükünde pedal çevirmeye devam etti.

Her bir ziyarette test öncesi, katılımcının bisiklete uyumunu artırmak için sele, gidon yüksekliği ve konumu optimize edildi (Priego Quesada vd., 2017). Bununla birlikte, katılımcılar laboratuvar ziyaretinde araştırma amaçlarına uygun bir ısınma (Kontrol, Plasebo%15 ya da SKI%40) uyguladıkları için bisiklet üzerinde ek bir ısınma gerçekleştirmedi. Ancak maske, sele, gidon, konum ve pedal konforuna uyum sağlamak için yaklaşık 30 saniye boyunca dirençsiz pedal çevirmelerine izin verildi. Son olarak bisiklet ergometresinin kalibrasyonu her test gününün başlangıcında üretici firmanın talimatlarına uygun olarak tamamlandı.

3.4.5. Kardiyopulmoner Test

Kardiyopulmoner veriler, nefes nefese (breath-by-breath) Quark CPET metabolik sistem (COSMED, Albano Laziale, Roma, İtalya) kullanılarak elde edildi. Tüm veriler bisiklet ergometresi testi boyunca, alınan ve verilen (inspire ve expire edilen) havanın akış hızını ölçen kütle akış sensörüne bağlı bir oronazal bir yüz maskesi (Hans Rudolph, Shawnee, KS, USA) aracılığıyla kaydedildi. Kalp atım hızı verileri, CPET alıcı modülle kablosuz olarak iletişim kuran bir göğüs kemeri kullanılarak (T34, Polar Electro Oy, Finlandiya), oksijen saturasyon verileri ise CPET sistemine entegre kablolu bir SaO_2 probu kullanılarak kaydedildi.

Kardiyopulmoner egzersiz verileri, maksimal performans, metabolik, ventilatuar, kardiyovasküler ve gaz değişim parametreleri olarak beş kategoride gruplandırıldı.

i) Maksimal performans parametreler: (1) maksimal aerobik tükenme süresi (MATS); (2) en az 30 saniye boyunca sürdürülen maksimal aerobik iş gücü (MAG); (3) egzersiz anındaki her bir dakikada bir elde edilen dispne algısı (MBS_D); (4) ve alt ekstremitelerdeki yorgunluk/zorlanma algısı skorları (MBS_B).

ii) Maksimal metabolik parametreler: (1) oksijen tüketimi (VO_2); (2) maksimal oksijen tüketimi ($\text{VO}_{2\text{maks}}$); (3) CO_2 üretimi/eliminasyonu (VCO_2); (4) ve VCO_2 ve VO_2 oranına karşılık gelen solunum değişim oranı (SDO).

iii) Maksimal ventilatuar parametreler: (1) artımlı egzersiz sırasında elde edilen dakika ventilasyonu (V_E); (2) ventilasyonun (V_E) egzersiz sırasında maksimum istemli solunuma (MVV) ne kadar yaklaştığını ifade eden solunum değişim oranı (SR); (3)

maksimum efor anında her nefes için katılımcının inspirasyon hacmine karşılık gelen tidal hacim (30 saniyelik ortalama) (TV); (4) ve solunum frekansı (Bf).

iv) Maksimal kardiyovasküler parametreler: (1) dakikadaki kalp atım hızı (KAH); (2) oksijen tüketimine (VO_2) karşılık gelen KAH oranı (VO_2/KAH).

v) Maksimal gaz değişim parametreleri: (1) ventilasyon ve karbondioksit üretim oranı (V_E/VCO_2); (2) ventilasyona (V_E) karşılık gelen oksijen tüketim (VO_2) oranı (V_E/VO_2); (3) oksijen saturasyon değeri (SaO_2); (4) kardiyak çıktıyla ilişkili end tidal oksijen ($PetO_2$); (5) ve end tidal karbondioksit basıncı ($PetCO_2$) (Glaab ve Taube, 2022; Dores vd., 2024; Petek vd., 2021; Balady vd., 2010).

Tüm veriler eş zamanlı olarak egzersiz boyunca CPET modülüne entegre OMNIA (versiyon 2.2) yazılımından izlendi. Maksimal oksijen tüketimi (VO_{2maks}) için egzersizin son 30 saniyelik bölümündeki en yüksek değer ortalaması kullanıldı. VO_{2maks} değerinin belirlenebilmesi için aşağıdaki dört kriterden üçünün karşılanmasına dikkat edildi: (1) güç çıkışındaki artışa karşılık oksijen tüketiminin $<150 \text{ mL dk}^{-1}$ artması (plato görülmesi); (2) $\geq 1,10$ solunum değişim oranı; (3) tahmin edilen maksimum kalp atış hızına ulaşılması ($\pm \%10$); (4) ve istemli tükenme (Yi vd., 2024; Smith vd., 2015; Pritchard vd., 2021; Kinneer ve Hull, 2021; Glaab ve Taube, 2022). Tüm katılımcılar VO_{2maks} için bu kriterleri sağladı.

Her testten önce CPET metabolik sistemi ve kütle akış sensörü (tirübün hacim dönüştürücü) üretici talimatlarına uygun olarak medikal gaz konsantrasyonları (%5 CO_2 , %16 O_2 ve Bal. N_2) ve ölçümleme şırıngası (3 L) (Hans Rudolph, Shawnee, KS, ABD) kullanılarak kalibre edildi.

3.4.6. Modifiye Borg Skalası

Modifiye Borg skalası (MBS), nefes darlığı veya göğüs ağrıları hissine ve kaslardaki gerginlik veya yorgunluğa bağlı olarak algılanan zorlanma düzeyinin derecelendirilmesi için kardiyopulmoner testler anında yaygın olarak kullanılmaktadır (Borg, 1982; Halperin ve Emanuel, 2020). Katılımcıların egzersiz sırasında nefes darlığı (dispne) ve alt ekstremiteler (bacak) rahatsızlığı veya yorgunluk ile ilgili algılanan zorlanma düzeyleri, MBS kullanılarak değerlendirildi. MBS, algılanan zorlanma düzeyini tanımlamak için 0-10 puanlık (“0=Hiç zor değil” [Çok rahat] ve “10=Aşırı zor/şiddetli” [Son derece zor ve/veya neredeyse dayanılmaz]) skala arasında bir sayıya karşılık gelen sözel yanıtı dayalı subjektif bir değerlendirme yöntemidir. MBS, her

kardiyopulmoner test öncesi (10 sn) ve anında (her dakikada bir) algılanan nefes darlığı (MBS_D) ve alt ekstremita (MBS_B) rahatsızlığı veya yorgunluğunun derecelendirilmesi için kullanıldı.

Katılımcılara kardiyopulmoner test öncesi, dispne ve bacak için algıladıkları zorlanma derecelerini işaret edecekleri MBS şablonları tanıtıldı ve puanlamaların dereceleri hakkında detaylı bilgi verildi. Katılımcılar tarafından işaret edilerek bildirilen zorlanma algılarının doğruluğunu sağlamak amacıyla nefes darlığı (MBS_D) ve bacak rahatsızlığına (MBS_B) ilişkin şablonlar gösterilirken tanımlar sözlü olarak ayrıca tekrarlandı. Kardiyopulmoner test sonlandırılmadan önce raporlanan en son MBS_D ve MBS_B puanlamalarının neredeyse tamamı ≥ 9 olarak bildirildi (Pritchard vd., 2021). Bu nedenle egzersiz sırasında her dakika bildirilen MBS puanlarının ortalamaları karşılaştırılarak değerlendirme yapıldı.

3.5. İstatistiksel Yöntem

Veri analizleri için IBM SPSS versiyon 25.0 (IBM Inc., Armonk, NY, ABD) kullanıldı. Tanımlayıcı veriler olarak ortalama ($\bar{X}$), standart sapma (SS), medyan (MED) ve çeyrekler arası aralık (IQR) değerleri sunuldu. Normallik varsayımı histogramların görsel olarak incelenmesi ve Shapiro-Wilk testinin uygulanmasıyla değerlendirildi. Normallik dağılımına göre grup (Dayanıklılık, Güç, Beceri ve Karma) karşılaştırmalarında Tek Yönlü Varyans Analizi (ANOVA) kullanıldı. Gruplar arasındaki farklılıkları belirlemek için post-doc testlerde Bonferroni uygulandı. Isınma durumlarında/müdahalelerinde (Kontrol, Plasebo_{%15} ve SKI_{%40}) ve ısınma öncesi-sonrası verilerin karşılaştırılmasını içeren analizlerde Bonferroni düzeltmeli Tekrarlı Ölçümler Varyans Analizi (Karma Tasarım ANOVA) uygulandı. Bu analizlerin küresellik varsayımı Mauchly testi kullanılarak incelendi. Bu varsayımın p-değeri $<0,050$ olarak çıkması halinde Greenhouse-Geisser düzeltmesi dikkate alındı. Ayrıca durum (Kontrol, Plasebo_{%15} ve SKI_{%40}) ve zaman (öncesi ve sonrası) faktörlerini birlikte işleyebilmek için belirli komutlar (syntax) kullanıldı. Korelasyon (ilişki) analizlerinde Pearson testi uygulandı. Korelasyon katsayıları, değişkenler arasındaki ilişkilerin önemsiz ($<0,10$), düşük ($0,11-0,30$), orta ($0,31-0,50$), yüksek ($0,51-0,70$), çok yüksek ($0,71-0,90$) ve neredeyse mükemmel ($0,91-1,00$) olduğunu gösterir (Hopkins vd., 2009).

Göreceli (relatif) değişimler (delta [Δ]), zaman ve/veya koşul farklılıklarına bağlı olarak başlangıç (referans) değerlerine göre ortaya çıkan farkları göstermede

kullanılır. Göreceli değişimler temel yüzde değişim formülü ($[B - A] / A \times 100$) esas alınarak hesaplandı ve değişkenler arası oranlar $\% \Delta$ simgesiyle gösterildi. Bu araştırmada göreceli değişim oranı, 100'ün üstünderse artı yönlü ($\% \Delta 110 = \%10$), altındaysa eksi yönlü ($\% \Delta 90 = -\%10$) değerlendirildi.

Kardiyopulmoner uygunluk (fitness) sınıflandırması için Amerikan Spor Hekimliği Koleji'nin (ACSM) egzersiz testi ve reçetelendirme kılavuzu dikkate alındı (Liguori vd., 2021). Bu kılavuza göre araştırmamızdaki gruplandırmayı sadeleştirmek amacıyla kondisyon sınıflandırmalarını üç ana kategori altında birleştirdik (Zavorsky ve Smoliga, 2017):

Üstün/Mükemmel ($VO_{2maks} \geq 51,4$ mL/dk/kg),

İyi/Orta ($VO_{2maks} 51,3-38,3$ mL/dk/kg) ve

Zayıf/Çok Zayıf ($VO_{2maks} \leq 38,2$ mL/dk/kg) (Liguori vd., 2021).

4. BULGULAR

Tablo 4.1. Katılımcıların tanımlayıcı özellikleri

	Dayanıklılık (n = 9)	Güç (n = 9)	Beceri (n = 8)	Karma (n = 9)
	$\bar{X} \pm SS$	$\bar{X} \pm SS$	$\bar{X} \pm SS$	$\bar{X} \pm SS$
Yaş (yıl)	21,9±3,9	22,1±1,8	21,3±2,4	21,4±2,1
Boy uzunluğu (cm)	177,2±7,3	178,1±5,5	181,8±4,0	181,1±4,4
Vücut ağırlığı (kg)	72,3±12,1	85,2±12,4	77,3±8,1	77,1±8,1
Vücut kitle indeksi (kg/m ²)	22,9±2,5	26,9±3,9	23,4±2,7	23,5±2,4
Spor geçmişi (yıl)	10,8±3,0	10,0±2,6	8,3±2,1	10,9±2,4
Antrenman sayısı (kez/hafta)*	6,9±1,4 ^B	6,3±1,7 ^{AB}	4,8±1,0 ^A	4,9±1,1 ^A
Antrenman süresi (saat/hafta)*	8,3±1,7 ^B	7,2±2,4 ^{AB}	5,1±1,8 ^A	5,9±2,0 ^{AB}
Hemoglobin (g/dl)	14,8±1,2	14,5±1,0	14,5±1,0	14,4±0,8
Kardiyopulmoner sınıflandırma, n (%)				
Üstün/Mükemmel (Superior/Excellent)	7 (%78)	—	1 (%12)	2 (%22)
İyi/Orta (Good/Fair)	2 (%22)	8 (%89)	4 (%50)	7 (%78)
Zayıf/Çok zayıf (Poor/Very poor)	—	1 (%11)	3 (%38)	

^{A-B} = Aynı satırdaki benzer harflere sahip gruplar arasında fark yoktur. İstatistiksel anlamlılık p<0,050 olarak kabul edildi (*). Kardiyopulmoner sınıflandırma için kontrol ısınma uygulamasında elde edilen referans (baseline) VO_{2maks} değerleri kullanıldı. $\bar{X}$ =Ortalama; SS=Standart sapma.

Tablo 4.1’de dayanıklılık, güç, beceri ve karma disiplinlerden araştırmaya katılan sporcuların tanımlayıcı özellikleri sunulmuştur. Disiplinler arasındaki en belirgin farklılıklar, dayanıklılık grubundaki sporcuların diğerlerine kıyasla daha fazla haftalık antrenman sayısı (sıklığı) (6,9±1,4 kez/hafta) ve süresi (8,3±1,7 saat/hafta) bildirmiş olmasıydı (p<0,050). VO_{2maks} değerine göre, disiplinlerde dayanıklılığın %78’i üstün/mükemmel, gücün %89’u, becerinin %50’si ve karmanın %78’i ise iyi/orta olarak sınıflandırılmıştır.

Tablo 4.2. Spor disiplinlerine göre solunum kapasitelerinin karşılaştırılması

	Dayanıklılık	Güç	Beceri	Karma	Test ist.	p
	$\bar{X} \pm SS$	$\bar{X} \pm SS$	$\bar{X} \pm SS$	$\bar{X} \pm SS$		
<i>Solunum kas kuvveti</i>						
P _{imaks} (cmH ₂ O)	147,3±29,9	139,4±31,6	121,9±29,1	136,3±37,0	0,918	0,444
P _{emaks} (cmH ₂ O)	179,1±23,0	176,6±17,4	158,5±22,0	169,0±31,3	1,245	0,310
<i>Solunum fonksiyonu</i>						
FVC (L)	5,9±0,7	5,8±0,7	5,4±0,5	5,8±0,5	1,415	0,257
FEV ₁ (L)	5,1±0,5	4,7±0,5	4,5±0,4	4,9±0,3	2,885	0,051
FEV ₁ /FVC (%)	85,6±5,7	81,1±3,8	83,5±4,7	84,9±5,4	1,401	0,261
FEF _{%25-75} (L/s)	5,0±0,7	4,4±1,1	4,3±0,9	5,2±1,0	1,806	0,167
PEF (L/s)	9,5±1,9	8,8±1,6	7,9±1,7	7,8±1,5	1,940	0,144
VC (L)	5,5±0,8	5,2±0,7	4,4±0,7	5,1±0,8	2,909	0,050
IRV (L)	2,5±0,6	2,8±0,6	2,2±0,3	2,5±0,5	2,294	0,097
IC (L)	3,5±0,7	3,7±0,7	3,4±0,3	3,4±0,5	0,683	0,569
VT (L)(btps)	1,0±0,3	0,9±0,3	1,3±0,3	0,9±0,3	2,433	0,084
ERV (L)	2,1±0,5	1,6±0,3	1,5±0,6	1,9±0,7	2,136	0,116
MVV (L/dk)	188,6±25,5 ^B	173,9±16,2 ^{AB}	154,8±25,8 ^A	170,6±16,0 ^{AB}	3,605	0,024
<i>Pulmoner difüzyon</i>						
DL _{CO} (mL/dk/mmHg)	44,9±6,5 ^B	36,9±4,2 ^A	35,2±5,2 ^A	37,5±3,6 ^A	6,454	0,002
V _A (L)	7,5±0,7	6,8±0,5	6,9±0,5	7,0±0,8	1,964	0,140
K _{CO} (mL/dk/mmHg/L)	6,0±0,9	5,4±0,7	5,1±0,6	5,4±0,6	2,565	0,072
TLC (DL _{CO})(L)	7,5±0,8	7,0±0,5	6,9±0,6	7,0±1,1	0,901	0,452

^{A-B} = Aynı satırdaki benzer harflere sahip gruplar arasında fark yoktur. İstatistiksel anlamlılık p<0,050 olarak kabul edildi. Bu karşılaştırma için ısınma öncesi gerçekleştirilen referans (baseline) solunum değerleri kullanıldı. $\bar{X}$ =Ortalama; SS=Standart sapma; P_{imaks}=Maksimal inspiratuar basınç; P_{emaks}=Maksimal ekspiratuar basınç; FVC=Zorlu vital kapasite; FEV₁=Birinci saniyedeki zorlu ekspiratuar hacim; FEF_{%25-75}=Zorlu ekspiratuar akım (FVC'nin %25 ile %75'i arasındaki); PEF=Zirve (pik) ekspiratuar akım; VC= vital kapasite; IRV=İnspiratuar rezerv hacim; IC=İnspiratuar kapasite; VT=Tidal hacim; ERV=Ekspiratuar rezerv hacim; MVV=Maksimum istemli ventilasyon; DL_{CO}=Akciğer karbonmonoksit difüzyon kapasitesi; V_A=Alveoler hacim; K_{CO}=Difüzyon katsayısı; TLC=Toplam akciğer kapasitesi.

Tablo 4.3. Spor disiplinlerine göre egzeriz anındaki fizyolojik yanıtların karşılaştırılması

	Dayanıklılık	Güç	Beceri	Karma	Test ist.	p
	$\bar{X} \pm SS$	$\bar{X} \pm SS$	$\bar{X} \pm SS$	$\bar{X} \pm SS$		
VO ₂ (mL/dk)	4088,6±647,4 ^B	3579,8±603,7 ^{AB}	3197,5±482,2 ^A	3709,0±409,3 ^{AB}	3,852	0,019
VO _{2maks} (mL/dk/kg)	57,1±8,2 ^B	42,0±2,9 ^A	41,5±5,9 ^A	48,2±3,2 ^{AB}	12,435	<0,001
VCO ₂ (mL/dk)	4650,6±685,2 ^B	3995,4±585,8 ^{AB}	3650,3±486,5 ^A	4206,0±512,5 ^{AB}	4,524	0,010
SDO	1,1±0,1	1,2±0,1	1,2±0,1	1,1±0,1	1,654	0,197
V _E (L/dk)	164,7±22,5 ^B	137,6±19,9 ^{AB}	116,1±15,4 ^A	148,4±28,3 ^B	7,126	0,001
SR (%)	19,9±13,8	29,3±11,6	26,5±15,2	25,9±10,8	0,853	0,476
VT (L)(btps)	2,8±0,6	2,7±0,6	2,3±0,3	2,7±0,4	2,160	0,113
Bf (1/dk)	51,3±9,3	47,8±8,0	53,6±7,9	52,7±10,9	0,685	0,568
KAH (atm/dk)	192,7±5,0	186,8±8,7	193,5±8,4	187,4±6,2	2,020	0,132
VO ₂ /KAH (mL/atm)	21,2±3,4 ^B	19,1±2,7 ^{AB}	16,3±3,1 ^A	19,8±2,1 ^{AB}	4,449	0,010
PetCO ₂ (mmHg)	35,1±4,5	35,2±3,3	35,3±4,2	35,8±3,7	0,051	0,984
PetO ₂ (mmHg)	117,0±3,2	118,3±3,3	118,6±3,3	117,2±2,9	0,563	0,644
V _E /VO ₂	41,0±7,5	39,2±7,1	36,6±4,3	40,0±7,0	0,654	0,587
V _E /VCO ₂	36,0±6,6	34,8±5,5	32,1±4,4	35,4±6,3	0,736	0,539
SaO ₂ (%)	98,4±0,7	97,6±1,5	97,6±0,7	98,2±1,2	1,390	0,264
MATS (dk)	11,7±1,6 ^B	10,5±1,1 ^{AB}	9,3±1,1 ^A	10,7±0,9 ^{AB}	5,507	0,004
MAG (Watt)	350,6±58,3 ^B	307,8±42,1 ^{AB}	265,0±45,8 ^A	315,6±30,9 ^{AB}	5,076	0,006
MBS _D (0-10 puan)	4,0±0,5	4,3±0,8	4,9±0,9	4,4±0,4	2,470	0,080
MBS _B (0-10 puan)	4,1±0,6 ^B	4,2±1,0 ^{AB}	5,2±0,5 ^A	4,1±0,6 ^B	3,852	0,019

^{A-B}=Aynı satırdaki benzer harflere sahip gruplar arasında fark yoktur. İstatistiksel anlamlılık p<0,050 olarak kabul edildi. Bu karşılaştırma için genel ısınma (Kontrol) sonrası gerçekleştirilen referans artırımı bisiklet testinin değerleri kullanıldı. MBS_D ve MBS_B için egzersiz anında her bir dakikada bir elde edilen puanların ortalamaları karşılaştırılmıştır. $\bar{X}$ =Ortalama; SS=Standart sapma; VO₂=Oksijen tüketim hacmi; VO_{2maks}=Maksimal oksijen tüketimi; VCO₂=Karbondiyoksit üretim hacmi; SDO=Solunum değişim oranı; V_E=Dakika ventilasyonu; SR=Solunum rezervi; VT=Tidal hacim; Bf=Solunum frekansı (sıklığı); KAH=Kalp atım hızı; PetCO₂=End tidal karbondioksit basıncı; PetO₂=End tidal oksijen basıncı; SaO₂=Oksijen saturasyonu; MATS=Maksimal aerobik tükenme süresi; MAG=Maksimal aerobik güç (iş); MBS_D= Modifiye Borg skalası (Dispne); MBS_B= Modifiye Borg Skalası (Bacak).

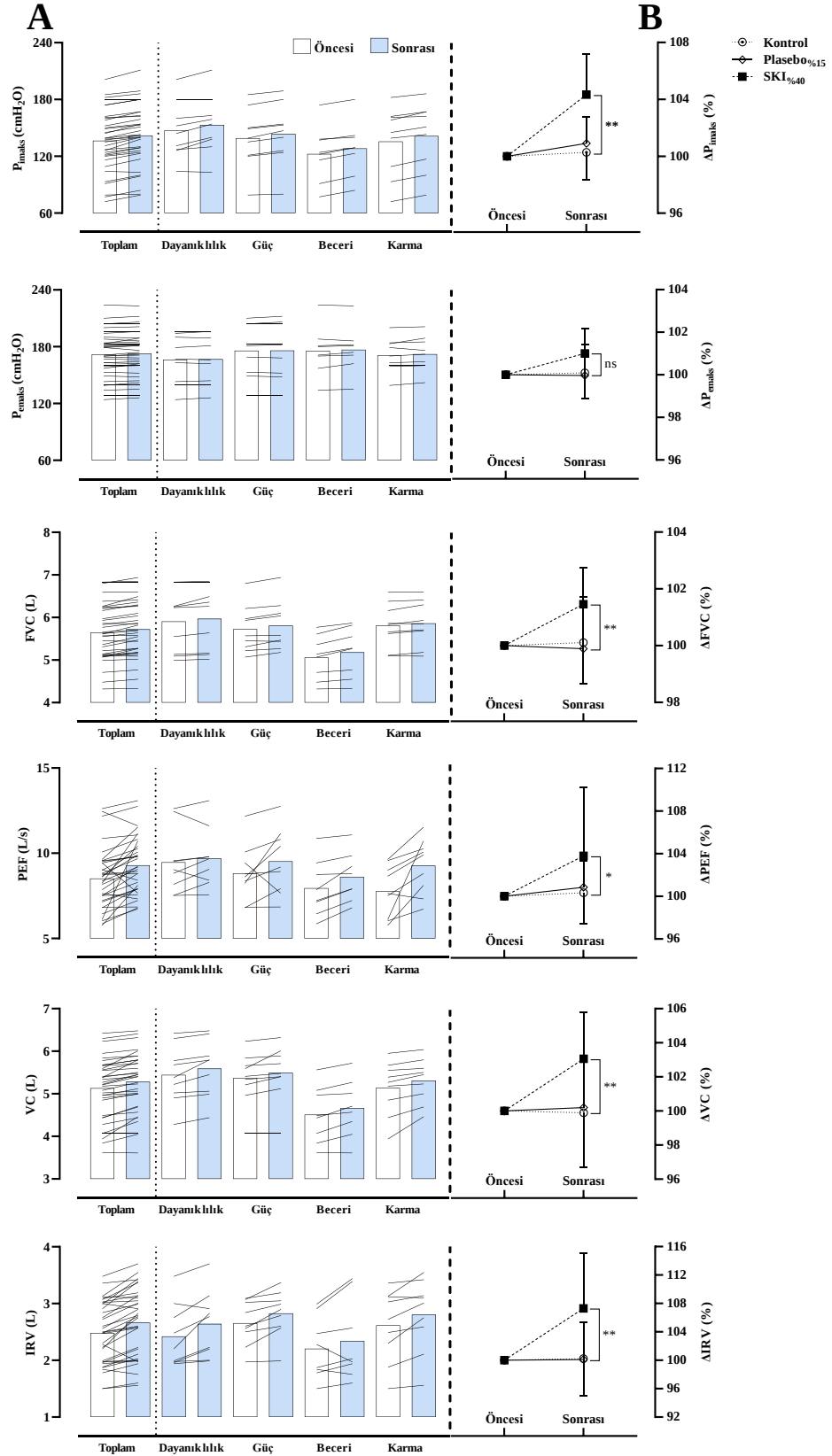
Solunum kapasitelerinin disiplinler arası karşılaştırmalarına göre sadece MVV ve DLCO ortalamalarında istatistiksel farklılık bulundu. Buna göre dayanıklılık grubundaki sporcuların diğer disiplinlerdeki sporculara kıyasla daha yüksek MVV ($188,6 \pm 25,5$ L/dk) ($p=0,024$) ve DLCO ($44,9 \pm 6,5$ mL/dk/mmHg) ($p=0,002$) ortalamaları sergilediği görüldü. Bununla birlikte spor disiplinleri arasında tüm solunum ortalamalar arasında hafif farklılıklar gözlense de istatistiksel olarak anlamlı farklılığın olmadığı saptandı ($p>0,050$) (Tablo 4.2).

Kardiyopulmoner verilere göre dayanıklılık disiplinlerindeki sporcular en yüksek VO_2 ($4088,6 \pm 647,4$ mL/dk), VCO_2 ($57,1 \pm 8,2$ mL/dk) ve VO_2/KAH ($21,2 \pm 3,4$ mL/atım) değerleri sergilerken beceri temelli disiplinlerdeki sporcular bu parametrelerde en düşük değerleri gösterdi. VO_{2maks} ortalamalarının, dayanıklılık ($57,1 \pm 8,2$ mL/dk/kg) sporcularda en yüksek, güç ($42,0 \pm 2,9$ mL/dk/kg) ve beceri ($41,0 \pm 5,9$ mL/dk/kg) disiplinindeki sporcularda ise en düşük düzeyde olduğu belirlendi. V_E değeri en yüksek dayanıklılık ($164,7 \pm 22,5$ L/dk) ve karma ($148,4 \pm 28,3$ L/dk) disiplinlerde gözlendi. Benzer şekilde artırılmış bisiklet performansı için en yüksek MATS ($11,7 \pm 1,6$ dk) ve MAG ($350,6 \pm 58,3$ Watt) değerlerini dayanıklılık disiplinindeki sporcular sergiledi. Bununla birlikte algılanan zorluk için en düşük MBS_B puan ortalamalarını ise dayanıklılık ($4,1 \pm 0,6$) ve karma ($4,1 \pm 0,6$) disiplinlerdeki sporcular raporlamıştır ($p<0,050$) (Tablo 4.3).

Tablo 4.4. Isınma uygulamalarına göre solunum kas kuvveti, solunum fonksiyonu ve pulmoner difüzyon kapasitesi (n = 35)

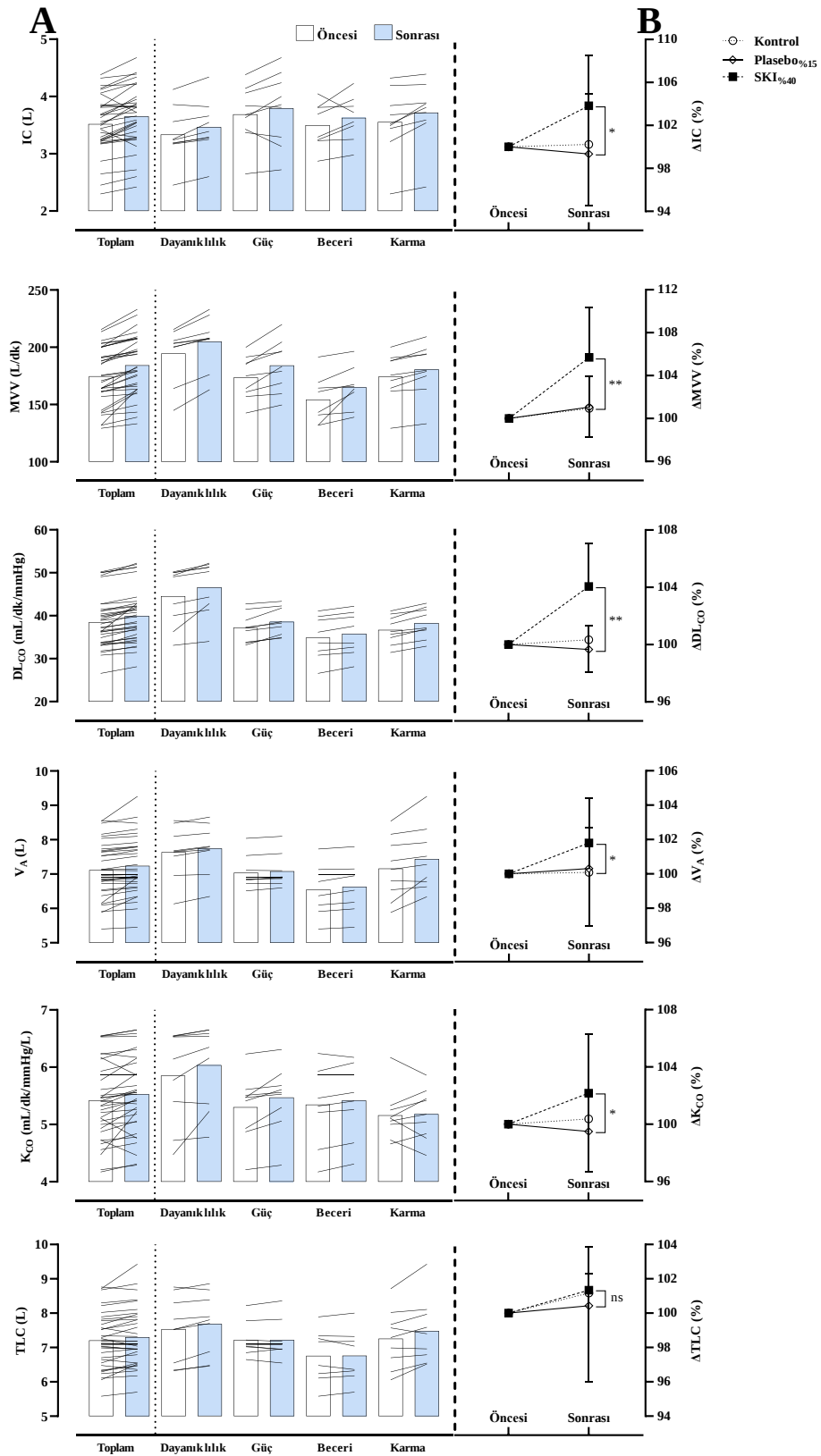
	Kontrol			Plasebo%15			SKI%40			Etkileşim etkileri				
	Öncesi	Sonrası	p	Öncesi	Sonrası	p	Öncesi	Sonrası	p	Öncesi ve Öncesi	Sonrası ve Sonrası	Durum	Zaman	Durum × Zaman
	$\bar{X} \pm SS$	$\bar{X} \pm SS$		$\bar{X} \pm SS$	$\bar{X} \pm SS$		$\bar{X} \pm SS$	$\bar{X} \pm SS$		p	p	p	p	p
P _{imaks} (cmH ₂ O)	136,7±32,0	137,0±32,0	0,441	136,7±32,3	137,7±31,9	0,031	136,5±31,9	142,0±32,2	<0,001	0,999	0,781	0,955	<0,001	<0,001
P _{emaks} (cmH ₂ O)	171,1±24,3	171,2±24,3	0,868	171,7±23,9	171,5±23,5	0,560	172,0±24,0	172,7±23,9	0,026	0,989	0,959	0,978	0,011	0,041
FVC (L)	5,7±0,6	5,8±0,6	0,663	5,7±0,6	5,7±0,6	0,603	5,6±0,7	5,7±0,7	<0,001	0,764	0,966	0,900	0,001	<0,001
FEV ₁ (L)	4,8±0,5	4,8±0,5	0,260	4,8±0,5	4,8±0,5	0,149	4,8±0,5	4,8±0,5	0,060	0,955	0,971	0,985	0,694	0,360
FEV ₁ /FVC (%)	83,8±5,1	83,4±5,2	0,178	84,4±3,8	84,2±4,1	0,368	85,1±4,7	84,4±5,1	0,006	0,453	0,671	0,992	0,004	0,365
FEF _{%25-75} (L/s)	4,8±0,9	4,7±0,9	0,332	4,6±1,0	4,7±0,9	0,528	4,6±1,0	4,7±1,0	0,052	0,753	0,937	0,857	0,350	0,120
PEF (L/s)	8,5±1,8	8,5±1,7	0,931	9,0±1,8	9,0±1,7	0,359	9,0±1,7	9,3±1,7	<0,001	0,447	0,158	0,287	0,001	0,002
VC (L)	5,1±0,8	5,1±0,8	0,614	5,2±0,8	5,2±0,8	0,722	5,1±0,7	5,3±0,7	<0,001	0,655	0,421	0,587	0,001	<0,001
IRV (L)	2,5±0,5	2,5±0,5	0,991	2,6±0,6	2,6±0,6	0,870	2,5±0,5	2,7±0,6	<0,001	0,599	0,502	0,742	<0,001	<0,001
IC (L)	3,5±0,6	3,5±0,5	0,972	3,7±0,6	3,6±0,6	0,398	3,5±0,5	3,7±0,5	<0,001	0,403	0,471	0,529	0,072	0,002
VT (L)(btps)	1,0±0,3	1,0±0,3	0,902	1,1±0,4	1,1±0,4	0,657	1,0±0,4	1,1±0,5	0,234	0,821	0,847	0,871	0,615	0,502
ERV (L)	1,8±0,6	1,8±0,6	0,860	1,8±0,5	1,8±0,6	0,207	1,7±0,5	1,8±0,5	0,171	0,962	0,969	0,999	0,970	0,018
MVV (L/dk)	172,5±23,6	173,7±21,6	0,184	179,9±26,0	181,4±24,7	0,109	174,7±24,8	184,2±25,2	<0,001	0,442	0,169	0,376	<0,001	<0,001
DL _{CO} (mL/dk/mmHg)	38,7±6,1	38,8±5,9	0,469	38,8±5,8	38,7±5,9	0,523	38,4±5,9	39,9±6,1	<0,001	0,957	0,643	0,954	<0,001	<0,001
V _A (L)	7,1±0,7	7,1±0,7	0,927	7,1±0,7	7,1±0,7	0,743	7,1±0,8	7,2±0,8	<0,001	0,972	0,595	0,822	0,014	0,006
K _{CO} (mL/dk/mmHg/L)	5,5±0,8	5,5±0,7	0,621	5,5±0,7	5,5±0,7	0,398	5,4±0,7	5,5±0,7	0,001	0,946	0,902	0,985	0,069	0,008
TLC (DL _{CO})(L)	7,1±0,8	7,2±0,7	0,094	7,2±0,7	7,2±0,7	0,451	7,2±0,8	7,3±0,8	0,008	0,879	0,828	0,867	0,004	0,395

İstatistiksel anlamlılık p<0,050 olarak kabul edildi. $\bar{X}$ =Ortalama; SS=Standart sapma; P_{imaks}=Maksimal inspiratuar basınç; P_{emaks}=Maksimal ekspiratuar basınç; FVC=Zorlu vital kapasite; FEV₁=Birinci saniyedeki zorlu ekspiratuar hacim; FEF_{%25-75}=Zorlu ekspiratuar akım (FVC'nin %25 ile %75'i arasındaki); PEF=Zirve (pik) ekspiratuar akım; VC= vital kapasite; IRV=İnspiratuar rezerv hacim; IC=İnspiratuar kapasite; VT=Tidal hacim; ERV=Ekspiratuar rezerv hacim; MVV=Maksimum istemli ventilasyon; DL_{CO}=Akciğer karbonmonoksit difüzyon kapasitesi; V_A=Alveoler hacim; K_{CO}=Difüzyon katsayısı; TLC=Toplam akciğer kapasitesi.



Sütun grafikleri (A), SKI_{%40} öncesi-sonrası bireysel değişimleri göstermektedir. Çizgi grafikleri (B), ısınma uygulamaları arasındaki göreceli değişimleri göstermektedir. **= $p<0,001$; *= $p<0,050$; ns= $p>0,050$; % Δ =Göreceli (Relatif) değişimler; P_{maks} =Maksimal inspiratuar basınç; FVC=Zorlu vital kapasite; FEV₁=Birinci saniyedeki zorlu ekspiratuar hacim; PEF=Zirve (pik) ekspiratuar akım; VC= vital kapasite; IRV=İnspiratuar rezerv hacim.

Şekil 4.1. Isınma uygulamalarına göre solunum değerlerindeki bireysel ve göreceli değişimler



Sütun grafikleri (A), SKI₄₀ öncesi-sonrası bireysel değişimleri göstermektedir. Çizgi grafikleri (B), ısınma uygulamaları arasındaki göreceli değişimleri göstermektedir. **= $p<0,001$; *= $p<0,050$; ns= $p>0,050$; %Δ=Göreceli (Relatif) değişimler; IC=İnspiratuar kapasite; MVV=Maksimum istemli ventilasyon; DL_{CO}=Akciğer karbonmonoksit difüzyon kapasitesi; V_A=Alveoler hacim; K_{CO}=Difüzyon katsayısı; TLC=Toplam akciğer kapasitesi.

Şekil 4.2. Isınma uygulamalarına göre solunum değerlerindeki bireysel ve göreceli değişimler

Katılımcıların ısınma uygulamaları öncesi ve sonrası solunum kas kuvveti, solunum fonksiyonu ve pulmoner difüzyon kapasitesindeki ortalamalar arası değişimler incelendiğinde; SKI_{%40} uygulaması sonrası P_{imaks} (ortalama fark [$\bar{X}\Delta$]5,5 $\uparrow$), P_{emaks} ($\bar{X}\Delta$ 0,7 $\uparrow$), FVC ($\bar{X}\Delta$ 0,1 $\uparrow$), FEV₁/FVC ($\bar{X}\Delta$ 1,0 $\downarrow$), PEF ($\bar{X}\Delta$ 0,3 $\uparrow$), VC ($\bar{X}\Delta$ 0,2 $\uparrow$), IRV ($\bar{X}\Delta$ 0,2 $\uparrow$), IC ($\bar{X}\Delta$ 0,2 $\uparrow$), MVV ($\bar{X}\Delta$ 9,5 $\uparrow$), DL_{CO} ($\bar{X}\Delta$ 1,5 $\uparrow$), V_A ($\bar{X}\Delta$ 0,1 $\uparrow$), K_{CO} ($\bar{X}\Delta$ 0,1 $\uparrow$) ve TLC ($\bar{X}\Delta$ 0,1 $\uparrow$) anlamlı düzeyde değişti ($p<0,050$, $p<0,001$). Buna karşılık Plasebo_{%15} sonrası P_{imaks} ($\bar{X}\Delta$ 1,0 $\uparrow$) ortalamasında hafif yükseliş olsa da diğer değişkenlerde anlamlılık gözlenmedi (Tablo 4.4). Isınma sonrası ortaya çıkan göreceli değişim karşılaştırmalarında P_{imaks} (yüzde fark [% Δ]104), P_{emaks} (% Δ 101), FVC (% Δ 101), PEF (% Δ 104), VC (% Δ 103), IRV (% Δ 107), IC (% Δ 104), MVV (% Δ 106), DL_{CO} (% Δ 104), V_A (% Δ 102) ve K_{CO} (% Δ 102) değişkenlerinin SKI_{%40} uygulaması lehine anlamlı olduğu bulundu ($p<0,050$, $p<0,001$) (Şekil 4.1 ve 4.2). Etkileşim etkileri analizine göre, ısınma durumunun ana etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görüldü ($p>0,050$). Ancak, SKI uygulaması öncesi ve sonrası arasındaki değişiklikleri gösteren anlamlı bir zaman ana etkisi gözlemlendi ($p<0,050$). Bununla birlikte solunum kapasitelerinde ısınma durumu ve zaman (durum $\times$ zaman) arasında anlamlı bir etkileşim tespit edilmiştir ($p<0,050$).

Dayanıklılık disiplindeki SKI_{%40} uygulamasının öncesi-sonrası karşılaştırmaları için P_{imaks} (% Δ 104), FVC (% Δ 101), VC (% Δ 103), IRV (% Δ 109), IC (% Δ 104), MVV (% Δ 106), DL_{CO} (% Δ 105), V_A (% Δ 101), K_{CO} (% Δ 104) ve TLC (% Δ 102) değerleri anlamlı düzeyde yükseldi ($p<0,050$, $p<0,001$). Buna karşılık kontrol ve plasebo_{%15} sonrası değerlerde istatistiksel bir değişiklik gözlenmedi ($p>0,050$) (Tablo 4.5).

Güç disiplindeki SKI_{%40} uygulamasında ise P_{imaks} (% Δ 103), FVC (% Δ 101), FEV₁ (% Δ 101), PEF (% Δ 106), VC (% Δ 102), IRV (% Δ 106), MVV (% Δ 106), DL_{CO} (% Δ 103) ve K_{CO} (% Δ 103) değerleri anlamlı farklılık gösterirken ($p<0,050$, $p<0,001$), kontrol ve plasebo_{%15} sonrası değerlerde istatistiksel bir anlamlılığın olmadığı belirlendi ($p>0,050$) (Tablo 4.6).

Beceri disiplindeki sporcuların SKI_{%40} uygulamasının, P_{imaks} (% Δ 103), FVC (% Δ 102), FEV₁/FVC (% Δ 98), PEF (% Δ 104), VC (% Δ 103), MVV (% Δ 107) ve DL_{CO} (% Δ 103) ortalamalarında anlamlı değişim bulundu ($p<0,050$, $p<0,001$). Fakat kontrol ve plasebo_{%15} sonrası ortalamalar arasında farklılık gözlenmedi ($p>0,050$) (Tablo 4.7).

Karma disiplinindeki SKI_{%40} uygulamasında P_{imaks} (%Δ105), P_{emaks} (%Δ101), FVC (%Δ101), PEF (%Δ104), VC (%Δ104), IRV (%Δ108), IC (%Δ105), MVV (%Δ104), DL_{CO} (%Δ104) ve V_A (%Δ104) istatistiksel olarak anlamlılık gösterirken (p<0,050, p<0,001) kontrol sonrası MVV (%Δ102) dışındaki diğer değerlerin hiç birinde anlamlılık gözlemlenmedi (p>0,050) (Tablo 4.8).



Tablo 4.5. Dayanıklılık grubunda ısınma uygulamalarına göre solunum kas kuvveti, solunum fonksiyonu ve pulmoner difüzyon kapasitesi (n = 9)

	Kontrol			Plasebo%15			SKI%40			Etkileşim etkileri				
	Öncesi	Sonrası	p	Öncesi	Sonrası	p	Öncesi	Sonrası	p	Öncesi ve Öncesi	Sonrası ve Sonrası	Durum	Zaman	Durum × Zaman
	$\bar{X} \pm SS$	$\bar{X} \pm SS$		$\bar{X} \pm SS$	$\bar{X} \pm SS$		$\bar{X} \pm SS$	$\bar{X} \pm SS$		p	p	p	p	p
P _{imaks} (cmH ₂ O)	147,3±29,9	148,7±31,5	0,353	148,0±30,5	149,8±28,8	0,219	147,2±29,9	153,1±30,9	<0,001	0,998	0,949	0,988	0,001	0,060
P _{emaks} (cmH ₂ O)	179,1±23,0	179,0±22,6	0,862	179,8±21,2	180,2±21,0	0,488	180,8±21,3	180,7±20,9	0,862	0,987	0,986	0,987	0,841	0,774
FVC (L)	5,9±0,7	6,0±0,7	0,750	5,9±0,7	5,9±0,7	0,710	5,9±0,7	6,0±0,7	0,005	0,990	0,978	0,990	0,090	0,050
FEV ₁ (L)	5,1±0,5	5,0±0,5	0,107	5,0±0,5	5,0±0,5	0,255	5,0±0,5	5,1±0,5	0,073	0,949	0,884	0,929	0,583	0,040
FEV ₁ /FVC (%)	85,6±5,7	84,8±6,2	0,149	84,7±5,1	84,4±5,0	0,477	85,7±2,9	85,5±3,3	0,656	0,892	0,891	0,895	0,137	0,751
FEF _{%25-75} (L/s)	5,0±0,7	5,1±0,8	0,780	5,3±0,3	5,3±0,4	0,648	5,4±0,3	5,4±0,3	0,819	0,237	0,348	0,289	0,977	0,842
PEF (L/s)	9,5±1,9	9,5±1,7	0,905	9,8±1,9	9,7±1,7	0,747	9,7±1,8	9,7±1,7	0,971	0,941	0,936	0,939	0,814	0,968
VC (L)	5,5±0,8	5,4±0,8	0,117	5,6±0,8	5,6±0,7	0,761	5,4±0,7	5,6±0,7	0,001	0,849	0,794	0,864	0,311	0,002
IRV (L)	2,5±0,6	2,6±0,6	0,446	2,5±0,4	2,6±0,4	0,134	2,4±0,6	2,6±0,6	<0,001	0,887	0,962	0,992	0,001	0,071
IC (L)	3,5±0,7	3,5±0,5	0,233	3,5±0,6	3,5±0,4	0,972	3,3±0,5	3,5±0,5	0,048	0,711	0,935	0,863	0,637	0,080
VT (L)(btps)	1,0±0,3	1,0±0,2	0,255	1,0±0,3	1,0±0,3	0,451	0,9±0,3	1,0±0,4	0,135	0,537	0,900	0,911	0,827	0,139
ERV (L)	2,1±0,5	2,1±0,5	0,408	2,1±0,5	2,1±0,5	0,380	2,1±0,5	2,1±0,5	0,534	0,944	0,953	0,949	0,185	0,981
MVV (L/dk)	188,6±25,5	188,0±23,9	0,747	197,8±24,7	199,0±23,4	0,554	194,5±23,9	204,9±22,4	<0,001	0,726	0,309	0,545	0,003	0,001
DL _{CO} (mL/dk/mmHg)	44,9±6,5	44,6±6,5	0,485	44,7±6,6	44,6±6,5	0,907	44,5±6,7	46,6±6,3	<0,001	0,996	0,844	0,948	0,006	<0,001
V _A (L)	7,5±0,7	7,5±0,7	0,557	7,6±0,7	7,6±0,7	0,441	7,6±0,8	7,7±0,7	0,007	0,916	0,762	0,855	0,120	0,042
K _{CO} (mL/dk/mmHg/L)	6,0±0,9	6,0±0,9	0,341	5,9±0,8	5,9±0,8	0,764	5,9±0,8	6,0±0,7	0,003	0,918	0,953	0,982	0,136	0,016
TLC (DL _{CO})(L)	7,5±0,8	7,5±0,7	0,837	7,5±0,8	7,6±0,8	0,137	7,5±1,0	7,7±0,9	0,002	0,990	0,887	0,955	0,006	0,086

İstatistiksel anlamlılık p<0,050 olarak kabul edildi. $\bar{X}$ =Ortalama; SS=Standart sapma; P_{imaks}=Maksimal inspiratuar basınç; P_{emaks}=Maksimal ekspiratuar basınç; FVC=Zorlu vital kapasite; FEV₁=Birinci saniyedeki zorlu ekspiratuar hacim; FEF_{%25-75}=Zorlu ekspiratuar akım (FVC'nin %25 ile %75'i arasındaki); PEF=Zirve (pik) ekspiratuar akım; VC= vital kapasite; IRV=İnspiratuar rezerv hacim; IC=İnspiratuar kapasite; VT=Tidal hacim; ERV=Ekspiratuar rezerv hacim; MVV=Maksimum istemli ventilasyon; DL_{CO}=Akciğer karbonmonoksit difüzyon kapasitesi; V_A=Alveoler hacim; K_{CO}=Difüzyon katsayısı; TLC=Toplam akciğer kapasitesi.

Tablo 4.6. Güç grubunda ısınma uygulamalarına göre solunum kas kuvveti, solunum fonksiyonu ve pulmoner difüzyon kapasitesi (n = 9)

	Kontrol			Plasebo%15			SKI%40			Etkileşim etkileri				
	Öncesi	Sonrası	p	Öncesi	Sonrası	p	Öncesi	Sonrası	p	Öncesi ve Öncesi	Sonrası ve Sonrası	Durum	Zaman	Durum × Zaman
	$\bar{X} \pm SS$	$\bar{X} \pm SS$		$\bar{X} \pm SS$	$\bar{X} \pm SS$		$\bar{X} \pm SS$	$\bar{X} \pm SS$		p	p	p	p	p
P _{imaks} (cmH ₂ O)	139,4±31,6	139,2±30,8	0,727	137,8±31,4	137,8±31,5	0,999	139,1±31,4	143,7±32,3	<0,001	0,993	0,919	0,971	0,001	<0,001
P _{emaks} (cmH ₂ O)	176,6±17,4	176,4±17,9	0,889	176,9±17,7	176,3±17,1	0,489	176,7±17,5	177,3±17,4	0,408	0,999	0,991	0,998	0,999	0,551
FVC (L)	5,8±0,7	5,8±0,7	0,809	5,7±0,5	5,7±0,5	0,630	5,7±0,6	5,8±0,6	0,027	0,951	0,894	0,939	0,236	0,136
FEV ₁ (L)	4,7±0,5	4,7±0,5	0,253	4,8±0,5	4,8±0,5	0,741	4,7±0,6	4,8±0,6	0,006	0,887	0,846	0,871	0,221	0,022
FEV ₁ /FVC (%)	81,1±3,8	80,7±3,4	0,408	84,4±1,9	84,8±2,5	0,490	82,7±2,9	82,2±2,7	0,303	0,084	0,024	0,039	0,498	0,414
FEF _{%25-75} (L/s)	4,4±1,1	4,4±1,0	0,734	4,2±1,1	4,3±1,2	0,119	4,2±1,1	4,3±1,2	0,343	0,852	0,960	0,915	0,209	0,384
PEF (L/s)	8,8±1,6	8,8±1,7	0,995	9,3±1,8	9,3±1,7	0,873	9,0±1,8	9,5±1,9	0,007	0,864	0,696	0,820	0,083	0,083
VC (L)	5,2±0,7	5,3±0,7	0,348	5,4±0,7	5,5±0,8	0,587	5,4±0,6	5,5±0,6	0,015	0,774	0,765	0,776	0,026	0,323
IRV (L)	2,8±0,6	2,8±0,6	0,310	2,8±0,5	2,7±0,5	0,143	2,7±0,4	2,8±0,4	<0,001	0,757	0,918	0,967	0,236	<0,001
IC (L)	3,7±0,7	3,8±0,7	0,337	3,8±0,7	3,8±0,7	0,673	3,7±0,5	3,8±0,6	0,097	0,870	0,996	0,956	0,200	0,319
VT (L)(btps)	0,9±0,3	1,0±0,3	0,238	1,1±0,4	1,1±0,4	0,686	1,0±0,4	1,0±0,5	0,550	0,687	0,864	0,818	0,564	0,449
ERV (L)	1,6±0,3	1,6±0,3	0,976	1,7±0,3	1,7±0,3	0,808	1,6±0,2	1,6±0,3	0,366	0,751	0,780	0,769	0,713	0,684
MVV (L/dk)	173,9±16,2	175,5±15,2	0,366	179,9±23,5	183,3±22,5	0,059	173,5±18,7	184,1±22,5	<0,001	0,745	0,617	0,762	<0,001	0,002
DL _{CO} (mL/dk/mmHg)	36,9±4,2	37,4±3,2	0,153	37,4±3,2	37,4±3,5	0,889	37,2±3,4	38,4±3,1	<0,001	0,962	0,688	0,907	0,006	0,034
V _A (L)	6,8±0,5	6,9±0,6	0,649	7,0±0,6	7,0±0,5	0,872	7,0±0,5	7,1±0,5	0,353	0,692	0,670	0,678	0,373	0,855
K _{CO} (mL/dk/mmHg/L)	5,4±0,7	5,5±0,6	0,345	5,4±0,6	5,4±0,6	0,860	5,3±0,6	5,5±0,6	0,012	0,903	0,921	0,954	0,055	0,142
TLC (DL _{CO})(L)	7,0±0,5	7,1±0,6	0,921	7,2±0,6	7,2±0,6	0,960	7,2±0,5	7,2±0,5	0,980	0,788	0,821	0,803	0,943	0,996

İstatistiksel anlamlılık p<0,050 olarak kabul edildi. $\bar{X}$ =Ortalama; SS=Standart sapma; P_{imaks}=Maksimal inspiratuar basınç; P_{emaks}=Maksimal ekspiratuar basınç; FVC=Zorlu vital kapasite; FEV₁=Birinci saniyedeki zorlu ekspiratuar hacim; FEF_{%25-75}=Zorlu ekspiratuar akım (FVC'nin %25 ile %75'i arasındaki); PEF=Zirve (pik) ekspiratuar akım; VC= vital kapasite; IRV=İnspiratuar rezerv hacim; IC=İnspiratuar kapasite; VT=Tidal hacim; ERV=Ekspiratuar rezerv hacim; MVV=Maksimum istemli ventilasyon; DL_{CO}=Akciğer karbonmonoksit difüzyon kapasitesi; V_A=Alveoler hacim; K_{CO}=Difüzyon katsayısı; TLC=Toplam akciğer kapasitesi.

Tablo 4.7. Beceri grubunda ısınma uygulamalarına göre solunum kas kuvveti, solunum fonksiyonu ve pulmoner difüzyon kapasitesi (n = 8)

	Kontrol			Plasebo%15			SKI%40			Etkileşim etkileri				
	Öncesi	Sonrası	p	Öncesi	Sonrası	p	Öncesi	Sonrası	p	Öncesi ve Öncesi	Sonrası ve Sonrası	Durum	Zaman	Durum x Zaman
	$\bar{X} \pm SS$	$\bar{X} \pm SS$		$\bar{X} \pm SS$	$\bar{X} \pm SS$		$\bar{X} \pm SS$	$\bar{X} \pm SS$		p	p	p	p	p
P _{imaks} (cmH ₂ O)	121,9±29,1	121,6±29,0	0,667	122,6±29,3	123,8±29,7	0,063	122,4±29,8	126,3±29,7	<0,001	0,999	0,899	0,971	<0,001	0,001
P _{emaks} (cmH ₂ O)	158,5±22,0	158,0±21,7	0,553	157,9±21,4	158,0±21,3	0,876	159,5±22,1	160,9±23,3	0,096	0,989	0,956	0,976	0,473	0,254
FVC (L)	5,4±0,5	5,4±0,5	0,899	5,4±0,5	5,4±0,5	0,767	5,1±0,5	5,2±0,6	<0,001	0,415	0,712	0,556	0,030	0,008
FEV ₁ (L)	4,5±0,4	4,5±0,4	0,757	4,5±0,4	4,5±0,4	0,418	4,5±0,3	4,5±0,4	0,844	0,897	0,962	0,933	0,593	0,771
FEV ₁ /FVC (%)	83,5±4,7	83,2±5,8	0,708	84,6±3,5	84,0±4,9	0,435	88,6±6,3	86,7±8,0	0,012	0,123	0,522	0,297	0,033	0,220
FEF _{%25-75} (L/s)	4,3±0,9	4,3±0,9	0,915	3,9±0,7	3,9±0,8	0,230	3,9±0,6	3,9±0,5	0,240	0,337	0,439	0,383	0,192	0,564
PEF (L/s)	7,9±1,7	8,0±1,5	0,917	8,2±1,7	8,3±1,7	0,096	8,3±1,6	8,6±1,4	0,003	0,919	0,706	0,826	0,006	0,088
VC (L)	4,4±0,7	4,5±0,7	0,370	4,6±0,6	4,6±0,6	0,934	4,5±0,7	4,7±0,7	0,003	0,908	0,853	0,905	0,023	0,059
IRV (L)	2,2±0,3	2,2±0,4	0,509	2,2±0,4	2,2±0,4	0,650	2,2±0,5	2,3±0,7	0,057	0,970	0,837	0,936	0,213	0,239
IC (L)	3,4±0,3	3,5±0,3	0,174	3,6±0,4	3,6±0,4	0,390	3,5±0,4	3,6±0,4	0,106	0,447	0,851	0,727	0,249	0,129
VT (L)(btps)	1,3±0,3	1,3±0,3	0,421	1,4±0,3	1,4±0,3	0,529	1,3±0,4	1,4±0,6	0,251	0,556	0,935	0,810	0,441	0,410
ERV (L)	1,5±0,6	1,5±0,7	0,453	1,5±0,7	1,5±0,7	0,751	1,6±0,7	1,6±0,7	0,289	0,979	0,949	0,966	0,387	0,588
MVV (L/dk)	154,8±25,8	155,7±21,9	0,732	157,6±18,8	158,5±16,5	0,721	154,2±20,9	164,9±18,8	<0,001	0,948	0,624	0,911	0,010	0,017
DL _{CO} (mL/dk/mmHg)	35,2±5,2	35,4±5,4	0,519	35,3±4,9	35,1±5,6	0,529	34,9±5,0	35,8±5,0	0,001	0,984	0,971	0,999	0,030	0,010
V _A (L)	6,9±0,5	6,8±0,6	0,313	6,7±0,7	6,7±0,6	0,744	6,6±0,7	6,6±0,7	0,413	0,578	0,869	0,721	0,940	0,408
K _{CO} (mL/dk/mmHg/L)	5,1±0,6	5,2±0,6	0,237	5,3±0,7	5,3±0,7	0,376	5,3±0,7	5,4±0,7	0,376	0,724	0,790	0,778	0,490	0,290
TLC (DL _{CO})(L)	6,9±0,6	7,0±0,6	0,529	6,8±0,7	6,8±0,7	0,976	6,8±0,8	6,8±0,7	0,928	0,879	0,832	0,856	0,689	0,881

İstatistiksel anlamlılık p<0,050 olarak kabul edildi. $\bar{X}$ =Ortalama; SS=Standart sapma; P_{imaks}=Maksimal inspiratuar basınç; P_{emaks}=Maksimal ekspiratuar basınç; FVC=Zorlu vital kapasite; FEV₁=Birinci saniyedeki zorlu ekspiratuar hacim; FEF_{%25-75}=Zorlu ekspiratuar akım (FVC'nin %25 ile %75'i arasındaki); PEF=Zirve (pik) ekspiratuar akım; VC= vital kapasite; IRV=İnspiratuar rezerv hacim; IC=İnspiratuar kapasite; VT=Tidal hacim; ERV=Ekspiratuar rezerv hacim; MVV=Maksimum istemli ventilasyon; DL_{CO}=Akciğer karbonmonoksit difüzyon kapasitesi; V_A=Alveoler hacim; K_{CO}=Difüzyon katsayısı; TLC=Toplam akciğer kapasitesi.

Tablo 4.8. Karma grubunda ısınma uygulamalarına göre solunum kas kuvveti, solunum fonksiyonu ve pulmoner difüzyon kapasitesi (n = 9)

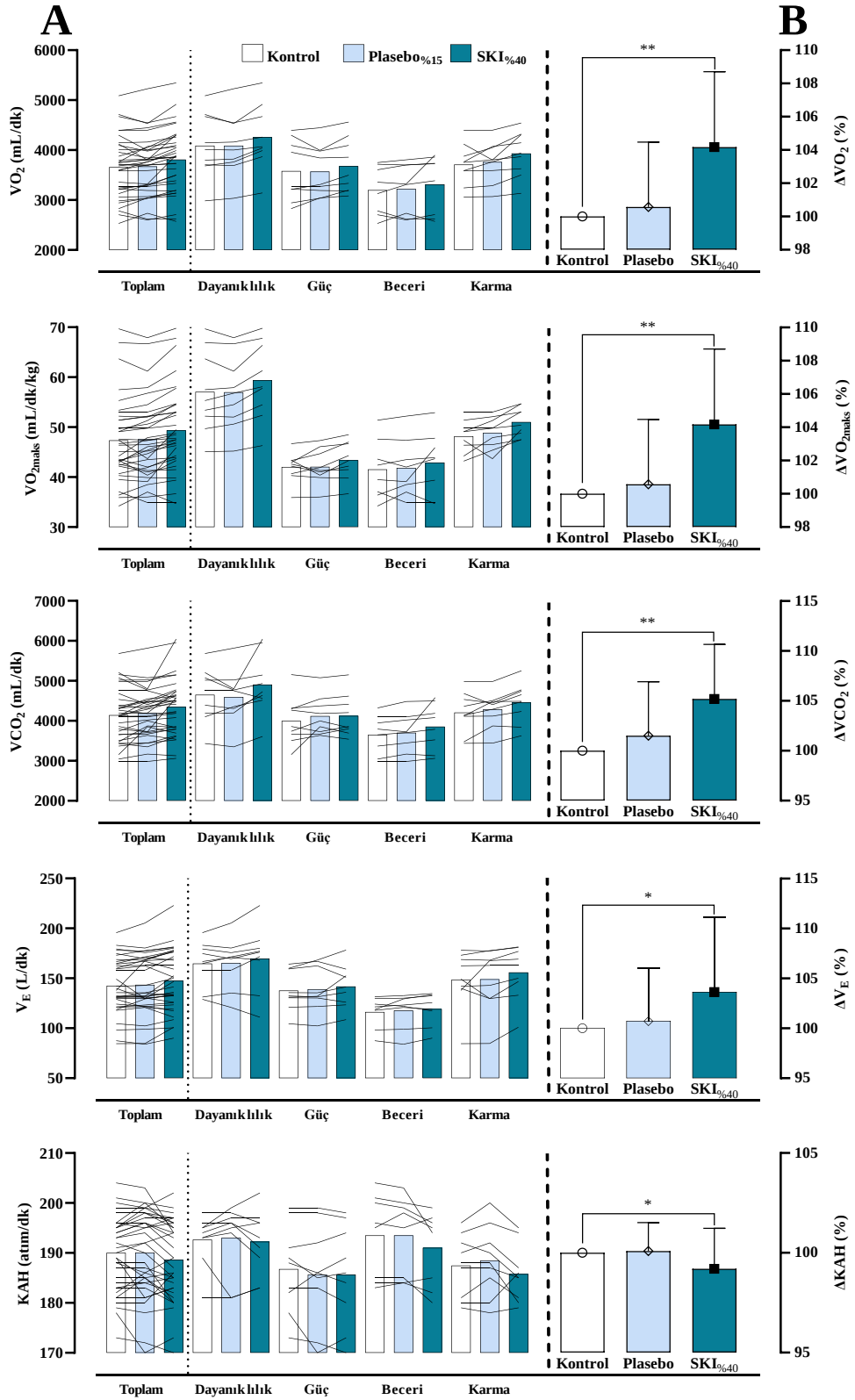
	Kontrol			Plasebo%15			SKI%40			Etkileşim etkileri				
	Öncesi	Sonrası		Öncesi	Sonrası		Öncesi	Sonrası		Öncesi ve Öncesi	Sonrası ve Sonrası	Durum	Zaman	Durum × Zaman
	$\bar{X} \pm SS$	$\bar{X} \pm SS$	p	$\bar{X} \pm SS$	$\bar{X} \pm SS$	p	$\bar{X} \pm SS$	$\bar{X} \pm SS$	p	p	p	p	p	p
P _{imaks} (cmH ₂ O)	136,3±37,0	136,8±35,9	0,503	137,0±37,7	138,0±36,9	0,139	135,7±36,5	141,3±35,4	<0,001	0,997	0,962	0,994	<0,001	<0,001
P _{emaks} (cmH ₂ O)	169,0±31,3	169,9±31,5	0,110	170,6±31,2	169,8±30,2	0,160	169,6±31,4	170,8±31,4	0,032	0,994	0,997	0,998	0,164	0,032
FVC (L)	5,8±0,5	5,8±0,5	0,853	5,9±0,5	5,9±0,5	0,817	5,8±0,5	5,9±0,5	0,046	0,984	0,997	0,996	0,157	0,318
FEV ₁ (L)	4,9±0,3	4,9±0,3	0,834	4,9±0,4	4,9±0,4	0,405	4,9±0,4	4,9±0,4	0,706	0,930	0,915	0,927	0,884	0,646
FEV ₁ /FVC (%)	84,9±5,4	84,9±4,8	0,981	84,0±4,4	83,6±4,3	0,370	84,0±4,5	83,5±4,7	0,280	0,895	0,765	0,833	0,249	0,720
FEF%25-75 (L/s)	5,2±1,0	5,1±0,9	0,191	5,1±0,9	5,0±0,8	0,292	4,9±0,9	5,0±0,9	0,157	0,763	0,971	0,891	0,583	0,112
PEF (L/s)	7,8±1,5	7,8±1,5	0,825	8,6±1,9	8,7±1,8	0,443	8,9±1,7	9,3±1,6	0,002	0,345	0,176	0,252	0,016	0,066
VC (L)	5,1±0,8	5,0±0,7	0,327	5,2±0,7	5,3±0,7	0,713	5,1±0,6	5,3±0,5	0,016	0,910	0,626	0,816	0,268	0,055
IRV (L)	2,5±0,5	2,4±0,4	0,435	2,9±0,7	2,8±0,7	0,735	2,6±0,6	2,8±0,6	0,001	0,413	0,290	0,373	0,160	0,008
IC (L)	3,4±0,5	3,3±0,5	0,205	3,7±0,6	3,6±0,7	0,892	3,6±0,6	3,7±0,6	0,020	0,581	0,257	0,415	0,545	0,037
VT (L)(btps)	0,9±0,3	0,9±0,3	0,434	0,8±0,2	0,8±0,3	0,872	0,9±0,3	1,0±0,3	0,809	0,529	0,603	0,558	0,825	0,719
ERV (L)	1,9±0,7	1,9±0,6	0,826	1,8±0,5	1,7±0,5	0,322	1,7±0,3	1,8±0,5	0,334	0,758	0,797	0,820	0,888	0,378
MVV (L/dk)	170,6±16,0	173,6±14,1	0,021	181,7±23,3	182,1±20,7	0,714	174,3±21,3	180,6±22,5	<0,001	0,510	0,616	0,583	<0,001	0,009
DL _{CO} (mL/dk/mmHg)	37,5±3,6	37,5±3,8	0,860	37,5±3,2	37,3±3,1	0,452	36,7±3,3	38,3±3,5	<0,001	0,853	0,826	0,998	<0,001	<0,001
V _A (L)	7,0±0,8	7,1±0,8	0,586	7,1±0,8	7,2±0,8	0,597	7,2±0,9	7,4±0,9	0,001	0,942	0,613	0,807	0,004	0,017
K _{CO} (mL/dk/mmHg/L)	5,4±0,6	5,3±0,5	0,576	5,3±0,5	5,2±0,5	0,420	5,2±0,4	5,2±0,4	0,737	0,674	0,786	0,726	0,546	0,691
TLC (DL _{CO})(L)	7,0±1,1	7,2±0,8	0,100	7,3±0,8	7,3±0,8	0,741	7,3±0,8	7,5±0,9	0,065	0,789	0,810	0,816	0,031	0,483

İstatistiksel anlamlılık p<0,050 olarak kabul edildi. $\bar{X}$ =Ortalama; SS=Standart sapma; P_{imaks}=Maksimal inspiratuar basınç; P_{emaks}=Maksimal ekspiratuar basınç; FVC=Zorlu vital kapasite; FEV₁=Birinci saniyedeki zorlu ekspiratuar hacim; FEF%25-75=Zorlu ekspiratuar akım (FVC'nin %25 ile %75'i arasındaki); PEF=Zirve (pik) ekspiratuar akım; VC= vital kapasite; IRV=İnspiratuar rezerv hacim; IC=İnspiratuar kapasite; VT=Tidal hacim; ERV=Ekspiratuar rezerv hacim; MVV=Maksimum istemli ventilasyon; DL_{CO}=Akciğer karbonmonoksit difüzyon kapasitesi; V_A=Alveoler hacim; K_{CO}=Difüzyon katsayısı; TLC=Toplam akciğer kapasitesi.

Tablo 4.9. Isınma uygulamalarına göre artırılmış bisiklet testi anında elde edilen fizyolojik yanıtlar (n = 35)

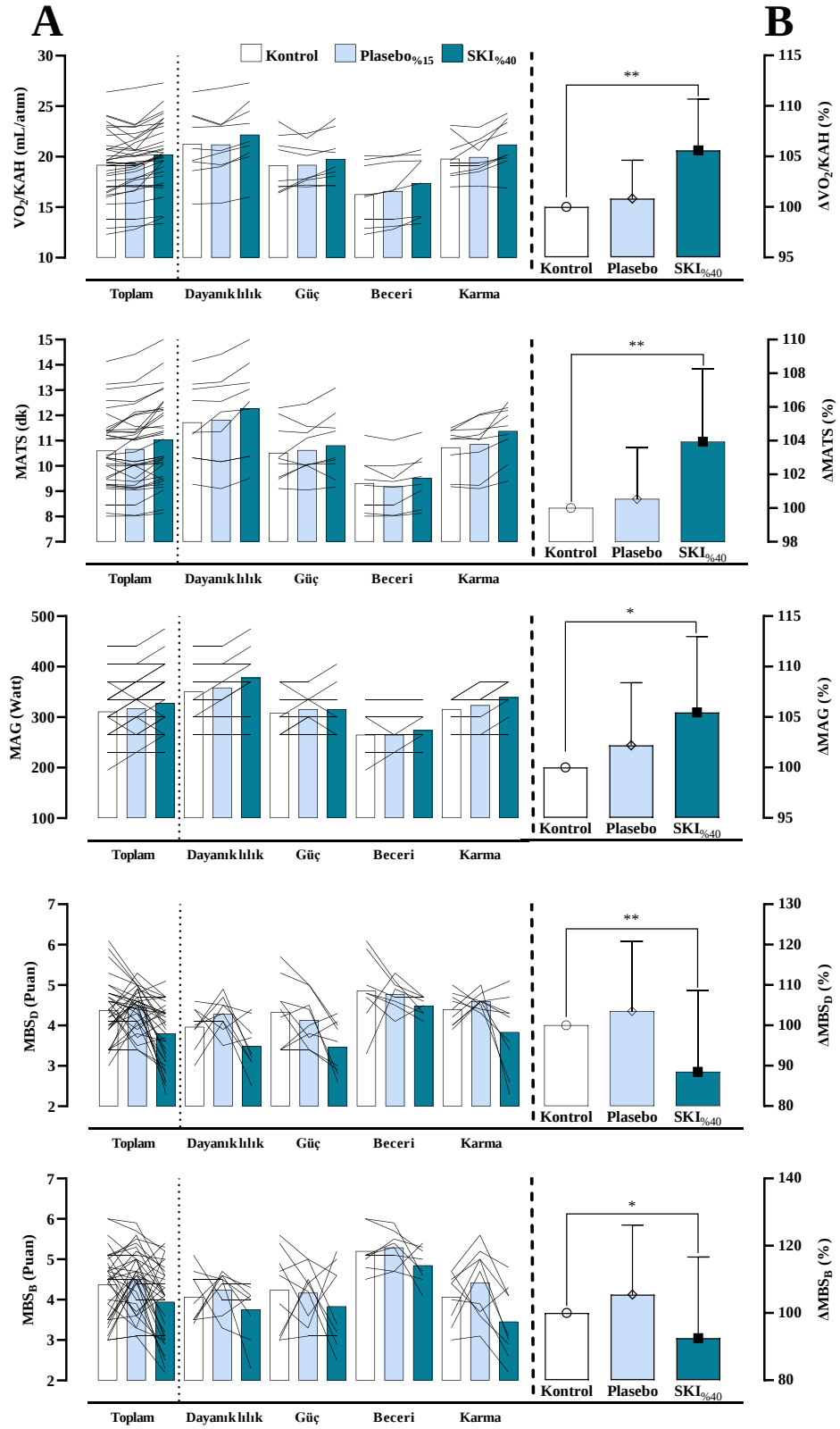
	Kontrol		Plasebo _{%15}		SKI _{%40}			
	$\bar{X} \pm SS$	MED (IQR)	$\bar{X} \pm SS$	MED (IQR)	$\bar{X} \pm SS$	MED (IQR)	Test ist.	p
VO ₂ (mL/dk)	3656,5±610,7 ^B	3704 (3212–4094)	3671,9±585,7 ^B	3761 (3272–4000)	3809,0±636,3 ^A	3867 (3337–4261)	23,518	<0,001
VO _{2maks} (mL/dk/kg)	47,4±8,3 ^B	46 (42–51)	47,6±8,0 ^B	46 (41–52)	49,3±8,6 ^A	48 (44–54)	25,221	<0,001
VCO ₂ (mL/dk)	4139,1±658,7 ^B	4122 (3649–4535)	4188,8±599,5 ^B	4199 (3723–4508)	4348,2±692,6 ^A	4475 (3803–4729)	15,014	<0,001
SDO	1,2±0,1	1 (1–1)	1,2±0,1	1 (1–1)	1,2±0,1	1 (1–1)	0,201	0,818
V _E (L/dk)	142,5±27,6 ^B	138 (124–165)	143,4±29,0 ^B	135 (123–168)	147,4±30,2 ^A	147 (126–176)	6,700	0,004
SR (%)	25,4±12,8 ^B	28 (15–36)	24,2±12,6 ^B	26 (12–36)	21,1±10,8 ^A	23 (11–30)	8,998	<0,001
VT (L)(btps)	2,6±0,5	3 (2–3)	2,7±0,4	3 (2–3)	2,7±0,5	3 (2–3)	1,079	0,338
Bf (1/dk)	51,3±9,0	52 (44–56)	52,1±12,4	52 (43–61)	52,8±12,1	52 (43–63)	0,293	0,747
KAH (atm/dk)	190,0±7,5 ^B	191 (183–196)	190,1±8,4 ^B	192 (184–198)	188,6±7,8 ^A	189 (183–196)	4,449	0,015
VO ₂ /KAH (mL/atm)	19,2±3,3 ^B	19 (17–21)	19,3±3,0 ^B	19 (17–21)	20,2±3,3 ^A	20 (18–23)	32,588	<0,001
PetCO ₂ (mmHg)	35,3±3,8	36 (33–38)	34,9±4,4	35 (31–39)	35,7±5,2	35 (33–39)	0,906	0,409
PetO ₂ (mmHg)	117,8±3,1 ^B	118 (115–121)	118,3±4,0 ^B	118 (115–122)	116,6±4,2 ^A	116 (113–120)	3,295	0,043
V _E /VO ₂	39,3±6,6	38 (35–45)	39,2±6,4	39 (34–44)	38,9±5,8	39 (34–44)	0,383	0,683
V _E /VCO ₂	34,6±5,8	34 (31–40)	34,3±5,6	34 (30–38)	34,0±5,3	35 (30–38)	0,763	0,470
SaO ₂ (%)	98,0±1,1	98 (97–99)	98,0±1,0	98 (97–99)	98,1±0,8	98 (97–99)	0,209	0,812
MATS (dk)	10,6±1,4 ^B	10 (9–11)	10,7±1,5 ^B	11 (9–12)	11,0±1,6 ^A	11 (10–12)	24,467	<0,001
MAG (Watt)	311,0±52,9 ^B	300 (265–335)	317,0±51,9 ^B	335 (265–335)	328,0±59,3 ^A	335 (265–370)	12,288	<0,001
MBS _D (0-10 puan)	4,4±0,7 ^B	4 (4–5)	4,4±0,5 ^B	4 (4–5)	3,8±0,8 ^A	4 (3–4)	13,885	<0,001
MBS _B (0-10 puan)	4,4±0,8 ^B	5 (3–5)	4,5±0,8 ^B	5 (4–5)	3,9±0,9 ^A	4 (3–5)	7,072	0,002

^{A-B} = Aynı satırdaki benzer harflere sahip gruplar arasında fark yoktur. İstatistiksel anlamlılık p<0,050 olarak kabul edildi. $\bar{X}$ =Ortalama; SS=Standart sapma; MED=Medyan; IQR= Çeyrekler arası aralık; MBS_D ve MBS_B için egzersiz anında her bir dakikada bir elde edilen puanların ortalamaları karşılaştırılmıştır. VO₂=Oksijen tüketim hacmi; VO_{2maks}=Maksimal oksijen tüketimi; VCO₂=Karbon dioksit üretim hacmi; SDO=Solunum değişim oranı; V_E=Dakika ventilasyonu; SR=Solunum rezervi; VT=Tidal hacim; Bf=Solunum frekansı (sıklığı); KAH=Kalp atım hızı; PetCO₂=End tidal karbondioksit basıncı; PetO₂=End tidal oksijen basıncı; SaO₂=Oksijen saturasyonu; MATS=Maksimal aerobik tükenme süresi; MAG=Maksimal aerobik güç (iş); MBS_D= Modifiye Borg skalası (Dispne); MBS_B= Modifiye Borg Skalası (Bacak).



Grafik A, ısınma uygulamaları arasındaki bireysel değişimlerini göstermektedir. Grafik B, ısınma uygulamaları arasındaki göreceli değişimleri göstermektedir. **= $p < 0,001$; *= $p < 0,050$; %Δ=Göreceli (Relatif) değişimler; VO₂=Oksijen tüketim hacmi; VO_{2max}=Maksimal oksijen tüketimi; VCO₂=Karbon dioksit üretim hacmi; V_E=Dakika ventilasyonu; KAH=Kalp atım hızı.

Şekil 4.3. Isınma uygulamalarına göre artırılmış bisiklet testi anında elde edilen fizyolojik yanıtların bireysel ve göreceli değişimleri



Grafik A, ısınma uygulamaları arasındaki bireysel değişimleri göstermektedir. Grafik B, ısınma uygulamaları arasındaki göreceli değişimleri göstermektedir. **= $p < 0,001$; *= $p < 0,050$; %Δ=Göreceli (Relatif) değişimler; VO₂/KAH= Oksijen tüketimine (VO₂) karşılık gelen KAH oranı; MATS=Maksimal aerobik tüketme süresi; MAG=Maksimal aerobik güç (iş); MBS_D= Modifiye Borg skalası (Dispne); MBS_B= Modifiye Borg Skalası (Bacak).

Şekil 4.4. Isınma uygulamalarına göre artırılmış bisiklet testi anında elde edilen fizyolojik yanıtların bireysel ve göreceli değişimleri

Tablo 4.9’da, tüm katılımcılar için artırılmış bisiklet testi anında elde edilen fizyolojik yanıtların (kardiyopulmoner, performans ve algılanan zorluk) ısınma uygulamalarına göre karşılaştırmaları sunuldu. SKI_{%40} uygulamasındaki VO₂ ($\bar{X}\Delta 152,5\uparrow$), VO_{2maks} ($\bar{X}\Delta 2,0\uparrow$), VCO₂ ($\bar{X}\Delta 209,0\uparrow$), V_E ($\bar{X}\Delta 5,0\uparrow$), SR ($\bar{X}\Delta 4,2\downarrow$), KAH ($\bar{X}\Delta 1,4\downarrow$), VO₂/KAH ($\bar{X}\Delta 1,0\uparrow$), PetO₂ ($\bar{X}\Delta 1,2\downarrow$), MATS ($\bar{X}\Delta 0,4\uparrow$), MAG ($\bar{X}\Delta 17\uparrow$), MBS_D ($\bar{X}\Delta 0,6\downarrow$), ve MBS_B ($\bar{X}\Delta 0,4\downarrow$) değişkenlerinde kontrole kıyasla istatistiksel olarak anlamlı değişimler tespit edildi ($p<0,050$, $p<0,001$). Kontrol ve plasebo_{%15} uygulamalarındaki ortalamalar arası değişimde anlamlı fark gözlenmedi ($p>0,050$) (Tablo 4.9). Isınma sonrası ortaya çıkan göreceli değişimlerde ise VO₂ (% $\Delta 104$), VO_{2maks} (% $\Delta 104$), VCO₂ (% $\Delta 105$), V_E (% $\Delta 104$), SR (% $\Delta 111$), KAH (% $\Delta 99$), VO₂/KAH (% $\Delta 106$), PetO₂ (% $\Delta 99$), MATS (% $\Delta 104$), MAG (% $\Delta 106$), MBS_D (% $\Delta 88$) ve MBS_B (% $\Delta 92$) değişkenlerinin SKI_{%40} uygulaması lehine anlamlı derecede değiştiği bulundu ($p<0,050$, $p<0,001$) (Şekil 4.3 ve 4.4).

Dayanıklılık disiplinindeki sporcuların SKI_{%40} uygulaması için VO₂ (% $\Delta 104$), VO_{2maks} (% $\Delta 104$), VCO₂ (% $\Delta 106$), VO₂/KAH (% $\Delta 105$), MATS (% $\Delta 105$), MAG (% $\Delta 108$) ve MBS_D (% $\Delta 88$) yanıtlarının kontrole göre anlamlı olduğu görüldü ($p<0,050$). Buna karşılık kontrol ve plasebo_{%15} uygulamalarındaki değişimlerde farklılık gözlenmedi ($p>0,050$) (Tablo 4.10).

Güç disiplinindeki sporcuların SKI_{%40} uygulamasında sadece MBS_D (% $\Delta 83$) değişkeninde kontrole göre anlamlılık belirlenirken ($p<0,050$), kontrol ve plasebo_{%15} uygulamalarında farklılık gözlenmedi ($p>0,050$) (Tablo 4.11).

Beceri disiplininde ise SKI_{%40} uygulaması için VO₂/KAH’te (% $\Delta 107$) kontrole kıyasla anlamlılık olduğu ($p<0,050$) ancak diğer disiplinlerdeki karşılaştırmalarla benzer şekilde kontrol ve plasebo_{%15} uygulamaları arasında istatistiksel farklılığın gözlenmediği tespit edildi ($p>0,050$) (Tablo 4.12).

Karma disiplinindeki SKI_{%40} uygulaması için VO₂ (% $\Delta 106$), VO_{2maks} (% $\Delta 106$), VCO₂ (% $\Delta 106$), V_E (% $\Delta 106$), VO₂/KAH (% $\Delta 107$), MATS (% $\Delta 106$), MAG (% $\Delta 107$), MBS_D (% $\Delta 89$) ve MBS_B (% $\Delta 85$) değerleri kontrole kıyasla istatistiksel olarak anlamlı değişimler gösterdi ($p<0,050$) (Tablo 4.13).

Tablo 4.10. Dayanıklılık grubunda ısınma uygulamalarına göre artırılmış bisiklet testi anında elde edilen fizyolojik yanıtlar (n = 9)

	Kontrol		Plasebo%15		SKI%40			
	$\bar{X} \pm SS$	MED (IQR)	$\bar{X} \pm SS$	MED (IQR)	$\bar{X} \pm SS$	MED (IQR)	Test ist.	p
VO ₂ (mL/dk)	4088,6±647,4 ^B	4011 (3694–4692)	4086,0±628,9 ^B	4000 (3725–4540)	4257,2±646,5 ^A	4070 (3929–4795)	7,841	0,002
VO _{2maks} (mL/dk/kg)	57,1±8,2 ^B	55 (51–65)	57,0±7,4 ^B	57 (51–64)	59,4±7,7 ^A	58 (53–67)	9,534	0,001
VCO ₂ (mL/dk)	4650,6±685,2 ^B	4753 (4147–5141)	4596,3±672,3 ^B	4750 (4254–4909)	4903,0±751,4 ^A	4729 (4538–5549)	6,777	0,004
SDO	1,1±0,1	1 (1–1)	1,1±0,1	1 (1–1)	1,1±0,1	1 (1–1)	0,337	0,716
V _E (L/dk)	164,7±22,5	167 (145–181)	165,2±24,9	171 (147–178)	169,7±32,0	176 (150–184)	1,594	0,220
SR (%)	19,9±13,8	16 (8–33)	19,5±13,2	15 (9–31)	15,3±11,9	12 (8–22)	2,601	0,091
VT (L)(btps)	2,8±0,6	3 (2–3)	2,8±0,5	3 (2–3)	3,0±0,5	3 (2–3)	0,867	0,431
Bf (1/dk)	51,3±9,3	54 (47–55)	51,5±15,5	50 (38–65)	52,8±12,9	57 (41–61)	0,067	0,935
KAH (atm/dk)	192,7±5,0	194 (191–195)	193,0±7,0	196 (187–197)	192,2±6,4	193 (186–196)	0,262	0,771
VO ₂ /KAH (mL/atm)	21,2±3,4 ^B	21 (19–24)	21,2±3,3 ^B	21 (19–23)	22,2±3,4 ^A	21 (20–25)	7,439	0,002
PetCO ₂ (mmHg)	35,1±4,5	36 (32–37)	35,4±5,3	37 (31–40)	36,2±7,2	35 (31–39)	0,280	0,758
PetO ₂ (mmHg)	117,0±3,2	118 (114–119)	118,6±4,5	118 (115–123)	117,3±3,5	117 (114–120)	0,902	0,417
V _E /VO ₂	41,0±7,5	38 (36–46)	41,1±7,8	39 (35–47)	40,3±8,1	42 (34–46)	0,297	0,745
V _E /VCO ₂	36,0±6,6	34 (32–41)	36,5±7,2	36 (31–41)	35,1±7,4	37 (29–40)	1,254	0,300
SaO ₂ (%)	98,4±0,7	99 (98–99)	98,4±0,5	98 (98–99)	98,6±0,5	99 (98–99)	0,088	0,916
MATS (dk)	11,7±1,6 ^B	11 (10–13)	11,8±1,8 ^B	12 (10–13)	12,3±1,8 ^A	13 (10–14)	7,460	0,002
MAG (Watt)	350,6±58,3 ^B	335 (300–405)	358,3±55,3 ^B	370 (317–405)	377,8±65,0 ^A	370 (335–422)	6,833	0,004
MBS _D (0-10 puan)	4,0±0,5 ^B	4 (4–4)	4,3±0,4 ^B	4 (4–5)	3,5±0,6 ^A	3 (3–4)	4,611	0,018
MBS _B (0-10 puan)	4,1±0,6	4 (3–5)	4,2±0,5	4 (4–5)	3,8±0,7	4 (3–4)	1,281	0,293

^{A-B} = Aynı satırdaki benzer harflere sahip gruplar arasında fark yoktur. İstatistiksel anlamlılık p<0,050 olarak kabul edildi. $\bar{X}$ =Ortalama; SS=Standart sapma; MED=Medyan; IQR= Çeyrekler arası aralık; MBS_D ve MBS_B için egzersiz anında her bir dakikada bir elde edilen puanların ortalamaları karşılaştırılmıştır. VO₂=Oksijen tüketim hacmi; VO_{2maks}=Maksimal oksijen tüketimi; VCO₂=Karbondiyoksit üretim hacmi; SDO=Solunum değişim oranı; V_E=Dakika ventilasyonu; SR=Solunum rezervi; VT=Tidal hacim; Bf=Solunum frekansı (sıklığı); KAH=Kalp atım hızı; PetCO₂=End tidal karbondiyoksit basıncı; PetO₂=End tidal oksijen basıncı; SaO₂=Oksijen saturasyonu; MATS=Maksimal aerobik tükenme süresi; MAG=Maksimal aerobik güç (iş); MBS_D= Modifiye Borg skalası (Dispne); MBS_B= Modifiye Borg Skalası (Bacak).

Tablo 4.11. Güç grubunda ısınma uygulamalarına göre artırılmış bisiklet testi anında elde edilen fizyolojik yanıtlar (n = 9)

	Kontrol		Plasebo%15		SKI%40			
	$\bar{X} \pm SS$	MED (IQR)	$\bar{X} \pm SS$	MED (IQR)	$\bar{X} \pm SS$	MED (IQR)	Test ist.	p
VO ₂ (mL/dk)	3579,8±603,7	3271 (3077–4196)	3568,3±506,4	3311 (3116–3987)	3677,6±540,7	3497 (3190–4192)	2,837	0,074
VO _{2maks} (mL/dk/kg)	42,0±2,9	43 (40–43)	42,1±3,5	41 (40–45)	43,3±3,8	43 (41–47)	2,838	0,074
VCO ₂ (mL/dk)	3995,4±585,8	3860 (3585–4306)	4118,0±479,5	3996 (3698–4460)	4124,0±521,2	3861 (3748–4514)	2,290	0,119
SDO	1,2±0,1	1 (1–1)	1,2±0,1	1 (1–1)	1,1±0,1	1 (1–1)	1,007	0,378
V _E (L/dk)	137,6±19,9	132 (126–160)	139,0±22,4	132 (126–165)	141,8±21,1	141 (125–156)	0,792	0,462
SR (%)	29,3±11,6	30 (22–38)	27,7±10,5	31 (19–36)	25,6±6,6	26 (22–31)	1,158	0,328
VT (L)(btps)	2,7±0,6	3 (2–3)	2,7±0,3	3 (2–3)	2,9±0,5	3 (2–3)	0,769	0,472
Bf (1/dk)	47,8±8,0	49 (41–55)	48,5±14,1	49 (35–61)	49,5±12,3	45 (40–62)	0,075	0,927
KAH (atm/dk)	186,8±8,7	188 (180–194)	185,7±10,1	186 (177–195)	185,7±10,0	186 (176–195)	0,759	0,477
VO ₂ /KAH (mL/atm)	19,1±2,7	18 (17–22)	19,2±2,1	18 (17–21)	19,8±2,4	19 (18–22)	3,111	0,159
PetCO ₂ (mmHg)	35,2±3,3	35 (33–38)	34,7±4,6	34 (30–39)	34,6±4,2	34 (31–39)	0,147	0,864
PetO ₂ (mmHg)	118,3±3,3	119 (115–121)	116,6±4,3	115 (114–120)	115,4±5,4	116 (112–119)	2,051	0,146
V _E /VO ₂	39,2±7,1	40 (34–44)	39,3±6,3	40 (36–43)	39,0±5,9	40 (34–44)	0,063	0,939
V _E /VCO ₂	34,8±5,5	34 (32–39)	33,9±4,7	34 (31–37)	34,6±5,0	35 (31–40)	0,633	0,538
SaO ₂ (%)	97,6±1,5	98 (97–98)	97,1±1,3	97 (97–98)	97,7±0,7	98 (97–98)	2,849	0,074
MATS (dk)	10,5±1,1	10 (9–12)	10,6±1,0	10 (10–11)	10,8±1,3	10 (10–12)	1,920	0,164
MAG (Watt)	307,8±42,1	300 (265–352)	315,6±30,9	300 (300–335)	315,6±46,7	300 (282–352)	0,859	0,434
MBS _D (0-10 puan)	4,3±0,8 ^B	4 (3–5)	4,1±0,6 ^B	4 (4–5)	3,5±0,6 ^A	4 (3–4)	4,309	0,023
MBS _B (0-10 puan)	4,2±1,0	5 (3–5)	4,2±0,7	4 (3–5)	3,8±1,0	3 (3–5)	0,730	0,490

^{A-B} = Aynı satırdaki benzer harflere sahip gruplar arasında fark yoktur. İstatistiksel anlamlılık p<0,050 olarak kabul edildi. $\bar{X}$ =Ortalama; SS=Standart sapma; MED=Medyan; IQR= Çeyrekler arası aralık; MBS_D ve MBS_B için egzersiz anında her bir dakikada bir elde edilen puanların ortalamaları karşılaştırılmıştır. VO₂=Oksijen tüketim hacmi; VO_{2maks}=Maksimal oksijen tüketimi; VCO₂=Karbon dioksit üretim hacmi; SDO=Solunum değişim oranı; V_E=Dakika ventilasyonu; SR=Solunum rezervi; VT=Tidal hacim; Bf=Solunum frekansı (sıklığı); KAH=Kalp atım hızı; PetCO₂=End tidal karbondioksit basıncı; PetO₂=End tidal oksijen basıncı; SaO₂=Oksijen saturasyonu; MATS=Maksimal aerobik tükenme süresi; MAG=Maksimal aerobik güç (iş); MBS_D= Modifiye Borg skalası (Dispne); MBS_B= Modifiye Borg Skalası (Bacak).

Tablo 4.12. Beceri grubunda ısınma uygulamalarına göre artırılmış bisiklet testi anında elde edilen fizyolojik yanıtlar (n = 8)

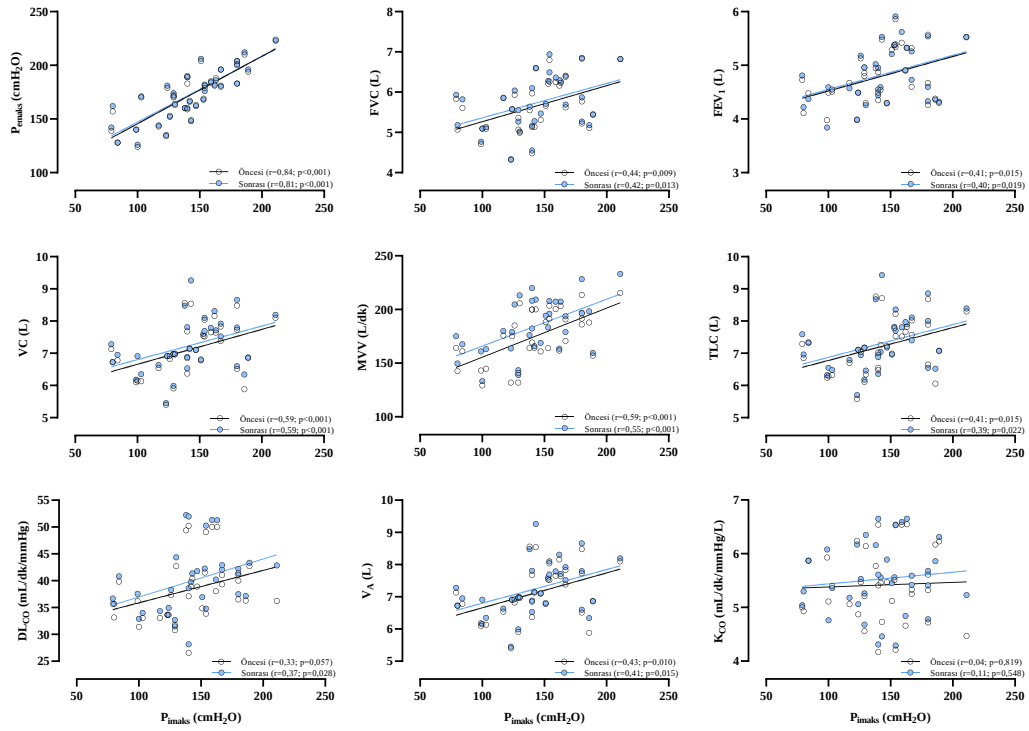
	Kontrol		Plasebo%15		SKI%40			
	$\bar{X} \pm SS$	MED (IQR)	$\bar{X} \pm SS$	MED (IQR)	$\bar{X} \pm SS$	MED (IQR)	Test ist.	p
VO ₂ (mL/dk)	3197,5±482,2	3244 (2724–3688)	3223,8±508,2	3315 (2646–3701)	3313,3±584,5	3556 (2642–3829)	2,473	0,101
VO _{2maks} (mL/dk/kg)	41,5±5,9	41 (37–47)	41,8±5,7	41 (37–46)	42,9±6,3	44 (36–47)	2,249	0,123
VCO ₂ (mL/dk)	3650,3±486,5	3721 (3123–4063)	3703,5±497,9	3715 (3239–4080)	3856,3±582,3	3935 (3226–4421)	3,058	0,062
SDO	1,2±0,1	1 (1–1)	1,2±0,1	1 (1–1)	1,2±0,1	1 (1–1)	0,183	0,834
V _E (L/dk)	116,1±15,4	120 (103–128)	117,6±17,2	123 (104–130)	119,2±16,4	122 (105–133)	0,311	0,735
SR (%)	26,5±15,2	32 (9–39)	25,2±14,4	30 (10–37)	21,2±13,0	24 (7–30)	2,550	0,095
VT (L)(btps)	2,3±0,3	2 (2–2)	2,4±0,3	2 (2–3)	2,3±0,3	2 (2–2)	1,085	0,351
Bf (1/dk)	53,6±7,9	54 (47–56)	56,1±10,4	55 (48–61)	55,5±14,5	53 (45–71)	0,202	0,818
KAH (atm/dk)	193,5±8,4	195 (184–201)	193,5±7,9	196 (184–200)	191,0±7,4	194 (183–197)	2,355	0,112
VO ₂ /KAH (mL/atm)	16,3±3,1 ^B	16 (13–20)	16,6±3,1 ^B	17 (13–20)	17,4±3,1 ^A	18 (14–20)	6,720	0,004
PetCO ₂ (mmHg)	35,3±4,2	35 (31–38)	35,4±4,2	35 (31–39)	37,0±5,7	38 (35–40)	0,727	0,492
PetO ₂ (mmHg)	118,6±3,3	119 (115–122)	118,8±3,8	118 (115–123)	116,8±5,0	115 (113–119)	1,125	0,338
V _E /VO ₂	36,6±4,3	36 (33–39)	36,8±4,9	35 (33–40)	36,4±4,4	34 (33–39)	0,085	0,918
V _E /VCO ₂	32,1±4,4	32 (29–34)	32,0±4,5	32 (29–35)	31,2±3,9	30 (29–35)	0,408	0,643
SaO ₂ (%)	97,6±0,7	98 (97–98)	98,1±0,8	98 (97–99)	97,9±0,6	98 (97–98)	1,523	0,234
MATS (dk)	9,3±1,1	9 (8–10)	9,2±1,0	9 (8–10)	9,5±1,1	9 (8–10)	3,110	0,059
MAG (Watt)	265,0±45,8	265 (230–300)	265,0±37,4	265 (230–291)	273,8±36,2	265 (239–300)	0,842	0,441
MBS _D (0-10 puan)	4,9±0,9	5 (4–6)	4,8±0,4	5 (4–5)	4,5±0,2	5 (4–5)	0,716	0,497
MBS _B (0-10 puan)	5,2±0,5	5 (5–6)	5,3±0,4	5 (5–6)	4,9±0,5	5 (4–5)	0,885	0,423

^{A-B} = Aynı satırdaki benzer harflere sahip gruplar arasında fark yoktur. İstatistiksel anlamlılık p<0,050 olarak kabul edildi. $\bar{X}$ =Ortalama; SS=Standart sapma; MED=Medyan; IQR= Çeyrekler arası aralık; MBS_D ve MBS_B için egzersiz anında her bir dakikada bir elde edilen puanların ortalamaları karşılaştırılmıştır. VO₂=Oksijen tüketim hacmi; VO_{2maks}=Maksimal oksijen tüketimi; VCO₂=Karbondiyoksit üretim hacmi; SDO=Solunum değişim oranı; V_E=Dakika ventilasyonu; SR=Solunum rezervi; VT=Tidal hacim; Bf=Solunum frekansı (sıklığı); KAH=Kalp atım hızı; PetCO₂=End tidal karbondiyoksit basıncı; PetO₂=End tidal oksijen basıncı; SaO₂=Oksijen saturasyonu; MATS=Maksimal aerobik tükenme süresi; MAG=Maksimal aerobik güç (iş); MBS_D= Modifiye Borg skalası (Dispne); MBS_B= Modifiye Borg Skalası (Bacak).

Tablo 4.13. Karma grubunda ısınma uygulamalarına göre artırılmış bisiklet testi anında elde edilen fizyolojik yanıtlar (n = 9)

	Kontrol		Plasebo%15		SKI%40		Test ist.	p
	$\bar{X} \pm SS$	MED (IQR)	$\bar{X} \pm SS$	MED (IQR)	$\bar{X} \pm SS$	MED (IQR)		
VO ₂ (mL/dk)	3709,0±409,3 ^B	3754 (3412–3998)	3759,7±406,7 ^B	3803 (3437–4060)	3932,8±450,5 ^A	3942 (3565–4315)	10,402	<0,001
VO _{2maks} (mL/dk/kg)	48,2±3,2 ^B	49 (45–51)	48,8±3,2 ^B	50 (46–52)	51,0±2,9 ^A	50 (48–54)	10,971	<0,001
VCO ₂ (mL/dk)	4206,0±512,5 ^B	4142 (3794–4610)	4283,3±436,6 ^B	4407 (3995–4495)	4454,8±498,0 ^A	4489 (4036–4760)	5,043	0,013
SDO	1,1±0,1	1 (1–1)	1,2±0,1	1 (1–1)	1,1±0,1	1 (1–1)	1,186	0,319
V _E (L/dk)	148,4±28,3 ^B	149 (139–171)	149,0±30,5 ^B	163 (130–173)	155,8±26,5 ^A	163 (140–179)	3,685	0,037
SR (%)	25,9±10,8	24 (15–37)	24,4±13,1	19 (12–38)	22,2±9,9	16 (15–32)	1,189	0,319
VT (L)(btps)	2,7±0,4	3 (2–3)	2,8±0,5	3 (2–3)	2,7±0,5	3 (2–3)	0,574	0,569
Bf (1/dk)	52,7±10,9	53 (43–62)	52,9±9,4	54 (43–59)	53,7±10,0	52 (44–64)	0,023	0,977
KAH (atm/dk)	187,4±6,2	188 (180–193)	188,4±7,1	188 (182–194)	185,8±5,7	185 (180–190)	2,982	0,066
VO ₂ /KAH (mL/atm)	19,8±2,1 ^B	19 (18–22)	19,9±1,8 ^B	19 (19–22)	21,2±2,4 ^A	20 (20–24)	13,807	<0,001
PetCO ₂ (mmHg)	35,8±3,7	37 (32–38)	34,0±3,7	34 (30–37)	35,3±3,5	34 (33–38)	1,319	0,283
PetO ₂ (mmHg)	117,2±2,9	117 (114–119)	119,3±3,5	120 (116–122)	116,9±3,3	116 (114–119)	2,314	0,116
V _E /VO ₂	40,0±7,0	38 (35–46)	39,4±6,4	39 (35–45)	39,5±4,3	39 (37–43)	0,180	0,836
V _E /VCO ₂	35,4±6,3	34 (30–41)	34,6±5,5	34 (31–39)	34,9±3,8	35 (32–38)	0,322	0,727
SaO ₂ (%)	98,2±1,2	98 (97–99)	98,2±1,0	98 (97–99)	98,1±1,1	98 (97–99)	0,088	0,916
MATS (dk)	10,7±0,9 ^B	11 (10–11)	10,9±1,1 ^B	11 (10–12)	11,4±1,1 ^A	12 (11–12)	10,112	<0,001
MAG (Watt)	315,6±30,9 ^B	335 (282–335)	323,3±39,1 ^B	335 (282–352)	338,9±36,9 ^A	335 (317–370)	4,890	0,015
MBS _D (0-10 puan)	4,4±0,4 ^B	4 (4–5)	4,6±0,2 ^B	5 (4–5)	3,8±0,9 ^A	4 (3–4)	4,191	0,025
MBS _B (0-10 puan)	4,1±0,6 ^B	4 (3–5)	4,4±0,9 ^B	5 (4–5)	3,5±0,9 ^A	3 (3–4)	5,017	0,013

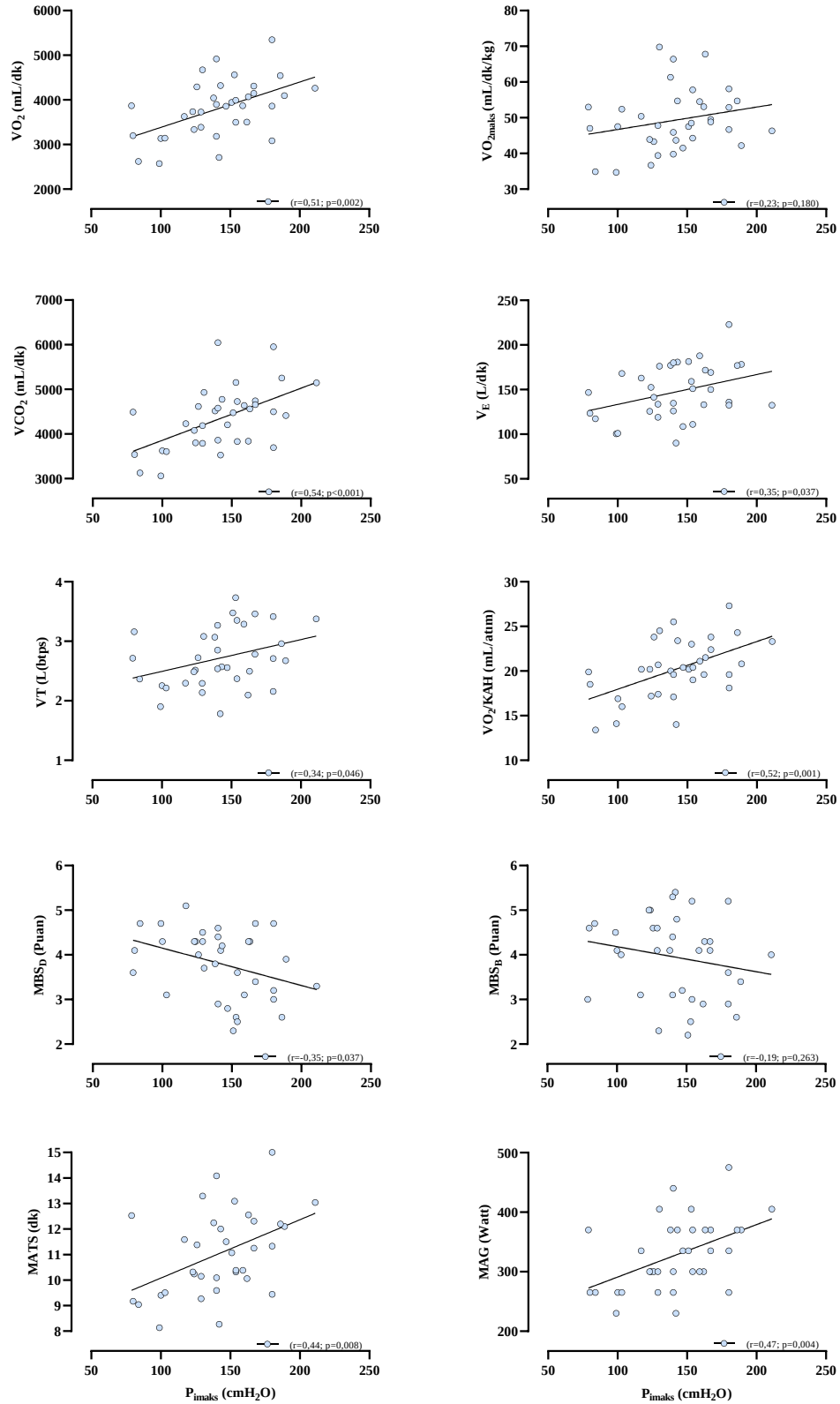
^{A-B} = Aynı satırdaki benzer harflere sahip gruplar arasında fark yoktur. İstatistiksel anlamlılık p<0,050 olarak kabul edildi. $\bar{X}$ =Ortalama; SS=Standart sapma; MED=Medyan; IQR= Çeyrekler arası aralık; MBS_D ve MBS_B için egzersiz anında her bir dakikada bir elde edilen puanların ortalamaları karşılaştırılmıştır. VO₂=Oksijen tüketim hacmi; VO_{2maks}=Maksimal oksijen tüketimi; VCO₂=Karbon dioksit üretim hacmi; SDO=Solunum değişim oranı; V_E=Dakika ventilasyonu; SR=Solunum rezervi; VT=Tidal hacim; Bf=Solunum frekansı (sıklığı); KAH=Kalp atım hızı; PetCO₂=End tidal karbondioksit basıncı; PetO₂=End tidal oksijen basıncı; SaO₂=Oksijen saturasyonu; MATS=Maksimal aerobik tükenme süresi; MAG=Maksimal aerobik güç (iş); MBS_D= Modifiye Borg skalası (Dispne); MBS_B= Modifiye Borg Skalası (Bacak).



Şekilde SKI sonrası P_{imaks} değeriyle bazı solunum parametrelerinin ısınma öncesi-sonrası arasındaki karşılaştırmalı ilişkileri gösterilmektedir. Her bir grafiğin içine korelasyon kat sayılarının etkisini göstermek için eğim çizgileri eklenmiştir. İstatistiksel anlamlılık $p<0,050$ olarak kabul edilmiştir. P_{imaks} =Maksimal inspiratuar basınç; P_{emaks} =Maksimal ekspiratuar basınç; FVC=Zorlu vital kapasite; FEV₁=Birinci saniyedeki zorlu ekspiratuar hacim; VC= vital kapasite; MVV=Maksimum istemli ventilasyon; TLC=Toplam akciğer kapasitesi; DLCO=Akciğer karbonmonoksit difüzyon kapasitesi; V_A =Alveoler hacim; K_{CO} =Difüzyon katsayısı.

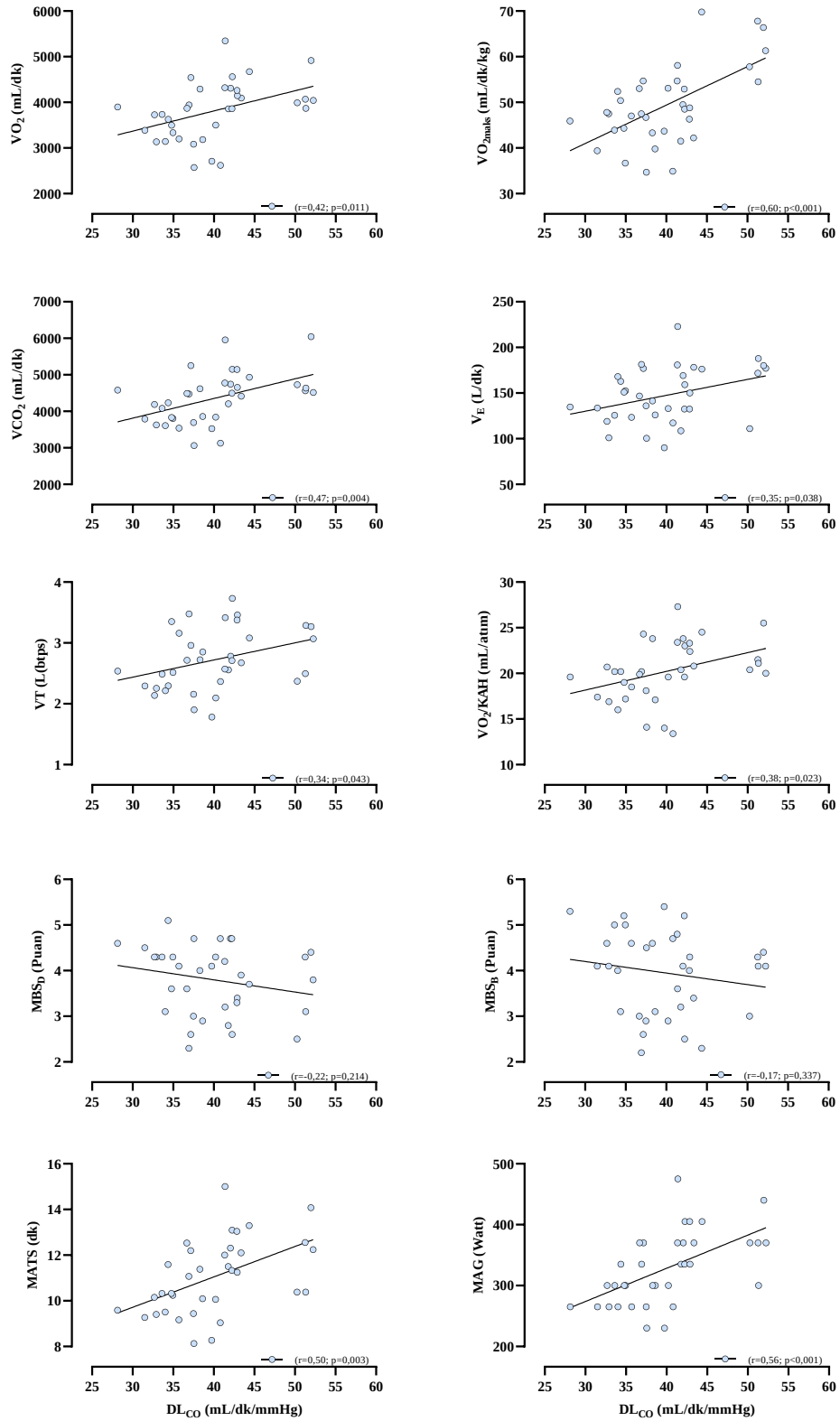
Şekil 4.5. Maksimal inspiratuar basınç (P_{imaks}) ve solunum parametreleri arasındaki ilişki

SKI%40 sonrası inspiratuar solunum kas kuvvetiyle (P_{imaks}) bazı solunum parametrelerinin ısınma öncesi ve sonrası karşılaştırmalı ilişkileri incelendiğinde, en güçlü ilişkinin P_{imaks} ile P_{emaks} ($r=0,84 - r=0,81$) arasında olduğu bulundu. Benzer şekilde P_{imaks} değeri, FVC ($r=0,44 - r=0,42$), FEV₁ ($r=0,41 - r=0,40$), VC ($r=0,59 - r=0,59$), MVV ($r=0,59 - r=0,55$), TLC ($r=0,41 - r=0,39$) ve V_A ($r=0,43 - r=0,41$) ile pozitif yönlü bir ilişki gösterdi ($p<0,050$). Bununla birlikte P_{imaks} sadece ısınma sonrası DLCO ($r=0,37$) değeriyle istatistiksel olarak anlamlı ilişki sergiledi ($p<0,050$) (Şekil 4.5).



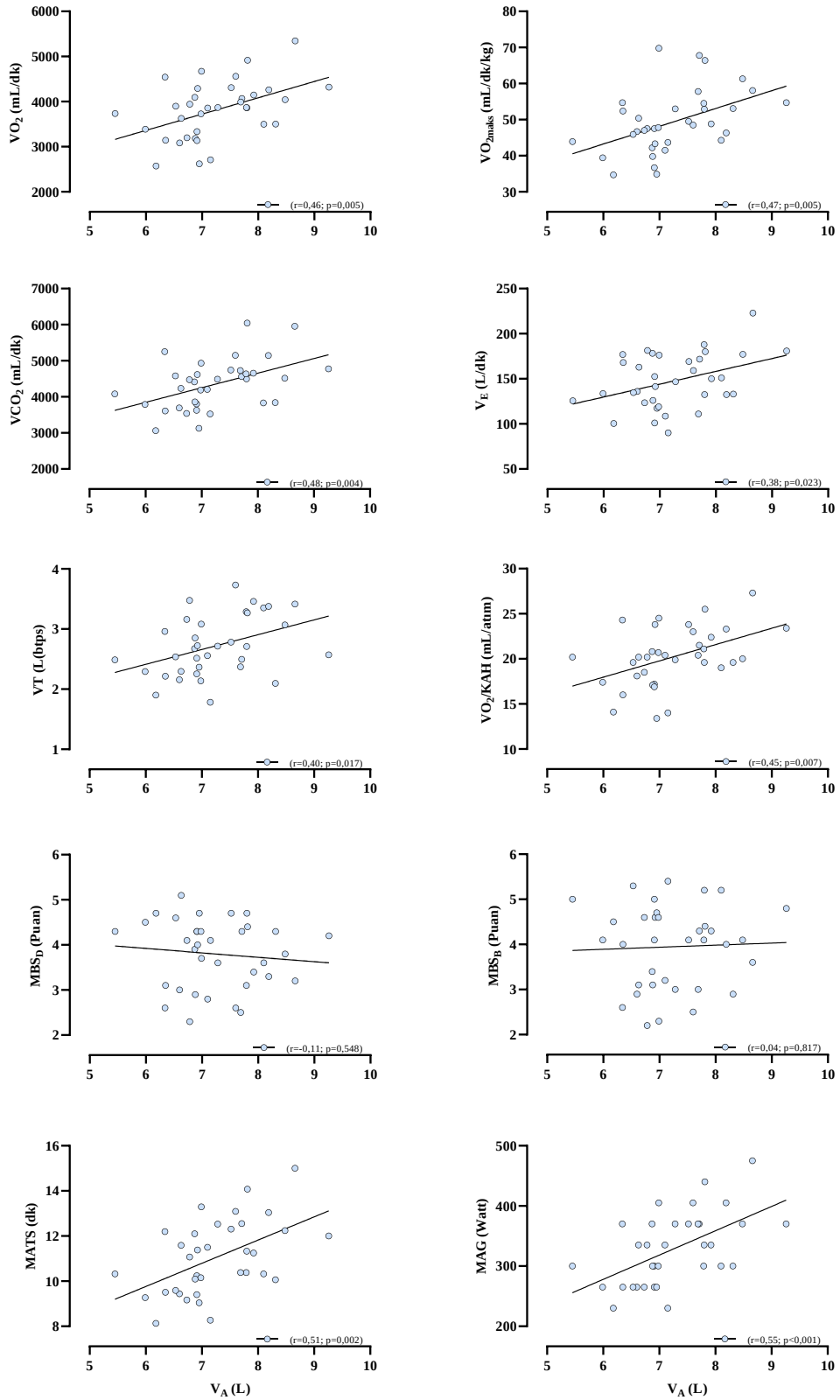
Şekilde SKI sonrası P_{imaks} ve kardiyopulmoner parametreler arasındaki ilişki gösterilmektedir. İstatistiksel anlamlılık $p<0,050$ olarak kabul edilmiştir. P_{imaks} =Maksimal inspiratuar basınç; VO_2 =Oksijen tüketim hacmi; VO_{2maks} =Maksimal oksijen tüketimi; VCO_2 =Karbondiyoksit üretim hacmi; V_E =Dakika ventilasyonu; V_T =Tidal hacim; VO_2/KAH = Oksijen tüketimine (VO_2) karşılık gelen KAH oranı; MBS_D = Modifiye Borg skalası (Dispne); MBS_B = Modifiye Borg Skalası (Bacak); $MATS$ =Maksimal aerobik tükenme süresi; MAG =Maksimal aerobik güç (iş).

Şekil 4.6. Maksimal inspiratuar basınç (P_{imaks}) ve artırılmış bisiklet testi anında elde edilen fizyolojik yanıtlar arasındaki ilişki



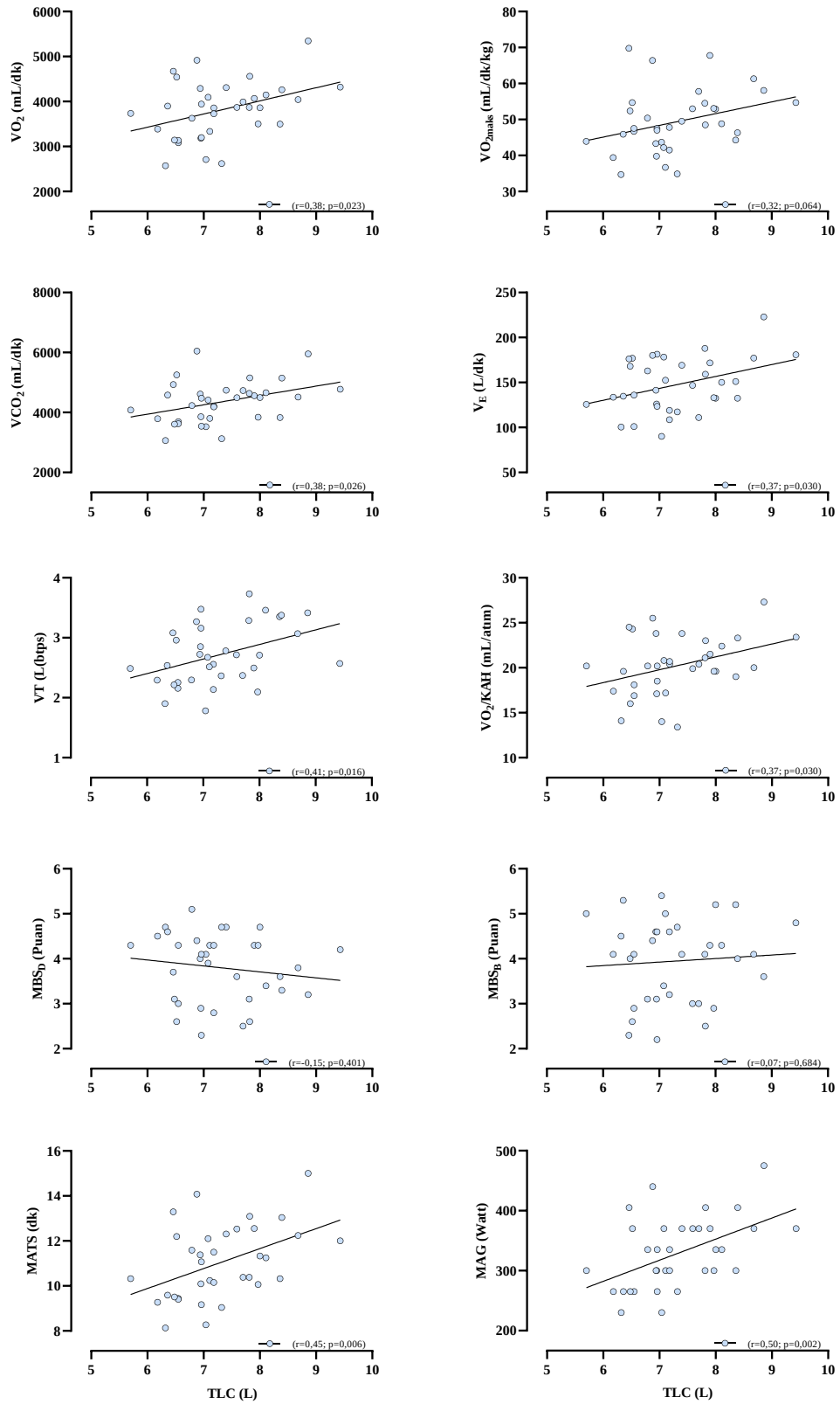
Şekilde SKI sonrası DL_{CO} ve kardiyopulmoner parametreler arasındaki ilişki gösterilmektedir. İstatistiksel anlamlılık $p<0,050$ olarak kabul edilmiştir. DL_{CO}=Akciğer karbonmonoksit difüzyon kapasitesi; VO₂=Oksijen tüketim hacmi; VO_{2max}=Maksimal oksijen tüketimi; VCO₂=Karbon dioksit üretim hacmi; V_E=Dakika ventilasyonu; VT=Tidal hacim; VO₂/KAH= Oksijen tüketimine (VO₂) karşılık gelen KAH oranı; MBS_D= Modifiye Borg skalası (Dispne); MBS_B= Modifiye Borg Skalası (Bacak); MATS=Maksimal aerobik tükenme süresi; MAG=Maksimal aerobik güç (iş).

Şekil 4.7. Akciğer karbonmonoksit difüzyon kapasitesi (DL_{CO}) ve artırılmış bisiklet testi anında elde edilen fizyolojik yanıtlar arasındaki ilişki



Şekilde SKI sonrası V_A ve kardiyopulmoner parametreler arasındaki ilişki gösterilmektedir. İstatistiksel anlamlılık $p<0,050$ olarak kabul edilmiştir. V_A =Alveoler hacim; VO_2 =Oksijen tüketim hacmi; VO_{2maks} =Maksimal oksijen tüketimi; VCO_2 =Karbondioksit üretim hacmi; V_E =Dakika ventilasyonu; VT =Tidal hacim; VO_2/KAH = Oksijen tüketimine (VO_2) karşılık gelen KAH oranı; MBS_D = Modifiye Borg skalası (Dispne); MBS_B = Modifiye Borg Skalası (Bacak); $MATS$ =Maksimal aerobik tükenme süresi; MAC =Maksimal aerobik güç (iş).

Şekil 4.8. Alveoler hacim (V_A) ve artırılmış bisiklet testi anında elde edilen fizyolojik yanıtlar arasındaki ilişki



Şekilde SKI sonrası TLC ve kardiyopulmoner parametreler arasındaki ilişki gösterilmektedir. İstatistiksel anlamlılık $p<0,050$ olarak kabul edilmiştir. TLC=Toplam akciğer kapasitesi; VO_2 =Oksijen tüketim hacmi; $\text{VO}_{2\text{maks}}$ =Maksimal oksijen tüketimi; VCO_2 =Karbondiyoksit üretim hacmi; V_E =Dakika ventilasyonu; VT=Tidal hacim; VO_2/KAH = Oksijen tüketimine (VO_2) karşılık gelen KAH oranı; MBS_D = Modifiye Borg skalası (Dispne); MBS_B = Modifiye Borg Skalası (Bacak); MATS=Maksimal aerobik tükenme süresi; MAG=Maksimal aerobik güç (iş).

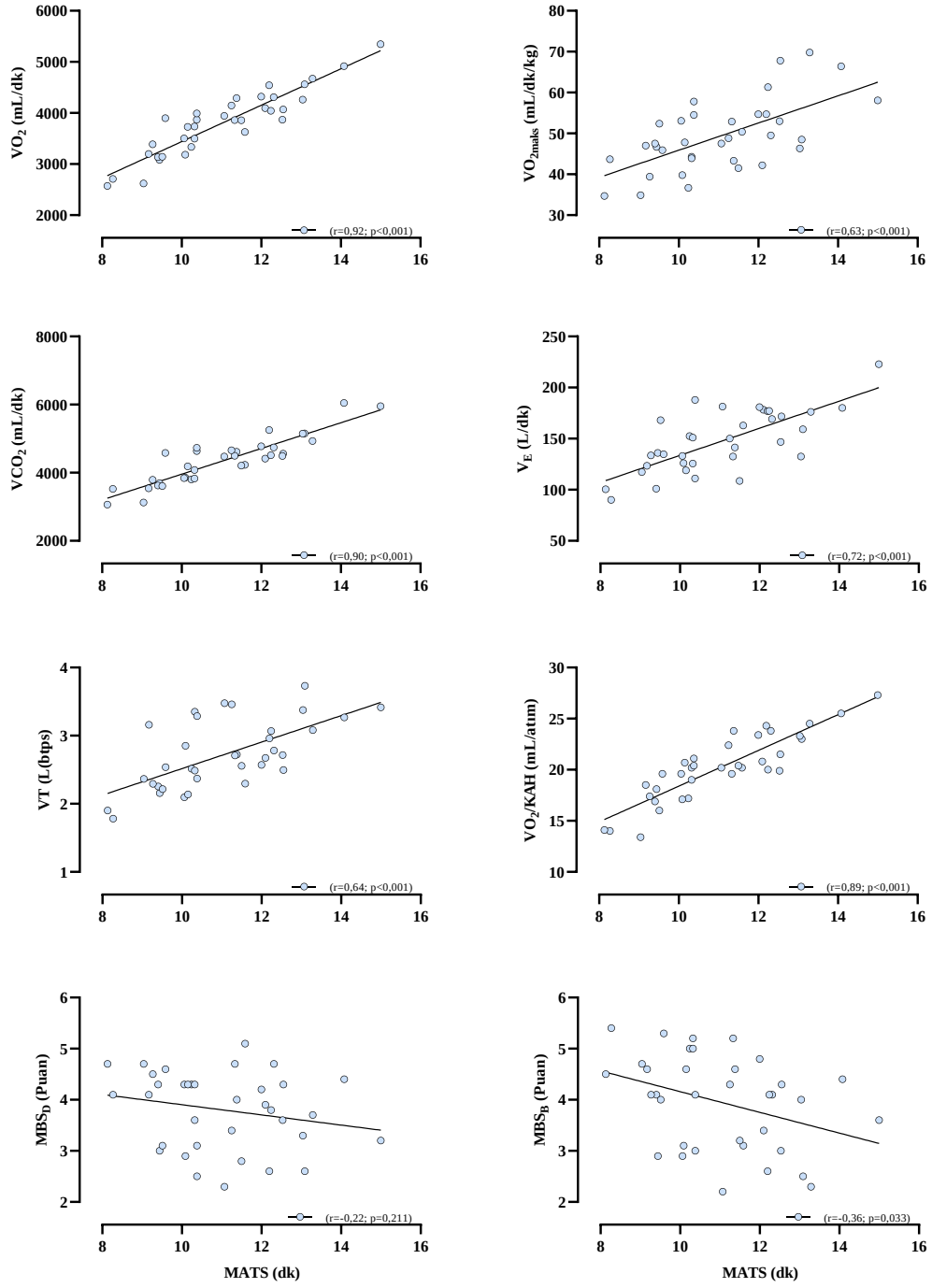
Şekil 4.9. Toplam akciğer kapasitesi (TLC) ve artırılmış bisiklet testi anında elde edilen fizyolojik yanıtlar arasındaki ilişki

Şekil 4.6 ve 4.9, solunum parametreleri ve artırımı bisiklet testi anında elde edilen fizyolojik yanıtlar arasındaki potansiyel ilişkileri göstermektedir. P_{imaks} değeri, VO_2 ($r=0,51$), VCO_2 ($r=0,54$) ve VO_2/KAH ($r=0,52$) ile yüksek, V_E ($r=0,35$), VT ($r=0,34$), $MATS$ ($r=0,44$) ve MAG ($r=0,47$) ile orta düzeyde pozitif yönlü ilişki sergiledi ($p<0,050$). Bununla birlikte P_{imaks} ve MSB_D ($r=-0,35$) arasında negatif yönlü orta düzey ilişki bulunurken ($p<0,050$), MSB_B arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki yoktu ($p>0,050$) (Şekil 4.6).

DL_{CO} değeri, VO_2 ($r=0,42$), VCO_2 ($r=0,47$), V_E ($r=0,35$), VT ($r=0,34$), VO_2/KAH ($r=0,38$), $MATS$ ($r=0,50$) ile orta düzeyde bir ilişki gösterirken, $VO_{2\text{maks}}$ ($r=0,60$) ve MAG ($r=0,56$) ile yüksek pozitif yönlü bir ilişki sergiledi ($p<0,050$). Bununla birlikte DL_{CO} değeriyle MSB_D ve MSB_B arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki yoktu ($p>0,050$) (Şekil 4.7).

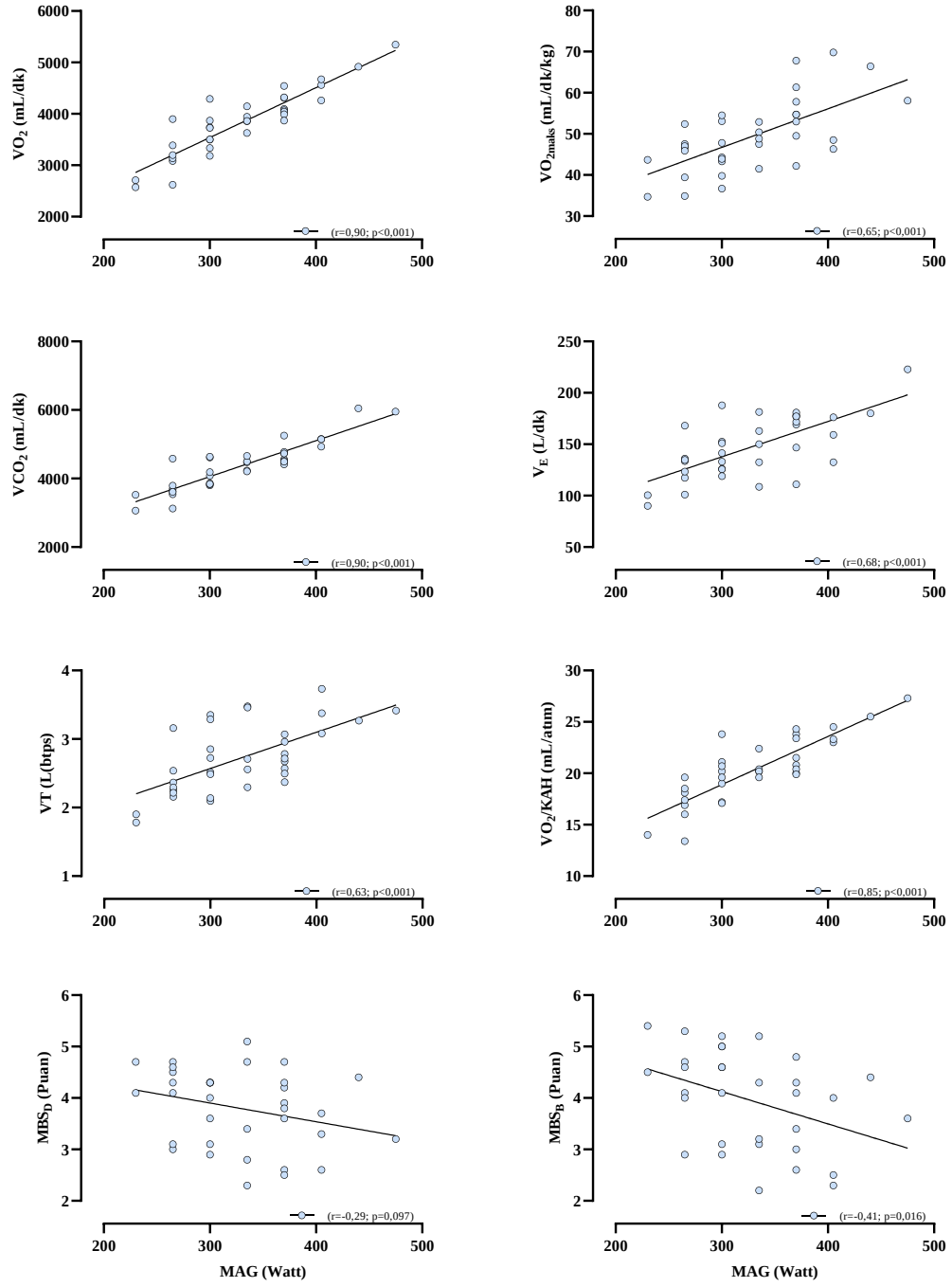
V_A değeri, VO_2 ($r=0,46$), $VO_{2\text{maks}}$ ($r=0,47$), VCO_2 ($r=0,48$), V_E ($r=0,38$), VT ($r=0,40$), VO_2/KAH ($r=0,45$) ile orta, $MATS$ ($r=0,51$) ve MAG ($r=0,55$) ile yüksek düzeyde pozitif yönlü bir ilişki sergiledi ($p<0,050$). Bununla birlikte V_A değeriyle MSB_D ve MSB_B arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki yoktu ($p>0,050$) (Şekil 4.8).

TLC değeri, VO_2 ($r=0,38$), VCO_2 ($r=0,38$), V_E ($r=0,37$), VT ($r=0,41$), VO_2/KAH ($r=0,37$), $MATS$ ($r=0,45$) ve MAG ($r=0,50$) ile orta düzeyde pozitif yönlü bir ilişki gösterdi ($p<0,050$). Bununla birlikte TLC değeriyle MSB_D ve MSB_B arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki yoktu ($p>0,050$) (Şekil 4.9).



Şekilde SKI sonrası artırılmış bisiklet testinde ulaşılan maksimal aerobik tükenme süresi (MATS) ve kardiyopulmoner parametreler arasındaki ilişki gösterilmektedir. İstatistiksel anlamlılık $p<0,050$ olarak kabul edilmiştir. MATS=Maksimal aerobik tükenme süresi; VO_2 =Oksijen tüketim hacmi; VO_{2maks} =Maksimal oksijen tüketimi; VCO_2 =Karbondiyoksit üretim hacmi; V_E =Dakika ventilasyonu; VT=Tidal hacim; VO_2/KAH = Oksijen tüketimine (VO_2) karşılık gelen KAH oranı; MBS_D = Modifiye Borg skalası (Dispne); MBS_B = Modifiye Borg Skalası (Bacak).

Şekil 4.10. Maksimal aerobik tükenme süresi (MATS) ve artırılmış bisiklet testi anında elde edilen fizyolojik yanıtlar arasındaki ilişki



Şekilde SKI sonrası artırılmış bisiklet testinde ulaşılan maksimal aerobik güç (MAG) ve kardiyopulmoner parametreler arasındaki ilişki gösterilmektedir. İstatistiksel anlamlılık $p<0,050$ olarak kabul edilmiştir. MAG=Maksimal aerobik güç; VO_2 =Oksijen tüketim hacmi; VO_{2maks} =Maksimal oksijen tüketimi; VCO_2 =Karbon dioksit üretim hacmi; V_E =Dakika ventilasyonu; VT =Tidal hacim; VO_2/KAH = Oksijen tüketimine (VO_2) karşılık gelen KAH oranı; MBS_D = Modifiye Borg skalası (Dispne); MBS_B = Modifiye Borg Skalası (Bacak).

Şekil 4.11. Maksimal aerobik güç (MAG) ve artırılmış bisiklet testi anında elde edilen fizyolojik yanıtlar arasındaki ilişki

Artırılmış bisiklet testi anında elde edilen fizyolojik yanıtlar arasındaki potansiyel ilişkilere bakıldığında, MATS ile VO_2 ($r=0,92$), VO_{2maks} ($r=0,63$), VCO_2 ($r=0,90$), V_E ($r=0,72$), VT ($r=0,64$) ve VO_2/KAH ($r=0,89$) arasında önemli pozitif ilişkiler

gözlenirken, MSB_B ($r=-0,36$) arasında orta düzey negatif yönlü bir ilişki olduğu görüldü ($p<0,050$) (Şekil 4.10).

MAG'nin potansiyel ilişkileri incelendiğinde ise, VO_2 ($r=0,90$), VO_{2maks} ($r=0,65$), VCO_2 ($r=0,90$), V_E ($r=0,68$), VT ($r=0,63$) ve VO_2/KAH ($r=0,85$) ile anlamlı pozitif yönlü, MSB_B ($r=-0,41$) ile küçük düzey negatif yönlü bir ilişkinin olduğu görüldü ($p<0,050$) (Şekil 4.11).



5. TARTIŞMA

Solunum sisteminin geri bildirim, düzenleme, adaptasyon ve yedeklilik ilkeleri tarafından optimize edildiği düşünüldüğünde (Dominelli ve Molgat-Seon, 2022) farklı disiplinlerden sporculara uygulanan özelleştirilmiş SKI uygulamalarının performans değişkenleri üzerindeki potansiyel etkileri günümüzde halen merak konusudur (Toigo, 2023). Önceki araştırmalar SKI'nın sporcularda performans ölçütlerini etkilediği ve etkilemediği yönünde değişken bulgular sunmuş olsa da, bu farklılıkları açıklayan sınırlı kanıtlar nedeniyle altta yatan temel mekanizmalar halen belirsizliğini korumaktadır. Birçok araştırmacı inspiratuar kas kuvveti (Koizumi ve Ohya, 2024; Koizumi ve Ohya, 2023; Barnes ve Ludge, 2021; Özdal ve Bostancı, 2018; Özdal, 2016), gelişmiş nöral fasilasyon (Koizumi ve Ohya, 2023), azalmış dispne ve/veya bacak algısı (Oliveira vd., 2024; Koizumi ve Ohya, 2024; Barnes ve Ludge, 2021) ve solunum kas yorgunluğu (Oliveira vd., 2024) gibi çeşitli mekanizmaların varlığını öne sürmüşlerdir. Ancak SKI uygulamasının spor disiplinine özgü bireysel farklılıklarla ilgili olarak performansı nasıl etkilediği, özellikle alveoler düzeyde pulmoner difüzyon kapasitesi testi gibi özel bir yaklaşımla kapsamlı bir şekilde daha önce incelenmemiştir. Bu araştırma SKI uygulamasının egzersiz ve solunum performansı üzerindeki potansiyel etkilerini spor disiplini bağlamında incelemek ve literatürde raporlanan mekanizmalara yeni bir bakış açısı kazandırmak için gerçekleştirilmiştir. Eldeki bilgiler ışığında bu araştırmanın amacı SKI'nın farklı disiplinlerdeki elit sporcularda solunum kas kuvveti, solunum fonksiyonu, pulmoner difüzyon kapasitesi, kardiyopulmoner ve algısal yanıtlar üzerindeki etki düzeyini belirlemektir.

Araştırmanın bulguları, temel amaçlarına göre ilgili başlıklar altında düzenlenmiş ve mevcut literatür bağlamında tartışılmıştır.

5.1. Disiplinler Arası Solunum ve Kardiyopulmoner Farklılıklar

Araştırma bulguları, spor disiplinleri (Dayanıklılık, Güç, Beceri ve Karma) arasında solunum kas kuvveti ve solunum fonksiyon parametrelerinin çoğunda belirgin farklılıklar olduğunu ancak sadece MVV ve DL_{CO} değerlerinde dayanıklılık disiplinindeki sporcular lehine istatistiksel anlamlılığın olduğunu bulundu ($p < 0,050$). Bununla birlikte dayanıklılık disiplinlerindeki sporcuların, VO_{2maks}, VO₂, VCO₂, V_E ve VO₂/KAH dahil olmak üzere önemli kardiyopulmoner yanıtların yanı sıra MATS ve MAG performans göstergelerinde de en yüksek ortalamalara sahip olduğu gözlemlendi.

($p<0,050$). Yüksek yoğunluklu egzersiz anında en düşük MBS_B algısı, dayanıklılık ve karma disiplinlerdeki sporcularda olduğu belirlendi ($p<0,050$). Bunların aksine beceriye dayalı disiplinlerdeki sporcular tutarlı olarak en düşük solunum kapasitelerini ve egzersize karşı en sınırlı fizyolojik yanıtları sergilemiştir. Bu bulgular spor disiplinlerinin özel taleplerine göre antrenmanlara verilen yanıtlar doğrultusunda solunum-dolaşım sistemindeki egzersize bağlı potansiyel adaptasyonları vurgulamaktadır. Ancak literatürde pulmoner adaptasyonlardan kaynaklanan akciğer fonksiyon ve kapasitelerindeki farklılıkları vurgulayan çalışmaların bulguları halen tartışmalı olduğu göz ardı edilmemelidir.

Lazovic ve diğerleri (2018), dayanıklılık ve güç disiplinlerinden sporcular arasında FVC, FEV_1 , PEF, VC, DL_{CO} ve K_{CO} değerlerinde anlamlı bir farklılık saptamamıştır (Lazovic vd., 2018). Bunların aksine dayanıklılık ve karma disiplinlerden sporcuların FVC, FEV_1 , FEV_1/FVC ve $FEF_{\%25-75}$ değerlerini karşılaştıran bir çalışma disiplinler arası önemli istatistiksel farklılıklar ortaya koymuştur (Bernhardsen vd., 2023). Dayanıklılık ve güç sporcuları arasında akciğer fonksiyonlarını karşılaştıran başka bir çalışmada, FVC, FEV_1 , PEF, VC ve MVV değerleri için dayanıklılık sporcuları lehine istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar gösterilmiştir (Durmic vd., 2017). Diğer bir çalışmada beceri sporcularının FVC, FEV_1 , FEV_1/FVC ve PEF değerlerinin karma disiplinlerde olanlara göre önemli ölçüde yüksek olduğu belirlenmiştir (Đorđević-Šaranović vd., 2019). Benzer şekilde FVC, FEV_1 , PEF, VC, MVV, P_{imaks} veya P_{emaks} değerlerini karşılaştıran çalışmalar disiplinler (dayanıklılık, güç, beceri ve karma) arası önemli farklılıklar bildirmiştir (Bostancı vd., 2019; Degens vd., 2019; Mazic vd., 2015; Lazovic vd., 2015). Ancak bu araştırmaların bazıları FEV_1 ve PEF değerlerinde istatistiksel anlamlılığın gözlenmediğini raporlamıştır (Degens vd., 2019; Lazovic vd., 2015). Bovard ve diğerleri (2018), dayanıklılık sporcularının beceri ve karma disiplinlerdekilere göre daha gelişmiş P_{emaks} , FVC, PEF, $FEF_{\%25-75}$, DL_{CO} ve TLC sergilediklerini ancak P_{imaks} ve DL_{CO}/V_A 'da (K_{CO}) istatistiksel olarak anlamlı bir farklılığın olmadığını göstermiştir (Bovard vd., 2018). Benzer bulguların rapor edildiği bir başka çalışmada, dayanıklılık sporcularının FVC, FEV_1 , PEF, DL_{CO} , V_A ve TLC değerleri karma disiplinli sporculara kıyasla anlamlı derecede yüksek bulunurken, FEV_1/FVC ve K_{CO} değerlerinde istatistiksel bir fark gözlenmemiştir (García vd., 2021a). Rajaure ve diğerleri (2023), FVC, FEV_1 ve PEF değerlerinin dayanıklılık ve güç sporcuları

arasında anlamlı farklılık göstermediğini ancak MVV değerinin dayanıklılık disiplindeki sporcular lehine anlamlı derecede yüksek olduğunu raporlamıştır (Rajaure vd., 2023). Benzer şekilde Hackett (2020), FVC, FEV₁, FEV₁/FVC, VC, IC, ERV ve TLC değerlerinin dayanıklılık ve güç disiplinleri arasında farklılaşmadığını ancak yalnızca MVV değerinin dayanıklılık sporcuları lehine istatistiksel anlamlılık sergilediğini göstermiştir. Bununla birlikte aynı çalışma dayanıklılık disiplini sporcularının istatistiksel olarak en yüksek VO₂ ve VO_{2maks} değerlerine sahip olduğunu raporlayarak çalışmamızla uyumlu bulgular bildirmiştir (Hackett, 2020).

Maksimal oksijen tüketimi (VO_{2maks}), sporcularda kardiyopulmoner fonksiyonların, özellikle de aerobik kapasitenin değerlendirilmesinde uluslararası düzeyde altın standart olarak kabul edilen yaygın bir ölçüttür (Lee ve Zhang, 2021). Bu araştırmada dayanıklılık disiplinlerindeki sporcuların VO_{2maks}, VO₂, VCO₂, V_E ve VO₂/KAH dahil olmak üzere önemli kardiyopulmoner göstergelerde en yüksek ortalamalara sahip olduğu belirlendi. Squeo ve diğerleri (2025), 2024 Paris Olimpiyatları için değerlendirilen dayanıklılık, güç, beceri ve karma disiplin sporcularından oluşan elit bir kohort çalışmasında dayanıklılık sporcularının en yüksek kardiyopulmoner yanıtlar sergilediğini göstererek araştırma bulgularımızı desteklemiştir (Squeo vd., 2025). Dayanıklılık disiplininden sporcularının güç sporcularına kıyasla daha yüksek VO_{2pık} (Adami vd., 2022) ve/veya VO_{2maks} (Deliceoğlu vd., 2024) değerlerine sahip olduğu önceki çalışmalarda raporlanmıştır. Benzer karşılaştırmalı çalışmalarda dayanıklılık sporcularının karma (García vd., 2021a), güç ve karma spor disiplinlerine (Degens vd., 2019) göre en yüksek VO_{2maks} değerlerini sergilediği bildirilmiştir. Bununla birlikte Bovard ve diğerleri (2018), dayanıklılık disiplinlerindeki sporcuların beceri ve karma disiplinlerdeki sporculara kıyasla önemli ölçüde daha yüksek VO₂, VO_{2maks} ve VCO₂ değerlerine sahip olduğunu V_E/VO₂ ve V_E/VCO₂ değerlerinde ise herhangi bir farklılık gözlenmediğini belirtmiştir. Ayrıca çalışma dayanıklılık disiplini sporcularının en yüksek MATS ve MAG değerlerini sergilediğini raporlamıştır (Bovard vd., 2018). Bununla birlikte farklı disiplinlerden sporcuların fizyolojik profillerini karşılaştıran diğer çalışmalar, dayanıklılık sporcularının diğer disiplinlerdeki sporcularından daha yüksek VO_{2pık} değerlerine sahip olduğunu göstererek bu bulguları desteklemiştir (Green vd., 2023; Miranda vd., 2021; Bagley vd., 2019; Cipryan vd., 2017; Zinner vd., 2015).

Gelişmiş dayanıklılık performansının, temel olarak egzersiz hacmi, yoğunluğu ve sıklığındaki değişikliklere bağlı olarak kardiyovasküler, hematolojik ve kas metabolizması kapasitelerinde (Kenney vd., 2025; Scott vd., 2024; Hostrup ve Bangsbo, 2023; Peters vd., 2023; Tøien vd., 2023; Rago vd., 2022; Weiss vd., 2022; Martinez vd., 2021; Taylor vd., 2021; Borrego-Sánchez vd., 2021; Dempsey vd., 2020; Skattebo vd., 2020; Bassareo ve Crisafulli, 2020; Hughes vd., 2018; McKenzie, 2012) ortaya çıkan önemli artışlar yoluyla sağlandığı buna karşın pulmoner adaptasyonların bu gelişimde nispeten sınırlı kaldığı düşünülmektedir (Kenney vd., 2025; Peters vd., 2023; Rochat vd., 2022; Kenney vd., 2022; Myriantsefs vd., 2014; McKenzie, 2012). Solunum sistemi, egzersize yanıt olarak kardiyovasküler sisteme kıyasla daha az değişkenlik gösterse de, yeni kanıtlar akciğerlerin sürekli fizyolojik stres altında ölçülebilir, ancak daha az belirgin yapısal ve fonksiyonel adaptasyonlar geçirdiğini göstermektedir (Peters vd., 2023; Dridi vd., 2021; Jarmuszkiewicz vd., 2020; Ohya vd., 2017; Ohya vd., 2016). Tekrarlanan yoğun fiziksel egzersizler nedeniyle akciğer dokusu üzerinde artan mekanik stres, kan asit-baz dengesizlikleri, hipertermi, doku hipoksisi, reaktif oksijen türleri üretimi ve egzersizle ilgili diğer stres faktörleri akciğer dokularında adaptif değişikliklere neden olarak özellikle gaz değişim fonksiyonlarını ya da kapasitesini etkileyebilir (Peters vd., 2023; Dridi vd., 2021; Jarmuszkiewicz vd., 2020). Önceki araştırmalar, ~8 ile 28 haftalık dayanıklılık veya direnç egzersizinin sporcularda (Dridi vd., 2021), çocuklarda (Dridi vd., 2023) ve hastalarda (Liu vd., 2024) pulmoner adaptasyonların bir sonucu olarak DL_{CO} , D_m veya V_c kapasitelerini önemli ölçüde artırdığını göstermiştir. Dayanıklılık sporcularında ise bu durum, yüksek yoğunluklu egzersizler anında oksijen iletimini ve kullanımını iyileştiren ve dolayısıyla difüzyon kapasitesinin artmasına katkıda bulunan daha yüksek kılcıl damar yoğunluğu ve gelişmiş mitokondriyal adaptasyonlardan kaynaklanmaktadır (Patel vd., 2024; Peters vd., 2023; Hsia, 2023; Gibala ve MacInnis, 2022; Bassareo ve Crisafulli, 2020). Thomsen ve diğerleri (2025), farklı spor disiplinlerinden sporcuların akciğer fonksiyonlarını inceledikleri derlemede, dayanıklılık sporcularının diğer disiplinlerdeki sporculara göre daha üstün solunum fonksiyonu ve pulmoner difüzyon kapasitesine sahip olduklarını bildirmişlerdir (Thomsen vd., 2025). Bununla birlikte bazı çalışmalar, özellikle dayanıklılık antrenmanlarının kardiyak çıktıya bağlı olarak kalp atış hızı, pulmoner kapiller kan akışı, kan basıncı ve kan hacmi gibi değişkenleri iyileştirerek oksijen taşınmasının verimliliğini artıran önemli kardiyovasküler adaptasyonların varlığını vurgulamıştır (Kenney vd., 2025; Scott vd., 2024; Prada vd.,

2024; Kenney vd., 2022). Ayrıca literatürde elit dayanıklılık sporcularının benzer fiziksel özelliklere sahip sedanterlere kıyasla daha yüksek sağ-sol ventrikül hacmi, kalp boyutu ve duvar kalınlığı gösterdiğini raporlayan bulgular da mevcuttur (Ursu vd., 2024; Panhuyzen-Goedkoop vd., 2024; Maceira vd., 2023; Conti vd., 2021; Csecs vd., 2020; Bohm vd., 2016). Howden ve diğerleri (2015) sedanter erkek ve kadın katılımcıları bir yıllık dayanıklılık eğitim programına dahil etmiş ve her üç ayda bir maksimal oksijen alımını ve kardiyak manyetik rezonans görüntüleme yoluyla sol ventrikül fonksiyonunu ve morfolojisini izlemiştir. Araştırma sonuçları, erkek katılımcıların ventriküler hipertrofi geliştirdiğini ve VO_{2maks} değerinde önemli artışlarla dayanıklılık egzersizine karşı kısa ve uzun süreli potansiyel adaptasyonların varlığını ortaya çıkarmıştır (Howden vd., 2015). Bununla birlikte, Diridi ve diğerleri (2021) orta mesafe koşucularında sekiz haftalık yüksek yoğunluklu dayanıklılık antrenmanının KAH'te azalmaya ve VO_{2maks} değerinde önemli artışı göstererek bu sonuçları desteklemiştir (Dridi vd., 2021).

Bu bilgilere dayanarak dayanıklılık antrenmanının, ventilasyon ve pulmoner difüzyon kapasitesini artırabilecek alveoler genişleme, alveoler-kapiller membranın geçirgenliğinin artması veya pulmoner kapiller yataktaki değişiklikler gibi adaptasyonları tetiklemek için yeterli mekanik ve/veya fizyolojik uyarılar ortaya çıkardığını düşünüyoruz. Bununla birlikte, kalp hacminin genişlemesi, miyokardiyal kontraktilitenin gelişmesi ve toplam kan hacminin artması dahil olmak üzere kardiyovasküler adaptasyonlar yoluyla kardiyopulmoner yanıtlarda önemli gelişmeler sağlandığına inanıyoruz. Bu adaptasyonlar, araştırmamızdaki dayanıklılık sporcularının neden üstün pulmoner fonksiyon ve kardiyopulmoner yanıtlarla karakterize edilen gelişmiş egzersiz performansı gösterdiğini açıklayabilir. Sonuç olarak araştırma bulgularımız, adaptif dayanıklılık antrenmanının hem merkezi hem de periferik adaptasyonları tetikleyerek dayanıklılık sporcularının pulmoner performansını ve kardiyovasküler sistemi geliştirdiğini öne süren mevcut literatürle uyumludur.

5.2. SKI Uygulamasının Solunum Kapasitelerine Etkisi

Çeşitli spor disiplinlerini içeren kohortumuzda SKI uygulaması P_{imaks} (%4↑), P_{emaks} (%1↑), FVC (%1↑), FEV_1/FVC (%1↓), PEF (%4↑), VC (%3↑), IRV (%7↑), IC (%4↑), MVV (%6↑), DL_{CO} (%4↑), V_A (%2↑), K_{CO} (%2↑) ve TLC (%1↑) değerlerini istatistiksel olarak etkilemiş ($p<0,050$, $p<0,001$) ancak FEV_1 , $FEF_{25-75\%}$, VT ve ERV

değerlerinde anlamlı bir farklılığa yol açmamıştır ($p>0,050$). SKI, tüm disiplinlerde P_{imaks} , FVC, VC, MVV ve DL_{CO} 'yu önemli ölçüde artırırken özellikle bazı solunum parametrelerinde disiplinler arası önemli farklılıklar yaratmıştır. Dayanıklılık disiplini sporcuları hem solunum hacminde hem de pulmoner difüzyon kapasitesinde önemli gelişmeleri yansıtan IC, IRV, DL_{CO} , V_A , K_{CO} ve TLC değerlerinde belirgin değişiklikler göstermiştir. Benzer şekilde karma disiplinlerdeki sporcular IC ve IRV değerlerinde solunum hacminde kayda değer artışlara işaret eden önemli değişimler sergilemiştir. Buna karşılık kuvvet disiplinleri FEV_1 ve PEF'te en büyük gelişmeleri gösterirken beceri disiplinleri FVC ve FEV_1/FVC 'de önemli değişiklikler ortaya koyarak hava yollarının etkinliğini gösteren potansiyel değişimlerle dikkat çekmiştir. SKI uygulamasının solunum kas kuvveti, solunum fonksiyonu ve pulmoner difüzyon kapasitesinde meydana getirdiği genel değişiklikler neredeyse tüm disiplinlerde benzer görünse de yukarıda özetlendiği gibi bazı önemli farklılıkların disiplinler arasında değişkenlik gösterdiğini vurgulamak önemlidir.

Dayanıklılık sporcularında 2 set 30 tekrardan (%40 P_{imaks}) oluşan SKI uygulamasının P_{imaks} 'i ~%8 (Johnson vd., 2014), 1 set 30 tekrardan (%50 P_{imaks}) oluşan uygulamada ise P_{imaks} 'i ~%7, inspiratuar zirve hacmi ~%7, akış hızını ~%5 ve güç çıkışını ~%18 (Barnes ve Ludge, 2021) iyileştirdiği raporlanmıştır. Aktuğ ve diğerleri (2022), düzenli dayanıklılık antrenmanı yapan futbol hakemlerinde SKI (2×30, %40 P_{imaks}) uygulamasının FVC, FEV_1/FVC ve PEF değerlerini iyileştirdiği ancak FEV_1 'i etkilemediği (Aktuğ vd., 2022) aynı protokolü uygulayan başka bir çalışmada ise P_{imaks} 'in ~%8 iyileştiği ancak FVC, FEV_1 ve FEV_1/FVC değerlerinin istatistiksel olarak değişmediği bildirilmiştir (Volianitis vd., 1999).

Merola ve diğerleri (2019), güç sporcularında yaptığı araştırmada (2×15, %60 P_{imaks}) özel judo testi performansı sonrası P_{imaks} ve P_{emaks} değerlerinde bir değişim olmadığını göstermiştir (Merola vd., 2019).

Bildiğimiz kadarıyla, SKI'nın beceri disiplinlerdeki sporcuların solunum kapasiteleri üzerindeki etkisini inceleyen bir araştırma henüz yapılmamıştır. Dolayısıyla araştırma bulgularımız literatüre yeni sonuçlar kazandırmıştır. Bu nedenle bu bölümde herhangi bir disipline dahil edilmeyen sağlıklı bireylerdeki SKI araştırmalarının bulguları tartışılmıştır. Koizumi ve Ohya, sağlıklı yetişkinlerde hem orta (2×30, %40 P_{imaks}) hem de yüksek yoğunluklu (3×10, %80 P_{imaks}) (Koizumi ve Ohya, 2023; Koizumi ve Ohya, 2024) SKI uygulamasının P_{imaks} değerini önemli

ölçüde artırdığını raporlamıştır. Fiziksel olarak aktif bireylerde gerçekleştirilen (2×30 , %40 P_{imaks}) uygulamada $P_{\text{imaks}} \sim \%6$ (Faghy ve Brown, 2017), başka bir araştırmada ise $P_{\text{imaks}} \sim \%7$, FVC $\sim \%5$, FEV₁ $\sim \%3$, VC $\sim \%4$ ve MVV $\sim \%3$ değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı artış göstermiştir (Özdal, 2016). Bununla birlikte birçok araştırma sağlıklı popülasyonlarda SKI'nın (2×30 , %40 P_{imaks}) P_{imaks} değerini önemli ölçüde geliştirdiğini raporlamıştır (Arend vd., 2016; Ohya vd., 2015; Lomax ve McConnell, 2009; Hawkes vd., 2007; Ross vd., 2007; Volianitis vd., 2001a).

Karma disiplinlerdeki sporcularda SKI'nın (2×30 , %40 P_{imaks}), P_{imaks} 'i %9 (Özdal ve Bostancı, 2018), $\sim \%8$ (Lin vd., 2007), $\sim \%9$ (Tong ve Fu, 2006) ve $\sim \%11$ (Lomax vd., 2011), P_{emaks} 'i ise $\sim \%5$ (Özdal ve Bostancı, 2018) iyileştirdiği raporlanmıştır. Bununla birlikte Lomax ve diğerleri (2011), SKI'nın dört haftalık solunum kası antrenmanı ile (1×30 , %50-60 P_{imaks}) birleştirilmiş etkisini inceleyerek P_{imaks} 'te $\sim \%27$ 'e varan kayda değer artışların olabileceğini göstermiştir (Lomax vd., 2011). Çeşitli branşlardaki genç sporcularda (12-14 yaş) farklı yoğunluklardaki SKI (2×30 , %15, %30, %40, %45, %50 ve %60 P_{imaks}) uygulamalarının sonuçları karşılaştırıldığında %45 P_{imaks} direncinde en yüksek FVC, FEV₁ ve PEF (yalnızca PEF istatistiksel olarak anlamlı) değerlerinin ortaya çıktığı gözlenmiştir (İbiş vd., 2022). Karma disiplinlerden sporcularda yapılan bir diğer çalışmada ise aralıklı maksimal sprint egzersizleri sonrası toparlanma periyodunda uygulanan SKI'nın (kor egzersizle birlikte %40 P_{imaks}) P_{imaks} 'teki egzersiz sonrası azalmayı önemli ölçüde iyileştirdiği bulunmuştur (Tong vd., 2019).

P_{imaks} ile inspirasyon anında ortaya çıkan solunum kaslarının aktivasyonu arasında güçlü bir ilişki vardır. Bu ilişki hem inspiratuar basınç üretiminin (inspiratuar kas kuvveti) hem de inspiratuar direnç kapasitesinin solunum kaslarını aktif etmesine bağlı olduğunu göstermektedir (Koizumi ve Ohya, 2023; Washino vd., 2019; Walterspacher vd., 2018; Reilly vd., 2013). Araştırmalar akut inspiratuar kas direnci yüklemesi anında ve sonrasında diyafram, sternokleidomastoid, skalen ve parasternal interkostal kasların aktivasyonunda önemli nöral artışlar bildirmiştir (Rodrigues vd., 2025; Liu vd., 2025; Rodrigues vd., 2022b; Basoudan vd., 2020; Da Fonsêca vd., 2019; Walterspacher vd., 2018; Cabral vd., 2018; Peters vd., 2017; Reilly vd., 2013; Hawkes vd., 2007; Ross vd., 2007). Bu artışlar belirli bir dirence karşı tekrarlanan SKI seanslarıyla rezidüel hacimde meydana geldiği bilinen inspiratuar ve ekspiratuar kaslar arasındaki eş zamanlı kasılma (co-contraction) derecesini azaltarak kuvvet üretimini

artıran (Volianitis vd., 1999) aktivasyon sonrası güçlenme (PAP) mekanizmasıyla ilişkilendirilebilir (Oliveira vd., 2024). PAP, miyozin hafif zincir kinazın kalsiyum-kalmodulin aktivasyonu yoluyla tip II liflerde miyozin düzenleyici hafif zincir fosforilasyonunu artırarak kalsiyuma karşı aktin-miyozin çapraz köprü hassasiyetini güçlendirir ve submaksimal kalsiyum seviyelerinde daha fazla kuvvet çıkışı sağlar (Zimmermann vd., 2020; Blazeovich ve Babault, 2019). Bu süreç kasılma verimliliğini artırarak solunum kas performansını (kuvvet ve dayanıklılık) artırır ki bu P_{imaks} ve MVV değerlerindeki akut artışın nedenini açıklayabilir. Benzer şekilde, inspiratuar ve ekspiratuar kasların eşzamanlı kasılmaları doku sıcaklığını yükselterek viskoz direnci azaltır ve nöral aktivasyon mekanizmaları yoluyla daha hızlı kuvvet üretimine katkıda bulunabilir (Jeffreys, 2024; ACSM, 2022; Jeffreys, 2021; Jeffreys, 2019; Raccuglia vd., 2016). Bu potansiyel açıklamalar solunum kas kuvvetindeki iyileşmenin, uyarılmaya yanıt olarak artmış kas sıcaklığı, kas içi sıvı optimizasyonu, artan nöral aktivite ve gelişmiş kas aktivasyonu dahil olmak üzere tip II liflerde miyozin hafif zincir fosforilasyonu yoluyla güçlendirilmiş bir kasılma tepkisinin koordinasyonu ile desteklenen çok yönlü mekanizmaların varlığını bize göstermektedir.

Benzer şekilde bu mekanizmalar potansiyel olarak solunum kaslarının nöromüsküler aktivasyonunu ve koordinasyonunu artırarak akciğer elastikiyetini ve alveoler genişlemeyi artıran bronşiyal (azalmış bronş direnci) ve torasik kompliyansı iyileştirebilir (Carvajal-Tello vd., 2024; Dominelli ve Sheel, 2024; Donley vd., 2024; Hussain ve Burns, 2023; Sriboonreung vd., 2021; Shadmehri vd., 2021). Solunum mekaniğinde inspiratuar ve ekspiratuar kasların, toplam işin yaklaşık %65'ini göğüs duvarı ve akciğerlerin elastik dokularını germek (elastik iş), %7'sini elastik olmayan dokuları hareket ettirmek (viskoz direnç) ve kalan %28'ini de havayı solunum kanallarından geçirmek (hava yolu direnci) için kullandığı dikkate alındığında bu kasların kuvvetlerinde meydana gelen değişimlerin kasılma-gevşeme verimliliğini önemli şekilde etkileyebileceği düşünülebilir (Barrett vd., 2019). Öncelikle, SKI uygulaması hava yollarında geçici bir bronkodilatasyon etkisi yaratarak FVC ve PEF değerlerinde artışa yol açmıştır ki bu durum inspiratuar kaslara benzer şekilde ekspiratuar kasların kasılma-gevşeme hareketlerine bağlı olarak hava yolu direncine karşı potansiyel iyileşmeler ortaya çıkarabileceğini bize düşündürmektedir. Sriboonreung ve diğerleri (2021), solunum kas kuvvetleri (P_{imaks} ve P_{emaks}) ve solunum fonksiyon parametreleri (FVC ve PEF) arasındaki anlamlı pozitif ilişkileri göstererek

(Sriboonreung vd., 2021) kohortumuzda gözlemlenen SKI sonrası artan solunum kas kuvvetinin iyileşmiş solunum fonksiyonuna katkıda bulunduğu görüşünü desteklemiştir. Bununla birlikte Eichenberger ve diğerleri (2016), egzersize bağlı bronkokonstriksiyonlu sporcularda solunum kaslarını içeren izole hiperpne ısınma müdahalelerinin FVC, FEV₁ ve FEF%₂₅₋₇₅ üzerinde önemli olumlu etkileri olduğunu ortaya çıkarmıştır (Eichenberger vd., 2016). Tipton ve diğerleri (2017) ısınma uygulamalarının derin vücut (rektal) sıcaklığını artırarak egzersiz anında bronkodilatasyonu düşündüren solunum yollarındaki artmış hava akışına katkıda bulunduğunu bildirmiştir (Tipton vd., 2017). Benzer şekilde, önceki araştırmalar farklı ısınma stratejilerinin bronkolojik koruma (bronkoprotektif) sağlayarak hava yollarının etkinliğini gösteren solunum fonksiyonları üzerinde önemli iyileşmeler ortaya çıkardığını raporlamıştır (Klain vd., 2024; Weiler vd., 2016; Elkins ve Brannan, 2013; Stickland vd., 2012). Isınmanın solunum yollarındaki iyileştirici etkisinin hangi mekanizmalar yoluyla ortaya çıktığı tam olarak bilinmemekle birlikte en potansiyel açıklamalar arasında uyarılmış β_2 -adrenerjik reseptörler (endojen katekolaminleri salınımının artması), artmış bronşiyal kan akışı ve suyun hava yolu yüzeyine geri dönme hızı gibi faktörlerin etkin olabileceği düşünülmektedir (Hostrup vd., 2024; He ve Song, 2023; Dickinson vd., 2018; Eichenberger vd., 2016; Elkins ve Brannan, 2013; Parsons vd., 2013; Mickleborough vd., 2007). Özellikle kohortumuzdaki sporcuların FEV₁'inin değişmediği dikkate alındığında akciğerin hava iletim bölgelerindeki direnç ve genişleyebilirlik mekanizmalarının artan kuvvet uygulaması ve daha büyük torasik ekskürsiyonun varlığıyla maksimal olmasından kaynaklı olarak etkilenmemiş olabileceğini belirtmek önemlidir (Bhakta vd., 2023; Stanojevic vd., 2022; Laveneziana vd., 2019). Diğer taraftan araştırmalar bronkokonstriksiyon periyodu anında gerçekleştirilen derin inspirasyonun sağlıklı deneklerde hava yolu direncini belirgin şekilde azalttığını (bronkodilatasyon) raporlamıştır (Yasuda vd., 2023; Dong vd., 2021). Cardenas ve diğerleri (2018) derin inspirasyon anındaki diyafram mobilitesinin ve kalınlığının FVC ve FEV₁ değerleriyle yakından ilişkili olduğunu göstermiştir (Cardenas vd., 2018). Bu fenomen, güçlü solunum kasları tarafından üretilen yüksek transluminal hava yolu basınçlarının hava akışını artırması, hava yolu lümenini değiştirmesi veya hava yolu düz kas gerginliğini artırmasıyla havayolu modülasyonunda belirgin patofizyolojik değişimleri tetiklemesinden kaynaklanıyor olabilir (Yasuda vd., 2023; Dong vd., 2021; Cardenas vd., 2018; Shei vd., 2016; How, 2010). Dolayısıyla bu birleşik mekanizmalar genel bir ısınmayla birleştirilmiş SKI

uygulamasının, solunum verimliliğini optimize ederek transluminal basıncı artıran ve bronşiyal direnci azaltan iyileştirilmiş hava yolu dinamiklerini ortaya çıkardığını bize düşündürmektedir.

Bununla birlikte VC, IRV ve IC gibi solunum fonksiyonları diyafram mobilitesiyle doğrudan ilişkili olduğundan diyaframın hareket aralığındaki herhangi bir değişiklik torasik hacmi etkileyerek bu fonksiyonları önemli ölçüde değiştirebilir (He ve Ren, 2025; Carvajal-Tello vd., 2024; Donley vd., 2024; Hussain ve Burns, 2023; Padkao ve Boonla, 2020; Welch vd., 2019; Da Fonsêca vd., 2019; Lutfi, 2017; Aliverti, 2016; De Troyer ve Wilson, 2016; De Troyer ve Wilson, 2015; Lanza vd., 2013). Araştırmalar solunum kaslarındaki kuvvet artışının potansiyel olarak daha fazla göğüs kafesi genişlemesine (torasik hareketlilik) katkıda bulunarak solunum fonksiyonlarını etkileyebileceğini raporlamıştır (Manifield vd., 2024; Carvajal-Tello vd., 2024; Padkao ve Boonla, 2020; Shadmehri vd., 2021; Lanza vd., 2013). Solunum kaslarındaki nöromüsküler koordinasyonun iyileşmesi daha büyük ve daha hızlı torasik ekskürsiyona ve dolayısıyla akciğer parankiminin daha homojen bir şekilde genişlemesine izin verebilir (Carvajal-Tello vd., 2024; Padkao ve Boonla, 2020; Da Fonsêca vd., 2019). Bu gelişmiş koordinasyon, diyafram ve interkostal (internal ve eksternal) kasların aktivasyonunu optimize ederek göğüs boşluğunun rostral-kaudal, anterior-posterior ve transvers boyutlarda çapının artmasını ve sonuç olarak genişlemesini kolaylaştırır (Donley vd., 2024; Hussain ve Burns, 2023; Lumb ve Thomas, 2020; Spiesshoefer vd., 2020; Da Fonsêca vd., 2019). Sikora ve diğerleri (2024) dayanıklılık sporcularında torasik hacmi artıran diyafram odaklı solunum stratejilerinin daha iyi akciğer elastikiyetiyle ilişki olarak daha yüksek solunum fonksiyonlarına neden olduğunu raporlamıştır (Sikora vd., 2024). Dolayısıyla SKI uygulamasıyla ilişki olarak iyileştirilmiş solunum kas koordinasyonu daha fazla torasik genişlemeyle maksimal solunum kapasitelerinin ortaya çıkmasına katkıda bulunabilir.

Alveollerdeki gaz değişiminin etkinliği hem ventilasyonu hem de perfüzyonu dinamik olarak düzenleyen çoklu fizyolojik mekanizmaların yanı sıra çeşitli endojen faktörlerden (sıcaklık) etkilenir. Bu dinamikler özellikle difüzyon kapasitesini alveol-kapiller bölgede meydana gelen yapısal (kapalı alveollerin aktivasyonu ya da kapiller dilatasyon) ve fonksiyonel (efora bağlı kapiller kan hacmi artışı) değişimlerle optimize eder (McKinley vd., 2019). İlk olarak alveoler ventilasyonun dinamiğini oluşturan kasların iyileştirilmiş koordinasyonu gelişmiş diyafram mobilitesiyle torasik

hareketliliği artırır ki bu kapalı alveollerin açılmasına ve alveoler septanın daha fazla gerilmesine yardımcı olabilir (Widrich ve Shetty, 2024). Bu havalandırılan alveollerin toplam sayısını artırarak ve alveoler yüzey alanını genişleterek membran difüzyon kapasitesini (yani D_m) iyileştirebilir (Neder vd., 2019; Graham vd., 2018; Tedjasaputra vd., 2016a; Nordin vd., 2015). Sikora ve diğerleri (2024) alveoler septaların genişleyebilirliğine katkıda bulunan diyaframatik solunum paterninin sporcularda daha yüksek DL_{CO} ve V_A değerlerine neden olduğunu raporlayarak bu bulguları desteklemiştir (Sikora vd., 2024). İkinci olarak araştırmalar düşükten yükseğe değişen yoğunluklarda efor gerektiren aktivitelerin akciğerlere giden kan akışını değiştirerek pulmoner perfüzyonu (yani V_c) artırdığını göstermiştir (Michaelchuk vd., 2019; Coffman vd., 2018a; Bouwsema vd., 2017; Tedjasaputra vd., 2016a). Charloux ve diğerleri (2010) araştırmasında artırımlı ve aralıklı egzersiz öncesi gerçekleştirilen üç dakikalık ısınma periyonun (bisiklet ergometresinde 25-40 Watts) potansiyel pulmoner kan akışındaki artışa bağlı olarak DL_{CO} kapasitesini kayda değer derecede artırdığını göstermiştir (Charloux vd., 2010). Bu artış esas olarak efor anında yüksek kardiyak çıktıya yanıt olarak pulmoner perfüzyon basıncında meydana gelen bir artışla başlangıçta kısmen veya tamamen kapalı olan kapillerin aktivasyonu ile ortaya çıkar (Widrich ve Shetty, 2024; West ve Luks, 2020; Michaelchuk vd., 2019; Coffman vd., 2018a; Faoro vd., 2017; Tedjasaputra vd., 2016a). Ayrıca bu süreç mevcut alveoler-kapiller yüzey alanını optimize ederek vazodilatasyon (daha yassı ve genişlemiş kapiller) gelişimiyle pulmoner difüzyon kapasitesinde önemli artışları tetikleyebilir (Matuszak vd., 2020; Bouwsema vd., 2017; Dridi vd., 2006). Önceki araştırmalar, inspiratuar veya ekspiratuar yükleme yoluyla tekrarlanan dirençli solunum paternlerinin akut kardiyak otonomik ve hemodinamik tepkileri modüle ederek arteriyel basıncı yükseltebileceğini (Pongpanit vd., 2024; Shiozawa vd., 2022; Tanriverdi vd., 2021; Michaelchuk vd., 2019; McConnell ve Griffiths, 2010) ve dolayısıyla pulmoner perfüzyon basıncını önemli ölçüde etkileyebileceğini raporlamıştır. Takahashi ve diğerleri (2025) değişen direnç yoğunluklarında (2 ve 3 mm) gerçekleştirilen inspiratuar eforların sağlıklı yetişkinlerde artan kardiyak çıktıya bağlı olarak kan akışını torasik boşluğa yönlendirdiğini göstermiştir. Bulgularımızla tutarlı olarak, bu araştırma negatif intratorasik basınç değişikliklerinin pulmoner dolaşımı etkileyebileceğini vurgulamıştır (Takahashi vd., 2025). Bu mekanizmalar genel ısınmayla birleştirilen SKI uygulamasının gelişmiş diyafram hareketliliğiyle torasik hacmi artırarak ve pulmoner perfüzyon basıncındaki değişimlerle kapiller

yatağı uyararak pulmoner difüzyon kapasitesini geçici olarak artırdığını düşünüyoruz. Bununla birlikte SKI uygulamasını takiben pulmoner difüzyon kapasitesindeki artış için bir diğer potansiyel mekanizma ısınmayla yükselen vücut sıcaklığının pulmoner gaz değişim kapasitesi üzerindeki etkisi olabilir. Isınma uygulamalarının bölgesel vücut sıcaklığını önemli derecede artırdığı bilinmektedir (Lee vd., 2024; Kapnia vd., 2023; Resende vd., 2021; Raccuglia vd., 2016). Illidi ve diğerleri (2021) yüksek vücut sıcaklığıyla gelişmiş difüzyon kapasitesi arasında önemli bir ilişki olduğunu göstermiştir (Illidi vd., 2021). Bununla birlikte başka bir araştırma, belirli sıcaklık koşulları altında gerçekleştirilen egzersizin daha yüksek vücut sıcaklığı ve kardiyak çıktıya bağlı olarak artan pulmoner kapiller aktivasyon ve/veya distansiyon yoluyla gaz değişim yüzey alanını etkilediğini ve bunun DL_{CO} 'yu artırdığını ortaya çıkarmıştır (Schoeberlein vd., 2024). Benzer şekilde egzersiz yoğunluğu ve sıcaklık arasında anlamlı etkileşimi raporlayan bir başka araştırma yüksek vücut sıcaklığının akciğerlerdeki gaz değişim yüzey alanını etkileyerek DL_{CO} kapasitesini yükselttiğini raporlamıştır (Frisiras vd., 2023). SKI'nın bisiklete özgü bir ısınmayla birleştirdiğinde sporcularda vücut sıcaklığını (rektal) önemli ölçüde artırdığı da görülmüştür (Johnson vd., 2014) ki bu kohortumuzdaki ısınma uygulamasının vücut sıcaklığını kayda değer derecede artırarak artmış pulmoner difüzyon kapasitesine katkıda bulunmuş olabileceğini bize düşündürmektedir. Bu bilgilere dayanarak SKI sonrası pulmoner difüzyon kapasitesinde gözlenen artış, hemodinamik ve termal yanıtlarla ilişkilendirilen daha yüksek gaz değişim kapasitesi kanıtlarıyla desteklendiği gibi pulmoner gaz değişim yüzey alanını genişleten artmış kapiller hacim ve vücut ısısının potansiyel sinerjik etkilerinden kaynaklanabilir. Literatürdeki sınırlılıklar dikkate alındığında SKI uygulamasının solunum kapasitesi üzerindeki potansiyel etkisini anlayabilmek için daha fazla araştırma yapılmasına ihtiyaç vardır.

Son olarak kohortumuzun SKI etkileri bakımından disiplinler arası gözlemlenen heterojenlik, bireysel farklılıklardan ve/veya spor branşlarına özgü gelişmiş solunum-dolaşım yapılarındaki potansiyel adaptasyonlardan kaynaklanabileceğini belirtmek önemlidir. Bireyler arasında alveoler-kapiller gradyandaki morfolojik farklılıklar pulmoner difüzyon kapasitesindeki değişimlere katkıda bulunabilir. Bireysel farklılıklardan kaynaklanan bu değişken yanıtlar gaz değişim verimliliğini bağımsız olarak etkileyen kapiller aktivasyon ve membran geçirgenliği gibi alveoler-kapiller adaptif mekanizmaların bir sonucu olabilir (Miserocchi ve Beretta, 2023; Miserocchi

vd., 2022; García vd., 2021c; Beretta vd., 2019; Bartesaghi vd., 2014; Miserocchi vd., 2008). Beretta ve diğerleri (2019), yüksek metabolik talepler (egzersiz + hipoksi) altında pulmoner kapiller kan hacmindeki farklı adaptif tepkilere bağlı olarak alveolo-kapiller oksijen dengelemesinin bireyler arasında önemli derecede değişkenlik (%5 ila %42 arasında değişen) gösterdiğini raporlamıştır (Beretta vd., 2019). Benzer şekilde spor disiplinine dayalı farklılıklar pulmoner vaskülatürde önemli adaptasyonlara neden olarak pulmoner vazodilatasyonun gelişmesine katkıda bulunabilir (Brotto vd., 2025; Ehnes vd., 2024; Domenech-Ximenes vd., 2020). Domenech-Ximenes ve diğerleri (2020), sporcularda dayanıklılık antrenmanı ile ilişkili olarak egzersize bağlı yeniden şekillenmenin yalnızca kardiyovasküler sistemle sınırlı olmadığını (biventriküler kütle ve hacimlerde artış ve sistolik fonksiyonda hafif azalma) aynı zamanda bireysel farklılıkları içeren pulmoner vasküler yeniden şekillenmeyle (artmış pulmoner arter dilatasyon ve azalmış pulmoner arter kan akış hızı) önemli pulmoner dolaşım adaptasyonlarının da ortaya çıktığını raporlamıştır (Domenech-Ximenes vd., 2020). Önceki araştırmalar yüksek yoğunluklu dayanıklılık sporcularının hem dinlenme hem de egzersiz anında daha yüksek DL_{CO} , V_c ve D_m ile karakterize edilen üstün pulmoner fonksiyonu sergilediklerini göstererek bu bulguyu desteklemiştir (Brotto vd., 2025; Ehnes vd., 2024; Dridi vd., 2021; Tedjasaputra vd., 2016a). Bireysel farklılıklar ve spor disiplini ile ilişkili daha büyük bir pulmoner vasküler rezervle ortaya çıkan gelişmiş intrapulmoner kapiller aktivasyon ve/veya dilatasyonun, SKI sonrası kohortumuzdaki dayanıklılık sporcularını daha belirgin şekilde etkilediğini tahmin ediyoruz. Bu etki muhtemelen bu sporcularda alveoler-kapiller yapılar yoluyla gaz değişimini kolaylaştırarak artmış pulmoner difüzyon kapasitesine katkıda bulunmuş olabilir. Dolayısıyla SKI uygulamasını takiben bu etkilerin daha verimli gaz alışverişiyle kardiyopulmoner performansı artırabileceği beklenebilir.

5.3. SKI Uygulamasının Kardiyopulmoner Yanıtlara Etkisi

Çeşitli spor disiplinlerini içeren kohortumuzda SKI uygulaması VO_2 (%4↑), VO_{2maks} (%4↑), VCO_2 (%5↑), V_E (%4↑), SR (%11↓), KAH (%1↓), VO_2/KAH (%6↑), $PetO_2$ (%1↓), MATS (%4↑), MAG (%6↑), MBS_D (%12↓), ve MBS_B (%8↓) değerlerini istatistiksel olarak etkilemiş ($p < 0,050$, $p < 0,001$) ancak SDO, VT, Rf, $PetCO_2$, V_E/VO_2 , V_E/VCO_2 ve SaO_2 değerlerinde anlamlı bir farklılığa yol açmamıştır ($p > 0,050$). Bununla birlikte SKI uygulamasının etkileri disiplinler arasında önemli farklılıklar ortaya çıkarmıştır. Dayanıklılık ve karma disiplinlerin her ikisi de VO_2 , VO_{2maks} ,

VCO₂, VO₂/KAH, MATS, MAG ve MBS_D değerlerinde kayda değer gelişmeler sergileyerek SKI uygulamasının kardiyopulmoner yanıtları, performans parametrelerini ve algılanan efor seviyelerini etkili bir şekilde iyileştirdiğini göstermiştir. Benzer şekilde özellikle karma disiplinlerdeki V_E ve MBS_B'de, güçtekiler MBS_D'de ve beceri disiplinindeki sporcular VO₂/KAH değerlerinde belirgin farklılıklar bildirmiştir. SKI uygulamasının etkileri yukarıda özetlendiği gibi özellikle dayanıklılık ve karma disiplinlerdeki sporcularda daha belirgin şekilde ortaya çıkmıştır ki bu disiplinler arası bazı önemli farklılıkların değişkenliğe neden olabileceğini vurgulamaktadır.

Dayanıklılık sporcularında gerçekleştirilen bir araştırma SKI'nın (1×30, %50 P_{imaks}) VO₂'yi ~%1 (±1,7) ve V_E'yi ~%3 (±4,2) oranında iyileştirdiğini göstermiştir. Aynı araştırma, 3200 m koşu zamanında %2,8 (~20 saniye) ve MBS_D skorunda da önemli iyileşmeler raporlamıştır (Barnes ve Ludge, 2021). Benzer şekilde dayanıklılık disiplinlerindeki sporcularda SKI uygulamasının (2×30, %40 P_{imaks}), kardiyopulmoner değişkenlerden olan VO₂, VO_{2maks} (Astrand bisiklet ergometre testi) (Aktuğ vd., 2022), Bf (submaksimal kürek testi) (Arend vd., 2015), VO₂, VCO₂, V_E, KAH, MBS_D ve MBS_B (10 km bisiklet testi) (Johnson vd., 2014) değerlerini, bununla birlikte başka araştırmalarda ise farklı performans değişkenleriyle MBS_D algısını (6 dakikalık tükeniş zamanlı kürek testi) (Volianitis vd., 2001b), su altında gaz tüketimini ve algılanan efor yanıtlarını önemli derecede iyileştirdiği gösterilmiştir (Alberola-Blanes vd., 2025). Ancak SKI uygulamasının VO₂, V_E (6 dakikalık tükeniş zamanlı kürek testi) (Volianitis vd., 2001b), MBS_D ve MBS_B (3000 m buz üstü paten zamanı) yanıtlarını etkilemediğini gösteren kanıtlar da literatürde mevcuttur (Richard ve Billaut, 2019).

Güç sporcularında gerçekleştirilen araştırmalarda, SKI'nın judo maçı anında (2×15, %40 P_{imaks}) (Cirino vd., 2021) ve özel judo fitness testi sonrasında (2×15, %60 P_{imaks}) (Merola vd., 2019) KAH ve algıladıkları zorlanma derecelerine her hangi bir etkisinin olmadığı gösterilmiştir. Benzer şekilde Soares de Araujo ve diğerleri (2024), 2 set ve 15 tekrardan oluşan (%40 P_{imaks}) uygulamanın, sprinter yüzücülerde mekanik parametreler (güç, impuls ve yorgunluk indeksi) ve algılanan MBS_D skorları üzerinde kayda değer derecede etkili olduğu bildirmiştir (Soares de Araujo vd., 2024).

Bildiğimiz kadarıyla, SKI'nın beceri disiplinlerdeki sporcuların performans değişkenleri üzerindeki etkisini inceleyen bir araştırma henüz yapılmamıştır. Bu

nedenle tartışmanın bu bölümünde farklı popülasyonlarda çeşitli yoğunluklarda uygulanan SKI araştırmalarının bulguları tartışılmıştır. Araştırmalar SKI (2×15 veya 2×30, %40 P_{imaks}) uygulamalarının farklı popülasyonlardaki (hasta, sağlıklı, fiziksel veya rekreasyonel olarak aktif yetişkinler) bireylerin değişen yoğunluklarda egzersiz (30s–14dk) yanıtlarına karşılık olarak kardiyopulmoner (VO_{2pik}, VCO₂, V_E, Bf, SDO ve/veya KAH) (Marostegan vd., 2022; Manchado-Gobatto vd., 2022; Faghy vd., 2017; Ohya vd., 2015; Leicht vd., 2010) ve algısal yanıtları (MBS_D ve/veya MBS_B) (Silapabanleng vd., 2021; Faghy vd., 2017; Leicht vd., 2010) etkilemediğini göstermiştir. Bunların aksine 2 set 15 tekrardan (%80 P_{imaks}) oluşan SKI'nın MBS_B skorunu (Koizumi ve Ohya, 2024) ve 2 set 15 tekrardan oluşanın ise 30 saniyelik koşu testi performansını (mutlak ve göreceli ortalama koşu gücü) iyileştirdiği bulunmuştur (Manchado-Gobatto vd., 2022).

Karma disiplinlerdeki sporcularda SKI (2×30, %40 P_{imaks}) uygulamasının VO_{2pik} (~%19), VO₂ (~%19), VCO₂ (~%23), V_E (~%20), VT (~%33) ve KAH (~%4) değerlerini anlamlı derecede iyileştirdiği gösterilmiştir (Özdal ve Bostancı, 2018). Benzer kohorttaki bir araştırmada (2×30, %40 P_{imaks}) zirve güç çıktısını (~%9) kayda değer derecede arttığı bildirilmiştir (Özdal vd., 2016). Bununla birlikte karma disiplinli sporcularda, maksimal sprint egzersizi sonrası toparlanma anında gerçekleştirilen SKI'nın (kor egzersizle birlikte %40 P_{imaks}), ikinci bir maksimal sprint testi anında zirve ve ortalama hız değerlerini artırdığı ve algısal skorlarda (MBS_D ve MBS_B) kayda değer iyileşmeler ortaya çıkardığı bulunmuştur (Tong vd., 2019). Bu çalışmaların aksine Cheng ve diğerleri (2013) karma disiplinlerdeki sporcularda gerçekleştirilen SKI'nın (2×30, %40 P_{imaks}) submaksimal ya da aralıklı yüksek yoğunluklu bisiklet testleri anında elde edilen VO_{2pik}, V_E, Bf, KAH, MBS_D ve MBS_B yanıtlarını etkilemediğini bildirmiştir (Cheng vd., 2013). Başka bir karma disiplin araştırmasında ise SKI (2×30, %40 P_{imaks}) uygulamasının maksimum artımlı badminton performans testi anında VO_{2maks}, V_E, Bf, VT ve KAH değerlerini etkilemediği ancak dakika başına düşen MBS_D skorunu önemli ölçüde iyileştirdiği raporlanmıştır (Lin vd., 2007). Benzer sonuçları raporlayan bir başka araştırma SKI'nın (2×30, %40 P_{imaks}) yüksek yoğunluklu aralıklı egzersiz anında VO_{2maks}, V_E, Bf, VT, KAH ve MBS_B değerlerini etkilemediğini ancak her bir egzersiz intervaline düşen MBS_D skorunu önemli derecede azalttığını göstermiştir (Tong ve Fu, 2006).

Bununla birlikte literatürde SKI (2×30, %40 P_{imaks}) uygulamasının sporcularda ve sağlıklı bireylerde dikey sıçrama (Aslan ve Dağlıoğlu, 2022), koşu (Çelik vd., 2021; Kantarson vd., 2010), badminton (Lin vd., 2007), yüzme (Wilson vd., 2014), judo teknik-taktik (Cirino vd., 2021; Merola vd., 2019; Lomax vd., 2011), drag-flick ve şut performansını (Avcı vd., 2021) iyileştirdiği ancak fizyolojik olarak oksijen kinetiği (Arend vd., 2021), doku saturasyon indeksi (Richard ve Billaut, 2018; Ohya vd., 2015) ve laktat konsantrasyonunu (Marostegan vd., 2022; Ohya vd., 2015; Lin vd., 2007) kayda değer derecede etkilemediği gösterilmiştir. Ancak bu fizyolojik sonuçların aksini raporlayan araştırmalar da literatürde mevcuttur (Koizumi ve Ohya, 2024; Cheng vd., 2013; Lin vd., 2007).

SKI uygulaması yüksek yoğunluklu egzersizi takiben azalan inspiratuar kas kuvveti etkisini kayda değer ölçüde azaltabilir (Oliveira vd., 2024; Cirino vd., 2023; Ohya vd., 2015). Bu fenomen, solunum kaslarında gözlemlenen geçici aktivasyon sonrası güçlenmeden (PAP) farklı olarak uzun süreli bir nöromüsküler güçlenmeye işaret edebilir. Dolayısıyla uyarılmış kas kuvvetinde kısa süreli artışlarla karakterize edilen geleneksel PAP mekanizması (etkinliği ~28 saniye süren ve <5 dakika sonra azalan) (Blazevich ve Babault, 2019) SKI uygulamasından sonra gözlenen kardiyopulmoner performanstaki daha uzun süreli devam eden iyileşmelerle fizyolojik olarak uyumsuz görünmektedir. Çünkü diyafram, sternokleidomastoid, skalen ve parasternal interkostal kaslarda PAP yoluyla uyarılan gerilme yanıtı miyozin düzenleyici zincirlerin kısa ömürlü fosforilasyonuna dayandığından etkisinin kondisyonlamadan sonra yaklaşık beş dakika içinde neredeyse tamamen azalması beklenir (Garbisu-Hualde ve Santos-Concejero, 2021; Blazevich ve Babault, 2019; Wilson vd., 2013; Xenofondos vd., 2010; Tillin ve Bishop, 2009). Buna karşılık, yakın zamanda kavramsallaştırılan (Cuenca-Fernández vd., 2017) ve bir kondisyonlama aktivitesinden ~6-10 dakika sonra en yüksek istemli performans gelişimi gösteren aktivasyon sonrası performans gelişim (PAPE) mekanizması (Xu vd., 2025; Botton vd., 2024; Fischer ve Paternoster, 2024; Finlay vd., 2022; Blazevich ve Babault, 2019; Cuenca-Fernández vd., 2017; Wilson vd., 2013) azalan efor algısı ve artan sinirsel dürtü gibi psikofizyolojik faktörlerle bağlantılı olarak SKI sonrası görülen uzun süreli solunum kası etkinliğiyle zamansal ve işlevsel olarak daha uyumludur. PAP ve PAPE ilişkili olsa da PAP'yi üreten mekanizmalar (aktin ve miyozinin daha iyi hizalanması nedeniyle kasılma verimliliği) PAPE'yi üretenlerden (kas sıcaklığı, kas liflerindeki su

içeriği ve aktive olan motor ünitelerin sayısı) farklıdır (Blazevich ve Babault, 2019). Dolayısıyla, bir kondisyonlama aktivitesinin, zamanlama ve kas aktivasyon özelliklerine bağlı olarak PAP ve PAPE'yi eşzamanlı olarak ortaya çıkartması beklenebilir (Gallardo vd., 2024; Zimmermann vd., 2020; Blazevich ve Babault, 2019). Özellikle PAPE mekanizmasının kondisyonlama aktivitesinden (örn. SKI) yaklaşık altı dakika sonra zirve yaptığı dikkate alındığında bu zamanlamanın yüksek yoğunluklu kardiyopulmoner bisiklet testinin kritik aşamasında gözlemlenen en yüksek dispne algısı periyoduyla benzer zaman aralığına denk geldiğini belirtmek önemlidir. Bu durum muhtemelen artan motor ünite alımı, yorgun kaslardan gelen afferent geri bildirimin azalması ve zayıflatılmış kortikal tahrik gibi mekanizmaların aracılık ettiği gelişmiş solunum kas verimliliği, azalmış metaborefleks aktivasyonu ve gelişmiş nöromekanik bağlantıyla birlikte nefes darlığının (dispne) duyuşsal algısını azaltabilir ve yorgunluğun başlamasını geciktirerek ventilatuar yanıtlardaki gelişmeyle egzersiz toleransını iyileştirebilir. Bununla birlikte SKI'nın bildirilen ergojenik faydaları temel olarak egzersiz anında bu kasların maksimum gerilim üretme kapasitesinin fraksiyonel kullanımındaki potansiyel bir azalmaya dayandırılmıştır (Volianitis vd., 2001b). Diğer bir ifadeyle, akut bir inspiratuar kas aktivitesini takiben P_{maks} 'te gözlenen artış, sonraki egzersiz sırasında inspiratuar kasların nefes başına daha düşük bir relatif kas kuvveti yüzdesiyle basınç üretmesini mümkün kılabilir. Egzersiz anında maksimum inspiratuar kas gerginliği üretme kapasitesinin fraksiyonel kullanımındaki bu tür bir azalma egzersiz anında algılanan dispneyi hafifleterek egzersiz toleransının iyileşmesine katkıda bulunabilir. Önceki araştırmalar yüksek yoğunluklu egzersizler anında algılanan dispne algısının sporcuların performans kapasitesini etkileyebileceğini raporlamıştır (Gaylord vd., 2023; Mizuno vd., 2022; Depiazzi ve Everard, 2016). Dolayısıyla SKI artan inspiratuar kas kuvvetiyle ilişkili olarak dispne algısının azalmasına ve solunum kas yorgunluğunun geciktirilmesine katkıda bulunarak yüksek yoğunluklu egzersiz anında oksijen iletimini iyileştiren gelişmiş ventilatuar yanıtları ortaya çıkarabilir. Bununla birlikte ventilasyon verimliliği solunum ve lokomotor kas yorgunluğunun performansı tehlikeye atabileceği kritik eşiği geciktirerek egzersiz tükenme süresini uzatabilir. Tüm bu akut fizyolojik gelişmeler sporcuların solunum sistemi sınırlamalarını azaltarak $VO_{2\text{maks}}$ kapasitesinde kayda değer iyileşmelere katkıda bulunabilir. Bununla birlikte SKI öncesi uygulanan genel ısınma uygulamasının kaslardaki sıcaklığı artırarak (Wilson vd., 2025; Kapnia vd., 2023; Silva vd., 2018; McGowan vd., 2015), plazma

katekolamin seviyelerini yükselterek (Cairns ve Borrani, 2015; Hostrup vd., 2014), motonöron uyarılabilirlik ve aktivasyonu iyileştirerek (Lee vd., 2024; Babault vd., 2022; Oliveira ve Negro, 2021; Gil vd., 2019; Tillin ve Bishop, 2009) algısal ve ventilatuar yanıtlardaki gelişimlere potansiyel olarak katkıda bulunabileceğini kabul etmek önemlidir.

Literatürdeki SKI araştırmalarının çıktıları ve olası mekanizmaları halen tartışmalıdır. Dolayısıyla kohortumuzda disiplinler arası gözlemlenen heterojenliğin potansiyel olarak bireysel farklılıklardan ve/veya spor branşlarına özgü gelişmiş dolaşım yapılarındaki adaptasyonlardan kaynaklanabileceğini belirtmek gerekir. Bir araştırmada egzersiz yoğunluğundaki benzerliğe rağmen uzun süreli bir patika yarışı sonrası pulmoner dolaşım ve sağ ventrikül sistolik fonksiyonlarında bireysel farklılıklardan kaynaklandığı düşünülen değişken yanıtlar raporlanmıştır (Sanz de la Garza vd., 2016). Benzer şekilde birçok araştırma bulgusu dayanıklılık antrenmanlarına karşı kardiyovasküler adaptasyonların bireysel farklılıklara göre değişkenlik gösterdiğini bildirmiştir (Conti vd., 2021; Dawson vd., 2021; Sanz-de la Garza vd., 2020; Sanz-de la Garza vd., 2017; Sitges vd., 2017). SKI etkilerinin bu varyasyonlardan etkilenebileceğini ve dolayısıyla farklı kardiyopulmoner tepkilere yol açabileceğini tahmin ediyoruz. Büyük bir pulmoner vasküler rezervi veya gelişmiş kapiller aktivasyonu olan sporcuların SKI uygulamasını takiben pulmoner difüzyon kapasitesinde daha belirgin artışlar sergilemesi mümkünken üstün sistolik fonksiyonlara ve daha gelişmiş bir pulmoner dolaşıma sahip olanların da bu uyarılmaya daha ileri ventilatuar yanıtlar göstermesi olasıdır. Ancak yine de bu potansiyel açıklamalara rağmen SKI uygulamasının kardiyopulmoner yanıtlar üzerindeki etkisini anlayabilmek için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.

5.4. P_{imaks} ile Solunum ve Kardiyopulmoner Yanıtlar Arasındaki İlişki

Solunum kas kuvvetinin önemli bir göstergesi olan P_{imaks} , intratorasik basınç dinamiklerini doğrudan modüle ettiği için solunum kapasitesiyle ilişkili olarak akciğer performansın en önemli belirleyicisidir (Laveneziana vd., 2019). Bulgularımız P_{imaks} ile P_{emaks} , FVC, FEV₁, VC, MVV, TLC, DL_{CO} ve V_A dahil olmak üzere çeşitli solunum kapasiteleri arasında anlamlı ilişkiler ortaya koymuştur. Farklı kohortlarda yapılan önceki araştırmalar solunum kas kuvveti ve solunum kapasitesi arasında önemli ilişkiler olduğunu göstererek bu bulguları desteklemiştir (Karaduman vd., 2022; Hennigs vd., 2022; Spiesshoefer vd., 2020; Degens vd., 2013b; Kroff ve Terblanche,

2010). Bu durum daha büyük intratorasik basınç gradyanları oluşturan gelişmiş diyafram kontraktilesiyle ilişkilendirilmektedir (Donley vd., 2024; Hussain ve Burns, 2023; Lumb ve Thomas, 2020; Spiesshoefer vd., 2020; Da Fonsêca vd., 2019).

Bununla birlikte bulgularımız, P_{imaks} ile VO_2 , VCO_2 , V_E , V_T ve VO_2/KAH dahil olmak üzere kritik ventilatuar yanıtlar arasında pozitif ilişkiler ortaya koyarak inspiratuar kas kuvvetinin egzersiz anındaki solunum dinamiklerini modüle etmedeki önemli rolünü vurgulamıştır. Bir araştırma solunum kas kuvveti ile kardiyopulmoner yanıtlar arasındaki etkileşimi göstererek hem inspiratuar hem de ekspiratuar kaslardan etkilenen ventilasyon verimliliğinin kardiyopulmoner performansı etkileyebileceğini göstermiştir (Deliceoğlu vd., 2024). Benzer şekilde önceki araştırmalar solunum kas kuvvetiyle kardiyopulmoner yanıtlar arasında anlamlı ilişkilerin olduğunu vurgulayarak çalışmamızla benzer sonuçlar raporlamıştır (Deliceoğlu vd., 2024; Campoi vd., 2019; Oueslati vd., 2018). Egzersiz yoğunluğuna bağlı olarak artan ventilasyon talepleri özellikle diyafram, interkostallar ve sternokleidomastoid olmak üzere gelişmiş inspiratuar kas aktivasyonlarıyla ilişkilendirilir (Ramsook vd., 2020; Laveneziana vd., 2019). Bu gelişmiş aktivasyon inspiratuar kas kuvvetiyle ilişkili olarak egzersiz anında artan talepleri karşılamak ve optimal gaz değişimini desteklemek için etkili ventilasyon yanıtlarının ortaya çıkarılmasında önemli rol oynar ki bu gelişmiş solunum kas kuvvetiyle ventilatuar yanıtlar arasındaki ilişkinin önemini vurgular.

Araştırma bulgularımız yüksek inspiratuar kas kuvvetinin intratorasik basınç oluşumunu kolaylaştırarak daha yüksek solunum kapasitelerine ve egzersiz anında artmış ventilasyon performansına katkıda bulunabileceğine işaret etmektedir. Ayrıca yüksek solunum kas kuvvetiyle yönlendirilen bu iyileştirilmiş ventilatuar yanıtların negatif ilişkiyle raporladığımız dispne algısını mekanik olarak açıklayabileceğini varsayıyoruz. Son olarak, P_{imaks} ile MATS ve MAG arasındaki pozitif ilişki, daha yüksek inspiratuar kas kuvvetinin, optimize edilmiş solunum fonksiyonu, iyileştirilmiş pulmoner gaz değişimi ve hafifletilmiş ventilatuar ve dispne sınırlamaları gibi çeşitli akut fizyolojik adaptasyonlarla gelişmiş egzersiz kapasitesine katkıda bulunabileceğini bize göstermektedir.

5.5. Difüzyon Kapasitesi ve Kardiyopulmoner Yanıtlar Arasındaki İlişki

Gelişmiş pulmoner difüzyon kapasitesi yüksek yoğunluklu egzersizler anında kardiyopulmoner yanıtları modüle ederek ventilatuar talepleri azaltır, solunum

sınırlamalarını geciktirir ve arteriyel oksijenasyonu koruyarak optimal oksijen tüketimine katkıda bulunabilir (McNeill vd., 2022; Dominelli ve Molgat-Seon, 2022; Zavorsky ve Smoliga, 2017; Coffman vd., 2017; Tedjasaputra vd., 2016a). Bulgularımız DL_{CO} ile VO_2 , VO_{2maks} , VCO_2 , V_E , VT ve VO_2/KAH dahil olmak üzere çeşitli kardiyopulmoner yanıtlar arasında anlamlı ilişkiler ortaya koymuştur. Farklı popülasyonlarda yapılan önceki araştırmalar pulmoner difüzyon kapasitesi ile kardiyopulmoner yanıtlar arasında önemli ilişkiler olduğunu raporlamıştır (McNeill vd., 2022; Øvretveit, 2018; Zavorsky ve Smoliga, 2017; Faoro vd., 2017; Coffman vd., 2017; Tedjasaputra vd., 2016a; Taylor vd., 2016b; Hassel vd., 2015).

Pulmoner difüzyon kapasitesi ve kardiyopulmoner yanıtlar arasındaki ilişki düzenli egzersizlerin etkisiyle kalp atım hızı ve hacminin yanı sıra düşük yüklü sol atriyal kompliyans ve sağ ventrikül-pulmoner arter eşleşmesi dahil olmak üzere pulmoner mikrovaskülatürde meydana gelen yapısal ve fonksiyonel adaptasyonların bir sonucudur. Brotto ve diğerleri (2022), gelişmiş pulmoner vasküler fonksiyonların egzersiz anında sağ ventrikül yükünü ve duvar stresini hafifleterek artan sağ ventrikül çıkışını (artan atım hacmi) kolaylaştırdığını öne sürmüştür (Brotto vd., 2022). Bununla birlikte Zavorsky ve Smoliga (2017), artan kardiyak çıktıyla pulmoner arter basıncın yükseldiğini bunun da pulmoner kapiller aktivasyonu ve distansiyonu tetikleyerek hem kapiller kan hacmini hem de membran difüzyon kapasitesini iyileştirdiğini raporlamıştır (Zavorsky ve Smoliga, 2017). Benzer şekilde D'Souza ve diğerleri (2025) egzersiz anında artan pulmoner arter basıncı ve merkezi kan hacmi mobilizasyonunun DL_{CO} , V_c ve D_m kapasitelerinin artırarak gelişmiş pulmoner gaz değişimine katkıda bulunduğunu göstermiştir. Araştırma ayrıca DL_{CO} 'daki artışın temel olarak pulmoner arter basıncına bağlı pulmoner kapiller aktivasyondan kaynaklandığını göstererek gelişmiş pulmoner vasküler dinamiklerin egzersiz anında artan oksijen taşınmasındaki rolünü vurgulamıştır (D'Souza vd., 2025). Bu gelişmiş hemodinamik verimlilikler (Brotto vd., 2022; Dawkins vd., 2022; Wright vd., 2021; Sanz-de la Garza vd., 2020) daha yüksek kardiyak çıktı ve gelişmiş pulmoner mikrovasküler fonksiyonlarla (kapiller aktivasyon, anjiyogenez ve gelişmiş endotelyal yapı) daha verimli gaz değişimine izin vererek daha yüksek aerobik kapasiteye katkıda bulunabilir (Collins vd., 2025; Brotto vd., 2025; Ehnes vd., 2024; Zavorsky ve Smoliga, 2017; Coffman vd., 2017; Tedjasaputra vd., 2016a; Lalande vd., 2012).

Araştırma bulgularımız daha yüksek bir pulmoner difüzyon kapasitesinin egzersiz anında gelişmiş kardiyopulmoner tepkilere katkıda bulunabileceğini ve daha verimli alveoler-kapiller gaz değişimini kolaylaştırarak VO_{2maks} 'ı optimize edebileceğini düşündürmektedir. Bununla birlikte özellikle DL_{CO} ve ventiluar yanıtla (VCO_2 ve V_E) arasında gözlemlenen ilişkiye dayanarak gelişmiş bir difüzyon kapasitesinin uzun süreli bir egzersiz performansını sürdürmek için kritik olan daha verimli CO_2 klirensini desteklediğini tahmin ediyoruz. Son olarak, DL_{CO} ile MATS ve MAG arasındaki pozitif ilişki daha yüksek pulmoner difüzyon kapasitesinin, kolaylaştırılmış arteriyel oksijenasyon ve azalmış ventilatuar sınırlamaları yoluyla gelişmiş egzersiz kapasitesine katkıda bulunabileceğini bize göstermektedir.

Araştırmanın güçlü yönleri randomize, plasebo kontrollü, çift kör ve çapraz geçişli bir deney tasarımına sahip olmasıdır. Bir diğer potansiyel güçlü yönü ise bugüne kadar bildirilen SKI araştırmalarındaki en büyük elit sporcu popülasyonunu içermesidir. Ayrıca araştırmaya dört farklı disiplinden sporcuların dahil edilmesi literatürde daha önce gözlemlenen heterojen yanıtların daha iyi anlaşılmasına olanak sağlaması bakımından önemli bir güçlü yöndür. Bununla birlikte bu araştırmanın birkaç sınırlaması da bulunmaktadır. İlk olarak, DL_{CO} 'nun D_m ve V_c bileşenlerini değerlendiremedik bu da SKI uygulamasını takiben pulmoner difüzyon kapasitesinde gözlemlenen iyileşmeye katkıda bulunan birincil faktörü belirleme olanağımızı sınırladı. İkinci olarak, ısınma uygulamalarının vücut ısısı üzerindeki etkilerini belirleyemedik, bu da DL_{CO} ile termal tepkiler arasındaki ilişkiyi değerlendirme yeteneğimizi sınırladı. Ancak mevcut literatürde öne çıkan iki potansiyel mekanizmaya (pulmoner kapiller kan hacminde ve vücut sıcaklığında egzersize bağlı artışlar) odaklanarak bu iki bileşenin rolleri hakkında çıkarımlarda bulunmaya çalıştık.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Farklı disiplinlerden elit sporcularda SKI uygulamasının solunum kas kuvveti, solunum fonksiyonu, pulmoner difüzyon kapasitesi, kardiyopulmoner ve algısal yanıtlar üzerindeki etkilerini belirlemeyi amaçlayan bu araştırmanın temel bulguları aşağıda sunulmuştur.

- ❖ Dayanıklılık disiplini sporcuları en yüksek DL_{CO} ve MVV değerleri gösterdi ($p<0,050$) (Tablo 4.2).
- ❖ Dayanıklılık disiplini sporcuları kardiyopulmoner parametreler olan metabolik (VO_2 , VO_{2maks} ve VCO_2), ventilatuar (V_E), performans (MATS ve MAG) ve algısal (MBS_B) yanıtlarda en yüksek değerlere sahipti ($p<0,050$) (Tablo 4.3).
- ❖ SKI uygulaması sporcuların, solunum kas kuvveti (P_{imaks} ve P_{emaks}), solunum fonksiyonu (FVC, PEF, VC, IRV, IC ve MVV) ve pulmoner difüzyon (DL_{CO} , V_A , K_{CO} ve TLC) kapasitesini önemli ölçüde iyileştirmiştir ($p<0,050$) (Tablo 4.4).
- ❖ SKI uygulamasını takiben solunum kapasitelerinde ortaya çıkan gelişimin kayda değer derecede spor disiplinlere göre farklılaşabileceği görüldü (Tablo 4.5-8 ve Şekil 4.1-2).
- ❖ SKI uygulaması kohortumuzdaki sporcuların yüksek yoğunluklu egzersiz testi anında elde edilen metabolik (VO_2 , VO_{2maks} ve VCO_2), ventilatuar (V_E ve SR), kardiyovasküler (KAH), gaz değişim (P_{etO_2}), performans (MATS ve MAG) ve algısal (MBS_D ve MBS_B) yanıtlarını önemli ölçüde iyileştirmiştir ($p<0,050$) (Tablo 4.9).
- ❖ SKI uygulamasının egzersiz anındaki fizyolojik yanıtlar üzerinde ortaya çıkan gelişimin kayda değer derecede spor disiplinlere göre farklılaşabileceği görüldü (Tablo 4.10-13 ve Şekil 4.3-4).
- ❖ SKI uygulaması öncesi ve sonrası değerlendirilen solunum kas kuvveti (P_{imaks}) ile solunum fonksiyonları (FVC, FEV₁, VC, MVV, TLC ve V_A) arasında pozitif yönlü anlamlı ilişki bulundu. Bununla birlikte P_{imaks} , sadece ısınma sonrası DL_{CO} değeriyle istatistiksel olarak anlamlı pozitif ilişki gösterdi ($p<0,050$) (Şekil 4.5).
- ❖ Solunum kas kuvveti (P_{imaks}) ile kardiyopulmoner (VO_2 , VCO_2 , V_E ve VT) ve performans (MATS ve MAG) kapasiteleri arasında pozitif yönlü anlamlı ilişki

gözlendi. Bununla birlikte P_{maks} ve MSB_D asında negatif yönlü anlamlı ilişki bulundu ($p<0,050$) (Şekil 4.6).

- ❖ Pulmoner difüzyon kapasitesi (DL_{CO}) ile kardiyopulmoner (VO_2 , $VO_{2\text{maks}}$, VCO_2 , V_E ve VT) ve performans (MATS ve MAG) kapasiteleri arasında pozitif yönlü anlamlı ilişki gözlendi ($p<0,050$). Ancak DL_{CO} değeriyle algısal (MSB_D ve MSB_B) yanıtlar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki yoktu ($p>0,050$) (Şekil 4.7).
- ❖ Alveoler hacim (V_A) ile kardiyopulmoner (VO_2 , $VO_{2\text{maks}}$, VCO_2 , V_E ve VT) ve performans (MATS ve MAG) kapasiteleri arasında pozitif yönlü anlamlı ilişki gözlendi ($p<0,050$). Ancak V_A değeriyle algısal (MSB_D ve MSB_B) yanıtlar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki yoktu ($p>0,050$) (Şekil 4.8).
- ❖ Total akciğer kapasitesi (TLC) ile kardiyopulmoner (VO_2 , VCO_2 , V_E ve VT) ve performans (MATS ve MAG) kapasiteleri arasında pozitif yönlü anlamlı ilişki gözlendi ($p<0,050$). Ancak TLC değeriyle algısal (MSB_D ve MSB_B) yanıtlar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki yoktu ($p>0,050$) (Şekil 4.9).
- ❖ Bisiklet performans (MATS ve MAG) skorları ile kardiyopulmoner (VO_2 , $VO_{2\text{maks}}$, VCO_2 , V_E ve VT) arasında pozitif yönlü anlamlı ilişki gözlendi ($p<0,050$). Bununla birlikte MATS ve MAG skorlarıyla MSB_B yanıtı arasında negatif yönlü anlamlı ilişki vardı ($p<0,050$) (Şekil 4.10-11).

Bu araştırma, özellikle alveoler düzeydeki dinamiklere odaklanarak SKI'nın gaz değişim verimliliği üzerindeki potansiyel etkilerini ortaya çıkarmıştır. Ayrıca, SKI literatüründe bildirilen hetorejen yanıtların anlaşılması için disiplinler arası farklılıklar vurgulanarak pulmoner adaptasyonlarla ilişkili ısınma uygulamasına verilen değişken yanıtlar incelenmiştir. Sonuç olarak, araştırma bulguları SKI uygulamasının sporcuların solunum kas kuvvetini, solunum fonksiyonunu ve özellikle pulmoner difüzyon kapasitesini kayda değer derecede artırdığını göstermiştir. Bununla birlikte yüksek yoğunluklu egzersiz anında ortaya çıkan ventilatuar yanıtlar önemli derecede iyileşmiştir. Ancak, SKI etkilerinin spor disiplinlerine ve potansiyel olarak bireysel farklılıklara göre değişkenlik gösterdiği tespit edilmiştir. Araştırma sonuçları SKI uygulamasının özellikle dayanıklılık ve karma disiplinlerdeki sporcuların solunum kapasitelerini artırmadaki etkinliğini doğrulamakta ve optimize edilmiş inspiratuar kas kondisyonunun atletik performansı geliştirmedeki kritik rolünü vurgulamaktadır.

Gelecekteki araştırmalar, bu bulguların genelleştirilebilirliğini artırmak için daha büyük ve daha çeşitli örneklem grupları kullanmalı ve özellikle kadın sporcuların dahil edilmesine önem vermelidir. Bununla birlikte, farklı inspiratuar yoğunluk seviyelerini test ederek disiplinler arası bireyselleştirilmiş SKI protokollerinin etkinliği araştırılmalıdır.



KAYNAKLAR

- Abade, E., Costa, A.R., Parraca, J.A., Tomas-Carus, P., Clemente-Suarez, V.J. and Gonçalves, B. (2024). Enhancing team sports performance: a case study of the optimal post-warm-up time window. *Sport Sciences for Health*. 1–10.
- Aboussouan, L.S. (2021). Respiratory Failure and the Need for Ventilatory Support. Kacmarek, R.M., Stoller, J.K. and Heuer, A. (eds). in: *Egan's fundamentals of respiratory Care*. (s. 972–986). St. Louis, Missouri: Elsevier. 12. Baskı.
- Adami, P.E., Rocchi, J.E., Melke, N., De Vito, G., Bernardi, M. and Macaluso, A. (2022). Physiological profile comparison between high intensity functional training, endurance and power athletes. *European Journal of Applied Physiology*. 1–9.
- Afonso, J., Brito, J., Abade, E., Rendeiro-Pinho, G., Baptista, I., Figueiredo, P. and Nakamura, F.Y. (2024a). Revisiting the ‘Whys’ and ‘Hows’ of the Warm-Up: Are We Asking the Right Questions?. *Sports Medicine*. 54 (1). 23–30.
- Afonso, J., Andrade, R., Sá, M., Martins, R., Baptista, I. and Pizzari, T. (2024b). Elusive ‘usual’ warm-up in injury prevention trials: the problem of comparing apples to beans. *British Journal of Sports Medicine*. 58. 1380–1382.
- Agostoni, P., Swenson, E.R., Fumagalli, R., Salvioni, E., Cattadori, G., Farina, S., ... and Parati, G. (2013). Acute high-altitude exposure reduces lung diffusion: data from the HIGHCARE Alps project. *Respiratory Physiology & Neurobiology*. 188 (2). 223–228.
- Ahmed, N. and Karnatovskaia, L.V. (2023, May). Proning as an Effective Treatment for Refractory Hypoxemia Due to Intra-pulmonary Shunt. *Top Case Reports of Mechanical Ventilation/ARDS From the Past Year*. American Thoracic Society. (s. 4347–4347).
- Aktan, R., Özalevli, S., Yakut, H. and Özgen Alpaydin, A. (2024). The effects of inspiratory muscle warm-up prior to inspiratory muscle training during pulmonary rehabilitation in subjects with chronic obstructive pulmonary disease: a randomized trial. *Physiotherapy Theory and Practice*. 1–11.
- Aktuğ, Z.B., Yavuz, G., Pişkin, N.E., Aka, H. and İbiş, S. (2022). Acute effect of different respiratory muscle exercises on maximal oxygen consumption and lung functions. *Turkish Journal of Sports Medicine*. 57 (2). 79–85.
- Al Dandachi, G., Londner, C., Caumont-Prim, A., Plantier, L., Chevalier-Bidaud, B., Toussaint, J.F., ... and Delclaux, C. (2014). Ageing and endurance training effects on quantity and quality of pulmonary vascular bed in healthy men. *Respiratory Research*. 15. 1–5.
- Alberola-Blanes, R., Alacid, F., Quero-Calero, C. D. and López-Plaza, D. (2025). Acute Effects of Inspiratory Muscle Warm-Up on Performance and

Cardiorespiratory Parameters of Scuba Divers—A Preliminary Study. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*. 10 (2). 105.

Albertine K.H., Ramirez M.I., Morty, R.E. (2021). Anatomy and Development of the Respiratory Tract. Broaddus, V.C., Ernst, J.D., King Jr, T.E., Lazarus, S.C., Sarmiento, K.F., Schnapp, L.M., ... and Gotway, M.B. (eds). in: *Murray & Nadel's textbook of respiratory medicine* (s. 3–24). Philadelphia, PA: Elsevier Health Sciences. 7. Baskı.

Alfaro, E., Díaz-García, E., García-Tovar, S., Galera, R., Casitas, R., Torres-Vargas, M., ... and Cubillos-Zapata, C. (2024). Endothelial dysfunction and persistent inflammation in severe post-COVID-19 patients: implications for gas exchange. *BMC Medicine*. 22 (1). 242.

Aliverti, A. (2016). The respiratory muscles during exercise. *Breathe*. 12 (2). 165–168.

Allado, E., Poussel, M., Hily, O. and Chenuel, B. (2022). The interest of rehabilitation of respiratory disorders in athletes: myth or reality?. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*. 65 (4). 101461.

Alves, M.M., Dressel, H. and Radtke, T. (2022). Test-retest reliability of lung diffusing capacity for nitric oxide during light to moderate intensity cycling exercise. *Respiratory Physiology & Neurobiology*. 304. 103940.

Amador, C., Weber, C. and Varacallo, M. (2023). Anatomy, thorax, bronchial. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. Retrieved February 1, 2025, from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK537353/>.

Amann, M., Sidhu, S.K., McNeil, C.J. and Gandevia, S.C. (2022). Critical considerations of the contribution of the corticomotoneuronal pathway to central fatigue. *The Journal of Physiology*. 600 (24). 5203–5214.

Amann, M., Wan, H.Y., Thurston, T.S., Georgescu, V.P. and Weavil, J.C. (2020). On the influence of group III/IV muscle afferent feedback on endurance exercise performance. *Exercise and Sport Sciences Reviews*. 48 (4). 209–216.

American College of Sports Medicine (ACSM). (2022). ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription (s. 513–520). Philadelphia: Wolters Kluwer. 11. Baskı.

Amorós, J.A.M and Lluveras, A.U. (2023). Tracheobronchial Anatomy. Díaz-Jimenez, J.P. and Rodriguez, A.N. (eds). in: *Interventions in pulmonary medicine*. Switzerland: Springer Nature. 3. Baskı.

Angleys, H. and Østergaard, L. (2020). Krogh's capillary recruitment hypothesis, 100 years on: Is the opening of previously closed capillaries necessary to ensure muscle oxygenation during exercise?. *American Journal of Physiology-Heart and circulatory physiology*. 318 (2). 425–447.

- Angus, S.A., Chang, J.C., Mann, L.M., Thompson, B.P., Doherty, C.J. and Dominelli, P.B. (2023). Altering magnetic field strength impacts the assessment of diaphragmatic function using cervical magnetic stimulation. *Respiratory Physiology & Neurobiology*. 309. 104012.
- Ansdell, P., Thomas, K., Hicks, K.M., Hunter, S.K., Howatson, G. and Goodall, S. (2020). Physiological sex differences affect the integrative response to exercise: acute and chronic implications. *Experimental Physiology*. 105 (12). 2007–2021.
- Aranda, L.C., Ribeiro, I.C., Freitas, T.O., Degani-Costa, L.H., Dias, D.S., De Angelis, K., ... and Silva, B.M. (2024). Altered locomotor muscle metaboreflex control of ventilation in patients with COPD. *Journal of Applied Physiology*. 136 (2). 385–398.
- Arboleda Serna, V.H., Arango Vélez, E.F., Gómez Arias, R.D. and Feito, Y. (2016). Effects of a high-intensity interval training program versus a moderate-intensity continuous training program on maximal oxygen uptake and blood pressure in healthy adults: study protocol for a randomized controlled trial. *Trials*. 17. 1–7.
- Archiza, B., Leahy, M.G., Kipp, S. and Sheel, A.W. (2021). An integrative approach to the pulmonary physiology of exercise: when does biological sex matter?. *European Journal of Applied Physiology*. 121 (9). 2377–2391.
- Archiza, B., Welch, J.F., Geary, C.M., Allen, G.P., Borghi-Silva, A. and Sheel, A.W. (2018). Temporal characteristics of exercise-induced diaphragmatic fatigue. *Journal of Applied Physiology*. 124 (4). 906–914.
- Arend, M., Kivastik, J. and Mäestu, J. (2016). Maximal inspiratory pressure is influenced by intensity of the warm-up protocol. *Respiratory Physiology & Neurobiology*. 230. 11–15.
- Arend, M., Kivastik, J., Talts, J. and Mäestu, J. (2021). The Effect of Inspiratory Muscle Warm-Up on VO₂ Kinetics during Submaximal Rowing. *Sports*. 9 (3).42.
- Arend, M., Mäestu, J., Kivastik, J., Rämson, R. and Jürimäe, J. (2015). Effect of inspiratory muscle warm-up on submaximal rowing performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 29 (1). 213–218.
- Armstrong, L.E. and Johnson, E.C. (2018). Water intake, water balance, and the elusive daily water requirement. *Nutrients*. 10 (12). 1928.
- Armstrong, M. and Vogiatzis, I. (2019). Personalized exercise training in chronic lung diseases. *Respirology*. 24 (9). 854–862.
- Arroyo, J.P. and Schweickert, A.J. (2015). *Back to Basics in Physiology: O₂ and CO₂ in the Respiratory and Cardiovascular Systems*. USA: Academic Press of Elsevier. 1. Baskı.

- Aslan, M. and Dağlıoğlu, Ö. (2022). Acute Effect of Respiratory Muscle Warm-up on Explosive Power and Flexibility Performance. *European Journal of Physical Education and Sport Science*. 8 (4).
- Avci, N., Özdal, M. and Vural, M. (2021). Influence of inspiratory muscle warm-up exercise on field hockey drag-flick and shooting performance. *European Journal of Physical Education and Sport Science*. 6 (11).
- Avelar, N.C., Costa, S.J., da Fonseca, S.F., Tossige-Gomes, R., Gripp, F.J., Coimbra, C.C. and Lacerda, A.C. (2012). The effects of passive warm-up vs. whole-body vibration on high-intensity performance during sprint cycle exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 26 (11). 2997–3003.
- Babault, N., Hitier, M. and Cometti, C. (2022). Usefulness of surface electromyography complexity analyses to assess the effects of warm-up and stretching during maximal and sub-maximal hamstring contractions: A cross-over, randomized, single-blind trial. *Biology*. 11 (9). 1337.
- Bagley, L., McPhee, J.S., Ganse, B., Müller, K., Korhonen, M.T., Rittweger, J. and Degens, H. (2019). Similar relative decline in aerobic and anaerobic power with age in endurance and power master athletes of both sexes. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 29 (6). 791–799.
- Balady, G.J., Arena, R., Sietsema, K., Myers, J., Coke, L., Fletcher, G.F., ... and Interdisciplinary Council on Quality of Care and Outcomes Research. (2010). Clinician's guide to cardiopulmonary exercise testing in adults: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*. 122 (2). 191–225.
- Baldi, J.C., Dacey, M.J., Lee, M.J. and Coast, J.R. (2014). Prior maximal exercise decreases pulmonary diffusing capacity during subsequent exercise. *International journal of sports medicine*. 35 (12). 982–986.
- Barnes, K.R. and Ludge, A.R. (2021). Inspiratory muscle warm-up improves 3,200-m running performance in distance runners. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 35 (6). 1739–1747.
- Barranco-Gil, D., Alejo, L.B., Valenzuela, P.L., Gil-Cabrera, J., Montalvo-Pérez, A., Talavera, E., ... and Lucia, A. (2020). Warming up before a 20-minute endurance effort: is it really worth it?. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 15 (7). 964–970.
- Barrett, K.E., Barman, S.M., Brooks, H.L. and Yuan J. (2019). *Ganong's review of medical physiology*. New York: McGraw-Hill Education. 26. Baskı.
- Barroso, A.T., Martín, E.M., Romero, L.M.R. and Ruiz, F.O. (2018). Factors affecting lung function: a review of the literature. *Archivos de Bronconeumología*. 54 (6). 327–332.
- Bartesaghi, M., Beretta, E., Pollastri, L., Scotti, V., Mandolesi, G., Lanfranconi, F. and Miserocchi, G. (2014). Inter-individual differences in control of alveolar

capillary blood volume in exercise and hypoxia. *Respiratory Physiology & Neurobiology*. 190. 96–104.

- Bartolomei, S., De Luca, R. and Marcora, S.M. (2023). May a nonlocalized postactivation performance enhancement exist between the upper and lower body in trained men?. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 37 (1). 68–73.
- Basoudan, N., Rodrigues, A., Gallina, A., Garland, J., Guenette, J.A., Shadgan, B., ... and Reid, W.D. (2020). Scalene and sternocleidomastoid activation during normoxic and hypoxic incremental inspiratory loading. *Physiological Reports*. 8 (14). e14522.
- Bassareo, P.P. and Crisafulli, A. (2020). Gender differences in hemodynamic regulation and cardiovascular adaptations to dynamic exercise. *Current Cardiology Reviews*. 16 (1). 65–72.
- Bassett, A.J., Ahlmen, A., Rosendorf, J.M., Romeo, A.A., Erickson, B.J. and Bishop, M.E. (2020). The biology of sex and sport. *JBJS Reviews*. 8 (3). e0140.
- Batıhan, G. (2023). Surgical Anatomy of the Lungs. Batıhan, G. (eds). in: *Essentials of Pulmonary Lobectomy*. London: IntechOpen.
- Beck, K.C., Johnson, B.D., Olson, T.P. and Wilson, T.A. (2012). Ventilation-perfusion distribution in normal subjects. *Journal of Applied Physiology*. 113 (6). 872–877.
- Belkhir, Y., Rekik, G., Chtourou, H. and Souissi, N. (2021). Does warming up with different music tempos affect physical and psychological responses? The evidence from a chronobiological study. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 62 (1). 149–156.
- Beltrami, F.G., Schaer, C.E. and Spengler, C.M. (2023). Sex differences in quadriceps and inspiratory muscle fatigability following high-intensity cycling. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 26 (3). 208–213.
- Benbaruj, J.M., Leahy, M.G., Jackman, R., Rae, T., Boushel, R., Foster, G.E. and Sheel, A.W. (2024). Sex-based differences in the blood pressure responses to muscle metaboreflex activation are consistent between limb and respiratory muscle. *Journal of Applied Physiology*.
- Bentov, I. and Reed, M.J. (2015). The effect of aging on the cutaneous microvasculature. *Microvascular Research*. 100. 25–31.
- Beretta, E., Grasso, G.S., Forcaia, G., Sancini, G. and Miserocchi, G. (2019). Differences in alveolo-capillary equilibration in healthy subjects on facing O₂ demand. *Scientific Reports*. 9 (1). 16693.

- Berg, K. and Wright, J.L. (2016). The pathology of chronic obstructive pulmonary disease: progress in the 20th and 21st centuries. *Archives of Pathology & Laboratory Medicine*. 140 (12). 1423–1428.
- Bernhardsen, G.P., Stang, J., Halvorsen, T. and Stensrud, T. (2023). Differences in lung function, bronchial hyperresponsiveness and respiratory health between elite athletes competing in different sports. *European Journal of Sport Science*. 23 (8). 1480–1489.
- Bhakta N.R. and Kaminsky, D.A. (2021). Pulmonary Function Testing: Physiologic and Technical Principles. Broadbuss, V.C., Ernst, J.D., King Jr, T.E., Lazarus, S.C., Sarmiento, K.F., Schnapp, L.M., ... and Gotway, M.B. (eds). in: *Murray & Nadel's textbook of respiratory medicine* (s. 424–438). Philadelphia, PA: Elsevier Health Sciences. 7.Baskı.
- Bhakta, N.R., McGowan, A., Ramsey, K.A., Borg, B., Kivastik, J., Knight, S.L., ... and Kaminsky, D.A. (2023). European Respiratory Society/American Thoracic Society technical statement: standardisation of the measurement of lung volumes, 2023 update. *European Respiratory Journal*. 62 (4).
- Bird, J.D., Lance, M.L., Bachasson, D., Dominelli, P.B. and Foster, G.E. (2025). Diaphragm Blood Flow: New Avenues for Human Translation. *Journal of Applied Physiology*. 138 (4). 873–1107
- Black, M.I., Jones, A.M., Blackwell, J.R., Bailey, S.J., Wylie, L.J., McDonagh, S. T., ... and Vanhatalo, A. (2017). Muscle metabolic and neuromuscular determinants of fatigue during cycling in different exercise intensity domains. *Journal of Applied Physiology*. 122 (3). 446–459.
- Blazevich, A.J. and Babault, N. (2019). Post-activation potentiation versus post-activation performance enhancement in humans: historical perspective, underlying mechanisms, and current issues. *Frontiers in Physiology*. 10. 1359.
- Bohm, P., Schneider, G., Linneweber, L., Rentzsch, A., Krämer, N., Abdul-Khaliq, H., ... and Scharhag, J. (2016). Right and left ventricular function and mass in male elite master athletes: a controlled contrast-enhanced cardiovascular magnetic resonance study. *Circulation*. 133 (20). 1927–1935.
- Borg G (1982). Psychophysical basis of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 14. 371–81.
- Borland, C., Bottrill, F., Jones, A., Sparkes, C. and Vuylsteke, A. (2014). The significant blood resistance to lung nitric oxide transfer lies within the red cell. *Journal of Applied Physiology*. 116 (1). 32–41.
- Borrego-Sánchez, A., Vinolo-Gil, M.J., de-la-Casa-Almeida, M., Rodríguez-Huguet, M., Casuso-Holgado, M.J. and Martín-Valero, R. (2021). Effects of training on cardiorespiratory fitness in triathletes: a systematic review and meta-analysis. *International Journal of Environmental Research and Ppublic Health*. 18 (24). 13332.

- Borzykh, A.A., Andreev-Andrievskiy, A.A., Kalenchuk, V.U., Mochalov, S.V., Buravkov, S.V., Kuzmin, I.V., ... and Tarasova, O.S. (2017). Strategies of adaptation of small arteries in diaphragm and gastrocnemius muscle to aerobic exercise training. *Human Physiology*. 43. 437–445.
- Borzykh, A.A., Shvetsova, A.A., Kuzmin, I.V., Buravkov, S.V., Gaynullina, D. K. and Tarasova, O.S. (2021). The Role of Reactive Oxygen Species in the Tone Regulation of Respiratory and Locomotor Muscle Arteries of the Rat. *Moscow University Biological Sciences Bulletin*. 76 (3). 111–117.
- Borzykh, A.A., Vinogradova, O.L. and Tarasova, O.S. (2020). Diaphragm: The relationship between blood supply regulation and characteristics of the contractile function. *Moscow University Biological Sciences Bulletin*. 75. 41–49.
- Bosch-Rué, E., Delgado, L.M., Gil, F.J. and Perez, R.A. (2020). Direct extrusion of individually encapsulated endothelial and smooth muscle cells mimicking blood vessel structures and vascular native cell alignment. *Biofabrication*. 13 (1). 015003.
- Bostancı, Ö., Kabadayı, M., Mayda, M.H., Yılmaz, A.K. and Yılmaz, C. (2019). The differential impact of several types of sports on pulmonary functions and respiratory muscle strength in boys aged 8–12. *Isokinetics and Exercise Science*. 27 (4). 307–312.
- Botton, C.E., Gama, M.C.T., Oliveira, C.B.T., de Oliveira, F.D.A. and Brusco, C.M. (2024). Post-activation performance enhancement, is this strategy recommended to increase the strength training volume? A systematic review. *Sport Sciences for Health*. 1–11.
- Boulet, L.M. (2024). *Assessment of the stability and quantification of agitated saline contrast to assess blood flow through intrapulmonary arteriovenous anastomoses*. Doctoral dissertation, University of British Columbia, Vancouver, Canada.
- Boulet, L.M., Cotton, P.D., Petrassi, F.A., Lovering, A.T. and Foster, G.E. (2023). Quantification of shunt fraction using contrast ultrasound and indicator dilution in an in vitro model. *Respiratory Physiology & Neurobiology*. 310. 104013.
- Boulet, L.M., Lovering, A.T., Tymko, M.M., Day, T.A., Stenbridge, M., Nguyen, T.A., ... and Foster, G.E. (2017). Reduced blood flow through intrapulmonary arteriovenous anastomoses during exercise in lowlanders acclimatizing to high altitude. *Experimental Physiology*. 102 (6). 670–683.
- Boulet, L.M., Vermeulen, T.D., Cotton, P.D. and Foster, G.E. (2020). Influence of blood Po₂ on the stability of agitated saline contrast. *Journal of Applied Physiology*. 129 (6). 1341–1347.

- Boullosa, D., Del Rosso, S., Behm, D.G. and Foster, C. (2018). Post-activation potentiation (PAP) in endurance sports: A review. *European Journal of Sport Science*. 18 (5). 595–610.
- Bourke, S.J., Burns, G.P. and Macfarlane, J.G. (2022). *Respiratory Medicine: Lecture Notes*. USA: John Wiley & Sons. 10. Baskı.
- Boushel, R., Ara, I., Gnaiger, E., Helge, J.W., González-Alonso, J., Munck-Andersen, T., ... and Calbet, J.A.L. (2014). Low-intensity training increases peak arm VO_2 by enhancing both convective and diffusive O_2 delivery. *Acta Physiologica*. 211 (1). 122–134.
- Boussana, A., Galy, O., Le Gallais, D. and Hue, O. (2021). The Effect of an Olympic Distance Triathlon on Pulmonary Diffusing Capacity and its Recovery 24 Hours Later. *Journal of Human Kinetics*. 80 (1). 83–92.
- Bousseau, S., Fais, R.S., Gu, S., Frump, A. and Lahm, T. (2023). Pathophysiology and new advances in pulmonary hypertension. *BMJ Medicine*. 2 (1).
- Bouwsema, M.M., Tedjasaputra, V. and Stickland, M.K. (2017). Are there sex differences in the capillary blood volume and diffusing capacity response to exercise?. *Journal of Applied Physiology*. 122 (3). 460–469.
- Bovard, J.M., Welch, J.F., Houghton, K.M., McKenzie, D.C., Potts, J.E. and Sheel, A.W. (2018). Does competitive swimming affect lung growth?. *Physiological Reports*. 6 (15). e13816.
- Bowdish, D.M. (2019). The aging lung: is lung health good health for older adults?. *Chest*. 155 (2). 391–400.
- Boyle, K.G., Mitchell, R.A., Ramsook, A.H., Schaeffer, M.R., Koehle, M.S., Sheel, A.W. and Guenette, J.A. (2020). The effect of diaphragm fatigue on the multidimensional components of dyspnoea and diaphragm electromyography during exercise in healthy males. *The Journal of Physiology*. 598 (15). 3223–3237.
- Braschler, L., Nikolaidis, P.T., Thuany, M., Chlábková, D., Rosemann, T., Weiss, K., ... and Knechtel, B. (2025). Physiology and Pathophysiology of Marathon Running: A narrative Review. *Sports Medicine-Open*. 11 (1). 10.
- Brighenti, A., Noé, F., Stella, F., Schena, F. and Mourot, L. (2022). Warm-Up Improves Balance Control Differently in the Dominant and Non-Dominant Leg in Young Sportsmen According to Their Experience in Asymmetric or Symmetric Sports. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 19 (8). 4562.
- Brinkman JE, Sharma S. (2023). Physiology, Pulmonary. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. Retrieved February 19, 2025, from <https://europepmc.org/article/NBK/nbk482426>

- Briskey, D.R., Vogel, K., Johnson, M.A., Sharpe, G.R., Coombes, J.S. and Mills, D.E. (2020). Inspiratory flow-resistive breathing, respiratory muscle-induced systemic oxidative stress, and diaphragm fatigue in healthy humans. *Journal of Applied Physiology*. 129 (1). 185–193.
- Brotto, A.R., de Waal, S., D’Souza, A.W., Beaudry, R.I., Ehnes, C.M., Collins, S. É., ... and Stickland, M.K. (2025). Impact of body posture on pulmonary diffusing capacity at rest and during exercise in endurance-trained and untrained individuals. *Journal of Applied Physiology*. 138 (1). 301–310.
- Brotto, A.R., Phillips, D.B., Meah, V.L., Ross, B.A., Fuhr, D.P., Beaudry, R.I., ... and Stickland, M.K. (2022). Inhaled nitric oxide does not improve maximal oxygen consumption in endurance trained and untrained healthy individuals. *European Journal of Applied Physiology*. 122 (3). 703–715.
- Bruce, R.M., Turner, A. and White, M.J. (2016). Ventilatory responses to muscle metaboreflex activation in chronic obstructive pulmonary disease. *The Journal of Physiology*. 594 (20). 6025–6035.
- Burnham, K.J., Arai, T.J., Dubowitz, D.J., Henderson, A.C., Holverda, S., Buxton, R.B., ... and Hopkins, S.R. (2009). Pulmonary perfusion heterogeneity is increased by sustained, heavy exercise in humans. *Journal of Applied Physiology*. 107 (5). 1559–1568.
- Burtch, A.R., Ogle, B.T., Sims, P.A., Harms, C.A., Symons, T.B., Folz, R.J. and Zavorsky, G.S. (2017). Controlled frequency breathing reduces inspiratory muscle fatigue. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 31 (5). 1273–1281.
- Bushman, B.A. (2024). The Value of Warm-Up and Cool-Down. *ACSM’s Health & Fitness Journal*. 28 (2). 6–9.
- Cabral, E.E., Fregonezi, G.A., Melo, L., Basoudan, N., Mathur, S. and Reid, W.D. (2018). Surface electromyography (sEMG) of extradiaphragm respiratory muscles in healthy subjects: A systematic review. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 42. 123–135.
- Cairns, S.P. and Borrani, F. (2015). β -Adrenergic modulation of skeletal muscle contraction: key role of excitation–contraction coupling. *The Journal of Physiology*. 593 (21). 4713–4727.
- Calbet, J.A., Gonzalez-Alonso, J., Helge, J.W., Søndergaard, H., Munch-Andersen, T., Boushel, R. and Saltin, B. (2007). Cardiac output and leg and arm blood flow during incremental exercise to exhaustion on the cycle ergometer. *Journal of Applied Physiology*. 103 (3). 969–978.
- Calbet, J.A.L., Gonzalez-Alonso, J., Helge, J.W., Søndergaard, H., Munch-Andersen, T., Saltin, B. and Boushel, R. (2015). Central and peripheral hemodynamics in

- exercising humans: leg vs arm exercise. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 25 (4). 144–157.
- Campoi, H.G., Campoi, E.G., Lopes, R.F., Alves, S.A., Regueiro, E.M., Regalo, S.C., ... and Fabrin, S.C. (2019). Effects of physical activity on aerobic capacity, pulmonary function and respiratory muscle strength of football athletes and sedentary individuals. Is there a correlation between these variables. *Journal of Physical Education and Sport*. 19 (4). 2466–2471.
- Capuano, F., Loke, Y.H. and Balaras, E. (2019). Blood flow dynamics at the pulmonary artery bifurcation. *Fluids*. 4 (4). 190.
- Cardenas, L.Z., Santana, P.V., Caruso, P., de Carvalho, C.R.R. and de Albuquerque, A.L.P. (2018). Diaphragmatic ultrasound correlates with inspiratory muscle strength and pulmonary function in healthy subjects. *Ultrasound in Medicine & Biology*. 44 (4). 786–793.
- Carmo, A.A., Goulart, K.N., Cabido, C.E., Martins, Y.A., Santos, G.C., Shang, F. L., ... and Wanner, S.P. (2023). Active warm-up and time-of-day effects on repeated-sprint performance and post-exercise recovery. *European Journal of Applied Physiology*. 123 (1). 49–64.
- Carvajal-Tello, N., Ortega, J.G., Caballero-Lozada, A.F., Devia-Quiñonez, M.J., González-Calzada, I., Rojas-Hernández, D. and Segura-Ordoñez, A. (2024). Effects of inspiratory muscle training on lung function parameter in swimmers: a systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Sports and Active Living*. 6. 1429902.
- Casitas, R., Galera, R., Torres-Vargas, M., Garcia-Tovar, S., Alfaro, E., Díaz-Garcia, E., ... and García-Río, F. (2024). Medium-Term Disability and Long-Term Functional Impairment Persistence in Survivors of Severe COVID-19 ARDS: Clinical and Physiological Insights. *Archivos de Bronconeumología*. 60 (10). 619–626.
- Cave, C., Samano, D., Sharma, A.M., Dickinson, J., Salomon, J. and Mahapatra, S. (2024). Acute respiratory distress syndrome: A review of ARDS across the life course. *Journal of Investigative Medicine*. 10815589241270612.
- Chai, T., Qiu, C., Xian, Z., Lu, Y., Zeng, Y. and Li, J. (2022). A narrative review of research advances in hypoxic pulmonary hypertension. *Annals of Translational Medicine*. 10 (4).
- Charloux, A., Enache, I., Richard, R., Oswald-Mammossier, M., Lonsdorfer-Wolf, E., Piquard, F. and Geny, B. (2010). Diffusing capacity of the lung for CO and pulmonary blood flow during incremental and intermittent exercise. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 20 (1). 121–129.
- Chen, C.H., Chang, C.K., Tseng, W.C., Chiu, C.H., Dai, X. and Ye, X. (2022). Acute effects of different warm-up protocols on sports performance in elite male

- collegiate handball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 36 (8). 2262–2267.
- Cheng, C.F., Tong, T.K., Kuo, Y.C., Chen, P.H., Huang, H.W. and Lee, C.L. (2013). Inspiratory muscle warm-up attenuates muscle deoxygenation during cycling exercise in women athletes. *Respiratory Physiology & Neurobiology*. 186 (3). 296–302.
- Cho, H.E. (2023). Understanding Changes in the Respiratory System with Ageing. *Annals of Cardiopulmonary Rehabilitation*. 3 (2). 27–34.
- Cho, S.J. and Stout-Delgado, H.W. (2020). Aging and lung disease. *Annual Review of Physiology*. 82 (1). 433–459.
- Cipryan, L., Tschakert, G. and Hofmann, P. (2017). Acute and post-exercise physiological responses to high-intensity interval training in endurance and sprint athletes. *Journal of Sports Science & Medicine*. 16 (2). 219.
- Cirino, C., Gobatto, C.A., Pinto, A.S., Torres, R.S., Hartz, C.S., Azevedo, P.H., ... and Manchado-Gobatto, F.B. (2021). Complex network model indicates a positive effect of inspiratory muscles pre-activation on performance parameters in a judo match. *Scientific Reports*. 11 (1). 11148.
- Cirino, C., Marostegan, A.B., Hartz, C.S., Moreno, M.A., Gobatto, C.A. and Manchado-Gobatto, F.B. (2023). Effects of inspiratory muscle warm-up on physical exercise: a systematic review. *Biology*. 12 (2). 333.
- Claessen, G. and La Gerche, A. (2017). Pulmonary vascular function during exercise: progressing toward routine clinical use. *Circulation: Cardiovascular imaging*. 10 (4). e006326.
- Clark, M.V. (2022). *Respiratory Care: Cardiopulmonary Anatomy & Physiology*. Burlington, MA: Jones & Bartlett Learning. 1. Baskı.
- Cloutier, M.M. (2018). *Respiratory physiology: Mosby Physiology Series*. Philadelphia: Elsevier Health Sciences. 2. Baskı.
- Coffman, K.E., Curry, T.B., Dietz, N.M., Chase, S.C., Carlson, A.R., Ziegler, B.L. and Johnson, B.D. (2018a). The influence of pulmonary vascular pressures on lung diffusing capacity during incremental exercise in healthy aging. *Physiological Reports*. 6 (2). e13565.
- Coffman, K.E., Boeker, M.G., Carlson, A.R. and Johnson, B.D. (2018b). Age-dependent effects of thoracic and capillary blood volume distribution on pulmonary artery pressure and lung diffusing capacity. *Physiological Reports*. 6 (17). e13834.
- Coffman, K.E., Carlson, A.R., Miller, A.D., Johnson, B.D. and Taylor, B.J. (2017). The effect of aging and cardiorespiratory fitness on the lung diffusing capacity

- response to exercise in healthy humans. *Journal of Applied Physiology*. 122 (6). 1425–1434.
- Cohen, J., Douma, W.R., Ten Hacken, N.H.T., Oudkerk, M. and Postma, D.S. (2008). Physiology of the small airways: A gender difference?. *Respiratory Medicine*. 102 (9). 1264–1271.
- Cohen, Z. (2021). Gas Exchange and Transport. Kacmarek, R.M., Stoller, J.K. and Heuer, A. (eds). in: *Egan's fundamentals of respiratory Care*. (s. 246–267). St. Louis, Missouri: Elsevier. 12. Baskı.
- Collins, S.É., Kirby, M., Smith, B.M., Tan, W., Bourbeau, J., Thompson, S., ... and Canadian Respiratory Research Network. (2025). Relationship of Pulmonary Vascular Structure and Function With Exercise Capacity in Health and COPD. *Chest*. 167 (2). 402–413.
- Connes, P., Brun, J.F. and Baskurt O.K. (2010). Blood rheology and exercise. Connes P, Hue O, Perrey S, (eds). in: *Exercise Physiology: From a Cellular to an Integrative Approach*. (s. 213–229). Amsterdam, Netherlands: IOS Press. 1. Baskı
- Constantini, K., Tanner, D.A., Gavin, T.P., Harms, C.A., Stager, J.M. and Chapman, R.F. (2017). Prevalence of exercise-induced arterial hypoxemia in distance runners at sea level. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 49. 948–954.
- Conti, V., Migliorini, F., Pilone, M., Barriopedro, M.I., Ramos-Álvarez, J.J., Montero, F.J.C. and Maffulli, N. (2021). Right heart exercise-training-adaptation and remodelling in endurance athletes. *Scientific Reports*. 11 (1). 22532.
- Cowper, G., Goodall, S., Hicks, K., Burnie, L. and Briggs, M. (2022). The impact of passive heat maintenance strategies between an active warm-up and performance: a systematic review and meta-analysis. *BMC Sports Science, Medicine & Rehabilitation*. 14 (1). 154.
- Crispino, S.P., Segreti, A., La Porta, Y., Liporace, P., Carpenito, M., Cammalleri, V. and Grigioni, F. (2024). A sudden right-to-left shunt: the importance of evaluating patent foramen ovale during exercise. *Monaldi Archives for Chest Disease*. 94 (1).
- Csecs, I., Czimbalmos, C., Toth, A., Dohy, Z., Suhai, I.F., Szabo, L., ... and Vago, H. (2020). The impact of sex, age and training on biventricular cardiac adaptation in healthy adult and adolescent athletes: cardiac magnetic resonance imaging study. *European Journal of Preventive Cardiology*. 27 (5). 540–549.
- Cuenca-Fernández, F., Smith, I.C., Jordan, M.J., MacIntosh, B.R., López-Contreras, G., Arellano, R. and Herzog, W. (2017). Nonlocalized postactivation performance enhancement (PAPE) effects in trained athletes: a pilot study. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. 42 (10). 1122–1125.

- Cutuli, S.L., Grieco, D.L., Michi, T., Cesarano, M., Rosà, T., Pintaudi, G., ... and Antonelli, M. (2023). Personalized respiratory support in ARDS: a physiology-to-bedside review. *Journal of Clinical Medicine*. 12 (13). 4176.
- Czelusniak, O., Favreau, E. and Ives, S.J. (2021). Effects of warm-up on sprint swimming performance, rating of perceived exertion, and blood lactate concentration: A systematic review. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*. 6 (4). 85.
- Çelik, M.A., Özdal, M. and Vural, M. (2021). The effect of inspiratory muscle warm-up protocol on acceleration and maximal speed in 12-14 years old children. *European Journal of Physical Education and Sport Science*. 6 (11).
- D'Silva, A. and Sharma, S. (2019). Cardiovascular response induced by exercise. Pelliccia, A., Heidbuchel, H., Corrado, D., Borjesson, B., Sharma, S. (eds.). in: *The ESC Textbook of Sports Cardiology*. (s. 3–8). UK: Oxford University Press. 1. Baskı.
- D'Souza, A.W., Brotto, A.R., Hicks, B., Bok, E., Weatherald, J., Van Diepen, S. and Stickland, M.K. (2025). Pulmonary capillary blood volume and diffusing membrane capacity during exercise in humans: role of pulmonary artery pressure. *American Journal of Physiology-Lung Cellular and Molecular Physiology*. 328 (5). 631–637.
- Da Fonsêca, J.D.M., Resqueti, V.R., Benício, K., Fregonezi, G. and Aliverti, A. (2019). Acute effects of inspiratory loads and interfaces on breathing pattern and activity of respiratory muscles in healthy subjects. *Frontiers in Physiology*. 10. 993.
- Dalen, H., Letnes, J.M., Hoydal, M.A. and Wisløff, U. (2024). Diastolic function and dysfunction in athletes. *European Heart Journal-Cardiovascular Imaging*. 25 (11). 1537–1545.
- Danek, N., Michalik, K. and Zatoń, M. (2022). Warm-Up With Added Respiratory Dead Space Volume Mask Improves the Performance of the Cycling Sprint Interval Exercise: Cross-Over Study. *Frontiers in Physiology*. 13. 812221.
- Danek, N., Szczepan, S., Wróblewska, Z., Michalik, K. and Zatoń, M. (2025). Hypercapnic warm-up and re-warm-up—A novel experimental approach in swimming sprint. *PloS One*. 20 (1). e0314089.
- Daneshjoo, A., Hoseinpour, A., Sadeghi, H., Kalantari, A. and Behm, D.G. (2022). The effect of a handball warm-up program on dynamic balance among elite adolescent handball players. *Sports*. 10 (2). 18.
- Davis, A.C., Emptage, N.P., Pounds, D., Woo, D., Sallis, R., Romero, M. G. and Sharp, A.L. (2021). The effectiveness of neuromuscular warmups for lower extremity injury prevention in basketball: A systematic review. *Sports Medicine-Open*. 7. 1–14.

- Davis, J.T., Elliott, J.E., Duke, J.W., Cristobal, A. and Lovering, A.T. (2023). Hyperoxia-induced stepwise reduction in blood flow through intrapulmonary, but not intracardiac, shunt during exercise. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*. 325 (1). 96–105.
- Dawkins, T.G., Curry, B.A., Drane, A.L., Lord, R.N., Richards, C.T., Lodge, F. M., ... and Stembridge, M. (2022). Evidence of region-specific right ventricular functional adaptation in endurance-trained men in response to an acute volume infusion. *Experimental Physiology*. 107 (1). 6–15.
- Dawson, E.A., Sheikhsaraf, B., Boidin, M., Erskine, R.M. and Thijssen, D.H. (2021). Intra-individual differences in the effect of endurance versus resistance training on vascular function: A cross-over study. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 31 (8). 1683–1692.
- De Martino, F. and Agostoni, P. (2022). Insight ventilation perfusion inefficiency in patients with heart failure with preserved ejection fraction. *Chest*. 162 (6). 1233–1235.
- de Roos, M.P., Heijnen, R.M., Dijkstra, N.G., Brinkman, K., Jonkman, N.H. and Bresser, P. (2024). Two-year diffusion capacity trajectory in COVID-19 pneumonia survivors. *Chronic Respiratory Disease*. 21. 14799731231222284.
- De Sire, A., Demeco, A., Marotta, N., Moggio, L., Palumbo, A., Iona, T. and Ammendolia, A. (2021). Anterior cruciate ligament injury prevention exercises: Could a neuromuscular warm-up improve muscle pre-activation before a soccer game? a proof-of-principle study on professional football players. *Applied Sciences*. 11 (11). 4958.
- De Troyer, A. and Boriek, A.M. (2011). Mechanics of the respiratory muscles. *Comprehensive Physiology*. 1 (3). 1273–1300.
- De Troyer, A. and Wilson, T.A. (2015). Mechanism of the increased rib cage expansion produced by the diaphragm with abdominal support. *Journal of Applied Physiology*. 118 (8). 989–995.
- De Troyer, A. and Wilson, T.A. (2016). Action of the diaphragm on the rib cage. *Journal of Applied Physiology*. 121 (2). 391–400
- Degens, H., Rittweger, J., Parviainen, T., Timonen, K. L., Suominen, H., Heinonen, A. and Korhonen, M.T. (2013a). Diffusion capacity of the lung in young and old endurance athletes. *International Journal of Sports Medicine*. 34 (12). 1051–1057.
- Degens, H., Maden-Wilkinson, T.M., Ireland, A., Korhonen, M.T., Suominen, H., Heinonen, A., ... and Rittweger, J. (2013b). Relationship between ventilatory function and age in master athletes and a sedentary reference population. *Age*. 35. 1007–1015.

- Degens, H., Stasiulis, A., Skurvydas, A., Statkeviciene, B. and Venckunas, T. (2019). Physiological comparison between non-athletes, endurance, power and team athletes. *European Journal of Applied Physiology*. 119. 1377–1386.
- Delcroix, M., Torbicki, A., Gopalan, D., Sitbon, O., Klok, F.A., Lang, I., ... and Simonneau, G. (2021). ERS statement on chronic thromboembolic pulmonary hypertension. *European Respiratory Journal*. 57 (6).
- Deliceoğlu, G., Kabak, B., Çakır, V.O., Ceylan, H.İ., Raul-Ioan, M., Alexe, D. I. and Stefanica, V. (2024). Respiratory muscle strength as a predictor of VO_{2max} and aerobic endurance in competitive athletes. *Applied Sciences*. 14 (19). 8976.
- Dempsey, J.A. (2019). Respiratory determinants of exercise limitation: focus on phrenic afferents and the lung vasculature. *Clinics in Chest Medicine*. 40 (2). 331–342.
- Dempsey, J.A., Adams, L., Ainsworth, D.M., Fregosi, R.F., Gallagher, C.G., Guz, A., ... and Powers, S.K. (2011). Airway, lung, and respiratory muscle function during exercise. *Comprehensive physiology*. 448–514.
- Dempsey, J.A., La Gerche, A. and Hull, J.H. (2020). Is the healthy respiratory system built just right, overbuilt, or underbuilt to meet the demands imposed by exercise?. *Journal of Applied Physiology*. 129: 1235–1256.
- Depiazzi, J. and Everard, M.L. (2016). Dysfunctional breathing and reaching one's physiological limit as causes of exercise-induced dyspnoea. *Breathe*. 12 (2). 120–129.
- Diamanti, E., Karava, V., Yerly, P. and Aubert, J.D. (2021). Carbon monoxide diffusion capacity as a severity marker in pulmonary hypertension. *Journal of Clinical Medicine*. 11 (1). 132.
- Dickinson, J., Amirav, I. and Hostrup, M. (2018). Nonpharmacologic strategies to manage exercise-induced bronchoconstriction. *Immunology and Allergy Clinics*. 38 (2). 245–258.
- Dickinson, J.W and Boniface, A. (2020). Breathing Pattern Disorders in Athletes. Dickinson, J.W., Hull, J.H. (eds). in: *Complete Guide to Respiratory Care in Athletes* (s. 147–169). New York:Routledge.
- Ding, L., Luo, J., Smith, D.M., Mackey, M., Fu, H., Davis, M. and Hu, Y. (2022). Effectiveness of warm-up intervention programs to prevent sports injuries among children and adolescents: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 19 (10). 6336.
- Domenech-Ximenos, B., Garza, M.S.D.L., Prat-González, S., Sepúlveda-Martínez, Á., Crispi, F., Perea, R.J., ... and Sitges, M. (2020). Exercise-induced cardio-pulmonary remodelling in endurance athletes: Not only the heart adapts. *European Journal of Preventive Cardiology*. 27 (6). 651–659.

- Dominelli, P.B. and Molgat-Seon, Y. (2022). Sex, gender and the pulmonary physiology of exercise. *European Respiratory Review*. 31(163).
- Dominelli, P.B. and Sheel, A.W. (2019). Exercise-induced arterial hypoxemia; some answers, more questions. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. 44 (6). 571–579.
- Dominelli, P.B. and Sheel, A.W. (2024). The pulmonary physiology of exercise. *Advances in Physiology Education*. 48 (2). 238–251.
- Dominelli, P.B., Molgat-Seon, Y., Griesdale, D.E., Peters, C.M., Blouin, J.S., Sekhon, M., ... and Sheel, A.W. (2017a). Exercise-induced quadriceps muscle fatigue in men and women: effects of arterial oxygen content and respiratory muscle work. *The Journal of Physiology*. 595 (15). 5227–5244.
- Dominelli, P.B., Archiza, B., Ramsook, A.H., Mitchell, R.A., Peters, C.M., Molgat-Seon, Y., ... and Sheel, A.W. (2017b). Effects of respiratory muscle work on respiratory and locomotor blood flow during exercise. *Experimental Physiology*. 102 (11). 1535–1547.
- Dominelli, P.B., Katayama, K., Vermeulen, T.D., Stuckless, T.J., Brown, C.V., Foster, G.E. and Sheel, A.W. (2019). Work of breathing influences muscle sympathetic nerve activity during semi-recumbent cycle exercise. *Acta Physiologica*. 225 (4). e13212.
- Dominelli, P.B., Render, J.N., Molgat-Seon, Y., Foster, G.E., Romer, L.M. and Sheel, A.W. (2015). Oxygen cost of exercise hyperpnoea is greater in women compared with men. *The Journal of Physiology*. 593 (8). 1965–1979.
- Dominelli, P.B., Ripoll, J.G., Cross, T.J., Baker, S.E., Wiggins, C.C., Welch, B.T. and Joyner, M.J. (2018). Sex differences in large conducting airway anatomy. *Journal of Applied Physiology*. 125. 960–965.
- Dong, S.J., Wang, L., Chitano, P., Coxson, H.O., Paré, P.D. and Seow, C.Y. (2021). Airway diameter at different transpulmonary pressures in ex vivo sheep lungs: implications for deep inspiration-induced bronchodilation and bronchoprotection. *American journal of physiology. Lung Cellular and Molecular Physiology*. 321 (4). 663–674.
- Donley ER, Holme MR, Loyd JW. (2024). *Anatomy, Thorax, Wall Movements*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. Retrieved February 19, 2025, from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK526023/>.
- Dorđević-Šaranović, S., Vičić, J., Pešić, I., Tomović, M., Batinić, Đ., Antić, M., ... and Mazić, S. (2019). The influence of tobacco use on pulmonary function in elite athletes. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 16 (19). 3515.
- Dores, H., Mendes, M., Abreu, A., Durazzo, A., Rodrigues, C., Vilela, E., ... and Santos, M. (2024). Cardiopulmonary exercise testing in clinical practice:

- Principles, applications, and basic interpretation. *Revista Portuguesa de Cardiologia*. 43 (9). 525–536.
- Dridi, R., Dridi, N., Gmada, N., Laher, I., Saeidi, A., Granacher, U. and Zouhal, H. (2023). Regular soccer training improves pulmonary diffusion capacity in 6 to 10 year old boys. *BMC Sports Science, Medicine & Rehabilitation*. 15 (1). 146.
- Dridi, R., Dridi, N., Govindasamy, K., Gmada, N., Aouadi, R., Guénard, H., ... and Zouhal, H. (2021). Effects of endurance training intensity on Pulmonary Diffusing Capacity at Rest and after maximal Aerobic Exercise in Young athletes. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 18 (23). 12359.
- Dridi, R., Glenet, S., Tabka, Z., Amri, M. and Guénard, H. (2006). Effects of a basketball activity on lung capillary blood volume and membrane diffusing capacity, measured by NO/CO transfer in children. *Journal of Sports Science & Medicine*. 5 (3). 431.
- Ducrocq, G.P., Anselmi, L., Ruiz-Velasco, V. and Kaufman, M.P. (2024). Lactate and hydrogen ions play a predominant role in evoking the exercise pressor reflex during ischaemic contractions but not during freely perfused contractions. *The Journal of Physiology*.
- Duke, J.W., Davis, J.T., Ryan, B.J., Elliott, J.E., Beasley, K.M., Hawn, J.A., ... and Lovering, A.T. (2016). Decreased arterial, not O₂ content, increases blood flow through intrapulmonary arteriovenous anastomoses at rest. *The Journal of Physiology*. 594 (17). 4981–4996.
- Durand, F., Gaston, A.F., Vicenzi, M., Deboeck, G., Subirats, E. and Faoro, V. (2020). Noninvasive pulmonary hemodynamic evaluation in athletes with exercise-induced hypoxemia. *Chest*. 157 (6). 1568–1578.
- Durmic, T., Popovic, B.L., Svenda, M.Z., Djelic, M., Zugic, V., Gavrilovic, T., ... and Leischik, R. (2017). The training type influence on male elite athletes' ventilatory function. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*. 3(1). e000240.
- Ehlert, A. and Wilson, P.B. (2019). A systematic review of golf warm-ups: Behaviors, injury, and performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 33 (12). 3444–3462.
- Ehnes, C., Collins, S., Brotto, A., Fuhr, D., Thompson, S., van Diepen, S. and Stickland, M. (2024). Is improved pulmonary vasodilation why endurance trained individuals have elevated diffusing capacity compared to untrained individuals?. *Physiology*. 39 (1). 2093.
- Eichenberger, P.A., Scherer, T.A. and Spengler, C.M. (2016). Pre-exercise hyperpnea attenuates exercise-induced bronchoconstriction without affecting performance. *PloS One*. 11 (11). e0167318.

- Elia, A. and Lemaître, F. (2025). The application of breath-holding in sports: physiological effects, challenges, and future directions. *European Journal of Applied Physiology*. 1–17.
- Elkins, M.R. and Brannan, J.D. (2013). Warm-up exercise can reduce exercise-induced bronchoconstriction. *British Journal of Sports Medicine*. 47 (10). 657–658.
- Elliott, J.E., Duke, J.W., Hawn, J.A., Halliwill, J.R. and Lovering, A.T. (2014). Increased cardiac output, not pulmonary artery systolic pressure, increases intrapulmonary shunt in healthy humans breathing room air and 40% O₂. *The Journal of Physiology*. 592 (20). 4537–4553.
- Emery, C.A., Owøye, O.B., Räsänen, A.M., Befus, K., Hubkarao, T., Palacios-Derflinger, L. and Pasanen, K. (2022). The “shred injuries basketball” neuromuscular training warm-up program reduces ankle and knee injury rates by 36% in youth basketball. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*. 52 (1) 40–48.
- Esteban-García, P., Abián-Vicen, J., Sánchez-Infante, J., Ramírez-delaCruz, M. and Rubio-Arias, J.Á. (2024). Does the Inclusion of Static or Dynamic Stretching in the Warm-Up Routine Improve Jump Height and ROM in Physically Active Individuals? A Systematic Review with Meta-Analysis. *Applied Sciences*. 14 (9). 3872.
- Eyuboglu, F.E. (2023). Circulatory System and Its Adaptation to Exercise. Utlu, D.K. (eds). in: *Functional Exercise Anatomy and Physiology for Physiotherapists*. (s. 447–472). Cham: Springer Nature.
- Faelli, E., Panasci, M., Ferrando, V., Bisio, A., Filipas, L., Ruggeri, P. and Bove, M. (2021). The effect of static and dynamic stretching during warm-up on running economy and perception of effort in recreational endurance runners. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 18 (16). 8386.
- Faghy, M.A. and Brown, P.I. (2017). Whole-body active warm-up and inspiratory muscle warm-up do not improve running performance when carrying thoracic loads. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. 42 (8). 810–815.
- Fairbank, M., Highton, J. and Twist, C. (2021). Passive heat maintenance after an initial warm-up improves high-intensity activity during an interchange rugby league movement simulation protocol. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 35 (7). 1981–1986.
- Faoro, V. and Forton, K. (2020). Pulmonary vascular reserve and aerobic exercise capacity. Aslanidis, T. (eds). in: *Interventional Pulmonology and Pulmonary Hypertension-Updates on Specific Topics*. (s. 59–77). London, UK: IntechOpen.

- Faoro, V., Deboeck, G., Vicenzi, M., Gaston, A.F., Simaga, B., Doucende, G., ... and Naeije, R. (2017). Pulmonary vascular function and aerobic exercise capacity at moderate altitude. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 49 (10). 2131–2138.
- Farrell, S. and Curley, G.F. (2021). Respiration: ventilation. *Anaesthesia & Intensive Care Medicine*. 22 (3). 179–184.
- Farrow, C.E., Robles, R.A., Prisk, G.K., Harbut, P., Malhotra, A., Amis, T.C., ... and Kairaitis, K. (2023). Increased intrapulmonary shunt and alveolar dead space post-COVID-19. *Journal of Applied Physiology*. 135 (5). 1012–1022.
- Faulkner, S.H., Ferguson, R.H., Gerrett, N., Hupperets, M., Hodder, S.G. and Havenith, G. (2013). Reducing muscle temperature drop after warm-up improves sprint cycling performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 45 (2). 359–365.
- Fernandes, T.M., Alotaibi, M., Strozza, D.M., Stringer, W.W., Porszasz, J., Faulkner, G.G., ... and Morris, T.A. (2020). Dyspnea postpulmonary embolism from physiological dead space proportion and stroke volume defects during exercise. *Chest*. 157 (4). 936–944.
- Fernandez-Fernandez, J., García-Tormo, V., Santos-Rosa, F.J., Teixeira, A.S., Nakamura, F.Y., Granacher, U. and Sanz-Rivas, D. (2020). The effect of a neuromuscular vs. dynamic warm-up on physical performance in young tennis players. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 34 (10). 2776–2784.
- Fernández-Lázaro, D., Gallego-Gallego, D., Corchete, L.A., Fernandez Zoppino, D., González-Bernal, J.J., García Gómez, B. and Mielgo-Ayuso, J. (2021). Inspiratory muscle training program using the powerbreath®: Does it have ergogenic potential for respiratory and/or athletic performance? a systematic review with meta-analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 18 (13). 6703.
- Ferretti, G., Fagoni, N., Taboni, A., Vinetti, G. and di Prampero, P.E. (2022). A century of exercise physiology: key concepts on coupling respiratory oxygen flow to muscle energy demand during exercise. *European Journal of Applied Physiology*. 122 (6). 1317–1365.
- Finlay, M.J., Bridge, C.A., Greig, M. and Page, R.M. (2022). Upper-body post-activation performance enhancement for athletic performance: a systematic review with meta-analysis and recommendations for future research. *Sports Medicine*. 52 (4). 847–871.
- Fiorilli, G., Quinzi, F., Buonsenso, A., Di Martino, G., Centorbi, M., Giombini, A., ... and di Cagno, A. (2020). Does warm-up type matter? A comparison between traditional and functional inertial warm-up in young soccer players. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*. 5 (4). 84

- Fischer, J. and Paternoster, F.K. (2024). Post-Activation-Performance Enhancement: Possible Contributing Factors. *Journal of Sports Science & Medicine*. 23 (1). 34.
- Fitzgerald, N.M., Kennedy, B., Fitzgerald, D.A. and Selvadurai, H. (2014). Diffusion capacity of carbon monoxide (DLCO) pre-and post-exercise in children in health and disease. *Pediatric Pulmonology*. 49 (8). 782–789.
- Fitzpatrick, D., and Eastwood, D., Hull, J. (2023). Respiratory. Eastwood, D. and Vishnubala, D. (eds). in: *Sport and Exercise Medicine: An Essential Guide*. (s. 162–172). UK: CRC Press. 1. Baskı.
- Flaherty, J.M., Smoliga, J.M. and Zavorsky, G.S. (2014). The effect of increased physical activity on pulmonary diffusing capacity in unfit women. *Experimental Physiology*. 99 (3). 562–570.
- Florio, G., Zanella, A., Slobod, D., Guzzardella, A., Protti, I., Carlesso, E., ... and Grasselli, G. (2024). Impact of Positive End-Expiratory Pressure and FiO₂ on Lung Mechanics and Intrapulmonary Shunt in Mechanically Ventilated Patients with ARDS Due to COVID-19 Pneumonia. *Journal of Intensive Care Medicine*. 39 (5). 420–428.
- Forton, K., Motoji, Y., Caravita, S., Faoro, V. and Naeije, R. (2020). Exercise stress echocardiography of the pulmonary circulation and right ventricular-arterial coupling in healthy adolescents. *European Heart Journal-Cardiovascular Imaging*. 22 (6). 688–694.
- Foster, G.E. (2019). Measuring blood flow through intrapulmonary and intracardiac shunts: a technical labyrinth. *The Journal of Physiology*. 597 (22). 5315–5316.
- Foster, G.E., Ainslie, P.N., Stenbridge, M., Day, T.A., Bakker, A., Lucas, S.J., ... and Lovering, A.T. (2014). Resting pulmonary haemodynamics and shunting: a comparison of sea-level inhabitants to high altitude Sherpas. *The Journal of physiology*. 592 (6). 1397–1409.
- Fradkin, A.J., Zazryn, T.R. and Smoliga, J.M. (2010). Effects of warming-up on physical performance: a systematic review with meta-analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 24 (1). 140–148.
- Fragoso, C.A.V., Cain, H.C., Casaburi, R., Lee, P.J., Iannone, L., Leo-Summers, L.S. and Van Ness, P.H. (2017). Spirometry, static lung volumes, and diffusing capacity. *Respiratory Care*. 62 (9). 1137–1147.
- Frisiras, C.E., Schoeberlein, M.I., Nicol, C.I., Chapman, J. and Coffman, K.E. (2023). Elevated Lung Diffusing Capacity (DLCO) During Exercise in the Heat. *International Journal of Exercise Science: Conference Proceedings*. Available at: <https://digitalcommons.wku.edu/ijesab/vol8/iss11/11>
- Fujii, N., Fujisawa, K., Dobashi, K., Cao, Y., Matsutake, R., Lai, Y. F. and Nishiyasu, T. (2023). Effects of high-intensity exercise repetition number during warm-up

- on physiological responses, perceptions, readiness, and performance. *Research Quarterly for Exercise and Sport*. 94 (1). 163–172.
- Gabler, M.C., Martin, B.J., Johnson, B.D., Schlader, Z.J., and Chapman, R.F. (2025). Inspiratory Muscle Warm-Up and Perceptual, Physiological, and Performance Outcomes During Exercise in Normoxia and Hypoxia. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 1(aop). 1-9.
- Gallardo, P., Giakas, G., Sakkas, G.K. and Tsaklis, P.V. (2024). Are Surface Electromyography Parameters Indicative of Post-Activation Potentiation/Post-Activation Performance Enhancement, in Terms of Twitch Potentiation and Voluntary Performance? A Systematic Review. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*. 9 (2). 106.
- Gallardo-Vara, E., Ntokou, A., Dave, J.M., Jovin, D.G., Saddouk, F.Z. and Greif, D.M. (2023). Vascular pathobiology of pulmonary hypertension. *The Journal of Heart and Lung Transplantation* . 42 (5). 544–552.
- Galy, O., Maimoun, L., Coste, O., Manetta, J., Boussana, A., Préfaut, C. and Hue, O. (2013). Aggravation of pulmonary diffusing capacity in highly trained athletes by 6 weeks of low-volume, low-intensity training. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 8 (6). 648–662.
- Gamma, S.C., Baker, R., May, J., Seegmiller, J.G., Nasypany, A. and Iorio, S.M. (2020). Comparing the immediate effects of a total motion release warm-up and a dynamic warm-up protocol on the dominant shoulder in baseball athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 34 (5). 1362–1368.
- Gao, Y. (2022). Pulmonary Vasoreactivity. in: *Biology of Vascular Smooth Muscle: Vasoconstriction and Dilatation*. (s. 353–377). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Garbisu-Hualde, A. and Santos-Concejero, J. (2021). Post-activation potentiation in strength training: A systematic review of the scientific literature. *Journal of Human Kinetics*. 78. 141.
- García, I., Drobic, F., Arrillaga, B., Pons, V. and Viscor, G. (2021a). Lung capacity and alveolar gas diffusion in aquatic athletes: implications for performance and health. *Apunts Sports Medicine*. 56 (209). 100339.
- García, I., Drobic, F., Pons, V. and Viscor, G. (2021b). Changes in lung diffusing capacity of elite artistic swimmers during training. *International Journal of Sports Medicine*. 42 (03). 227–233.
- García, I., Drobic, F., Pons, V. and Viscor, G. (2021c). Acute changes in lung diffusing capacity after training in elite swimmers. *Archivos de bronconeumologia*. 57 (4). 306–307.

- García, I., Drobnic, F., Pons, V. and Viscor, G. (2021d). Swimming exercise transiently decrease lung diffusing capacity in elite swimmers. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 61 (5). 666–72.
- Garcia, J.G.N. (2016). Pulmonary Circulation and Regulation of Fluid Balance. Broaddus, V.C., Ernst, J.D., King Jr, T.E., Lazarus, S.C., Sarmiento, K.F., Schnapp, L.M., ... and Gotway, M.B. (eds). in: *Murray & Nadel's textbook of respiratory medicine* (s. 92–110). Philadelphia, PA: Elsevier Health Sciences. 6. Baskı.
- Gardenhire, D.S. (2024). Central and Peripheral Nervous Systems. Gardenhire, D.S. (eds.). in: *Rau's Respiratory Care Pharmacology*. (s. 71–88). St. Louis, Missouri: Elsevier. 11. Baskı.
- Gargani, L., Pugliese, N.R., De Biase, N., Mazzola, M., Agoston, G., Arcopinto, M., ... and Bossone, E. (2023). Exercise stress echocardiography of the right ventricle and pulmonary circulation. *Journal of the American College of Cardiology*. 82 (21). 1973–1985.
- Gaylord, J.N., Schaaf, S. and Frederick, E. (2023). Exercise-induced dyspnea in collegiate athletes: are we missing the diagnosis?. *Journal of Voice*. 37 (5). 722–728.
- Geary, C.M., Welch, J.F., McDonald, M.R., Peters, C.M., Leahy, M.G., Reinhard, P.A. and Sheel, A.W. (2019). Diaphragm fatigue and inspiratory muscle metaboreflex in men and women matched for absolute diaphragmatic work during pressure-threshold loading. *The Journal of Physiology*. 597 (18). 4797–4808.
- Ghio, S., Schirinzi, S. and Pica, S. (2015). Pulmonary arterial compliance: how and why should we measure it?. *Global Cardiology Science & Practice*. 2015 (4). 58.
- Gibala, M.J. and MacInnis, M.J. (2022). Physiological basis of brief, intense interval training to enhance maximal oxygen uptake: a mini-review. *American Journal of Physiology-Cell physiology*. 323 (5). 1410–1416
- Gibb, A.A., Fulghum, K., Hill, B.G., Quindry, J. and Lopaschuk, G.D. (2022). Influence of exercise on cardiac metabolism and resilience. in: *Exercise Metabolism* (s. 263–293). Cham: Springer International Publishing.
- Gil, M.H., Neiva, H.P., Sousa, A.C., Marques, M.C. and Marinho, D.A. (2019). Current approaches on warming up for sports performance: A critical review. *Strength and Conditioning Journal*. 41 (4). 70–79.
- Glaab, T. and Taube, C. (2022). Practical guide to cardiopulmonary exercise testing in adults. *Respiratory Research*. 23 (1). 9.
- Gold, W.M. and Koth, L.L. (2016). Pulmonary function testing. Broaddus, V. C., Ernst, J.D., King Jr, T.E., Lazarus, S.C., Sarmiento, K.F., Schnapp, L.M., ... and

- Gotway, M.B. (eds). in: *Murray & Nadel's textbook of respiratory medicine* (s. 407–435). Philadelphia, PA: Elsevier Health Sciences. 6. Baskı.
- González-Fernández, F.T., Sarmiento, H., González-Víllora, S., Pastor-Vicedo, J.C., Martínez-Aranda, L.M. and Clemente, F.M. (2022). Cognitive and physical effects of warm-up on young soccer players. *Motor Control*. 26 (3). 334–352.
- Gonzalez-Garcia, M., Maldonado, D., Barrero, M., Casas, A., Perez-Padilla, R. and Torres-Duque, C.A. (2020). Arterial blood gases and ventilation at rest by age and sex in an adult Andean population resident at high altitude. *European Journal of Applied Physiology*. 120. 2729–2736.
- Girginer, F.G., Seyhan, S., Acar, G., Bilici, M. F., Kilci, A., Bilici, O. F., and Soylu, C. (2025). Acute Effects of the RAMP Warm-Up on Sprint and Jump Performance in Youth Soccer Players. *Frontiers in Physiology*. 16. 1612611.
- Graham, B.L., Brusasco, V., Burgos, F., Cooper, B.G., Jensen, R., Kendrick, A., ... and Wanger, J. (2017). 2017 ERS/ATS standards for single-breath carbon monoxide uptake in the lung. *European Respiratory Journal*. 49(1).
- Graham, B.L., MacIntyre, N. and Huang, Y.C. (2018). Gas Exchange. Kaminsky, D., Irvin, C. (eds). in: *Pulmonary Function Testing. Principles and Practice*. (s. 77–101). Cham: Springer. 1. Baskı.
- Graham, B.L., Steenbruggen, I., Miller, M.R., Barjaktarevic, I.Z., Cooper, B.G., Hall, G.L., ... and Thompson, B.R. (2019). Standardization of spirometry 2019 update. An official American thoracic society and European respiratory society technical statement. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 200 (8). 70–88.
- Granger, E.A., Cooper, T.K., Hopkins, S.R., McKenzie, D.C. and Dominelli, P. (2020). Peripheral chemoresponsiveness during exercise in male athletes with exercise-induced arterial hypoxaemia. *Experimental Physiology*. 105 (11). 1960–1970.
- Gray, S.R., Soderlund, K., Watson, M. and Ferguson, R.A. (2011). Skeletal muscle ATP turnover and single fibre ATP and PCr content during intense exercise at different muscle temperatures in humans. *Pflügers Archiv : European Journal of Physiology*. 462. 885–893.
- Green, E.S., Williams, E.R., Feito, Y. and Jenkins, N.T. (2023). Physiological and anthropometric differences among endurance, strength, and high-intensity functional training participants: a cross-sectional study. *Research Quarterly for Exercise and Sport*. 94 (1). 131–142.
- Grocott, M.P.W., Levett, D.Z.H. and Ward, S.A. (2019). Exercise physiology: exercise performance at altitude. *Current Opinion in Physiology*. 10. 210–218.

- Groves, L., Brade, S. and Wright, S.P. (2016). Pushing it to the limit: Enhanced diffusing membrane capacity facilitates greater pulmonary diffusing capacity in athletes during exercise. *The Journal of Physiology*. 594 (24). 7171.
- Guazzi, M. and Adami, P.E. (2019). Exercise testing. Cardiovascular response induced by exercise. Pelliccia, A., Heidbuchel, H., Corrado, D., Borjesson, B., Sharma, S. (eds). in: *The ESC Textbook of Sports Cardiology*. (s. 87–97). UK: Oxford University Press. 1. Bask1.
- Guigui, S., Zaidi, S.I., Lee, J.J., Elajami, T., Mihos, C.G. and Escolar, E. (2020). Relationship between compliance and pulmonary vascular resistance in pulmonary arterial hypertension. *Journal of Thoracic Disease*. 12 (5). 2971.
- Hackett, D.A. (2020). Lung Function and Respiratory Muscle Adaptations of Endurance- and Strength-Trained Males. *Sports*. 8 (12). 160.
- Haddad, M and Sharma, S. (2023). Physiology, Lung. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. Retrieved February 19, 2025, from <https://europepmc.org/article/nbk/nbk545177>
- Haddad, T., Mons, V., Meste, O., Dempsey, J.A., Abbiss, C.R., Brisswalter, J. and Blain, G.M. (2024). Breathing a low-density gas reduces respiratory muscle force development and marginally improves exercise performance in master athletes. *European Journal of Applied Physiology*. 124 (2). 651–665.
- Hajian, B., De Backer, J., Vos, W., Van Geffen, W.H., De Winter, P., Usmani, O., ... and De Backer, W. (2018). Changes in ventilation–perfusion during and after an COPD exacerbation: an assessment using fluid dynamic modeling. *International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*. 833–842.
- Hall, J.E. and Hall, M.E. (2020). *Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology*. Philadelphia: Elsevier. 14. Bask1.
- Halperin, I. and Emanuel, A. (2020). Rating of perceived effort: methodological concerns and future directions. *Sports Medicine*. 50. 679–687.
- Hammer, S.M., Bruhn, E.J., Bissen, T.G., Muer, J.D., Villarraga, N., Borlaug, B.A., ... and Smith, J.R. (2022). Inspiratory and leg muscle blood flows during inspiratory muscle metaboreflex activation in heart failure with preserved ejection fraction. *Journal of Applied Physiology*. 133 (5). 1202–1211.
- Hancock, A.P., Sparks, K.E. and Kullman, E.L. (2015). Postactivation potentiation enhances swim performance in collegiate swimmers. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 29 (4). 912–917.
- Handa, A. (2019). Aviation and Space Travel. Jindal S.K. (eds). in: *Handbook of Pulmonary and Critical Care Medicine* (s. 322–326). London: The Health Sciences Publisher. 2. Bask1.

- Hardy, T.A., Chadwick, M.R., Ferguson, C., Cross, T.J. and Taylor, B.J. (2024). Differential Effects of Exercise Intensity and Tolerable Duration on Exercise-Induced Diaphragm and Expiratory Muscle Fatigue. *Journal of Applied Physiology*. 136 (6). 1591–1603.
- Hardy, T.A., Paula-Ribeiro, M., Silva, B.M., Lyall, G.K., Birch, K.M., Ferguson, C. and Taylor, B.J. (2021). The cardiovascular consequences of fatiguing expiratory muscle work in otherwise resting healthy humans. *Journal of Applied Physiology*. 130 (2). 421–434.
- Hart, N., Cramer, D., Ward, S.P., Nickol, A.H., Moxham, J., Polkey, M.I. and Pride, N.B. (2002). Effect of pattern and severity of respiratory muscle weakness on carbon monoxide gas transfer and lung volumes. *The European Respiratory Journal*. 20 (4). 996–1002.
- Hassel, E., Stensvold, D., Halvorsen, T., Wisløff, U., Langhammer, A. and Steinshamn, S. (2015). Association between pulmonary function and peak oxygen uptake in elderly: the Generation 100 study. *Respiratory Research*. 16. 1–8.
- Hawkes, E.Z., Nowicky, A.V. and McConnell, A.K. (2007). Diaphragm and intercostal surface EMG and muscle performance after acute inspiratory muscle loading. *Respiratory Physiology & Neurobiology*. 155 (3). 213–219.
- He, R. and Ren, L. (2025). Evaluation Of The Benefits Of Respirator Breathing And Vomiting Training and Dynamic Core Training On Improving Respiratory Muscle Strength. *Respiratory Medicine*. 108029.
- He, T. and Song, T. (2023). Exercise-induced bronchoconstriction in elite athletes: a narrative review. *The Physician and Sportsmedicine*. 51 (6). 549–557.
- Hédon, C., Gouzi, F., Padovani, C., Schuster, I., Maufrais, C., Cade, S., ... and Cazorla, O. (2024). Cardiac Fatigue in Male Athletes with Exercise-Induced Pulmonary Impairments After a Very Long-Distance Triathlon. *Sports Medicine*. 1–13.
- Hennigs, J.K., Huwe, M., Hennigs, A., Oqueka, T., Simon, M., Harbaum, L., ... and Klose, H. (2022). Respiratory muscle dysfunction in long-COVID patients. *Infection*. 50 (5). 1391–1397.
- Hicks, J.W. and Wang, T. (2021). Arterial blood gases during maximum metabolic demands: Patterns across the vertebrate spectrum. *Comparative Biochemistry and Physiology: Part A, Molecular & Integrative Physiology*. 254. 110888.
- Hind, A.S. (2023). *Sex differences in exercise-induced arterial hypoxaemia and pulmonary oedema development following high intensity exercise in elite endurance athletes*. Doctoral dissertation, University of British Columbia, Vancouver, Canada.
- Hind, A.S., Mitchell, R.A., Ferguson, O.N., Flynn, M., Dhillon, S.S., Badra, K., ... and Guenette, J.A. (2025). Sex differences in exercise-induced arterial hypoxemia

- and pulmonary edema following high-intensity exercise in highly trained endurance athletes. *Physiological Report*. 13 (1). e70190.
- Hopkins, S.R. (2010). Point: Pulmonary edema does occur in human athletes performing heavy sea-level exercise. *Journal of Applied Physiology*. 109 (4). 1270–1272.
- Hopkins, S.R. (2020). Ventilation/perfusion relationships and gas exchange: measurement approaches. *Comprehensive Physiology*. 10 (3). 1155.
- Hopkins, S.R. and Stickland, M.K. (2023). The pulmonary vasculature. *Seminars in Respiratory and Critical Care Medicine*. 44 (05). 538–554.
- Hopkins, S.R., Dempsey, J.A. and Stickland, M.K. (2024a). Capillary Red Cell Transit-Time is an Important Contributor to Exercise-Induced Pulmonary Diffusion Limitation. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 56 (8). 1538–1541.
- Hopkins, S.R., Dempsey, J.A. and Stickland, M.K. (2024b). Capillary Red Cell Transit Time Is an Important Contributor to Exercise-Induced Pulmonary Diffusion Limitation: Response to Zavorsky. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 56 (8). 1546–1548.
- Hopkins, W., Marshall, S., Batterham, A. and Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 41 (1). 3.
- Hostrup, M. and Bangsbo, J. (2023). Performance adaptations to intensified training in top-level football. *Sports Medicine*. 53 (3). 577–594.
- Hostrup, M., Hansen, E.S., Rasmussen, S.M., Jessen, S. and Backer, V. (2024). Asthma and exercise-induced bronchoconstriction in athletes: diagnosis, treatment, and anti-doping challenges. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 34 (1). e14358.
- Hostrup, M., Kalsen, A., Ørtenblad, N., Juel, C., Mørch, K., Rzeppa, S., ... and Bangsbo, J. (2014). β 2-Adrenergic stimulation enhances Ca^{2+} release and contractile properties of skeletal muscles, and counteracts exercise-induced reductions in $\text{Na}^{+}\text{-K}^{+}\text{-ATPase}$ V_{max} in trained men. *The Journal of Physiology*. 592 (24). 5445–5459.
- How, S.C. (2010). *Effect of acute and chronic pressure-threshold inspiratory muscle training on upper and lower airway function*. Doctoral dissertation, Brunel University School of Sport and Education, United Kingdom.
- Howden, E.J., Perhonen, M., Peshock, R.M., Zhang, R., Arbab-Zadeh, A., Adams-Huet, B. and Levine, B.D. (2015). Females have a blunted cardiovascular response to one year of intensive supervised endurance training. *Journal of Applied Physiology*. 119 (1). 37–46.

- Hsia, C.C. (2023). Tissue Perfusion and Diffusion and Cellular Respiration: Transport and Utilization of Oxygen. *Seminars in Respiratory and Critical Care Medicine*. 44 (05). 594–611.
- Hsia, C.C., Hyde, D.M. and Weibel, E.R. (2016). Lung structure and the intrinsic challenges of gas exchange. *Comprehensive physiology*. 6 (2). 827.
- Hughes, D.C., Ellefsen, S. and Baar, K. (2018). Adaptations to endurance and strength training. *Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine*. 8 (6). a029769.
- Hughes, J.M.B. and Pride, N.B. (2012). Examination of the carbon monoxide diffusing capacity (DLCO) in relation to its KCO and VA components. *American journal of respiratory and critical care medicine*. 186 (2). 132–139.
- Hureau, T.J., Ducrocq, G.P. and Blain, G.M. (2016). Peripheral and central fatigue development during all-out repeated cycling sprints. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 48 (3). 391–401.
- Hussain A. and Burns B. (2023). *Anatomy, Thorax, Wall*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. Retrieved February 1, 2025, from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK535414/>.
- Hyldahl, R.D. and Peake, J.M. (2020). Combining cooling or heating applications with exercise training to enhance performance and muscle adaptations. *Journal of Applied Physiology*. 129 (2). 353–365.
- Iannetta, D., Weavil, J.C., Laginestra, F.G., Thurston, T.S., Broxterman, R.M., Jenkinson, R.H., ... and Amann, M. (2024). Control of hyperpnoea and pulmonary gas exchange during prolonged exercise: The role of group III/IV muscle afferent feedback. *The Journal of Physiology*. 602 (20). 5375–5389.
- Iepsen, U.W., Ryrso, C.K., Rugbjerg, M., Secher, N.H., Barbosa, T.C., Lange, P., ... and Fadel, P.J. (2021). Cardiorespiratory responses to high-intensity skeletal muscle metaboreflex activation in chronic obstructive pulmonary disease. *Clinical Physiology and Functional Imaging*. 41 (2). 146–155.
- Illidi, C.R., Stang, J., Melau, J., Hisdal, J. and Stensrud, T. (2021). Does cold-water endurance swimming affect pulmonary function in healthy adults?. *Sports*. 9 (1). 7.
- Iqbal, M., Bliss, E., Whiteside, E.J., Hoffman, B. and Mills, D.E. (2025). The effects of volitional hyperpnea on biomarkers of respiratory muscle damage in healthy young men. *Physiological Reports*. 13 (6). e70277.
- İbiş, S., Yavuz, G., Kurt, S., Pişkin, N.E. and Aktuğ, Z.B. (2022). What is the Most Important Percentage of Pressure in Inspiratory Muscle Warm-Up Exercises for Children?. *Akdeniz Spor Bilimleri Dergisi*. 5 (3). 593–603.

- Jacobs, R.A., Lundby, C., Robach, P. and Gassmann, M. (2012). Red blood cell volume and the capacity for exercise at moderate to high altitude. *Sports Medicine*. 42. 643–663.
- Jain V., Bordes, S.J. and Bhardwaj, A. (2023) Physiology, Pulmonary Circulatory System. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. Retrieved February 1, 2025, from <https://europepmc.org/article/NBK/nbk525948>
- Jarmuszkiewicz, W., Dominiak, K., Galganski, L., Galganska, H., Kicinska, A., Majerczak, J. and Zoladz, J.A. (2020). Lung mitochondria adaptation to endurance training in rats. *Free Radicals in Biology and Medicine*. 161. 163–174.
- Jeffreys, I. (2016). Warm-Up and Flexibility Training. Haff, G.G. and Triplett, N.T. (eds). in: *Essentials of Strength Training and Conditioning* (s.316–350). USA: Human kinetics. 4. Bask1
- Jeffreys, I. (2019). The warm-up: Maximize performance and improve long-term athletic development. USA: Human Kinetics.
- Jeffreys, I. (2021). The warm-up. Hough, P. & Schoenfeld, B.J. (eds). in: *Advanced Personal Training* (s. 129–142). New York: Routledge. 2. Bask1.
- Jeffreys, I. (2024). Optimizing the Warm-Up: A New Twist on an Old Concept. Chandler T.J., Brown L.E., Bishop C. (eds). in: *Conditioning for Strength and Human Performance* (s. 316–336). New York: Routledge. 4. Bask1.
- Jindal S.K. (2019). Ventilation-Perfusion (V/Q) Relationships. (eds). in: *Handbook of Pulmonary and Critical Care Medicine* (s. 1–4). London: The Health Sciences Publisher. 2. Bask1.
- Johns, D.P., Berry, D., Maskrey, M., Wood-Baker, R., Reid, D.W., Walters, E.H. and Walls, J. (2004). Decreased lung capillary blood volume post-exercise is compensated by increased membrane diffusing capacity. *European Journal of Applied Physiology*. 93. 96–101.
- Johnson, M., Baudin, P., Ley, A.L. and Collins, D.F. (2019). A warm-up routine that incorporates a plyometric protocol potentiates the force-generating capacity of the quadriceps muscles. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 33 (2). 380–389.
- Johnson, M.A., Gregson, I.R., Mills, D.E., Gonzalez, J.T. and Sharpe, G.R. (2014). Inspiratory muscle warm-up does not improve cycling time-trial performance. *European Journal of Applied Physiology*. 114. 1821–1830.
- Jorgenson, C.C., Coffman, K.E. and Johnson, B.D. (2018). Effects of intrathoracic pressure, inhalation time, and breath hold time on lung diffusing capacity. *Respiratory Physiology & Neurobiology*. 258. 69–75.

- Kaminsky, D.A., Cockcroft, D.W. and Davis, B.E. (2023). Respiratory system dynamics. *Seminars in respiratory and critical care medicine*. 44 (05). 526–537.
- Kandathil, A. and ChamCarthy, M. (2018). Pulmonary vascular anatomy & anatomical variants. *Cardiovascular Diagnosis and Therapy*. 8 (3). 201.
- Kantarson, J., Jalayondeja, W., Chaunchaiyakul, R. and Pongurgsorn, C. (2010). Effect of respiratory muscles warm-up on exercise performance in sedentary subjects. *Journal of Medical Technology and Physical Therapy*. 22 (1). 71–81.
- Kapnia, A.K., Dallas, C.N., Gerodimos, V. and Flouris, A.D. (2023). Impact of warm-up on muscle temperature and athletic performance. *Research Quarterly for Exercise and Sport*. 94 (2). 460–465.
- Karaduman, E., Bostancı, Ö., & Bayram, L. (2022). Respiratory muscle strength and pulmonary functions in athletes: differences by BMI classifications. *Journal of Men's Health*. 18 (3). 1–8.
- Kasicki, K., Rydzik, Ł., Ambroży, T., Spieszny, M. and Koteja, P. (2024). The Impact of Post-Activation Performance Enhancement Protocols on Vertical Jumps: Systematic Review. *Applied Sciences*. 14 (21). 9664.
- Katayama, K., Dominelli, P.B., Foster, G.E., Kipp, S., Leahy, M.G., Ishida, K. and Sheel, A.W. (2021). Respiratory modulation of sympathetic vasomotor outflow during graded leg cycling. *Journal of Applied Physiology*. 131 (2). 858–867.
- Katayama, K., Smith, J.R., Goto, K., Shimizu, K., Saito, M., Ishida, K., ... and Harms, C.A. (2018). Elevated sympathetic vasomotor outflow in response to increased inspiratory muscle activity during exercise is less in young women compared with men. *Experimental Physiology*. 103 (4). 570–580.
- Katayama, K., Goto, K., Shimizu, K., Saito, M., Ishida, K., Zhang, L., ... and Sheel, A.W. (2019). Effect of increased inspiratory muscle work on blood flow to inactive and active limbs during submaximal dynamic exercise. *Experimental Physiology*. 104. 180–188.
- Katz, S., Arish, N., Rokach, A., Zaltzman, Y. and Marcus, E.L. (2018). The effect of body position on pulmonary function: a systematic review. *BMC Pulmonary Medicine*. 18. 1–16.
- Kenney WL, Wilmore JH, Costill DL. (2022). *Physiology of Sport and Exercise*. Champaign, IL: Human Kinetics. 8. Baskı.
- Kenney WL, Wilmore JH, Costill DL. (2025). *Physiology of Sport and Exercise*. Champaign, IL: Human Kinetics. 9. Baskı.
- Kim, Y.J., Christoph, K., Yu, Z., Eigen, H. and Tepper, R.S. (2016). Pulmonary diffusing capacity in healthy African-American and Caucasian children. *Pediatric Pulmonology*. 51 (1). 84–88.

- Kinnear, W.J.M. and Hull, J.H. (2021). A practical guide to the interpretation of cardiopulmonary exercise tests. New York: Oxford Respiratory Medicine Library. 2. Baskı.
- Kipp, S., Arn, S.R., Leahy, M.G., Guenette, J.A. and Sheel, A.W. (2024). The Metabolic Cost of Breathing for Exercise Ventilations: Effects of Age and Sex. *Journal of Applied Physiology*. 137 (2). 329–342
- Kissane, R.W. and Egginton, S. (2019). Exercise-mediated angiogenesis. *Current Opinion in Physiology*. 10. 193–201.
- Klain, A., Giovannini, M., Pecoraro, L., Barni, S., Mori, F., Liotti, L., ... and Novembre, E. (2024). Exercise-induced bronchoconstriction, allergy and sports in children. *Italian Journal of Pediatrics*. 50 (1). 47.
- Knudson, D.V. (2018). Warm-up and Flexibility. Chandler T.J. and Brown L.E. (eds). in: *Conditioning for strength and human performance* (s. 212–231). New York: Routledge. 3. Baskı.
- Koizumi, J. and Ohya, T. (2023). Effects of high-intensity inspiratory muscle warm-up on inspiratory muscle strength and accessory inspiratory muscle activity. *Respiratory Physiology & Neurobiology*. 313. 104069.
- Koizumi, J. and Ohya, T. (2024). Effects of High-Intensity Inspiratory Muscle Warm-Up on High-Intensity Exercise Performance and Muscle Oxygenation. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 19 (4). 347–355.
- Koubaa, A., Koubaa, S. and Elloumi, M. (2023). Effect of different warm-up durations on the plasma oxidative stress biomarkers following anaerobic exercise in amateur handball players. *Applied Sciences*. 13 (19). 10576.
- Koutsourdis, C., Galazoulas, C., Manou, V. and Stavropoulos, N. (2023). The efficacy of applied re warm up protocols in different team sports: a systematic review. *Journal of Physical Education and Sport*. 23 (7). 1751–1761.
- Kovacs, G., Olschewski, A., Berghold, A. and Olschewski, H. (2012). Pulmonary vascular resistances during exercise in normal subjects: a systematic review. *European Respiratory Journal*. 39 (2). 319–328.
- Kovacs, M. (2009). Dynamic stretching: The revolutionary new warm-up method to improve power, performance and range of motion. New York: Ulysses Press.
- Kroff, J. and Terblanche, E. (2010). The kinanthropometric and pulmonary determinants of global respiratory muscle strength and endurance indices in an athletic population. *European Journal of Applied Physiology*. 110. 49–55.
- Ladriñán-Maestro, A., Sánchez-Infante, J., Martín-Vera, D. and Sánchez-Sierra, A. (2024a). Influence of an inspiratory muscle fatigue protocol on healthy youths on respiratory muscle strength, vertical jump performance and muscle oxygen

saturation: a randomized controlled trial. *Journal of Translational Medicine*. 22 (1). 732.

Ladriñán-Maestro, A., Sánchez-Infante, J., Martín-Vera, D. and Sánchez-Sierra, A. (2024b). Influence of an inspiratory muscle fatigue protocol on healthy youths on respiratory muscle strength and heart rate variability. A randomized controlled trial. *Frontiers in Physiology*. 15. 1457019.

Lalande, S., Yerly, P., Faoro, V. and Naeije, R. (2012). Pulmonary vascular distensibility predicts aerobic capacity in healthy individuals. *The Journal of Physiology*. 590 (17). 4279–4288.

Lalley, P.M. (2013). The aging respiratory system—pulmonary structure, function and neural control. *Respiratory Physiology & Neurobiology*. 187 (3). 199–210.

Langleben, D., Fox, B.D., Orfanos, S.E., Giovinazzo, M. and Catravas, J.D. (2022). Pulmonary capillary recruitment and distention in mammalian lungs: species similarities. *European Respiratory Review*. 31 (163).

Langleben, D., Orfanos, S.E., Giovinazzo, M., Schlesinger, R.D., Naeije, R., Fox, B.D., ... and Catravas, J.D. (2019). Pulmonary capillary surface area in supine exercising humans: demonstration of vascular recruitment. *American Journal of Physiology-Lung Cellular and Molecular Physiology*. 317 (3). 361–368.

Lanza, F.D.C., de Camargo, A.A., Archija, L.R.F., Selman, J.P.R., Malaguti, C. and Dal Corso, S. (2013). Chest wall mobility is related to respiratory muscle strength and lung volumes in healthy subjects. *Respiratory Care*. 58 (12). 2107–2112.

Laughlin, M.H., Bowles, D.K. and Duncker, D.J. (2012). The coronary circulation in exercise training. *American journal of physiology. Heart and Circulatory Physiology*. 302 (1). 10–23.

Laveneziana, P., Albuquerque, A., Aliverti, A., Babb, T., Barreiro, E., Dres, M., ... and Verges, S. (2019). ERS statement on respiratory muscle testing at rest and during exercise. *European Respiratory Journal*. 53 (6).

Lavin, K.M., Straub, A.M., Uhanowsky, K.A., Smoliga, J.M. and Zavorsky, G.S. (2012). Alveolar-membrane diffusing capacity limits performance in Boston marathon qualifiers. *Plos One*. 7 (9). e44513

Lazovic, B., Mazic, S., Suzic-Lazic, J., Djelic, M., Djordjevic-Saranovic, S., Durmic, T., ... and Zugic, V. (2015). Respiratory adaptations in different types of sport. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*. 19 (12).

Lazovic, B., Zlatkovic-Svenda, M., Grbovic, J., Milenković, B., Sipetic-Grujicic, S., Kopitovic, I. and Zugic, V. (2018). Comparison of lung diffusing capacity in young elite athletes and their counterparts. *Pulmonology*. 24 (4). 219–223.

- Leahy, M.G., Kipp, S. and Sheel, A.W. (2023). The respiratory physiology of exercise: age and sex considerations. *Current Opinion in Physiology*. 33. 100652.
- Lee, H.Y., Chao, T., Hsu, C.C., Chang, N.W., Chen, Y.L. and Tsai, Y.S. (2025). Effects of different warm-up methods on 50-meter breaststroke swimming performance. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 12. 1505648.
- Lee, J., Park, D., Lee, J.Y. and Park, J. (2024a). Effect of Warm-Up Exercise on Functional Regulation of Motor Unit Activation during Isometric Torque Production. *Journal of Human Kinetics*. 92. 29.
- Lee, S., Lim, J. and Park, J. (2024b). A warm-up strategy with or without voluntary contraction on athletic performance, lower-leg temperature, and blood lactate concentration. *PloS One*. 19 (1). e0295537.
- Lee, J., and Zhang, X.L. (2021). Physiological determinants of VO₂max and the methods to evaluate it: A critical review. *Science & Sports*. 36 (4). 259-271.
- Leicht, C.A., Smith, P.M., Sharpe, G., Perret, C. and Goosey-Tolfrey, V.L. (2010). The effects of a respiratory warm-up on the physical capacity and ventilatory response in paraplegic individuals. *European Journal of Applied Physiology*. 110. 1291–1298.
- Levitsky M. (2022). *Pulmonary physiology*. USA: Mc Graw Hill. 10. Baski.
- Li, F., Wu, W. and Xu, J. (2023a). The Key Elements of Warm-up in Sports: A Comprehensive Analysis of Dynamic Stretching, Cardiovascular Warm-up, and Joint Mobilization. *Studies in Sports Science and Physical Education*. 1 (2). 60–64.
- Li, F.Y., Guo, C.G., Li, H.S., Xu, H.R. and Sun, P. (2023b). A systematic review and net meta-analysis of the effects of different warm-up methods on the acute effects of lower limb explosive strength. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*. 15 (1). 106.
- Li, M., Kim, Y. and Kim, S. (2024a). Optimizing Acute Static Stretching Protocols: Balancing Range of Motion and Strength Performance. *Current Sports Medicine Reports*. 23 (11). 363–365.
- Li, J., Soh, K.G. and Loh, S.P. (2024b). The impact of post-activation potentiation on explosive vertical jump after intermittent time: a meta-analysis and systematic review. *Scientific Reports*. 14 (1). 17213.
- Li, M., Qian, M., Kyler, K. and Xu, J. (2018). Endothelial–vascular smooth muscle cells interactions in atherosclerosis. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*. 5. 151.

- Licker, M., Hagerman, A., Jeleff, A., Schorer, R. and Ellenberger, C. (2021). The hypoxic pulmonary vasoconstriction: From physiology to clinical application in thoracic surgery. *Saudi Journal of Anaesthesia*. 15 (3). 250–263.
- Liguori, G., Feito, Y., Fountaine, C., Roy, B.A. (2021). ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription. Philadelphia, PA, USA: Wolters Kluwer.
- Lima, T.B.W.E., Silva, B.B.D.S., de Souza, A.P.S., Aires, D.M.F. and Fagundes, M.G. (2025). The effect of inspiratory muscle training on the inspiratory muscle metaboreflex: A systematic review. *Canadian Journal of Respiratory Therapy*. 61. 51–59.
- Lin, H., Tong, T.K., Huang, C., Nie, J., Lu, K. and Quach, B. (2007). Specific inspiratory muscle warm-up enhances badminton footwork performance. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. 32 (6). 1082–1088.
- Lindinger, M.I. and Cairns, S.P. (2021). Regulation of muscle potassium: exercise performance, fatigue and health implications. *European Journal of Applied physiology*. 121 (3). 721–748.
- Liu, F., Jones, A.Y., Tsang, R.C., Yam, T.T. and Tsang, W.W. (2025). Recruitment of the diaphragm and sternocleidomastoid muscle during increasing inspiratory pressure loads in healthy young adults. *Respiratory Physiology & Neurobiology*. 331. 104365.
- Liu, X., Zhu, H., Peng, Y., Liu, Y. and Shi, X. (2024). Twenty-Four week Taichi training improves pulmonary diffusion capacity and glycemic control in patients with Type 2 diabetes mellitus. *PloS One*. 19 (4). e0299495.
- LoMauro, A. and Aliverti, A. (2018). Sex differences in respiratory function. *Breathe*. 14 (2). 131–140.
- LoMauro, A. and Aliverti, A. (2021). Sex and gender in respiratory physiology. *European Respiratory Review*. 30 (162).
- Lomax, M. and McConnell, A.K. (2009). Influence of prior activity (warm-up) and inspiratory muscle training upon between-and within-day reliability of maximal inspiratory pressure measurement. *Respiration*. 78 (2). 197–202.
- Lomax, M., Grant, I. and Corbett, J. (2011) Inspiratory muscle warm-up and inspiratory muscle training: separate and combined effects on intermittent running to exhaustion. *Journal of Sports Sciences*. 29 (6). 563–569.
- Louvaris, Z., Rodrigues, A., Dacha, S., Gojevic, T., Janssens, W., Vogiatzis, I., ... and Langer, D. (2021). High-intensity exercise impairs extradiaphragmatic respiratory muscle perfusion in patients with COPD. *Journal of Applied Physiology*. 130 (2). 325–341.

- Lovering, A.T., Duke, J.W. and Elliott, J.E. (2015). Intrapulmonary arteriovenous anastomoses in humans—response to exercise and the environment. *The Journal of Physiology*. 593 (3). 507–520.
- Lovering, A.T., Romer, L.M., Haverkamp, H.C., Pegelow, D.F., Hokanson, J. S. and Eldridge, M.W. (2008). Intrapulmonary shunting and pulmonary gas exchange during normoxic and hypoxic exercise in healthy humans. *Journal of Applied Physiology*. 104 (5). 1418–1425.
- Lumb A.B., Thomas C.R. (2020). *Nunn's applied respiratory physiology: Pulmonary circulation*. Philadelphia: Elsevier. 9. Bask1.
- Lutfi, M.F. (2017). The physiological basis and clinical significance of lung volume measurements. *Multidisciplinary respiratory medicine*. 12 (3). 1–12.
- Maceira, A.M., Monmeneu, J.V., López, M.P., García, M.P., Higuera, L., Masiá, M.D. and Boraita, A. (2023). Reference ventricular dimensions and function parameters by cardiovascular magnetic resonance in highly trained Caucasian athletes. *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance*. 25 (1). 12.
- MacIntosh, B.R., Robillard, M.E. and Tomaras, E.K. (2012). Should postactivation potentiation be the goal of your warm-up?. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. 37 (3). 546–550.
- Madsen, A.C., Thomsen, R.S., Nymand, S.B., Hartmann, J.P., Rasmussen, I.E., Mohammad, M., ... and Berg, R.M. (2023). Pulmonary diffusing capacity to nitric oxide and carbon monoxide during exercise and in the supine position: a test–retest reliability study. *Experimental Physiology*. 108 (2). 307–317.
- Manchado-Gobatto, F.B., Torres, R.S., Marostegan, A.B., Rasteiro, F.M., Hartz, C.S., Moreno, M.A., ... and Gobatto, C.A. (2022). Complex network model reveals the impact of inspiratory muscle pre-activation on interactions among physiological responses and muscle oxygenation during running and passive recovery. *Biology*. 11 (7). 963.
- Manifield, J., Alexiou, C., Megaritis, D., Baker, K., Adams, N., Barry, G. and Vogiatzis, I. (2024). Effects of inspiratory muscle training on thoracoabdominal volume regulation in older adults: A randomised controlled trial. *Respiratory Physiology & Neurobiology*. 326. 104278.
- Marini, T.J., He, K., Hobbs, S.K. and Kaproth-Joslin, K. (2018). Pictorial review of the pulmonary vasculature: from arteries to veins. *Insights into Imaging*. 9. 971–987.
- Mark A.O., Odukanmi, S.D., Salami, R.T. (2024). *Understanding the Physiology of the Respiratory System*. Ibadan: Elight Enterprise. 1. Bask1.
- Marostegan, A.B., Gobatto, C.A., Rasteiro, F.M., Hartz, C.S., Moreno, M.A. and Manchado-Gobatto, F.B. (2022). Effects of different inspiratory muscle warm-

- up loads on mechanical, physiological and muscle oxygenation responses during high-intensity running and recovery. *Scientific Reports*. 12 (1). 11223.
- Marquis, A. (2022). *System-Level Integration of Ventilation-Perfusion Matching by Hypoxic Pulmonary Vasoconstriction*. Doctoral dissertation, University of Michigan, Ann Arbor.
- Marquis, A.D., Jezek, F., Pinsky, D.J. and Beard, D.A. (2021). Hypoxic pulmonary vasoconstriction as a regulator of alveolar-capillary oxygen flux: A computational model of ventilation-perfusion matching. *PLoS Computational Biology*. 17 (5). e1008861.
- Martinez, M.W., Kim, J.H., Shah, A.B., Phelan, D., Emery, M.S., Wasfy, M.M., ... and Levine, B.D. (2021). Exercise-induced cardiovascular adaptations and approach to exercise and cardiovascular disease: JACC state-of-the-art review. *Journal of the American College of Cardiology*. 78 (14). 1453–1470.
- Maturana, F.M., Schellhorn, P., Erz, G., Burgstahler, C., Widmann, M., Munz, B., ... and Nieß, A.M. (2021). Individual cardiovascular responsiveness to work-matched exercise within the moderate-and severe-intensity domains. *European Journal of Applied Physiology*. 121. 2039–2059.
- Matuszak, J., Tabuchi, A. and Kuebler, W.M. (2020). Ventilation and perfusion at the alveolar level: insights from lung intravital microscopy. *Frontiers in Physiology*. 11. 291.
- Mauro, A.L. and Aliverti, A. (2016). Physiology of respiratory disturbances in muscular dystrophies. *Breathe*. 12 (4). 318–327.
- Mazic, S., Lazovic, B., Djelic, M., Suzic-Lazic, J., Djordjevic-Saranovic, S., Durmic, T., ... and Zugic, V. (2015). Respiratory parameters in elite athletes—does sport have an influence?. *Revista Portuguesa de Pneumologia*. 21 (4). 192–197.
- McArdle, W.D., Katch, F.I. and Katch, V.L. (2023). Exercise physiology: nutrition, energy, and human performance. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins. 9. Bask1.
- McConnell, A., (2007). Lung and respiratory muscle function. In: Jones, A.M., Winter, E.M., Davison, R.C.R., Bromley, P.D. and Mercer, T. (eds.). in *The British Association of Sport and Exercise Sciences Guide*. (p. 63–75). Routledge, Oxford, UK.
- McConnell, A.K. and Griffiths, L.A. (2010). Acute cardiorespiratory responses to inspiratory pressure threshold loading. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 42 (9). 1696–1703.
- McCormack, C., Kehoe, B., McCullagh, B., Gaine, S., Moyna, N.M. and Quadery, S.R. (2024). The impact of gas transfer on responses to exercise training in patients with pulmonary hypertension. *Pulmonary Circulation*. 14 (3). e12438.

- Mccormack, M.C. and West, J.B. (2021). Ventilation, Blood Flow, and Gas Exchange. Broaddus, V.C., Ernst, J.D., King Jr, T.E., Lazarus, S.C., Sarmiento, K.F., Schnapp, L.M., ... and Gotway, M.B. (eds). in: *Murray & Nadel's textbook of respiratory medicine* (s. 116–139). Philadelphia, PA: Elsevier Health Sciences. 7. Baskı.
- McCrary, J.M., Ackermann, B.J. and Halaki, M. (2015). A systematic review of the effects of upper body warm-up on performance and injury. *British Jjournal of Sports Medicine*. 49 (14). 935–942.
- McEntire, S.J., Smith, J.R., Ferguson, C.S., Brown, K.R., Kurti, S.P. and Harms, C.A. (2016). The effect of exercise training with an additional inspiratory load on inspiratory muscle fatigue and time-trial performance. *Respiratory Physiology & Neurobiology*. 230. 54–59.
- McGawley, K., Spencer, M., Olofsson, A. and Andersson, E.P. (2021). Comparing active, passive, and combined warm-ups among junior alpine skiers in– 7 C. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 16 (8). 1140–1147.
- McGowan, C.J., Pyne, D.B., Thompson, K.G. and Rattray, B. (2015). Warm-up strategies for sport and exercise: mechanisms and applications. *Sports Medicine*. 45. 1523–1546.
- McKenzie, D.C. (2012). Respiratory physiology: adaptations to high-level exercise. *British Journal of Sports Medicine*. 46 (6). 381–384.
- McKinley, M., O'Loughlin, V. and Bidle, T. (2019). *Anatomy & Physiology: An Integrative Approach*. New York: McGraw-Hill Education. 3. Baskı.
- McKinley, M.P., O'loughlin, V.D., Pennefather-O'Brien, E., (2021). *Human anatomy*. New York: McGraw-Hill Education. 6. Baskı.
- McNeill, J., Chernofsky, A., Naylor, M., Rahaghi, F.N., Estepar, R.S.J., Washko, G., ... and Lewis, G.D. (2022). The association of lung function and pulmonary vasculature volume with cardiorespiratory fitness in the community. *European Respiratory Journal*. 60 (2).
- Meki, M., El-Baz, A., Sethu, P. and Giridharan, G. (2023). Effects of pulsatility on arterial endothelial and smooth muscle cells. *Cells Tissues Organs*. 212 (3). 272–284.
- Méndez-Barbero, N., Gutiérrez-Muñoz, C. and Blanco-Colio, L.M. (2021). Cellular crosstalk between endothelial and smooth muscle cells in vascular wall remodeling. *International Journal of Molecular Sciences*. 22 (14). 7284.
- Merola, P.K., Zaccani, W.A., Faria, C.C., Berton, D.C., Verges, S. and Franchini, E. (2019). High load inspiratory muscle warm-up has no impact on Special Judo Fitness Test performance. *Idō Movement for Culture*. 19 (1).

- Michaelchuk, W.W., Tedjasaputra, V., Bryan, T.L., van Diepen, S. and Stickland, M.K. (2019). The effect of dopamine on pulmonary diffusing capacity and capillary blood volume responses to exercise in young healthy humans. *Experimental Physiology*. 104 (12). 1952–1962.
- Michelini, L.C., O’Leary, D.S., Raven, P.B. and Nóbrega, A.C. (2015). Neural control of circulation and exercise: a translational approach disclosing interactions between central command, arterial baroreflex, and muscle metaboreflex. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*. 309 (3). 381–392.
- Mickleborough, T.D., Lindley, M.R. and Turner, L.A. (2007). Comparative effects of a high-intensity interval warm-up and salbutamol on the bronchoconstrictor response to exercise in asthmatic athletes. *International Journal of Sports Medicine*. 28 (06). 456–462.
- Mickleborough, T.D., Stager, J.M., Chatham, K., Lindley, M.R. and Ionescu, A.A. (2008). Pulmonary adaptations to swim and inspiratory muscle training. *European Journal of Applied Physiology*. 103. 635–646.
- Miranda, D.P., Alves, W.E.F., Lopes, H.H., de Santana, V.J., Bocchi, E.A. and Salemi, V.M.C. (2021). Association between right heart dimensions and muscle performance and cardiorespiratory capacity in strength and endurance athletes. *Translational Sports Medicine*. 4 (4). 470–480.
- Miserocchi, G. (2023). The impact of heterogeneity of the air-blood barrier on control of lung extravascular water and alveolar gas exchange. *Frontiers in Network Physiology*. 3. 1142245.
- Miserocchi, G. and Beretta, E. (2023). A century of exercise physiology: lung fluid balance during and following exercise. *European Journal of Applied Physiology*. 123 (1). 1–24.
- Miserocchi, G., Beretta, E., Rivolta, I. and Bartesaghi, M. (2022). Role of the air-blood barrier phenotype in lung oxygen uptake and control of extravascular water. *Frontiers in Physiology*. 13. 811129.
- Miserocchi, G., Messinesi, G., Tana, F., Passoni, E., Adamo, S., Romano, R. and Beretta, E. (2008). Mechanisms behind inter-individual differences in lung diffusing capacity. *European Journal of Applied Physiology*. 102. 561–568.
- Mitchell, R.A., Schaeffer, M.R., Ramsook, A.H., Wilkie, S.S. and Guenette, J.A. (2018). Sex differences in respiratory muscle activation patterns during high-intensity exercise in healthy humans. *Respiratory Physiology & Neurobiology*. 247. 57–60.
- Mizuno, S., Suzuki, Y., Goto, K., Takao, K., Sumi, D., Ishida, K., ... and Katayama, K. (2022). Relationship between respiratory muscle endurance and dyspnea during high-intensity exercise in trained distance runners. *Respiratory Physiology & Neurobiology*. 296. 103812.

- Molgaat-Seon, Y., Peters, C.M. and Sheel, A.W. (2018). Sex-differences in the human respiratory system and their impact on resting pulmonary function and the integrative response to exercise. *Current Opinion in Physiology*. 6. 21–27.
- Monahan, K., Brittain, E. and Tolle, J.J. (2023). Measurement of pulmonary transit time and estimation of pulmonary blood volume after exercise using contrast echocardiography. *Journal of Echocardiography*. 21 (1). 16–22.
- Mons, V. (2023). *Physiological consequences of respiratory system limitation in the master athlete, approaches through experiments and models*. Doctoral dissertation, Université Côte d’Azur, France.
- Mons, V., Lavigne, C., Meste, O., Mauroy, B. And Blain, G.M. (2023). Effects of Inspiratory Muscle Fatigue on Exercise Performance in Young and Master Athletes. *ECSS*. Paris, France. <https://hal.science/hal-04209187/>
- Mortensen, J. and Berg, R.M. (2019). Lung scintigraphy in COPD. *Seminars in Nuclear Medicine*. 49 (1). 16–21.
- Motoji, Y., Forton, K., Pezzuto, B., Faoro, V. and Naeije, R. (2017). Resistive or dynamic exercise stress testing of the pulmonary circulation and the right heart. *The European Respiratory Journal*. 50 (1).
- Mottram, C. (2022). *Ruppel’s Manual of Pulmonary Function Testing*. USA: Elsevier Health Sciences. 12. Baskı.
- Möller, F.N., Fan, J.L., Futral, J.E., Hodgman, C.F., Kayser, B. and Lovering, A.T. (2024). Cardiopulmonary haemodynamics in Tibetans and Han Chinese during rest and exercise. *The Journal of Physiology*. 602 (16). 3893–3907.
- Mukhopadhyay, K. (2022). Modern scientific innovations in warming up and cool-down in sports. *Journal of Advances in Sports and Physical Education*. 5 (7). 166–175.
- Munkholm, M., Marott, J.L., Bjerre-Kristensen, L., Madsen, F., Lange, P., Nordestgaard, B.G. and Mortensen, J. (2018). Reference equations for pulmonary diffusing capacity of carbon monoxide and nitric oxide in adult Caucasians. *The European Respiratory Journal*. 52 (1).
- Munoz-Plaza, C., Pounds, D., Davis, A., Park, S., Sallis, R., Romero, M.G. and Sharp, A.L. (2021). High school basketball coach and player perspectives on warm-up routines and lower extremity injuries. *Sports Medicine-Open*. 7 (1). 34.
- Murphy, B.T. and O’Halloran, K.D. (2023). Strength in breath: respiratory metaboreflex response to training and detraining. *Experimental Physiology*. 108 (4). 541.

- Myburgh, G.K., Pfeifer, C.E. and Hecht, C.J. (2020). Warm-ups for youth athletes: Making the first 15-minutes count. *Strength and Conditioning Journal*. 42 (6). 45–53.
- Myriantsefs, P., Grammatopoulou, I., Katsoulas, T. and Baltopoulos, G. (2014). Spirometry may underestimate airway obstruction in professional Greek athletes. *The Clinical Respiratory Journal*. 8 (2). 240–247.
- Nader, E., Skinner, S., Romana, M., Fort, R., Lemonne, N., Guillot, N., ... and Connes, P. (2019). Blood rheology: key parameters, impact on blood flow, role in sickle cell disease and effects of exercise. *Frontiers in Physiology*. 10. 1329.
- Naeije, R., and Chesler, N. (2012). Pulmonary circulation at exercise. *Comprehensive Physiology*. 2 (1). 711.
- Naeije, R., Richter, M.J. and Rubin, L.J. (2022). The physiological basis of pulmonary arterial hypertension. *European Respiratory Journal*. 59 (6).
- Nath, L.C. (2024). Heart and Vessels: Function During Exercise and Conditioning Adaptations. *Equine Sports Medicine and Surgery* (s. 800–830). USA: WB Saunders.
- Neder, J.A., Berton, D.C., Muller, P.T. and O'Donnell, D.E. (2019). Incorporating lung diffusing capacity for carbon monoxide in clinical decision making in chest medicine. *Clinics in Chest Medicine*. 40 (2). 285–305.
- Neder, J.A., Kirby, M., Santyr, G., Pourafkari, M., Smyth, R., Phillips, D.B., ... and O'Donnell, D.E. (2022). $\dot{V}/\dot{Q}$ mismatch: a novel target for COPD treatment. *Chest*. 162 (5). 1030–1047.
- Neiva, H.P., Marques, M.C., Barbosa, T.M., Izquierdo, M., Viana, J.L., Teixeira, A.M. and Marinho, D.A. (2015). The effects of different warm-up volumes on the 100-m swimming performance: a randomized crossover study. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 29 (11). 3026–3036.
- Ni, Y., Yu, Y., Dai, R. and Shi, G. (2021). Diffusing capacity in chronic obstructive pulmonary disease assessment: A meta-analysis. *Chronic Respiratory Disease*. 18.
- Nordin, K.C., Lee, M.J., Harms, C.A. and Coast, J.R. (2015). Is lung diffusing capacity lower in expiratory flow limited women compared to non-flow limited women during exercise?. *European Journal of Applied Physiology*. 115. 755–761.
- O'Leary, D.S. and Mannozi, J. (2024). Mechanisms mediating muscle metaboreflex control of cardiac output during exercise: Impaired regulation in heart failure. *Experimental Physiology*. 110 (5). 675–685.
- Ogoh, S. (2024). Cardiac output-mediated regulation of cerebral blood flow during exercise: Clinical perspectives on the indirect impact of muscle metaboreflex. *Experimental Physiology*. 110 (5). 631–771.

- Ohya, T., Hagiwara, M. and Suzuki, Y. (2015). Inspiratory muscle warm-up has no impact on performance or locomotor muscle oxygenation during high-intensity intermittent sprint cycling exercise. *SpringerPlus*. 4. 1–11.
- Ohya, T., Hagiwara, M., Chino, K., & Suzuki, Y. (2016). Maximal inspiratory mouth pressure in Japanese elite male athletes. *Respiratory Physiology & Neurobiology*. 230. 68–72.
- Ohya, T., Hagiwara, M., Chino, K., & Suzuki, Y. (2017). Maximal inspiratory mouth pressure in Japanese elite female athletes. *Respiratory Physiology & Neurobiology*. 238. 55–58.
- Oliveira, A.L.M.B., Rodrigues, G.D., Rohan, P.D.A., Gonçalves, T.R. and Soares, P.P.D.S. (2024). The Relationship between Inspiratory Muscle Strength and Cycling Performance: Insights from Hypoxia and Inspiratory Muscle Warm-Up. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*. 9 (2). 97.
- Oliveira, A.S. and Negro, F. (2021). Neural control of matched motor units during muscle shortening and lengthening at increasing velocities. *Journal of Applied Physiology*. 130 (6). 1798–1813.
- Olschewski, H., Kovacs, G. and Herve, P. (2018). Pulmonary capillary recruitment in exercise and pulmonary hypertension. *European Respiratory Journal*. 51 (3).
- Orr, J.E., Hopkins, S.E. (2021). Basics of Ventilation/Perfusion Abnormalities in Critically Ill Ventilated Patients. Magder, S., Malhotra, A., Hibbert, K.A. and Hardin, C.C. (eds). in: *Cardiopulmonary monitoring: basic physiology, tools, and bedside management for the critically ill*. (s. 189–204). Switzerland: Springer Nature. 1. Baskı.
- Østergaard, L. (2020). Blood flow, capillary transit times, and tissue oxygenation: the centennial of capillary recruitment. *Journal of Applied Physiology*. 129 (6). 1413–1421.
- Oueslati, F., Berriri, A., Boone, J. and Ahmaidi, S. (2018). Respiratory muscle strength is decreased after maximal incremental exercise in trained runners and cyclists. *Respiratory Physiology & Neurobiology*. 248. 25–30.
- Øvretveit, K. (2018). Anthropometric and physiological characteristics of Brazilian Jiu-Jitsu athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 32 (4). 997–1004.
- Önen Z.P. (2017). Akciğerlerde Gaz Değişimi. Ulubay, G., Küpeli, E. and Metintaş, M. (ed). *Solunum Fizyolojisi ve Fizyopatolojisi*. (s. 63–70). İstanbul: İstanbul Medikal Yayıncılık. 1. Baskı.
- Özdal, M. (2016). Acute effects of inspiratory muscle warm-up on pulmonary function in healthy subjects. *Respiratory Physiology & Neurobiology*. 227. 23–26.

- Özdal, M. and Bostanci, Ö. (2018). Influence of inspiratory muscle warm-up on aerobic performance during incremental exercise. *Isokinetics and Exercise Science*. 26 (3). 167–173.
- Özdal, M., Bostanci, Ö., Dağlioğlu, Ö., Ağaoğlu, S.A. and Kabadayi, M. (2016). Effect of respiratory warm-up on anaerobic power. *Journal of Physical Therapy Science*. 28 (7). 2097–2098.
- Padkao, T. and Boonla, O. (2020). Relationships between respiratory muscle strength, chest wall expansion, and functional capacity in healthy nonsmokers. *Journal of Exercise Rehabilitation*. 16 (2). 189.
- Padua, E., D’Amico, A.G., Alashram, A., Campoli, F., Romagnoli, C., Lombardo, M., ... and Annino, G. (2019). Effectiveness of warm-up routine on the ankle injuries prevention in young female basketball players: A randomized controlled trial. *Medicina*. 55(10). 690.
- Panagiotou, M., Peacock, A.J. and Johnson, M.K. (2015). Respiratory and limb muscle dysfunction in pulmonary arterial hypertension: a role for exercise training?. *Pulmonary Circulation*. 5 (3). 424–434.
- Panasci, M., Ferrando, V., Bisio, A., Filipas, L., Di Gennaro, S., Puce, L., ... and Faelli, E. (2024). Moderate-Duration Dynamic Stretching During Warm-up Improves Running Economy and Running Performance in Recreational Distance Runners. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 1. 1–10.
- Panhuyzen-Goedkoop, N.M., van Hattum, J.C., Beerman, F.E., Verbeek, A.L., Goedkoop, R.J., Malekzadeh, A., ... and Jørstad, H.T. (2024). Electrocardiographic and morphological cardiac remodelling in competitive female athletes—a scoping review. *European Journal of Preventive Cardiology*. 1–9.
- Panza, L., Piamonti, D. and Palange, P. (2024). Pulmonary gas exchange and ventilatory efficiency during exercise in health and diseases. *Expert Review of Respiratory Medicine*. 18 (6). 355–367.
- Paramothayan, S. (2019). Essential respiratory medicine. USA: John Wiley & Sons. 1. Baskı.
- Paravlic, A.H., Bakalár, P., Puš, K., Pišot, S., Kalc, M., Teraž, K., ... and Šimunič, B. (2024). The effectiveness of neuromuscular training warm-up program for injury prevention in adolescent male basketball players. *Journal of Sports Sciences*. 1–10.
- Park, S.B., Park, D.S., Kim, M., Lee, E., Lee, D., Jung, J., ... and Yang, W.H. (2021). High-intensity warm-up increases anaerobic energy contribution during 100-m sprint. *Biology*. 10 (3). 198.

- Parsons, J.P., Hallstrand, T.S., Mastronarde, J.G., Kaminsky, D.A., Rundell, K.W., Hull, J.H., ... and Anderson, S.D. (2013). An official American Thoracic Society clinical practice guideline: exercise-induced bronchoconstriction. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 187 (9). 1016–1027.
- Patel, N., Chong, K. and Baydur, A. (2022). Methods and applications in respiratory physiology: Respiratory mechanics, drive and muscle function in neuromuscular and chest wall disorders. *Frontiers in Physiology*. 13. 838414.
- Patel, P.N., Horenstein, M.S. and Zwibel, H. (2024). Exercise Physiology. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. Retrieved February 19, 2025, from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/sites/books/NBK482280/?report=reader>
- Paunikar, S. and Chakole, V. (2024). Pulmonary Shunt in Critical Care: A Comprehensive Review of Pathophysiology, Diagnosis, and Management Strategies. *Cureus*. 16 (9).
- Pearce, A.J., Rowe, G.S. and Whyte, D.G. (2012). Neural conduction and excitability following a simple warm up. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 15 (2). 164–168.
- Pelliccia, A., Sharma, S., Gati, S., Bäck, M., Börjesson, M., Caselli, S., ... and Wilhelm, M. (2021). 2020 ESC Guidelines on sports cardiology and exercise in patients with cardiovascular disease: the Task Force on sports cardiology and exercise in patients with cardiovascular disease of the European Society of Cardiology (ESC). *European Heart Journal*. 42 (1). 17–96.
- Peracchia, C (2014a). Gas Exchange. Peracchia, C. and Anaizi N.H. (eds). in: *Lung function in health and disease: Basic concepts of respiratory physiology and pathophysiology*. (s. 80–99). USA: Bentham Science Publishers.
- Peracchia, C (2014b). Basic Lung Structure. Peracchia, C. and Anaizi N.H. (eds). in: *Lung function in health and disease: Basic concepts of respiratory physiology and pathophysiology*. (s. 35–46). USA: Bentham Science Publishers.
- Peracchia, C (2014c). Ventilation-Perfusion Distribution, Blood Shunts and Alveolar Dead Space. Peracchia, C. and Anaizi N.H. (eds). in: *Lung function in health and disease: Basic concepts of respiratory physiology and pathophysiology*. (s.150–196). USA: Bentham Science Publishers.
- Petek, B.J., Gustus, S.K. and Wasfy, M.M. (2021). Cardiopulmonary exercise testing in athletes: expect the unexpected. *Current Treatment Options in Cardiovascular Medicine*. 23 (7). 49.
- Peters C.M. and Sheel A.W. (2019). Pulmonary Physiology and Response to Exercise. Cogo, A., Bonini, M. and Onorati, P. (eds). in: *Exercise and sports pulmonology: Pathophysiological adaptations and rehabilitation*. (s. 3–17). Cham: Springer. 1. Baski.

- Peters, C.M., Dempsey, J.A., Hopkins, S.R. and Sheel, A.W. (2023). Is the Lung Built for Exercise? Advances and Unresolved Questions. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 55 (12). 2143–2159.
- Peters, C.M., Welch, J.F., Dominelli, P.B., Molgat-Seon, Y., Romer, L.M., McKenzie, D.C. and Sheel, A.W. (2017). Influence of inspiratory resistive loading on expiratory muscle fatigue in healthy humans. *Experimental Physiology*. 102 (9). 1221–1233.
- Peterson, R.A., König, C., Zimmermann, K., Barry, C.M., Wiklendt, L. and Brookes, S.J. (2020). Effects of lactate on one class of group III (CT3) muscle afferents. *Frontiers in cellular neuroscience*. 14. 215.
- Petersson, J. and Glenny, R.W. (2014). Gas exchange and ventilation–perfusion relationships in the lung. *European Respiratory Journal*. 44 (4). 1023–1041.
- Petersson, J. and Glenny, R.W. (2023). Gas Exchange in the Lung. *Seminars in respiratory and critical care medicine*. 44 (5). 555–568.
- Petrassi, F.A., Davis, J.T., Beasley, K.M., Evero, O., Elliott, J.E., Goodman, R.D., ... and Lovering, A.T. (2018). AltitudeOmics: effect of reduced barometric pressure on detection of intrapulmonary shunt, pulmonary gas exchange efficiency, and total pulmonary resistance. *Journal of Applied Physiology*. 124 (5). 1363–1376.
- Peyton, P.J. (2021). Ideal alveolar gas defined by modal gas exchange in ventilation–perfusion distributions. *Journal of Applied Physiology*. 131 (6). 1831–1838.
- Pezzuto, B., Contini, M., Berna, G., Galotta, A., Cattaneo, G., Maragna, R., ... and Agostoni, P. (2024). Dynamic trend of lung fluid movement during exercise in heart failure: From lung imaging to alveolar-capillary membrane function. *International Journal of Cardiology*. 407. 132041.
- Phillips, D.B. and Stickland, M.K. (2019). Respiratory limitations to exercise in health: a brief review. *Current Opinion in Physiology*. 10. 173–179.
- Phillips, D.B., Collins, S.É. and Stickland, M.K. (2020). Measurement and interpretation of exercise ventilatory efficiency. *Frontiers in Physiology*. 11. 659.
- Phillips, D.B., Ramsook, A.H. and Dempsey, J.A. (2025). Exercise hyperpnea: the first step of oxygen delivery. Joyner, M.J. and Dempsey, D.A. (eds). in: *On Oxygen: From Air to Tissues*. (s. 13–64). USA: Academic Press of Elsevier. 1. Baskı.
- Phyu, S.L., Turnbull, C. and Talbot, N. (2023). Basic respiratory physiology. *Medicine*. 51 (10). 679–683.

- Pieters, D., Wezenbeek, E., De Ridder, R., Witvrouw, E. and Willems, T. (2022). Acute effects of warming up on achilles tendon blood flow and stiffness. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 36 (10). 2717–2724.
- Plantier, L., Cazes, A., Dinh-Xuan, A.T., Bancal, C., Marchand-Adam, S. And Crestani, B. (2018). Physiology of the lung in idiopathic pulmonary fibrosis. *European Respiratory Review*. 27 (147).
- Plouffe, A.A., Fischer, K.P. and Vranish, J.R. (2023). Acute upper and lower limb hemodynamic responses during single sessions of low-versus high-intensity inspiratory muscle strength training. *Journal of Applied Physiology*. 135 (5). 995–1000.
- Plunkett, M.J., Sayegh, A.L.C., McWilliams, T.J., Sithamparamanathan, S., Paton, J.F. and Fisher, J.P. (2024). The skeletal muscle metaboreflex: a novel driver of ventilation, dyspnoea and pulmonary haemodynamics during exercise in pulmonary arterial hypertension. *European Respiratory Journal*. 63 (1).
- Pongpanit, K., Korakot, M., Nitilap, P., Puplab, N., Charususin, N. and Yuenyongchaiwat, K. (2024). Acute cardiac autonomic and hemodynamic responses to resistive breathing: effect of loading type and intensity. *Clinical Physiology and Functional Imaging*. 44 (4). 313–323.
- Powell, F.L., Wagner, P.D., West, J.B. (2016). Ventilation, Blood Flow, and Gas Exchange. Broaddus, V.C., Ernst, J.D., King Jr, T.E., Lazarus, S.C., Sarmiento, K.F., Schnapp, L.M., ... and Gotway, M.B. (eds). in: *Murray & Nadel's textbook of respiratory medicine* (s. 44–75). Philadelphia, PA: Elsevier Health Sciences. 6. Baskı.
- Powers, K.A. and Dhamoon, A.S. (2019, January). Physiology, pulmonary ventilation and perfusion. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. Retrieved February 19, 2025, from <https://europepmc.org/article/NBK/nbk539907>.
- Powers, S.K., Howley, E.T. and Quindry, J.C. (2020). *Exercise physiology: theory and application to fitness and performance*. New York: McGraw-Hill. 11. Baskı.
- Powers, S.K., Howley, E.T. and Quindry, J.C. (2024). *Exercise physiology: theory and application to fitness and performance*. New York: McGraw-Hill. 12. Baskı.
- Prada, E.O., Morita, L.A., Longo, A.F., Cianciulli, T.F., Lax, J.A. and Balardini, E.D. (2024). Cardiovascular Adaptive Response To Training in Elite Athletes. Comparison Between Endurance and Non-Endurance Athletes. *Medicina*. 84 (3).
- Prakash, Y.S., Pabelick, C.M. and Chiarella, S.E. (2021). Sex differences in respiratory physiology. *Sex-based differences in lung physiology*. 1–11.

- Priego Quesada, J.I., Pérez-Soriano, P., Lucas-Cuevas, A.G., Salvador Palmer, R. and Cibrián Ortiz de Anda, R.M. (2017). Effect of bike-fit in the perception of comfort, fatigue and pain. *Journal of Sports Sciences*. 35 (14). 1459–1465.
- Priel, E., Diab, N., Patel, M., Wahab, M., Freitag, A., O’Byrne, P.M., ... and Satia, I. (2023). The added value of haemoglobin to height, age, and sex to predict DLCO in subjects with preserved exercise capacity. *PLoS One*. 18 (8). e0289540.
- Prieske, O., Behrens, M., Chaabene, H., Granacher, U. and Maffiuletti, N.A. (2020). Time to differentiate postactivation “potentiation” from “performance enhancement” in the strength and conditioning community. *Sports Medicine*. 50 (9). 1559–1565.
- Prisk, G.K. (2020). Ventilation, Blood Flow, and Their Inter-Relationships. Maynard, R.L., Pearce, S.J., Nemery, B.B., Wagner, P.D. Cooper, B.G (eds). in: *Cotes’ Lung Function*. (s. 259–299). UK:Wiley-Blackwell. 7. Baskı.
- Pritchard, A., Burns, P., Correia, J., Jamieson, P., Moxon, P., Purvis, J., ... and Sylvester, K.P. (2021). ARTP statement on cardiopulmonary exercise testing 2021. *BMJ Open Respiratory Research*. 8 (1). e001121.
- Pruitt, W.C. (2021). Ventilation and Oxygenation. Hess, D.R., MacIntyre, N.R., Galvin, W.F. and Mishoe, S.C. (eds). *Respiratory Care: Principles and Practice*. (s. 3168–3221). Burlington: Jones & Bartlett Publishers. 4. Baskı.
- Quagliarotti, C., Villanova, S., Marciano, A., López-Belmonte, Ó., Caporali, C., Bottoni, A., ... and Piacentini, M.F. (2024). Warm-Up in Triathlon: Do Triathletes Follow the Scientific Guidelines?. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 1. 1–7.
- Quirk, J.D., Sukstanskii, A.L., Woods, J.C., Lutey, B.A., Conradi, M.S., Gierada, D.S., ... and Yablonskiy, D.A. (2016). Experimental evidence of age-related adaptive changes in human acinar airways. *Journal of Applied Physiology*. 120 (2). 159–165.
- Raberin, A., Meric, H., Mucci, P., Lopez Ayerbe, J. and Durand, F. (2020). Muscle and cerebral oxygenation during exercise in athletes with exercise-induced hypoxemia: A comparison between sea level and acute moderate hypoxia. *European Journal of Sport Science*. 20 (6). 803–812.
- Raberin, A., Nader, E., Ayerbe, J.L., Mucci, P., Pialoux, V., Meric, H., ... and Durand, F. (2021). Implication of blood rheology and pulmonary hemodynamics on exercise-induced hypoxemia at sea level and altitude in athletes. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 31 (5). 397–405.
- Raccuglia, M., Lloyd, A., Filingeri, D., Faulkner, S.H., Hodder, S. and Havenith, G. (2016). Post-warm-up muscle temperature maintenance: blood flow contribution and external heating optimisation. *European Journal of Applied Physiology*. 116. 395–404.

- Racinais, S. and Oksa, J. (2010). Temperature and neuromuscular function. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 20. 1–18.
- Rago, V., Krustup, P. and Mohr, M. (2022). Performance and submaximal adaptations to additional speed-endurance training vs. continuous moderate-intensity aerobic training in male endurance athletes. *Journal of Human Kinetics*. 83. 277.
- Räisänen, A.M., Owwoeye, O.B., Befus, K., van den Berg, C., Pasanen, K. and Emery, C.A. (2021). Warm-ups and coaches' perceptions: searching for clues to improve injury prevention in youth basketball. *Frontiers in Sports and Active Living*. 3. 619291.
- Rajaure, Y.S., Thapa, B., Budhathoki, L., Rana, S.R. and Khadka, M. (2023). Comparison of Spirometric parameters in athletes engaged in aerobic and anaerobic sports: a cross-sectional study. *Annals of Medicine and Surgery*. 85 (6). 2502–2505.
- Ramly, E., Kaafarani, H.M. and Velmahos, G.C. (2015). The effect of aging on pulmonary function: implications for monitoring and support of the surgical and trauma patient. *Surgical Clinics*. 95 (1). 53–69.
- Ramsook, A.H., Peters, C.M., Leahy, M.G., Archiza, B., Mitchell, R.A., Jasinovic, T., ... and Sheel, A.W. (2020). Near-infrared spectroscopy measures of sternocleidomastoid blood flow during exercise and hyperpnoea. *Experimental Physiology*. 105 (12). 2226–2237.
- Ramsook, A.H., Schaeffer, M.R., Mitchell, R.A., Dhillon, S.S., Milne, K.M., Ferguson, O.N., ... and Guenette, J.A. (2022). Sex Differences in Diaphragm Voluntary Activation after Exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 54 (7). 1167–1175.
- Ratamess N (2021). American College of Sports Medicine. ACSM's Foundations of Strength Training and Conditioning. Wolters Kluwer: Philadelphia. 2. Baski.
- Ratnovsky, A., Elad, D. and Halpern, P. (2008). Mechanics of respiratory muscles. *Respiratory physiology & neurobiology*. 163(1-3). 82–89.
- Ravi, A., Jia, L., Wu, X., van der Meer, A.D., Gosens, R., Stolk, J., ... and Khedoe, P.P. J. (2024). Loss of Pulmonary Endothelial Cells in Emphysema Impairs Support of Human Alveolar Epithelial Cell Growth. *American Journal of Respiratory Cell and Molecular Biology*. 70 (2). 149–152.
- Reilly, C.C., Jolley, C.J., Ward, K., MacBean, V., Moxham, J. and Rafferty, G.F. (2013). Neural respiratory drive measured during inspiratory threshold loading and acute hypercapnia in healthy individuals. *Experimental Physiology*. 98 (7). 1190–1198.
- Reinhard, P.A., Archiza, B., Welch, J.F., Benbaruj, J., Guenette, J.A., Koehle, M.S. and Sheel, A.W. (2023). Effects of hypoxia on exercise-induced diaphragm fatigue in healthy males and females. *Physiological Reports*. 11 (2). e15589.

- Resende MA., Aidar, F.J., RB, V.R., Reis, G.C., LdO, B., DGd, M., ... and Garrido, N.D. (2021). Effect of Different Types of Warm-up on Strength and Skin Temperature of Paralympic Powerlifting Athletes.
- Ribeiro, B., Pereira, A., Neves, P.P., Sousa, A.C., Ferraz, R., Marques, M.C., ... and Neiva, H.P. (2020). The role of specific warm-up during bench press and squat exercises: A novel approach. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 17 (18). 6882.
- Richard, N.A., Hodges, L. and Koehle, M.S. (2021). Elevated peak systolic blood pressure in endurance-trained athletes: Physiology or pathology?. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 31 (5). 956–966.
- Richard, P. and Billaut, F. (2018). Combining chronic ischemic preconditioning and inspiratory muscle warm-up to enhance on-ice time-trial performance in elite speed skaters. *Frontiers in Physiology*. 9. 1036.
- Richard, P. and Billaut, F. (2019). Effects of inspiratory muscle warm-up on locomotor muscle oxygenation in elite speed skaters during 3000 m time trials. *European Journal of Applied Physiology*. 119. 191–200.
- Riou, M., Pizzimenti, M., Enache, I., Charloux, A., Canuet, M., Andres, E., ... and Geny, B. (2020). Skeletal and respiratory muscle dysfunctions in pulmonary arterial hypertension. *Journal of Clinical Medicine*. 9 (2). 410.
- Roan, E. and Waters, C.M. (2011). What do we know about mechanical strain in lung alveoli?. *American journal of physiology. Lung cellular and molecular physiology*. 301(5). 625–635.
- Rochat, I., Côté, A. and Boulet, L.P. (2022). Determinants of lung function changes in athletic swimmers. A review. *Acta Paediatrica*. 111 (2). 259–264.
- Rodrigues, A., Janssens, L., Langer, D., Matsumura, U., Rozenberg, D., Brochard, L. and Reid, W.D. (2025). Acquisition and Semi-Automated Analysis of Respiratory Muscle Surface Electromyography. *Journal of Visualized Experiments*. (215). e67157.
- Rodrigues, P., Trajano, G.S., Stewart, I.B. and Minett, G.M. (2022a). Potential role of passively increased muscle temperature on contractile function. *European Journal of Applied Physiology*. 122 (10). 2153–2162.
- Rodrigues, A., Janssens, L., Langer, D., Matsumura, U., Rozenberg, D., Brochard, L. and Reid, W.D. (2022b). Semi-automated detection of the timing of respiratory muscle activity: validation and first application. *Frontiers in Physiology*. 12. 794598.
- Rodrigues, A., Shingai, K., Gomez, C.A., Rassam, P., Rozenberg, D., Goligher, E., ... and Reid, W.D. (2024). Continuous measurements of respiratory muscle blood flow & oxygen consumption using non-invasive FD-NIRS & DCS. *Journal of Applied Physiology*.

- Rodrigues, G.D. and McConnell, A.K. (2024). The misuse of respiratory resistive loading during aerobic exercises: revisiting mechanisms of "standalone" inspiratory muscle training. *American journal of physiology-Lung cellular and molecular physiology*. 327 (6). 815–983
- Rodrigues, P., Trajano, G.S., Wharton, L. and Minett, G.M. (2020). Effects of passive heating intervention on muscle hypertrophy and neuromuscular function: A preliminary systematic review with meta-analysis. *Journal of Thermal Biology*. 93. 102684.
- Rodrigues, P., Trajano, G.S., Wharton, L., Orssatto, L.B. and Minett, G.M. (2021). A passive increase in muscle temperature enhances rapid force production and neuromuscular function in healthy adults. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 24 (8). 818–823.
- Rodriguez, N.E. and Silva, S. (2021). The Respiratory System. Kacmarek, R.M., Stoller, J.K. and Heuer, A. (eds). in: Egan's fundamentals of respiratory Care. St. Louis, Missouri: Elsevier. 12. Baskı.
- Romain, A.J., Brun, J.F., Varlet-Marie, E. and Raynaud de Mauverger, E. (2011). Effects of exercise training on blood rheology: A meta-analysis. *Clinical Hemorheology and Microcirculation*. 49 (1-4). 199–205.
- Romanchuk, O. (2023). Cardiorespiratory dynamics during respiratory maneuver in athletes. *Frontiers in Network Physiology*. 3. 1276899.
- Romarateabala, E., Nakamura, F.Y., Castillo, D., Gorostegi-Anduaga, I. And Yanci, J. (2018). Influence of warm-up duration on physical performance and psychological perceptions in handball players. *Research in Sports Medicine*. 26 (2). 230–243.
- Romer, L.M., Haverkamp, H.C., Amann, M., Lovering, A.T., Pegelow, D.F. and Dempsey, J.A. (2007). Effect of acute severe hypoxia on peripheral fatigue and endurance capacity in healthy humans. *American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*. 292. 598–606.
- Ross, E.Z., Nowicky, A.V. and McConnell, A.K. (2007). Influence of acute inspiratory loading upon diaphragm motor-evoked potentials in healthy humans. *Journal of Applied Physiology*. 102 (5). 1883–1890.
- Rosser-Stanford, B., Backx, K., Lord, R. and Williams, E.M. (2019). Static and dynamic lung volumes in swimmers and their ventilatory response to maximal exercise. *Lung*. 197. 15–19.
- Roughton, F.J.W. and Forster, R.E. (1957). Relative importance of diffusion and chemical reaction rates in determining rate of exchange of gases in the human lung, with special reference to true diffusing capacity of pulmonary membrane and volume of blood in the lung capillaries. *Journal of Applied Physiology*. 11 (2). 290–302.

- Rowe, S.J., Paratz, E.D., Foulkes, S.J., Janssens, K., Spencer, L.W., Fahy, L., ... and La Gerche, A. (2023). Understanding exercise capacity: from elite athlete to HFpEF. *Canadian Journal of Cardiology*. 39 (11). 323–334.
- Roy, T.K. and Secomb, T.W. (2019). Effects of pulmonary flow heterogeneity on oxygen transport parameters in exercise. *Respiratory Physiology & Neurobiology*. 261. 75–79.
- Roy, T.K., and Secomb, T.W. (2014). Theoretical analysis of the determinants of lung oxygen diffusing capacity. *Journal of Theoretical Biology*. 351. 1–8.
- Rumeau, V., Grospretre, S. and Babault, N. (2024). The Combination of Motor Imagery and Post-Activation Performance Enhancement is Efficient to Emphasize the Effects of Warm-Up on Sport-Specific Performance. *Journal of Sports Science and Medicine*. 23 (4). 834–842.
- Sageer, H.M. and Rozario, C. (2024). Applied respiratory physiology. *Anaesthesia & Intensive Care Medicine*. 25 (9). 610–615.
- Saklica, D. (2023). Respiratory System and Its Adaptations to Exercise. Utlu, D. K. (eds). *Functional Exercise Anatomy and Physiology for Physiotherapists*. (s. 423–446). Cham: Springer Nature.
- Sanz de la Garza, M., Grazioli, G., Bijmens, B.H., Pajuelo, C., Brotons, D., Subirats, E., ... and Sitges, M. (2016). Inter-individual variability in right ventricle adaptation after an endurance race. *European Journal of Preventive Cardiology*. 23 (10). 1114–1124.
- Sanz-de la Garza, M., Rubies, C., Batlle, M., Bijmens, B.H., Mont, L., Sitges, M. and Guasch, E. (2017). Severity of structural and functional right ventricular remodeling depends on training load in an experimental model of endurance exercise. *American journal of physiology. Heart and Circulatory Physiology*. 313 (3). 459–468.
- Sanz-de la Garza, M., Vaquer-Segui, A., Durán, K., Blanco, I., Burgos, F., Alsina, X., ... and Sitges, M. (2020). Pulmonary transit of contrast during exercise is related to improved cardio-pulmonary performance in highly trained endurance athletes. *European Journal of Preventive Cardiology*. 27 (14). 1504–1514.
- Sato, K., Kamoda, T., Sakamoto, R., Katayama, K., Neki, T., Katayose, M. and Iwamoto, E. (2025). Effects of inspiratory muscle metaboreflex on cerebral circulation at rest and during light-intensity exercise in healthy males. *Respiratory Physiology & Neurobiology*. 104422.
- Sato, S., Ishida, K., Tanaka, N.I. and Katayama, K. (2024). Impact of high-intensity interval hyperpnea on aerobic energy release and inspiratory muscle fatigue. *Respiratory Physiology & Neurobiology*. 319. 104170.
- Saydain, G., Beck, K.C., Decker, P.A., Cowl, C.T. and Scanlon, P.D. (2004). Clinical significance of elevated diffusing capacity. *Chest*. 125 (2). 446–452.

- Schoeberlein, M.I., Frisiras, C.E. and Coffman, K.E. (2024). The effect of heat on lung diffusing capacity for carbon monoxide (DLCO) during cycling exercise. *European Journal of Applied Physiology*. 124 (2). 469–477.
- Schwartz, J.C., Snyder, E.M., Olson, T.P., Johnson, B.D. and Wheatley-Guy, C. M. (2021). Alveolar to arterial gas exchange during constant-load exercise in healthy active men and women. *Journal of Sports Sciences*. 39 (9). 961–968.
- Scott, G.R., Garvey, K.M. and Wearing, O.H. (2024). The role of the heart in the evolution of aerobic performance. *Journal of Experimental Biology*. 227 (20). jeb247642.
- Shadmehri, S., Kazemi, N. and Heydari, F.Z. (2021). Comparison of effect of high-intensity interval training and aerobic training on respiratory volumes in female students. *Tanaffos*. 20 (4). 337.
- Sheel, A.W., Boushel, R. and Dempsey, J.A. (2018). Competition for blood flow distribution between respiratory and locomotor muscles: implications for muscle fatigue. *Journal of Applied Physiology*. 125 (3). 820–831.
- Sheel, A.W., Taylor, J.L. and Katayama, K. (2020). The hyperpnoea of exercise in health: Respiratory influences on neurovascular control. *Experimental Physiology*. 105 (12). 1984–1989.
- Shei, R.J., Paris, H.L., Wilhite, D.P., Chapman, R.F. and Mickleborough, T.D. (2016). The role of inspiratory muscle training in the management of asthma and exercise-induced bronchoconstriction. *The Physician and Sportsmedicine*. 44 (4). 327–334.
- Shiffman, V.J., Rose, P., Hughes, B.G., Koehle, M.S., McKinney, J., McKenzie, D.C., ... and Sheel, A.W. (2023). Exercise-induced arterial hypoxemia in female masters athletes. *Respiratory Physiology & Neurobiology*. 315. 104099.
- Shiozawa, K., Shimizu, K., Saito, M., Ishida, K., Mizuno, S. and Katayama, K. (2022). Sex differences in blood pressure and inactive limb blood flow responses during dynamic leg exercise with increased inspiratory muscle work. *Nagoya journal of medical science*. 84 (4). 782.
- Sidhu, S.K., Weavil, J.C., Mangum, T.S., Jessop, J.E., Richardson, R.S., Morgan, D.E. and Amann, M. (2017). Group III/IV locomotor muscle afferents alter motor cortical and corticospinal excitability and promote central fatigue during cycling exercise. *Clinical Neurophysiology*. 128 (1). 44–55.
- Sidhu, S.K., Weavil, J.C., Thurston, T.S., Rosenberger, D., Jessop, J.E., Wang, E., ... and Amann, M. (2018). Fatigue-related group III/IV muscle afferent feedback facilitates intracortical inhibition during locomotor exercise. *The Journal of Physiology*. 596 (19). 4789–4801.

- Siebenmann, C., Rasmussen, P., Sørensen, H., Zaar, M., Hvidtfeldt, M., Pichon, A., ... and Lundby, C. (2015). Cardiac output during exercise: a comparison of four methods. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 25 (1). 20–27.
- Sietsema, K.E. and Rossiter, H.B. (2023). Exercise Physiology and Cardiopulmonary Exercise Testing. *Seminars in Respiratory and Critical Care Medicine*. 44 (5). 661–680.
- Sikora, M., Mikołajczyk, R., Łakomy, O., Karpiński, J., Żebrowska, A., Kostorz-Nosal, S. and Jastrzębski, D. (2024). Influence of the breathing pattern on the pulmonary function of endurance-trained athletes. *Scientific Reports*. 14 (1). 1113.
- Silapabanleng, S., Theanthong, A., Phangjaem, M., Pheungtamom, V. and Suwondit, P. (2021a). Change in respiratory muscle strength and lung function after sprints, middle and long-distance running. *Suranaree Journal of Science & Technology*. 28 (4). 1–7.
- Silapabanleng, S., Boonkobkaew, N., Singthongyam, T., Phangjaem, M., Puengtanom, V., Nakpanom, W., and Suwondit, P. (2021b). Effect of Inspiratory Muscle Warm-Up on Short-Distance Cycling Performance. *Science & Technology Asia*. 221–228.
- Silva, H., Nakamura, F.Y., Bajanca, C., Pinho, G., Loturco, I. and Marcelino, R. (2024a). The impact of different warm-up strategies on acceleration and deceleration demands in highly trained soccer players. *European Journal of Sport Science*. 24 (1). 88–96.
- Silva, N., Travassos, B., Gonçalves, B., Brito, J., Nakamura, F. and Abade, E. (2024b). Effects of warm-up duration on acute physical performance in highly trained male futsal players. *International Journal of Sports Science & Coaching*. 19 (4). 1632–1640.
- Silva, L.M., Neiva, H.P., Marques, M.C., Izquierdo, M. and Marinho, D.A. (2018). Effects of warm-up, post-warm-up, and re-warm-up strategies on explosive efforts in team sports: A systematic review. *Sports Medicine*. 48. 2285–2299.
- Silveyra, P., Fuentes, N. and Rodriguez Bauza, D.E. (2021). Sex and gender differences in lung disease. in *Lung Inflammation in Health and Disease, Volume II*. (s. 227-258). Cham: Springer International Publishing.
- Sitges, M., Merino, B., Butakoff, C., de la Garza, M.S., Pare, C., Montserrat, S., ... and Bijnens, B.H. (2017). Characterizing the spectrum of right ventricular remodelling in response to chronic training. *The International Journal of Cardiovascular Imaging*. 33. 331–339.
- Skattebo, Ø., Bjerring, A.W., Auensen, M., Sarvari, S.I., Cumming, K.T., Capelli, C. and Hallén, J. (2020). Blood volume expansion does not explain the increase in

- peak oxygen uptake induced by 10 weeks of endurance training. *European Journal of Applied Physiology*. 120 (5). 985–999.
- Skloot, G.S. (2017). The effects of aging on lung structure and function. *Clinics in Geriatric Medicine*. 33 (4). 447–457.
- Slobod, D., Damia, A., Leali, M., Spinelli, E. and Mauri, T. (2023). Pathophysiology and clinical meaning of ventilation-perfusion mismatch in the acute respiratory distress syndrome. *Biology*. 12 (1). 67.
- Smith, J.R. and Olson, T.P. (2019). Ventilatory constraints influence physiological dead space in heart failure. *Experimental Physiology*. 104 (1). 70–80.
- Smith, J.R., Alexander, A.M., Hammer, S.M., Didier, K.D., Kurti, S.P., Broxterman, R.M., ... and Harms, C.A. (2017). Cardiovascular consequences of the inspiratory muscle metaboreflex: effects of age and sex. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*. 312 (5). 1013–1020.
- Smith, J.R., Brown, K.R., Murphy, J.D. and Harms, C.A. (2015). Does menstrual cycle phase affect lung diffusion capacity during exercise?. *Respiratory Physiology & Neurobiology*. 205. 99–104.
- Smith, J.R., Senefeld, J.W., Larson, K.F. and Joyner, M.J. (2023). Consequences of group III/IV afferent feedback and respiratory muscle work on exercise tolerance in heart failure with reduced ejection fraction. *Experimental Physiology*. 108 (11). 1351–1365.
- Soares de Araujo, L., Marostegan, A.B., Menezes Scariot, P.P., Bordon Orsi, J., Cirino, C., Papoti, M., ... and Machado-Gobatto, F.B. (2024). Inspiratory muscles pre-activation in young swimmers submitted to a tethered swimming test: effects on mechanical, physiological, and skin temperature parameters. *Scientific Reports*. 14 (1). 5975.
- Spiesshoefer, J., Herkenrath, S., Henke, C., Langenbruch, L., Schneppe, M., Randerath, W., ... and Boentert, M. (2020). Evaluation of respiratory muscle strength and diaphragm ultrasound: normative values, theoretical considerations, and practical recommendations. *Respiration*. 99 (5). 369–381.
- Squeo, M.R., Menichini, I., Morviducci, M., Spinelli, A., Di Gioia, G., Maestrini, V., ... and Palange, P. (2025). Exercise ventilatory efficiency in elite athletes assessed for the Paris 2024 Olympic Games: The effect of sex and sport categories. *Physiological Reports*. 13 (7). e70261.
- Sriboonreung, T., Leelarungrayub, J., Yankai, A. and Puntumetakul, R. (2021). Correlation and predicted equations of MIP/MEP from the pulmonary function, demographics and anthropometrics in healthy Thai participants aged 19 to 50 years. *Clinical Medicine Insights-Circulatory, Respiratory and Pulmonary Medicine*. 15. 11795484211004494.

- Stanojevic, S., Kaminsky, D.A., Miller, M.R., Thompson, B., Aliverti, A., Barjaktarevic, I., ... and Swenson, E.R. (2022). ERS/ATS technical standard on interpretive strategies for routine lung function tests. *European Respiratory Journal*. 60 (1).
- Stewart, G., Fermoye, C., Wheatley, C., Ziegler, B. and Johnson, B. (2018). Influence of ultra-endurance exercise on alveolar-capillary recruitment and lung diffusion. *European Respiratory Journal*. 52 (62). 2441.
- Stewart, G.M., Fermoye, C.C., Wheatley-Guy, C.M., Robach, P., Tiller, N.B., Taylor, B.J., ... and Johnson, B.D. (2024). Effect of Ultra-Marathon Trail Running at Sea Level and Altitude on Alveolar-Capillary Function and Lung Diffusion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 56 (9). 1759–1769.
- Stickland, M.K. and Hopkins, S.R. (2025). Pulmonary gas exchange: ventilation–perfusion mismatch, diffusion limitation, and shunt. Joyner, M.J. and Dempsey, D.A. (eds). in: *On Oxygen: From Air to Tissues*. (s. 65–104). USA: Academic Press of Elsevier. 1. Baskı.
- Stickland, M.K. and Lovering, A.T. (2006). Exercise-induced intrapulmonary arteriovenous shunting and pulmonary gas exchange. *Exercise and Sport Sciences Reviews*. 34 (3). 99–106.
- Stickland, M.K., Lindinger, M.I., Olfert, I.M., Heigenhauser, G.J. and Hopkins, S.R. (2013). Pulmonary gas exchange and acid-base balance during exercise. *Comprehensive Physiology*. 3 (2). 693.
- Stickland, M.K., Rowe, B.H., Spooner, C.H., Vandermeer, B. and Dryden, D.M. (2012). Effect of warm-up exercise on exercise-induced bronchoconstriction. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 44 (3). 383–391.
- Stickland, M.K., Tedjasaputra, V., Seaman, C., Fuhr, D.P., Collins, S.É., Wagner, H., ... and Hopkins, S.R. (2019). Intra-pulmonary arteriovenous anastomoses and pulmonary gas exchange: evaluation by microspheres, contrast echocardiography and inert gas elimination. *The Journal of Physiology*. 597 (22). 5365–5384.
- Stickland, M.K., Welsh, R.C., Haykowsky, M.J., Petersen, S.R., Anderson, W.D., Taylor, D.A., ... and Jones, R.L. (2004). Intra-pulmonary shunt and pulmonary gas exchange during exercise in humans. *The Journal of Physiology*. 561 (1). 321–329.
- Stickland, M.K., Welsh, R.C., Petersen, S.R., Tyberg, J.V., Anderson, W.D., Jones, R.L., ... and Haykowsky, M.J. (2006). Does fitness level modulate the cardiovascular hemodynamic response to exercise?. *Journal of Applied Physiology*. 100 (6). 1895–1901.

- Stoller, J.K., Heuer, A.J., Vines, D.L., Chatburn, R.L. and Mireles-Cabodevila, E. (2024). Egan's Fundamentals of Respiratory Care. Elsevier Health Sciences. 13. Baskı.
- Stone, A.J. and Samora, M. (2023). Can the exercise pressor reflex still go with the flow?. *The Journal of Physiology*. 601 (20). 4471–4472.
- Storebø, M.L., Eagan, T.M., Eide, G.E., Gulsvik, A., Thorsen, E. and Bakke, P.S. (2016). Change in pulmonary diffusion capacity in a general population sample over 9 years. *European Clinical Respiratory Journal*. 3 (1). 31265.
- Sundberg, C.W. and Fitts, R.H. (2019). Bioenergetic basis of skeletal muscle fatigue. *Current Opinion in Pphysiology*. 10. 118–127.
- Suresh, K. and Shimoda, L.A. (2016). Lung circulation. *Comprehensive Physiology*. 6 (2). 897.
- Swift, H.T., O'Driscoll, J.M., Coleman, D.D., Caux, A.D. and Wiles, J.D. (2022). Acute cardiac autonomic and haemodynamic responses to leg and arm isometric exercise. *European Journal of Applied Physiology*. 122 (4). 975–985.
- Tabuchi, A., Tanaka, Y., Horikawa, H., Tazawa, T., Poole, D.C. and Kano, Y. (2024). In vivo heat production dynamics during a contraction-relaxation cycle in rat single skeletal muscle fibers. *Journal of Thermal Biology*. 119. 103760.
- Tadafumi, S. (2024). Pulmonary fluid redistribution during exercise and recovery in chronic heart failure. *International Journal of Cardiology*. 410.
- Takahashi, K., Koyama, A., Irimada, D. and Yamauchi, M. (2025). Inspiratory effort increases blood volume in the thoracic cavity and decreases end-expiratory lung impedance: a preliminary prospective study. *European Journal of Applied Physiology*.
- Takeuchi, K., Takemura, M., Nakamura, M., Tsukuda, F. and Miyakawa, S. (2021). Effects of active and passive warm-ups on range of motion, strength, and muscle passive properties in ankle plantarflexor muscles. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 35 (1). 141–146.
- Tanriverdi, A., Kahraman, B.O., Ozsoy, I., Ozpelit, E. and Savci, S. (2021). Acute effects of inspiratory muscle training at different intensities in healthy young people. *Irish Journal of Medical Science*. 190. 577–585.
- Taylor, B.J. and Romer, L.M. (2008). Effect of expiratory muscle fatigue on exercise tolerance and locomotor muscle fatigue in healthy humans. *Journal of Applied Physiology*. 104 (5). 1442–1451.
- Taylor, B.J., Carlson, A.R., Miller, A.D. and Johnson, B.D. (2014). Exercise-induced interstitial pulmonary edema at sea-level in young and old healthy humans. *Respiratory Physiology & Neurobiology*. 191. 17–25.

- Taylor, J.L., Amann, M., Duchateau, J., Meeusen, R. and Rice, C.L. (2016a). Neural contributions to muscle fatigue: from the brain to the muscle and back again. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 48 (11). 2294.
- Taylor, B.J., Coffman, K.E., Summerfield, D.T., Issa, A.N., Kasak, A.J. and Johnson, B.D. (2016b). Pulmonary capillary reserve and exercise capacity at high altitude in healthy humans. *European Journal of Applied Physiology*. 116. 427–437.
- Taylor, J.L., Bonikowske, A.R. and Olson, T.P. (2021). Optimizing outcomes in cardiac rehabilitation: the importance of exercise intensity. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*. 8. 734278.
- Taytard, J., Lacin, F., Nguyen, T.L.T., Boizeau, P., Alberti, C. and Beydon, N. (2020). Children with uncontrolled asthma and significant reversibility might show hypoxaemia. *European Journal of Pediatrics*. 179. 999–1005.
- Tedjasaputra, V., Bouwsema, M.M. and Stickland, M.K. (2016a). Effect of aerobic fitness on capillary blood volume and diffusing membrane capacity responses to exercise. *The Journal of Physiology*. 594 (15). 4359–4370.
- Tedjasaputra, V., Collins, S.É., Bryan, T.L., van Diepen, S., Bouwsema, M.M. and Stickland, M.K. (2016b). Is There A Relationship Between Pulmonary Capillary Blood Volume And Intrapulmonary Arteriovenous Anastomosis Recruitment During Exercise?. *The FASEB Journal*. 30. 761.
- Tedjasaputra, V., Bryan, T.L., van Diepen, S., Moore, L.E., Bouwsema, M.M., Welsh, R.C., ... and Stickland, M.K. (2015). Dopamine receptor blockade improves pulmonary gas exchange but decreases exercise performance in healthy humans. *The Journal of Physiology*. 593 (14). 3147–3157.
- Tedjasaputra, V., Sa, R.C., Anderson, K.M., Prisk, G.K. and Hopkins, S.R. (2019a, May). Increased Ventilation-Perfusion Heterogeneity in the Basal Lung Following Heavy Exercise Is Consistent with Development of Interstitial Pulmonary Edema. *Altitude and Extreme Environment*. American Thoracic Society. (s. 2235–2235)
- Tedjasaputra, V., Sá, R.C., Anderson, K.M., Prisk, G.K. and Hopkins, S.R. (2019b). Heavy upright exercise increases ventilation-perfusion mismatch in the basal lung: indirect evidence for interstitial pulmonary edema. *Journal of Applied Physiology*. 127 (2). 473–481.
- Tedjasaputra, V., van Diepen, S., Collins, S.É., Michaelchuk, W.M., and Stickland, M.K. (2017). Assessment of pulmonary capillary blood volume, membrane diffusing capacity, and intrapulmonary arteriovenous anastomoses during exercise. *Journal of Visualized Experiments: JoVE*. 120. e54949.
- Teixeira, A.L. and Vianna, L.C. (2022). The exercise pressor reflex: An update. *Clinical Autonomic Research*. 32 (4). 271–290.

- Teixeira, A.L., Fernandes, I.A. and Vianna, L.C. (2019). GABAA receptors modulate sympathetic vasomotor outflow and the pressor response to skeletal muscle metaboreflex activation in humans. *The Journal of Physiology*. 597 (16). 4139–4150.
- Teixeira, A.L., Fernandes, I.A. and Vianna, L.C. (2020). Cardiovascular control during exercise: the connectivity of skeletal muscle afferents to the brain. *Exercise and Sport Sciences Reviews*. 48 (2). 83–91.
- Tetzlaff, K., Lemaitre, F., Burgstahler, C., Luetkens, J.A. and Eichhorn, L. (2021). Going to Extremes of Lung Physiology–Deep Breath-Hold Diving. *Frontiers in Physiology*. 12. 710429.
- Thapa, R., Clemente, F., Moran, J., Garcia-Pinillos, F., Scanlan, A. T. and Ramirez-Campillo, R. (2023). Warm-up optimization in amateur male soccer players: A comparison of small-sided games and traditional warm-up routines on physical fitness qualities. *Biology of Sport*. 40 (1). 321–329.
- Thenappan, T., Ormiston, M.L., Ryan, J.J. and Archer, S.L. (2018). Pulmonary arterial hypertension: pathogenesis and clinical management. *BMJ*. 360.
- Thiboutot, J., Thompson, B.R. and Brown, R.H. (2018). Introduction to the Structure and Function of the Lung. Kaminsky D.A, Irvin C.G, (eds). in: *Pulmonary Function Testing. Principles and Practice* (s. 1–13). Cham: Springer. 1. Bask1.
- Thompson, B.R., Johns, D.P., Bailey, M., Raven, J., Walters, E.H. and Abramson, M.J. (2008). Prediction equations for single breath diffusing capacity (Tlco) in a middle aged caucasian population. *Thorax*. 63 (10). 889–893.
- Thomsen, R.S., Rasmussen, R.S., Madsen, A.C., Iepsen, U.W., Christensen, R. H. and Berg, R.M. (2025). Standardised lung function metrics in healthy athletes. *Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation*. 1–8.
- Thurston, T.S., Weavil, J.C., Georgescu, V.P., Broxterman, R.M., Wan, H.Y., Birgenheier, N.M., ... and Amann, M. (2020). The Role of Group III/IV Muscle Afferents in Regulating the Hemodynamic Response to Whole Body Exercise. *The FASEB Journal*. 34 (1). 1–1.
- Thurston, T.S., Weavil, J.C., Georgescu, V.P., Wan, H.Y., Birgenheier, N.M., Morrissey, C.K., ... and Amann, M. (2023). The exercise pressor reflex—a pressure-raising mechanism with a limited role in regulating leg perfusion during locomotion in young healthy men. *The Journal of Physiology*. 601 (20). 4557–4572.
- Tiller, N.B. (2019). Pulmonary and respiratory muscle function in response to marathon and ultra-marathon running: a review. *Sports Medicine*. 49 (7). 1031–1041.

- Tiller, N.B., Chiesa, S.T., Roberts, J.D., Turner, L.A., Jones, S. and Romer, L.M. (2019). Physiological and pathophysiological consequences of a 25-day ultra-endurance exercise challenge. *Frontiers in physiology*. 10. 589.
- Tiller, N.B., Stewart, G.M., Illidi, C.R. and Levine, B.D. (2020). Exercise is medicine? The cardiorespiratory implications of ultra-marathon. *Current Sports Medicine Reports*. 19 (8). 290–297.
- Tiller, N.B., Wheatley-Guy, C.M., Fermoy, C.C., Robach, P., Ziegler, B., Gavet, A., ... and Stewart, G.M. (2022). Sex-specific physiological responses to ultramarathon. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 54 (10). 1647–1656.
- Tillin, N.A. and Bishop, D. (2009). Factors modulating post-activation potentiation and its effect on performance of subsequent explosive activities. *Sports Medicine*. 39. 147–166.
- Tipton, M.J., Kadinopoulos, P., de Sa, D.R. and Barwood, M.J. (2017). Changes in lung function during exercise are independently mediated by increases in deep body temperature. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*. 3 (1). e000210.
- Tkacs, N.C., Barker, N.A., Woodruff, S. (2024). Lungs. Tkacs, N., Herrmann, L. (eds). in: *Advanced physiology and pathophysiology: Essentials for clinical practice*. (s.403–447). New York: Springer Publishing Company. 2. Baskı.
- Tkacs, N.C., Porter, C.S., Barker, N.A. (2021). Lungs. Tkacs, N., Herrmann, L., Johnson, R.L. (eds). in: *Advanced physiology and pathophysiology: Essentials for clinical practice*. (s.389–426). New York: Springer Publishing Company. 1. Baskı.
- Tobita, K., Goda, A., Teruya, K., Nishida, Y., Takeuchi, K., Kikuchi, H., ... and Soejima, K. (2023). Exercise capacity and ventilatory efficiency in patients with pulmonary arterial hypertension. *Journal of the American Heart Association*. 12 (11). e026890.
- Tøien, T., Unhjem, R., Berg, O.K., Aagaard, P. and Wang, E. (2023). Strength versus endurance trained master athletes: Contrasting neurophysiological adaptations. *Experimental Gerontology*. 171. 112038.
- Toigo, M. (2023). Muscle Revolution: Concepts and Recipes for Building Muscle Mass and Force. (s.287–296). Germany: Springer.
- Tomsovsky, L., Reid, D., Whatman, C., Borotkanics, R. and Fulcher, M. (2021). The effect of a neuromuscular warm-up on the injury rates in New Zealand amateur futsal players. *Physical Therapy in Sport*. 48. 128–135.
- Tong, T. K. and Fu, F.H. (2006). Effect of specific inspiratory muscle warm-up on intense intermittent run to exhaustion. *European Journal of Applied Physiology*. 97. 673–680.

- Tong, T.K., Baker, J.S., Zhang, H., Kong, Z. and Nie, J. (2019). Effects of specific core re-warm-ups on core function, leg perfusion and second-half team sport-specific sprint performance: A randomized crossover study. *Journal of Sports Science & Medicine*. 18 (3). 479.
- Tony, S.M. and Abdelrahim, M.E. (2022). Respiratory Tract, Ventilation, and Pulmonary Functions Tests. *Journal of Clinical and Nursing Research*. 6 (3). 209–215.
- Torres-Tamayo, N., García-Martínez, D., Lois Zolniski, S., Torres-Sánchez, I., García-Río, F. and Bastir, M. (2018). 3D analysis of sexual dimorphism in size, shape and breathing kinematics of human lungs. *Journal of Anatomy*. 232 (2). 227–237.
- Townsend, E.A., Miller, V.M. and Prakash, Y.S. (2012). Sex differences and sex steroids in lung health and disease. *Endocrine reviews*. 33 (1). 1–47.
- Tran, D.L., Lau, E.M., Celermajer, D.S., Davis, G.M. and Cordina, R. (2018). Pathophysiology of exercise intolerance in pulmonary arterial hypertension. *Respirology*. 23 (2). 148–159.
- Tsurubami, R., Oba, K., Samukawa, M., Takizawa, K., Chiba, I., Yamanaka, M. and Tohyama, H. (2020). Warm-up intensity and time course effects on jump performance. *Journal of Sports Science & Medicine*. 19 (4). 714.
- Tucker, W.D., Weber, C. and Burns, B. (2023). Anatomy, thorax, heart pulmonary arteries. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. Retrieved February 1, 2025, from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK537353/>.
- Twomey, R., Wrightson, J., Fletcher, H., Avraam, S., Ross, E. and Dekerle, J. (2017). Exercise-induced fatigue in severe hypoxia following an intermittent hypoxic protocol. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 49 (12). 2422–2432.
- Ullman, Z.J., Fernandez, M.B. and Klein, M. (2021). Effects of isometric exercises versus static stretching in warm-up regimens for running sport athletes: a systematic review. *International Journal of Exercise Science*. 14 (6). 1204.
- Ursu, C.G., Busnatu, Ș., Cristea, C.F., Makdah, O., Miricescu, D., Nica, S., ... and Stanciu, S. (2024). Cardiac Adaptation in Performance Athletes: A Systematic Review.
- Vadher, K.P., Sanghvi, M. and Tank, K. (2024). The impact of a raise, activate, mobilize, and potentiate (RAMP) warm-up protocol on speed, agility, and endurance in competitive male football players: a quasi-experimental study. *Journal of Society of Indian Physiotherapists*. 8 (1). 10–13.
- Vahidy, S., Agyeman, J., Zheng, B., Donohoe, K., Hambly, N., Johannson, K. A., ... & CARE-PF Investigators. (2024). Characteristics and risk factors of interstitial pneumonia with autoimmune features. *Respiratory Medicine*. 221. 107500.

- Vaz Fragoso, C.A. and Gill, T.M. (2012). Respiratory impairment and the aging lung: a novel paradigm for assessing pulmonary function. *Journals of Gerontology Series A*. 67 (3). 264–275.
- Verma, A., and Cooper, R. (2023). Cardiology. Eastwood, D. and Vishnubala, D. (eds). in: *Sport and Exercise Medicine: An Essential Guide*. (s. 145–161). UK: CRC Press. 1. Baski.
- Vieira, P.L.H., Santinelli, F.B., Carling, C., Kellis, E., Santiago, P.R. and Barbieri, F.A. (2021). Acute effects of warm-up, exercise and recovery-related strategies on assessments of soccer kicking performance: a critical and systematic review. *Sports Medicine*. 51. 661–705.
- Vijitsoontronkul, K., Thongchote, K., & Bupha-Intr, T. (2025). The Acute Effect of Slow Deep Breathing Variation Techniques on Ventilatory Capacity and Inspiratory Muscle Endurance. *Respiratory Physiology & Neurobiology*. 336. 104459.
- Vogiatis, I., Louvaris, Z. and Wagner, P.D. (2020). Respiratory and locomotor muscle blood flow during exercise in health and chronic obstructive pulmonary disease. *Experimental Physiology*. 105 (12). 1990–1996.
- Volianitis, S., McConnell, A.K. and Jones, D.A. (2001a). Assessment of maximum inspiratory pressure prior submaximal respiratory muscle activity ('Warm-Up') enhances maximum inspiratory activity and attenuates the learning effect of repeated measurement. *Respiration*. 68 (1). 22–27.
- Volianitis, S., McConnell, A.K., Koutedakis, Y. and Jones, D.A. (2001b). Specific respiratory warm-up improves rowing performance and exertional dyspnea. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 33 (7). 1189–1193.
- Volianitis, S., McConnell, A.K., Koutedakis, Y. and Jones, D.A. (1999). The influence of prior activity upon inspiratory muscle strength in rowers and non-rowers. *International Journal of Sports Medicine*. 20 (08). 542–547.
- Vrindten, K.L., Lonati, D.P., Mazzocca, J.L. and Matzkin, E.G. (2024). Thermal Modalities Including Hot Baths and Cold Plunges Play a Unique Role in Injury Prevention and Recovery. *Arthroscopy Techniques*. 103305.
- Wagner, P.D. (2015). The physiological basis of pulmonary gas exchange: implications for clinical interpretation of arterial blood gases. *European Respiratory Journal*. 45 (1). 227–243.
- Wahl, P., Zinner, C., Yue, Z., Bloch, W. and Mester, J. (2010). Warming-up affects performance and lactate distribution between plasma and red blood cells. *Journal of Sports Science & Medicine*. 9 (3). 499.
- Walker, B. (2011) *The Ultimate Guide to Stretching and Flexibility*. Long Island, NY: The Stretching Institute.

- Walker, C.M., Rosado-de-Christenson, M.L., Martínez-Jiménez, S., Kunin, J.R. and Wible, B.C. (2015). Bronchial arteries: anatomy, function, hypertrophy, and anomalies. *Radiographics*. 35 (1). 32–49.
- Walterspacher, S., Pietsch, F., Walker, D.J., Roecker, K. and Kabitz, H.J. (2018). Activation of respiratory muscles during respiratory muscle training. *Respiratory Physiology & Neurobiology*. 247. 126–132.
- Wan, H.Y., Bunsawat, K. and Amann, M. (2023). Autonomic cardiovascular control during exercise. *American Journal of Physiology-Heart and circulatory physiology*. 325 (4). 675–686.
- Wan, H.Y., Weavil, J.C., Thurston, T.S., Georgescu, V.P., Hureau, T.J., Bledsoe, A.D., ... and Amann, M. (2020a). The exercise pressor reflex and chemoreflex interaction: cardiovascular implications for the exercising human. *The Journal of Physiology*. 598 (12). 2311–2321.
- Wan, H.Y., Weavil, J.C., Thurston, T.S., Georgescu, V.P., Bledsoe, A.D., Jessop, J.E., ... and Amann, M. (2020b). The muscle reflex and chemoreflex interaction: ventilatory implications for the exercising human. *Journal of applied Physiology*. 129 (4). 691–700.
- Wan, H.Y., Weavil, J.C., Thurston, T.S., Georgescu, V.P., Morrissey, C.K. and Amann, M. (2022). On the haemodynamic consequence of the chemoreflex and muscle mechanoreflex interaction in women and men: two tales, one story. *The Journal of Physiology*. 600 (16). 3671–3688.
- Wang, W., Wu, D., Wang, H., Zhang, Z., Jiang, X., Li, S., ... and Gao, X. (2024). Acute Effects of Breath-Hold Conditions on Aerobic Fitness in Elite Rugby Players. *Life*. 14 (8). 917.
- Ward, S.A. (2018). Determinants of the physiological systems responses to muscular exercise in healthy subjects. Palange, P. Laveneziana, P., Neder, J.A., Ward, S.A. (eds). in: *Clinical Exercise Testing (ERS Monograph)*. (s. 1–33). Sheffield: European Respiratory Society. 1. Bask1.
- Wardyn, P.M., De Broucker, V., Chenivesse, C., Sobaszek, A., Van Bulck, R., Perez, T., ... and Hulo, S. (2021). Assessing the applicability of the new Global Lung Function Initiative reference values for the diffusing capacity of the lung for carbon monoxide in a large population set. *PLoS One*. 16 (1). e0245434.
- Washif, J.A., Beaven, C.M., Pagaduan, J., Lim, J., Raja Azidin, R.M.F., Tan, E., ... and James, C. (2025). Current practices of warm-up during strength training and conditioning based on coaching experience. *Sport Sciences for Health*. 1–13.
- Washino, S., Mankyu, H., Kanehisa, H., Mayfield, D.L., Cresswell, A.G. and Yoshitake, Y. (2019). Effects of inspiratory muscle strength and inspiratory resistance on neck inspiratory muscle activation during controlled inspirations. *Experimental Physiology*. 104 (4). 556–567.

- Weatherald, J., Boucly, A., Montani, D., Jaïs, X., Savale, L., Humbert, M., ... and Laveneziana, P. (2020). Gas exchange and ventilatory efficiency during exercise in pulmonary vascular diseases. *Archivos de bronconeumologia*. 56 (9). 578–585.
- Weatherald, J., Philipenko, B., Montani, D. and Laveneziana, P. (2021). Ventilatory efficiency in pulmonary vascular diseases. *European Respiratory Review*. 30 (161).
- Weatherwax, R.M., Harris, N.K., Kilding, A.E. and Dalleck, L.C. (2016). The incidence of training responsiveness to cardiorespiratory fitness and cardiometabolic measurements following individualized and standardized exercise prescription: study protocol for a randomized controlled trial. *Trials*. 17. 1–12.
- Weibel, E.R. (2009). What makes a good lung?. *Swiss medical weekly*. 139 (2728). 375–386.
- Weibel, E.R. (2017). Lung morphometry: the link between structure and function. *Cell and tissue research*. 367. 413–426.
- Weiler, J.M., Brannan, J.D., Randolph, C.C., Hallstrand, T.S., Parsons, J., Silvers, W., ... and Wallace, D. (2016). Exercise-induced bronchoconstriction update—2016. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology*. 138 (5). 1292–1295.
- Weinberger, S.E., Cockrill, B.A. and Mandel, J. (2023). *Principles of Pulmonary Medicine E-Book*. Philadelphia, PA: Elsevier Health Sciences. 8. Baskı.
- Weisenburger, G., Bunel, V., Godet, C., Salpin, M., Mouren, D., de Menonville, C.T., ... and Mal, H. (2024). An underrecognized phenotype of pulmonary emphysema with marked pulmonary gas exchange but with mild or moderate airway obstruction. *Respiratory Medicine and Research*. 86. 101086.
- Weiss, A., Alack, K., Klatt, S., Zukunft, S., Schermuly, R., Frech, T., ... and Krüger, K. (2022). Sustained endurance training leads to metabolomic adaptation. *Metabolites*. 12 (7). 658.
- Welch, J.F., Archiza, B. and Sheel, A.W. (2020). Respiratory limitations to exercise. Dickinson, J.W., Hull, J.H. (eds). in: *Complete Guide to Respiratory Care in Athletes* (s. 16–26). New York:Routledge.
- Welch, J.F., Archiza, B., Guenette, J.A., West, C.R. and Sheel, A.W. (2018). Effect of diaphragm fatigue on subsequent exercise tolerance in healthy men and women. *Journal of Applied Physiology*. 125 (12). 1987–1996.
- Welch, J.F., Kipp, S. and Sheel, A.W. (2019). Respiratory muscles during exercise: mechanics, energetics, and fatigue. *Current Opinion in Physiology*. 10. 102–109.

- Wendi, W., Dongzhe, W., Hao, W., Yongjin, S. and Xiaolin, G. (2024). Effect of dry dynamic apnea on aerobic power in elite rugby athletes: a warm-up method. *Frontiers in Physiology* 14. 1269656.
- West J.B. and Luks A.M. (2020). *Respiratory Physiology: the Essentials*. Lippincott Williams & Wilkins. 11. Baskı.
- White, M. and Bruce, R. (2020). The role of muscle mechano and metaboreflexes in the control of ventilation: breathless with (over) excitement?. *Experimental Physiology*. 105 (12). 2250–2253.
- Widrich, J. and Shetty, M. (2024). Physiology, Pulmonary Vascular Resistance. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. Retrieved February 19, 2025, from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK554380/>
- Wieslander, B., Ramos, J.G., Ax, M., Petersson, J. and Ugander, M. (2019). Supine, prone, right and left gravitational effects on human pulmonary circulation. *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance*. 21 (1). 69.
- Wilson, C.J., Nunes, J.P. and Blazeovich, A.J. (2025). The effect of muscle warm-up on voluntary and evoked force-time parameters: A systematic review and meta-analysis with meta-regression. *Journal of Sport and Health Science*. 101024.
- Wilson, E.E., McKeever, T.M., Lobb, C., Sherriff, T., Gupta, L., Hearson, G., ... and Shaw, D.E. (2014). Respiratory muscle specific warm-up and elite swimming performance. *British Journal of Sports Medicine*. 48 (9). 789–791.
- Wilson, H., Bernert, L., Spillane, P., Squires, E., Crawford, L., Piasecki, J., ... and Ansdell, P. (2024). Sex differences in the cardiopulmonary and neuromuscular response to high-intensity interval exercise. *bioRxiv*. 11.
- Wilson, J.M., Duncan, N.M., Marin, P.J., Brown, L.E., Loenneke, J.P., Wilson, S.M., ... and Ugrinowitsch, C. (2013). Meta-analysis of postactivation potentiation and power: effects of conditioning activity, volume, gender, rest periods, and training status. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 27 (3). 854–859.
- Wong, R. and Maffei, F.A. (2021). Severe asthma. Lucking, S.E., Maffei, F.A., Tamburro, R.F., Zaritsky A. (eds). in: *Pediatric Critical Care: Text and Study Guide*. (s. 219–249). Cham: Springer. 2. Baskı.
- Wright, S.P., Dawkins, T.G., Eves, N.D., Shave, R., Tedford, R.J. and Mak, S. (2021). Hemodynamic function of the right ventricular-pulmonary vascular-left atrial unit: normal responses to exercise in healthy adults. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*. 320 (3). 923–941.
- Wright, S.P., Opatowsky, A.R., Buchan, T.A., Esfandiari, S., Granton, J.T., Goodman, J.M. and Mak, S. (2019). Flow-related right ventricular to pulmonary arterial pressure gradients during exercise. *Cardiovascular Research*. 115 (1). 222–229.

- Xavier, D.M., de Miranda, J.P., Figueiredo, P.H.S. and Lima, V.P. (2025). The effectiveness of respiratory muscular training in athletes: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*. 42. 777–792.
- Xenofondos, A., Laparidis, K., Kyranoudis, A., Galazoulas, C., Bassa, E. and Kotzamanidis, C. (2010). Post-activation potentiation: Factors affecting it and the effect on performance. *Journal of Physical Education & Sport/Citius Altius Fortius*. 28 (3).
- Xiang, L. and Hester, R.L. (2017). Cardiovascular responses to exercise. Granger, D.N. and Granger, J.P. (eds). in: *Colloquium series on integrated systems physiology: From molecule to function to disease*. San Rafael, CA, USA: Morgan & Claypool Life Sciences. 2. Baskı.
- Xu, K., Blazeovich, A.J., Boullosa, D., Ramirez-Campillo, R., Yin, M., Zhong, Y., ... and Wang, R. (2025). Optimizing Post-activation Performance Enhancement in Athletic Tasks: A Systematic Review with Meta-analysis for Prescription Variables and Research Methods. *Sports Medicine*. 1–32.
- Yamaguchi, K. (2020a). Inhomogeneous Distribution of Ventilation–Perfusion (VA/Q) and Diffusing Capacity–Perfusion (D/Q) in the Lung: What Abnormal VA/Q and D/Q Distributions Are Detected in Diseased Lungs?. Yamaguchi, K. (eds). in: *Structure-Function Relationships in Various Respiratory Systems. Respiratory Disease Series: Diagnostic Tools and Disease Managements*. (s. 149–172). Singapore: Springer.
- Yamaguchi, K. (2020b). Physiological Basis of Effective Alveolar–Arterial O₂ Difference (AaDO₂) and Effective Physiological Dead Space (VD/VT): Are AaDO₂ and VD/VT Supported by Structurally and Physiologically Correct Knowledges?. Yamaguchi, K. (eds). in: *Structure-Function Relationships in Various Respiratory Systems. Respiratory Disease Series: Diagnostic Tools and Disease Managements*. (s. 173–190). Singapore: Springer.
- Yamamoto, Y., Hirata, H., Shiroyama, T., Kuge, T., Matsumoto, K., Yoneda, M., ... and Kumanogoh, A. (2022). Respiratory impedance is associated with ventilation and diffusing capacity in patients with idiopathic pulmonary fibrosis combined with emphysema. *International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*. 17. 1495–1506.
- Yanci, J., Iturri, J., Castillo, D., Pardeiro, M. and Nakamura, F.Y. (2019). Influence of warm-up duration on perceived exertion and subsequent physical performance of soccer players. *Biology of Sport*. 36 (2). 125–131.
- Yasuda, Y., Wang, L., Chitano, P. and Seow, C.Y. (2023). Critical roles of airway smooth muscle in mediating deep-inspiration-induced bronchodilation: a big stretch?. *Respiratory Research*. 24 (1). 250.
- Yi, L., Wu, J., Yan, B., Wang, Y., Zou, M., Zhang, Y., ... and Girard, O. (2024). Effects of three weeks base training at moderate simulated altitude with or without

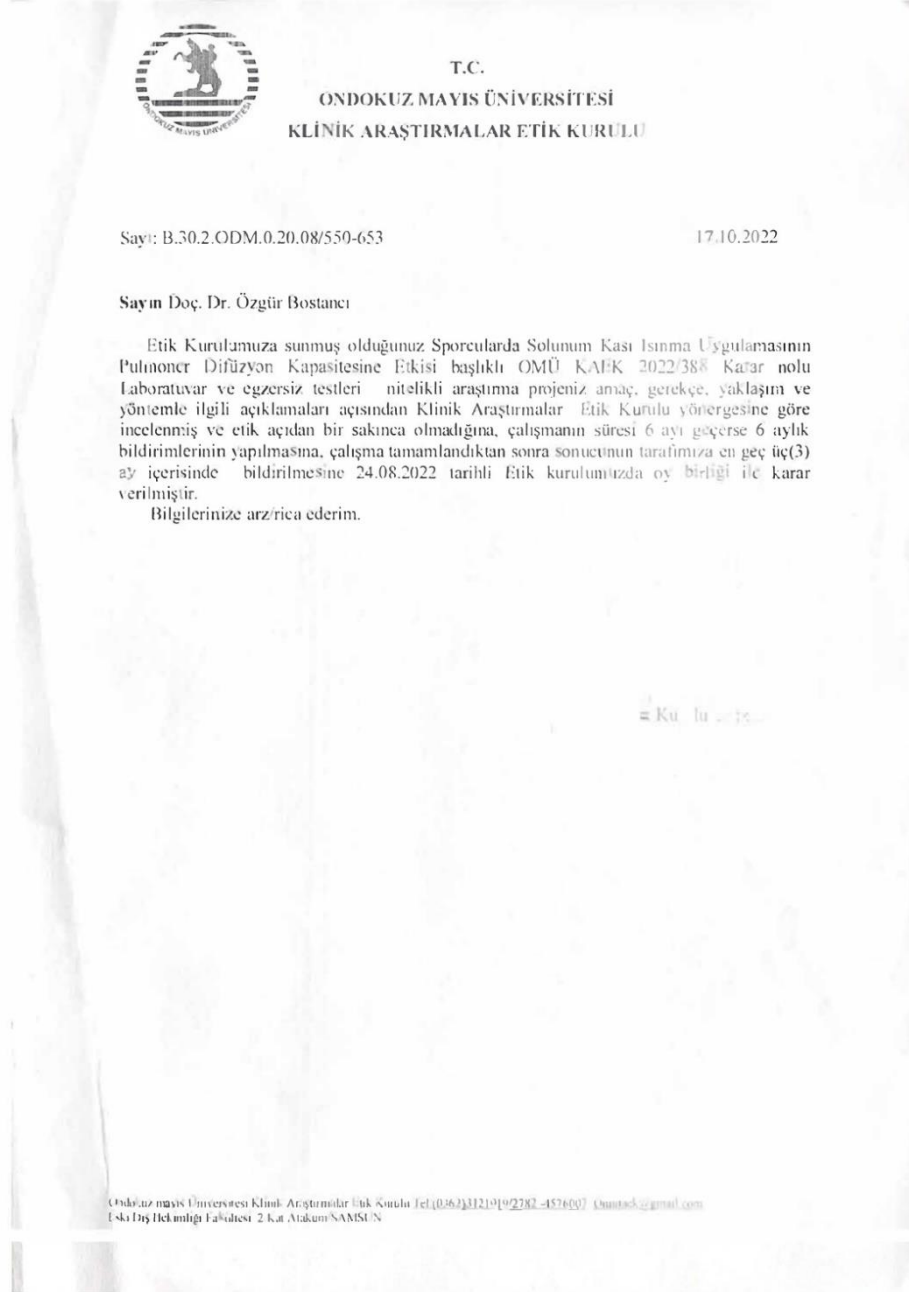
- hypoxic residence on exercise capacity and physiological adaptations in well-trained male runners. *PeerJ*. 12. e17166.
- Yuan, X., Zhao, Z., Chao, Y., Chen, D., Chen, H., Zhang, R., ... and Liu, L. (2023). Effects of early versus delayed application of prone position on ventilation–perfusion mismatch in patients with acute respiratory distress syndrome: a prospective observational study. *Critical Care*. 27 (1). 462.
- Zavorsky, G.S. (2024a). Capillary Red Cell Transit Time Is an Unlikely Contributor to Exercise-Induced Pulmonary Diffusion Limitation. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 56 (8). 1542–1545.
- Zavorsky, G.S. (2024b). Capillary Red Cell Transit Time is Still an Unlikely Contributor to Exercise-Induced Pulmonary Diffusion Limitation: Response to Hopkins, Dempsey, and Strickland. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 56 (8). 1549–1551.
- Zavorsky, G.S. and Lands, L.C. (2005). Lung diffusion capacity for nitric oxide and carbon monoxide is impaired similarly following short-term graded exercise. *Nitric Oxide*. 12 (1). 31–38.
- Zavorsky, G.S. and Smoliga, J.M. (2017). The association between cardiorespiratory fitness and pulmonary diffusing capacity. *Respiratory Physiology & Neurobiology*. 241. 28–35.
- Zavorsky, G.S., Hsia, C.C., Hughes, J.M.B., Borland, C.D., Guénard, H., Van Der Lee, I., ... and Dinh-Xuan, A.T. (2017). Standardisation and application of the single-breath determination of nitric oxide uptake in the lung. *European Respiratory Journal*. 49 (2).
- Zavorsky, G.S., Walley, K.R. and Russell, J.A. (2003). Red cell pulmonary transit times through the healthy human lung. *Experimental physiology*. 88 (2). 191–200.
- Zavorsky, G.S., Wilson, B., Harris, J.K., Kim, D.J., Carli, F. and Mayo, N.E. (2010). Pulmonary diffusion and aerobic capacity: is there a relation? Does obesity matter?. *Acta Physiologica*. 198 (4). 499–507.
- Zhou, Z., Morouço, P.G., Dalamitros, A.A., Chen, C., Cui, W., Wu, R. and Wang, J. (2024). Effects of two warm-up protocols on isokinetic knee strength, jumping ability and sprint swimming performance in competitive swimmers. *Scientific Reports*. 14 (1). 28415.
- Zimmermann, H.B., MacIntosh, B.R. and Dal Pupo, J. (2020). Does postactivation potentiation (PAP) increase voluntary performance?. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. 45 (4). 349–356.

Zinner, C., Sperlich, B., Wahl, P. and Mester, J. (2015). Classification of selected cardiopulmonary variables of elite athletes of different age, gender, and disciplines during incremental exercise testing. *Springerplus*. 4. 1–9.



EKLER

EK-1: ETİK KURUL



ÖZ GEÇMİŞ

Emre Karaduman, lise eğitimini tamamladıktan sonra Ondokuz Mayıs Üniversitesi Yaşar Doğu Spor Bilimleri Fakültesi Antrenörlük Eğitimi Bölümü'nden dereceyle mezun olmuştur. Ardından Ondokuz Mayıs Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Antrenörlük Eğitimi Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans (2017-2020) ve Doktora (2020–2025) programlarını tamamlamıştır. İngilizce’de iyi derecede yeterliliğe sahiptir (YÖK DİL:75). Karaduman, Yüksek Lisans mezuniyetinden bu yana Ondokuz Mayıs Üniversitesi’nde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır. Araştırmacının başlıca ilgi alanları arasında; sporcularda kardiyopulmoner adaptasyonlar, solunum sağlığı ve performans değişkenlerinin fizyolojik belirleyicileri yer almaktadır.

İletişim Bilgileri

ORCID ID : 0000-0002-7962-315X

Yayınlar:

A) SCI-Expanded kapsamındaki dergilerde yayımlanan araştırma makaleleri

1. Bostancı, Ö., Karaduman, E., Yılmaz, A. K., Kabadayı, M., & Bilgiç, S. (2025). Midterm effects of SARS-CoV-2 on respiratory function in judokas with and without exercise-induced bronchoconstriction: A retrospective study. *Clinical Journal of Sport Medicine*. 35. 162–168. <https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000001312>
2. Karaduman, E., Bostancı, Ö., & Bilgiç, S. (2024). A follow-up study on respiratory outcomes, quality of life and performance perception of SARS-CoV-2 primary and reinfection in elite athletes: A 9-month prospective study. *European Journal of Sport Science*. 24 (7). 964–974. <https://doi.org/10.1002/ejsc.12109>
3. Güzel, N., Yılmaz, A. K., Genç, A. S., Karaduman, E., & Kehribar, L. (2023). Pre- and post-operative hamstring autograft ACL reconstruction isokinetic knee strength assessments of recreational athletes. *Journal of Clinical Medicine*. 12 (1). 63. <https://doi.org/10.3390/jcm12010063>
4. Bostancı, Ö., Karaduman, E., Çolak, Y., Yılmaz, A. K., Kabadayı, M., & Bilgiç, S. (2023). Respiratory muscle strength and pulmonary function in unvaccinated athletes

before and after COVID-19 infection: A prospective cohort study. *Respiratory Physiology & Neurobiology*. 308. 103983. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2022.103983>

5. Karaduman, E., Bostancı, Ö., & Bayram, L. (2022). Respiratory muscle strength and pulmonary functions in athletes: Differences by BMI classifications. *Journal of Men's Health*. 18 (1). 1–9. <https://doi.org/10.31083/jomh.2021.076>

6. Kabadayı, M., Karadeniz, S., Yılmaz, A. K., Karaduman, E., Bostancı, Ö., Akyıldız, Z., Clemente, F. M., & Silva, A. F. (2022). Effects of core training in physical fitness of youth karate athletes: A controlled study design. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 19 (9). 5431. <https://doi.org/10.3390/ijerph19095431>

7. Kabadayı, M., Mayda, M. H., Yılmaz, A. K., Karaduman, E., Erail, S., Bostancı, Ö., Karakaş, F., Tilekli, M. M., & Yılmaz, C. (2022). Examination of anthropometric characteristics of Police Academy students. *International Journal of Morphology*. 40 (5). 1322–1328.

8. Karaduman, E., Bostancı, Ö., Karakaş, F., Kabadayı, M., Yılmaz, A. K., Akyıldız, Z., Badicu, G., Cataldi, S., & Fischetti, F. (2022). Pistol shooting performance correlates with respiratory muscle strength and pulmonary function in police cadets. *Sustainability*. 14 (12). 7515. <https://doi.org/10.3390/su14127515>

9. Kehribar, L., Yılmaz, A. K., Karaduman, E., Kabadayı, M., Bostancı, Ö., Sürücü, S., Aydın, M., & Mahiroğulları, M. (2022). Post-operative results of ACL reconstruction techniques on single-leg hop tests in athletes: Hamstring autograft vs. hamstring grafts fixed using adjustable cortical suspension in both the femur and tibia. *Medicina*. 58 (3). 435. <https://doi.org/10.3390/medicina58030435>

10. Doğan, E., Erail, S., Mayda, M. H., Yılmaz, C., Karaduman, E., Yılmaz, A. K., Bayram, L., Yüceoğlu Keskin, D. Ö., & Ermiş, E. (2021). Acute effects of reverse kinesio taping on anaerobic performance in healthy subjects: A pilot study. *Progress in Nutrition*. 23 (3). e2021135.

B) E-SCI kapsamındaki dergilerde yayımlanan araştırma makaleleri

1. Yılmaz, A. K., Yılmaz, C., Karaduman, E., Mayda, M. H., Erail, S., Bostancı, Ö., & Kabadayı, M. (2021). Correlation of bilateral and ipsilateral strength ratios with

balance in female taekwondo athletes. *Revista de Artes Marciales Asiáticas*. 16 (2). 86–94. <https://doi.org/10.18002/rama.v16i2.6486>

2. Bostancı, Ö., Kabadayı, M., Yılmaz, A. K., Mayda, M. H., Yılmaz, C., Erail, S., & Karaduman, E. (2020). Influence of eight-week core strength training on respiratory muscle strength in young soccer players. *International Journal of Applied Exercise Physiology*. 9 (2). 104–109.

C) SCI-Expanded ve E-SCI kapsamı dışındaki yayımlanan araştırma makaleleri

1. Mayda, M. H., Erail, S., & Karaduman, E. (2020). Examination of self-regulated online learning skills in faculty of sports sciences students. *European Journal of Education Studies*. 7 (6). 124–137.

2. Bostancı, Ö., Karaduman, E., & Mayda, M. H. (2019). Investigation of self-confidence levels in elite extreme athletes. *Physical Education of Students*. 23 (6), 310–316.

3. Bostancı, Ö., Karaduman, E., & Şebin, K. (2018). Dağcılarının özgüven seviyelerinin çeşitli değişkenler açısından incelenmesi. *Atatürk Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*. 20 (4). 14–24.

D) Uluslararası kongrelerde sunulan/basılan bildiriler

1. Bostancı, Ö., & Karaduman, E. (2018). *Elit Ekstrem Sporcuların Özgüvenlerinin İncelenmesi* [Sözlü bildiri]. 16th International Sport Sciences Congress.

2. Bostancı, Ö., Erail, S., Mayda, M. H., Karaduman, E., Kabadayı, M., & Doğan, R. (2020). *Kadın futbolcuların optimal performans duygu durumlarının incelenmesi* [Sözlü bildiri]. II. International Congress of Athletic Performance & Health in Sports.

3. Karaduman, E., Aşlı, S., Çetinkaya, B., & Kabadayı, M. (2024). *Adolesan sporcularda öz-güven ve şiddet eğilimi: Spor disiplini, spor yılı ve cinsiyetin düzenleyici rolü* [Sözlü bildiri]. ERPA International Congresses on Education 2024.

4. Karaduman, E., Tolgun, B., Çoban, A., Aşlı, S., & Bostancı, Ö. (2025). *Geleneksel ve Pliometrik Temelli Pape Isınma Uygulamalarının Adolesan Voleybolcularda Çeşitli Değişkenler Üzerine Etkisi* [Sözlü bildiri]. International Congress of Health Tourism, and Sports Theme: Innovative Approches.