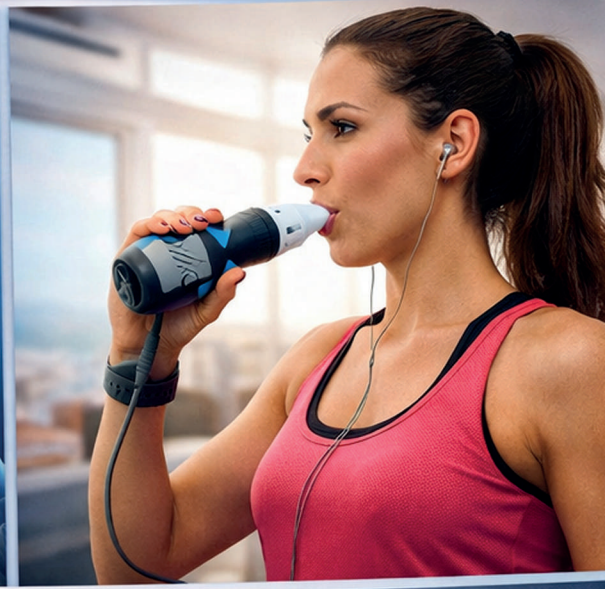


SOLUNUM KAS ANTRENMANI:

FİZYOLOJİK TEMELLER, UYGULAMALAR VE
PERFORMANS ÜZERİNE ETKİLERİ



EDİTÖRLER:

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet İsmail TOSUN

Prof. Dr. Erkan DEMİRKAN



**SOLUNUM KAS ANTRENMANI:
FİZYOLOJİK TEMELLER,
UYGULAMALAR VE PERFORMANS
ÜZERİNE ETKİLERİ**

EDİTÖRLER

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet İsmail TOSUN

Prof. Dr. Erkan DEMİRKAN



Solunum Kas Antrenmanı:

Fizyolojik Temeller , Uygulamalar ve Performans Üzerine Etkileri

Editörler:Dr. Öğr. Üyesi Mehmet İsmail TOSUN

Prof. Dr. Erkan DEMİRKAN

Genel Yayın Yönetmeni: Berkan Balpetek

Sayfa Tasarımı: Duvar Design

Baskı: Aralık 2025

Yayıncı Sertifika No: 49837

ISBN:978-625-8698-44-2

© Duvar Yayınları

853 Sokak No:13 P.10 Kemeraltı-Konak/İzmir

Tel: 0 232 484 88 68

www.duvar yayinlari.com

duvarkitabevi@gmail.com

"Bu kitapta yer alan bölümlerde kullanılan kaynakların, görüşlerin, bulguların, sonuçların, tablo, şekil, resim ve her türlü içeriğin sorumluluğu yazar veya yazarlarına ait olup ulusal ve uluslararası telif haklarına konu olabilecek mali ve hukuki sorumluluk da yazarlara aittir. Yayınevi ve editörler sorumlu tutulamaz.

İÇİNDEKİLER

1. Bölüm	1
Solunum Kaslarının Anatomi ve Fizyolojisi	
<i>İrem EKER ARICI</i>	
2. Bölüm	17
Solunum Kas Fonksiyonlarının Ölçüm Yöntemleri	
<i>Abdurrahim KAPLAN</i>	
3. Bölüm	37
Solunum Kas Antrenmanlarının Fizyolojik Mekanizmaları	
<i>Abdulsamet EFDAL</i>	
4. Bölüm	53
Sporcularda Solunum Kas Antrenmanının Performans Üzerine Etkileri	
<i>Mehmet İsmail TOSUN</i>	
5. Bölüm	71
Solunum Hastalıkları ve Solunum Kası Antrenmanı	
<i>Yasemin ARI YILMAZ</i>	
6. Bölüm	107
Solunum Kas Isınması ve Akut Etkileri	
<i>Erkan DEMİRKAN</i>	
7. Bölüm	121
Solunum Kas Antrenmanında Yeni Yönelimler ve Teknolojik Gelişmeler	
<i>Mert AYRANCI</i>	
8. Bölüm	137
Solunum Kas Antrenmanı Araştırmalarında Metodolojik Yaklaşımlar	
<i>Mustafa ARICI</i>	

1. Bölüm

Solunum Kaslarının Anatomi ve Fizyolojisi

İrem EKER ARICI¹

Giriş

Solunum; anatomik, mekanik ve nörolojik bileşenler arasında karmaşık bir etkileşimi içeren hayati bir süreçtir. Solunumun temel işlevleri ventilasyon ve perfüzyon ile organizmaya gereken oksijeni sağlamak ve ortaya çıkan karbondioksiti uzaklaştırmaktır.

Solunum yolları burun ile başlayıp birbiri ardına seyreden burun, farenks, larenks, trakea ve bronşlardan oluşmaktadır. Bronşlar akciğer içerisinde incelenerek dallara ayrılmakta ve solunumsal yüzeyi meydana getiren alveollerle sonlanmaktadır (Hall, 2016).

Solunum kasları ventilasyonu sağlamak için karmaşık bir pompa gibi görev yaparlar. Solunumun tüm şartlar altında kesintisiz sürdürülebilmesi için farklı kasların bir arada çalışması gereklidir. Birincil ve yardımcı solunum kasları, inspirasyon ve ekspirasyon sırasında hava akışını düzenleyerek pulmoner ventilasyonda önemli bir rol oynamaktadır. Solunum diyafram, göğüs duvarı kasları, boyun kasları ve abdominal kaslar dahil olmak üzere ihtiyacına göre kasılan birden fazla yapının sinerjik iş birliğine bağlıdır (Sieck & Gransee, 2012; Troyer, 1984).

Solunum kaslarının klinik ve fizyolojik önemi hem tıbbi uygulamalarda hem de egzersiz fizyolojisinde giderek daha önemli hale gelmiştir (Sheel, 2002). Bu bölümde solunum kaslarının anatomisi, fizyolojisi ve yapısal organizasyonlarını ayrıntılı olarak açıklamayı hedeflemekteyiz. Amaç okuyucuya temel solunumsal kasların bütünleşik işleyişini ve çeşitli fizyolojik, klinik ve atletik bağlamlardaki rollerini anlamaları için sağlam ve güncel bir teorik temel sağlamaktır.

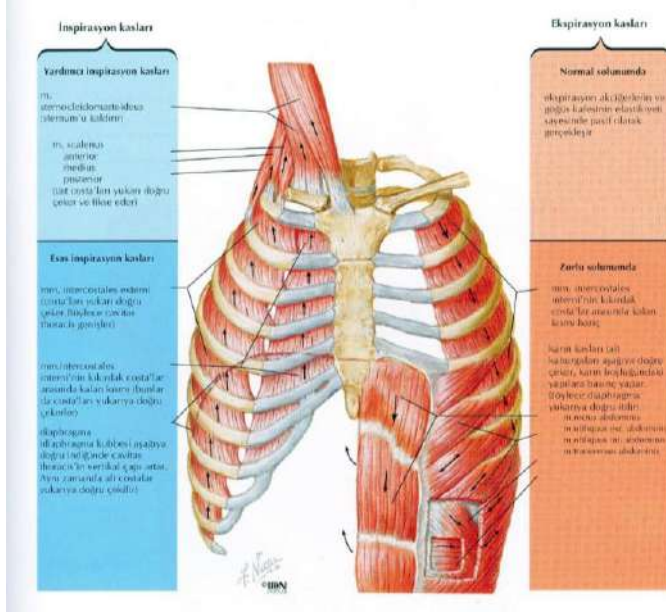
Solunum Kaslarının Anatomisi

İnsan solunum sistemi, ventilasyon sürecinin verimliliğini sağlamak için koordineli çalışan bir kas grubundan oluşmaktadır. Temelde yapısal ve işlevsel olarak birer iskelet kası olan solunum kasları yaşamsal öneme sahip kaslardır. Bu kaslar yorgunluğa karşı dirençli; oksidatif kapasitesi yüksek, geniş bir

¹ Arş. Gör., Hitit Üniversitesi Tıp Fakültesi Göğüs Hastalıkları Anabilim Dalı
E mail: iremeker@hitit.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-6816-1009

damarsal ağ ve kan akımı içerecek şekilde özelleşmişlerdir ve sürekli olarak ritmik kasılmaktadır (Edwards & Faulkner, 1995).

Solunum kasları; inspiryumda görev yapan diyafram, eksternal interkostal kaslar, skalen kaslar, sternokleidomastoid kas, serratus anterior ve ekspiryumda görev yapan triangularis sterni, internal interkostal kaslar, pektoralis majör kası ve abdominal kaslardan oluşmaktadır (Ratnovsky vd., 2008).

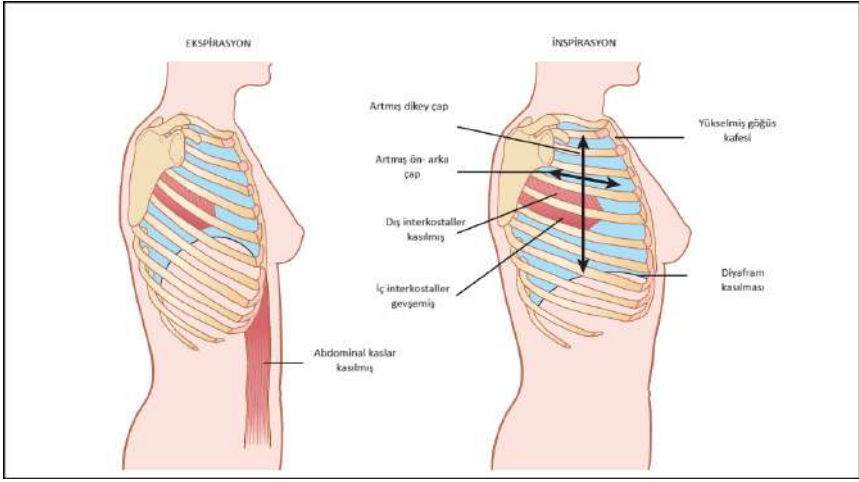


Şekil 1: Solunum kasları (Netter, 2020)

Normal şartlarda sakin solunumun neredeyse tamamı diyaframın hareketiyle gerçekleştirilmekte ve tidal volümün yaklaşık olarak %70'i sağlanmaktadır (Santana vd., 2019).

İnspirasyon esnasında diyaframın kasılarak akciğerlerin alt yüzeylerini aşağı yönde çeker. Ardından ekspirasyon esnasında diyafram gevşeyerek akciğerlerin, toraks duvarının ve karındaki yapıların elastik geri kaçma kuvveti ile akciğerler sıkışarak hava dışarı atılır. İnspirasyon sırasında aynı zamanda göğüs kafesi yükselerek akciğerleri genişletir (Şekil 2).

Dinlenme durumunda, kaburgalar aşağı doğru eğimlidir ve bu durum sternumu omurgaya doğru yaklaştırır. Göğüs kafesi yükselerek kostalar öne doğru hareket eder ve sternumu omurgadan uzaklaştırarak akciğerlerin genişlemesine olanak sağlar.



Şekil 2: İnspirasyon ve ekspirasyon (Hall, 2016)

Şekil 2’de göğüs kafesinin inspirasyon ve ekspirasyon esnasındaki değişimi; diyaframın kasılması, interkostal kasların kasılması ve kostaların yükselme ve alçalması gösterilmiştir.

Göğüs kafesini yükselterek toraksın genişleyip hacminin artmasını sağlayan kaslar inspirasyon kasları olarak sınıflandırılırken, tersi yönde etki yapan tüm kaslar ekspirasyon kasları olarak sınıflandırılır (Hall, 2016). Genel olarak solunum kas kütesinin %40’ını oluşturan inspirasyon kasları egzersiz sırasında gerekli olan gücün %70 kadarını sağlamaktadırlar (Miller vd., 1960).

Normal şartlarda ekspirasyon sakin solunum sırasında pasif olarak gerçekleşmektedir. Ekspirasyonun birincil kası yoktur. İnspirasyonun sonunda kasları uyaran sinirlerin aktivitesinin azalmasıyla kaslar gevşer, göğüs kafesi başlangıçtaki boyutlarına geri döner, diyafram yukarı yönde hareket eder ve ekspirasyon gerçekleşir (Decramer, 1999).

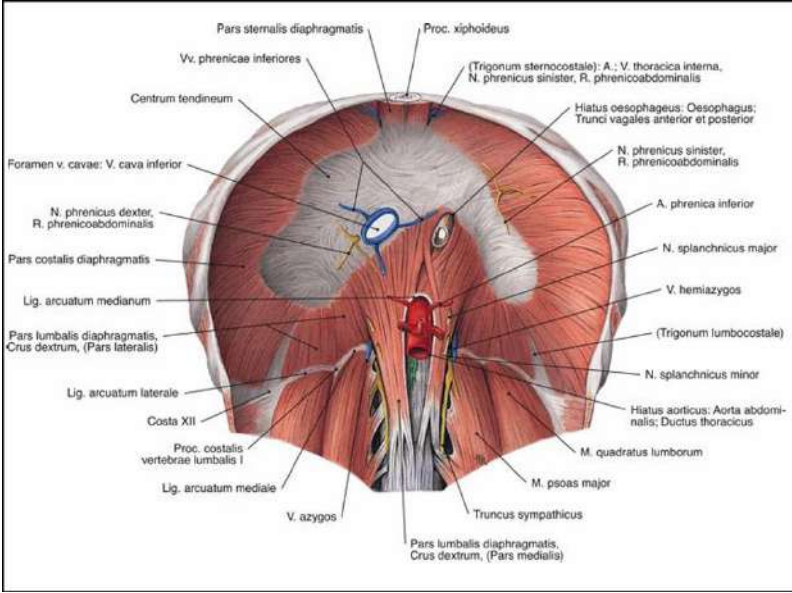
Ekspirasyon her zaman pasif olarak gerçekleşmemektedir. Hava yolu direnci normal olan bireyler; egzersiz, konuşmak, şarkı söylemek, gülmek, öksürük ve hapsirlik gibi eylemler sırasında zorlu aktif ekspirasyon yapmaktadırlar. Kronik bronşit, astım veya amfizem gibi hava yolu direncinin yüksek olduğu hastalıklara sahip bireyler ise normal solunumda zorlu ekspiratuvar kaslarını kullanarak aktif şekilde ekspirasyon yapmaktadırlar.

Zorlu ekspirasyonda görev yapan kaslar; internal ve eksternal oblik kaslar, transversus abdominis, rektus abdominis gibi karın duvarı kasları ve internal interkostal kaslardır. Bu kaslar hava yollarındaki akıma karşı olan hava direncini aşmak için kasılmaktadırlar. Abdominal kasların kasılmasıyla abdominal basınç artmakta ve diyaframı toraks boşluğuna doğru iterken alt kaburgaları aşağı doğru çekmektedir. İnternal interkostal kaslar ise kasılarak

göğüs kafesini içe doğru çekmektedir. Bu sayede torasik hacim mümkün olduğunca azaltılır. Zorlu ekspirasyon sırasında küçülen toraks hacmiyle beraber paryetal plevra da içe yönde itilir. Plevral basınç ekspirasyon boyunca pozitif kalır ve bu itici basınç, alveolleri küçülterek alveol içindeki havayı dışarıya doğru iter (J. Benditt & Dennis, 2010; Braun vd., 1982; Fell, 1998; Hall, 2016).

Diyafram

Yaklaşık boyutu 250 cm² olan, göğüs ve karın boşluklarını birbirlerinden ayıran kubbe şeklinde; önde sternuma, yanlarda alt kaburgalara ve arkada lomber omurlara yerleşen çizgili kas ve fibröz zarlardan oluşan bir yapıya sahiptir. Kostal ve krural olmak üzere iki bölümden meydana gelmektedir. Kas lifleri başlangıçlarına göre sternal, kostal ve lumbar olarak üç grup oluşturmaktadır. Herbiri kubbenin ortasına doğru uzanarak ortada centrum tendineum'a yapışmaktadırlar. Centrum tendineum sağlam fibröz yapıdadır (Yücel vd., 2018). Şekil 3



Şekil 3: Diyafram (Putz & Pabst, 2007)

Diyafram yatar pozisyonda iken akciğerlere ulaşan havanın yaklaşık olarak 2/3'ünden sorumlu inspirasyonun en önemli kasıdır. Medulla spinasiliinden C3-C5 düzeylerinden çıkan servikal pleksusun bir dalı olan n.phrenicus tarafından uyarılır. Diyaframın tek motor siniri frenik sinirdir. Diyaframın duyusu frenik sinir ve torakoabdominal sinirler tarafından taşınmaktadır. Ağrı duyusu frenik sinir segmentlerine yansıdığı için boyun kökünde hissedilir.

Sakin inspirasyonda frenik sinirin aktivasyonu ile kasılarak abdomene doğru ortalama 1 cm hareketlenir. Bu durum diyafram kubbesinin alçalmasıyla toraksın çapında dikey ve kosta kenarlarının yanlara itilmesiyle enine artışa neden olarak torasik hacmi artırır ve havanın akciğerlere girişini kolaylaştırır (Ulubay, 2017). Derin inspirasyon sırasında ise diyafram aşağı yönde yaklaşık 10 cm hareket eder. Böylelikle derin solunumda karın duvarının kompliance sınırı ulaşır ve abdominal basınç artar.

Frenik sinirlerin paralizisinde kaburgalar arası kaslarla normal sakin solunum sürdürülebilmektedir ancak bu hastalarda efor esnasında solunumda sorun yaşanabilir (De Troyer vd., 1994; De Troyer & Sampson, 1982; Hall, 2016).

İnterkostal Kaslar

Göğüs duvarı internal, parasternal, eksternal interkostal kaslar ve levator costa'dan oluşmaktadır. Levator costa inspirasyon sırasında görev yapan kaslardan biridir.

İnterkostal kaslar, göğüs kafesi üzerinde sinerjik bir etki sağlayan eğik bir düzeneğe sahiptir ve solunumun verimliliğini artırmaktadır. Solunuma katkıları duruşa, solunum direncine ve solunum çabasının yoğunluğuna bağlı olarak değişebilmektedir (McCool & Tzelepis, 2012).

İnterkostal kaslar, bitişik kostalar arasında seyreden 3 adet yassı kastan oluşmaktadır. Bu kaslar konumlarına göre içten dışa doğru • mm. intercostales intimi • mm. intercostales interni • mm. intercostales externi olarak adlandırılmaktadır (Moore, 1992). Dışta aşağı ve öne doğru eksternal, içte ise aşağı ve geriye doğru internal interkostal kaslar yerleşmektedir.

Eksternal interkostal kaslar normal solunum sırasında inaktifken, solunumun arttığı durumlarda inspiriyumun sonuna doğru toraksın üst kısımlarında aktif hale gelmektedir. Eksternal interkostal kasların kasılmasıyla toraks yukarı, dışarı doğru hareket eder ve enine çapı artar. Kaburgalar arasındaki kaslar ve dokular kasılmayla birlikte sertleşir ve artan negatif intraplevral basınca karşı göğüs kafesinde oluşabilecek retraksiyon önlenir.

İnternal interkostal kaslar ise eksternal interkostal kaslarla tam ters şekilde çalışmaktadır. Ekspiryumda ve genelde efor esnasında özellikle toraksın alt kısmında aktiftir (Moore, 1992; Yücel vd., 2018).

Kaburgaların kondral kısımları arasında tek kat halinde parasternal internal interkostal kaslar bulunmaktadır. Parasternal kasların asıl görevi inspirasyon sırasında diyaframla eş zamanlı kasılmalarıdır (De Troyer & Sampson, 1982).

Medulla spinalisin T1- T11 seviyelerinden çıkan spinal sinirlerle uyarılmaktadırlar. İnterkostal kaslar, m. transversus thoracis ve subkostal kaslar

sinirlerini kendi düzeylerindeki interkostal sinirlerden aldıkları için solunum kasları olarak sınıflandırılmaktadır (Moore, 1992; Yücel vd., 2018).

Skalen Kaslar

Solunuma yardımcı kaslar esas olarak skalen kaslar, sternokleidomastoid kas, pektoralis majör, latissimus dorsi ve ekspirasyon sırasında aktif olan abdominal kaslardan oluşmaktadır.

Skalen kaslar ilk 5 servikal omurun transvers çıkıntıları ile ilk 2 kosta arasında seyretmektedir. Normal sakin solunumda kasılarak birincil inspirasyon kası olarak görev yapmaktadır. Kasıldıklarında ilk iki kaburgayı yükselterek göğüs kafesini genişletip solunum hacminin oluşmasına katkı sağlamaktadırlar. Egzersiz sırasında veya kronik solunum yolu hastalıklarının varlığında da sıklıkla aktif olmaktadır.

Özellikle spinal kord yaralanmalarında servikal düzeydeki travmalar solunum sıkıntısı oluşturabilmektedir (J. O. Benditt & McCool, 2016; Brown vd., 2006; Hall, 2016).

Sternokleidomastoid Kaslar

Normal dinlenme halindeki solunumda görevleri yoktur. Solunum işinin arttığı zorlu inspirasyon sırasında aktifleşerek torasik hacmi daha fazla arttırmaktadırlar. Boyun ve omuz kasları özellikle yüksek seviyeli kuadriplejiler, poliyomiyelit, diyafragmatik disfonksiyon ve KOAH'lı olgularda solunumda işlevsel önem göstermektedir (J. O. Benditt & McCool, 2016; De Troyer vd., 1994; Hall, 2016).

Pektoralis Major

Ekspiryum esnasında plevral basıncı arttıran yardımcı solunum kasıdır. Özellikle diğer ekspirasyon kaslarının çalışmadığı tetraplejik olgularda egzersizle bu kasın güçlendirilmesi ekspiratuvar rezerv volümü arttırmaktadır.

Triangularis Sterni

Göğüs kafesinin en önemli ekspiratuvar kası olarak görev yapmaktadır. Normal solunumda inaktifken gülme, konuşma ya da zorlu ekspirasyon durumlarında aktif hale gelir.

Abdominal Kaslar

Karın kasları rectus abdominis, eksternal oblik kas, internal oblik kas ve transvers abdominisi içeren 4 adet kastan oluşmaktadır. Abdominal kasların tümü ekspirasyon esnasında görev yapmaktadır. Zorlu ekspirasyon için gereken

ekstra kuvvet esas olarak abdominal kasların kasılmasıyla elde edilmektedir. Dinlenim durumunda aktif değilken hiperventilasyon, zorlu ekspirasyon gibi durumlarda, elastik kuvvetler gereken hızlı ekspirasyonu sağlayacak kadar güçlü olmadığı için aktif hale gelerek diyaframın yükselmesine yardımcı olmaktadır. Böylece karın içi basınç artarak havanın dışarı atılmasını kolaylaştırmaktadır (J. O. Benditt & McCool, 2016; Hall, 2016; Ulubay, 2017).

Solunumun Sinirsel Kontrolü ve Düzenleyici Mekanizmaları

Solunum; kaslar ve hava yollarından oluşan, merkezi esas olarak beyin sapında bulunan karmaşık nöronal devreler tarafından kontrol edilen ritmik ve otomatik gerçekleşen bir süreçtir (Feldman & Del Negro, 2006).

Medulla oblongata ve ponsun her iki tarafında bulunan nöron grupları solunum merkezini oluşturmaktadır. (1) Medullanın dorsalinde bulunan, inspirasyonu kontrol eden dorsal solunum grubu, (2) Medullanın ventrolateralinde bulunan, ekspirasyonu kontrol eden ventral solunum grubu, (3) Ponsa superior kısmın dorsalinde bulunan ve solunumun derinliği ve hızını kontrol eden pnömotaksik merkez olmak üzere 3 temel nöronal grup bulunmaktadır.

İnsan sinir sistemi; alveollerde gerçekleşen ventilasyonun hızını organizmanın ihtiyacına göre yoğun egzersiz veya solunum güçlüğüne sebep olan durumlarda dahi arter kanında karbondioksit ve oksijen basınçlarını sabit düzeyde kalacak şekilde düzenlemektedir.

Solunumun ritmi dorsal solunum grubu nöronlarda oluşturulmaktadır. Ritim üretimine ek olarak, solunum sistemi sürekli olarak merkezi ve periferik kemoreseptörler, baroreseptörler ve akciğerdeki çeşitli tipteki reseptörlerden gelen duysal uyarılarla düzenlenmektedir.

Ventral solunum grubundan bazı nöronların uyarımı inspirasyona bazılarının uyarımı ise ekspirasyona etki etmektedir. Yüksek düzeyde pulmoner ventilasyona ihtiyaç duyulduğunda bu grup dürtü mekanizması olarak görev yapmaktadır.

Pnömotaksik merkezin asıl işlevi inspirasyonu sınırlamaktır. Bu sayede ekspirasyonun ve tüm solunumun süresi kısaltmakta ve bu da solunumun hızını artıran ikinci bir mekanizma olarak ortaya çıkmaktadır. Güçlü bir pnömotaksik sinyal solunumun hızını 30- 40/ dk artırabilirken zayıflayan bir sinyal 3- 4/ dk kadar azaltmaktadır (Hall, 2016).

Pulmoner kemoreseptör ve mekanoreseptörlerden gelen sinyaller, nucleus tractus solitarius (nTS) ve nucleus ambiguus'ta birleşerek spinal solunum motor nöronlarına iletilmektedirler (Wright vd., 2025). Ventrolateral yolun yakınında medulla oblongata'da bulunan merkezi kemoreseptörler, artan pH ve CO₂

değişikliklerine karşı duyarlıyken aort ve karotis cisimciklerinin içerdiği periferik kemoreseptörler öncelikli olarak hipoksiye karşı duyarlılık göstermektedirler (Getsy vd., 2025; Guyenet, 2014; Nattie & Li, 2012).

Solunumun istemli kontrolü; solunumun geçici olarak durdurulması ve ritmin değiştirilmesini sağlayan motor korteks, talamus ve serebellum gibi daha yüksek yapılar tarafından sağlanmaktadır. Buna rağmen kritik durumlarda otonom sistem öncelikli olarak çalışmaktadır. Hiperkapni veya şiddetli hipoksi durumunda kortikal inhibisyonu geçersizleşir ve ventilasyon otomatik olarak devam edebilmektedir (Feldman vd., 2003).

Solunumun otomatik ve istemli kontrolü arasındaki bu dinamik denge uyku, egzersiz, konuşma veya patolojik durumlarda solunum adaptasyonu için temel rol oynamaktadır. Solunum mekaniği, solunum kaslarının ürettiği kuvvetler ile akciğerler ve toraksın elastikiyeti arasındaki dinamik dengeye dayanır. Roussos & Macklem (1982), inspirasyon kaslarının solunum esnasında hem üretilen kuvvet hem de kasılma süresi açısından uygulanan efora göre kademeli olarak adaptasyon gösterdiğini vurgulamaktadır.

Ağır egzersiz koşullarında üretilen oksijen ve tüketilen karbondioksit miktarı yaklaşık 20 kat artabilmektedir. Sağlıklı bir sporcuda solunum ventilasyonu düzenlenerek arteriyel oksijen, karbondioksit ve pH düzeyleri neredeyse tamamen normal düzeylerde kalabilmektedir (Hall, 2016). Egzersizin yoğunluğu arttıkça, nefes verme de aktif bir süreç haline gelmektedir. Zorlu ekspirasyon kasları solunuma katılarak yeterli dakika ventilasyonunu sağlanması ve egzersiz sırasında artan CO₂ üretimini dengelenmesinde rol oynarlar. Yapılan deneylerde egzersiz boyunca beyin ventilasyon yanıtını düzenleme yeteneğinin kısmen öğrenilmiş olduğunu göstermektedir. Tekrarlayan egzersizlerle beraber beyin kanda karbondioksiti normal düzeylerde tutmak için gereken sinyalleri daha kolay sağlamaktadır (Hall, 2016).

Özetle solunum kaslarının dinlenme ve egzersiz esnasında solunumdaki farklı ve bütünleşik işlevleri, mekanik ve fizyolojik olarak efora uyum sağlama yetenekleri her koşulda solunum homeostazını sağlayabilme açısından önem göstermektedir.

Solunum Kaslarının Yapısı

En önemlileri diyafram olan solunum kasları temelde iskelet kaslarıdır. Solunum görevinde özelleşerek diğer iskelet kaslarına göre farklılık göstermektedirler. İskelet kasları durağanlığa karşı hareket oluşturmak için özelleşmişken, solunum kasları hava yolu direncine karşı ve elastik yükleri aşmak için özelleşmiştir. İskelet kasları sadece hareket esnasında ritmik olarak

kasılırlarken, solunum kasları daimî olarak ritmik kasılmaktadırlar (Edwards & Faulkner, 1995).

İnsan vücudunda tüm kaslar hızlı ve yavaş liflerin farklı oranlarda birleşiminden meydana gelmektedir. Yavaş lifler (Tip I) hızlı liflerden daha küçük boyutlardadır, daha küçük sinirler tarafından uyarılmaktadırlar. Daha geniş bir kan damar ağına ve fazladan oksijen sağlamak için daha fazla kılcıl damara sahiptirler. Yavaş lifler, yüksek oksidatif metabolizma ihtiyacını karşılayabilmek için daha fazla mitokondriye sahiptirler.

Yavaş lifler yoğun miktarda oksijenle birleşerek depolama yapan miyogloblin içermektedirler. Bu da oksijenin mitokondriye taşınmasını büyük ölçüde hızlandırmaktadır. Miyogloblin, yavaş kaslara kırmızımsı bir görünüm vermektedir ve bu nedenle kırmızı kas adını almaktadırlar.

Hızlı Lifler (Tip II) daha güçlü kasılmaktadır ve daha büyüktürler. Kasılmayı başlatmak için kalsiyum iyonlarının hızlı salınımını sağlayan geniş bir sarkoplazmik retikulum içermektedirler. Glikolitik süreçle enerjinin hızlı salınabilmesi için bol miktarda glikolitik enzim bulundurmaktadırlar. Hızlı liflerde oksidatif metabolizma ön planda olmadığı için yavaş liflere göre daha zayıf bir kan akışına ve daha az mitokondriye sahiptirler. Kırmızı miyogloblin eksikliği nedeniyle beyaz kas adını almaktadırlar (Hall, 2016).

İskelet kasları hızlı kasılarak yüksek miktarda güç oluşturabilen ancak buna karşılık glikolitik özellikteki çabuk yorulan tipIIb liflerden zengin, solunum kasları çoğunlukla oksidatif kapasitesi yüksek, yavaş kasılan ve yorgunluğa karşı dayanıklı tip I ve tip IIa lifleri içermektedir. Diyaframın kas liflerinin yaklaşık yarısını tip I, kalan kısmını tip IIa ve tip IIb lifler oluşturmaktadır. Kas liflerinin dağılımı dayanıklılık ihtiyacı ve artan solunum çabası sırasındaki hızlı kuvvet üretme yeteneği arasındaki dengeyi yansıtmaktadır (Levine vd., 1997; Mantilla & Sieck, 2003).

Solunum kaslarının diğerlerine oranla daha fazla mitokondriye sahip olduğu gösterilmiştir. Yüksek mitokondriyal içerik ve yoğun bir kılcıl ağa sahip lifler oksidatif fosforilasyon yoluyla oksijen kullanımını ve ATP üretimini optimize etmektedirler. Normal solunum işinin yapılmasında rol oynayan tip I ve tip IIa liflerden farklı olarak tip IIb lifler zorlu yüksek güç gerektiren olaylarda önem göstermektedir (Decramer, 1999).

Sinir sisteminde kasların uyarımını sağlayan uç ünite motor nöronudur. Kasların kontrol edilmesindeki temel işlevsel birimse bir motor nöron ve uyardığı kas lifini içeren motor ünite olarak ifade edilmektedir.

İnspirasyon kaslarının segmental innervasyonunu çoğunlukla servikal ve torasik segmentler sağlarken, ekspirasyon kaslarının innervasyonu torasik ve lomber segmentler tarafından sağlanmaktadır (Miller vd., 1960).

Solunum Kaslarının Fiziksel Aktiviteye ve Kullanılmamaya Karşı Fizyolojik Adaptasyonları

Solunum kasları ve özellikle diyafram, belirgin fizyolojik bir esnekliğe sahiptir. Bu esneklik hem solunum yükü artışlarında (fiziksel aktivitede olduğu gibi) hem de kullanılmama gibi durumlara (mekanik ventilasyon sırasında olduğu gibi) uyum sağlamalarına olanak vermektedir.

Yoğun egzersiz koşulları altında dinamik hiperinflasyon, artan hava yolu direnci ve solunum kası yorgunluğu gibi faktörler solunum işini sınırlayabilmektedir.

Sakin solunum esnasında organizma tarafından tüketilen enerjinin yalnızca %5 kadarı ventilasyon için kullanılmaktadır. Ağır egzersiz esnasında solunum için gereken enerji miktarı 50 kata kadar artabilmektedir. Bireyin yapabileceği egzersizin şiddetini kısıtlayan en önemli unsurlardan biri, yalnızca solunum için kaslara yeterli düzeyde enerji sağlayabilme becerisidir (Hall, 2016).

Egzersiz veya uzun süreli mekanik ventilasyon gibi durumlar sırasında solunum kasları çeşitli adaptasyonlar sergilemektedir. İnspirasyon kaslarının çalıştırılmasının; kastaki mitokondriyal içeriğin artışına ve oksidatif enzimlerin daha fazla salgılanmasına neden olarak diyaframın aerobik kapasitesini iyileştirdiğini gösterilmiştir (Zhang vd., 2021).

Çalışmalarda düzenli antrenman yapmanın, özellikle inspiratuvar kas antrenmanı (IMT), diyaframın ve interkostal kasların gücünü ve dayanıklılığını önemli ölçüde artırdığı, solunum kapasitesini artırdığı ve egzersiz sırasındaki dispne algısını azalttığını gösterilmiştir (Hoffman vd., 2021). Johnson vd. (1992), dayanıklılık sporcularında antrenmanlarla ekspiratuvar kas verimliliğinin önemli ölçüde arttığını ve inspirasyonda enerji kaybının azalmasına katkıda bulunduğunu göstermiştir. Bu sporcularda gözlemlendiği gibi, solunum yükünün artmasıyla birlikte solunum kasları da periferik iskelet kaslarına benzer şekilde adaptasyonlar geçirmektedirler. Bu adaptasyonlar kaslarda mitokondri sayısı ve yoğunluğunda artış, kılcak perfüzyonda iyileşme ve kas liflerinin tip IIX'ten tip IIA ve I'e dönüşümünü içermektedir (Powers vd., 2002; Weiner vd., 1999). Kaslardaki bu değişiklikler oksidatif kapasiteyi iyileştirir ve solunum yorgunluğunu geciktirerek özellikle bisiklet, kürek veya uzun mesafe koşusu gibi yüksek solunum ihtiyacı olan disiplinlerde önemli bir unsur olarak ortaya çıkmaktadır (Sheel, 2002).

KOAH veya kronik solunum yetmezliği gibi patolojik durumların varlığında, diyaframın lif dağılımı ve enerji kapasitesi önemli ölçüde değişmektedir. Uzun süreli yatak istirahati, hareketsizlik veya destekli ventilasyon sistemleri nedeniyle solunum kası inaktivitesi solunum kaslarında hızlı atrofiye ve yorgunluğa daha duyarlı tip II liflerde artışa yol açabilmektedir. Levine vd.

(2008), mekanik ventilasyondan sadece 18 ila 72 saat sonrasında diyafragmatik lif atrofisinin hızla gerçekleştiğini, kas lifi kesit alanının azaldığını, mitokondriyal değişikliklerle beraber oksidatif stresin arttığını belgelemiştir. Ventilatör kaynaklı diyafragmatik disfonksiyon (VIDD) olarak bilinen bu süreç, ventilasyondan ayrılmanın zorlaşmasına ve hastanede yatış sürelerinin uzamasına neden olmaktadır. Levine vd. (2003), tarafından yürütülen histolojik çalışmalarda solunum kaslarındaki tip I liflerde azalmanın, glikolitik içerikte artışa ve yorgunluğa karşı duyarlılıkta artmaya sebep olduğu gösterilmiştir. Bu durum hastalarda artan dispneye ve egzersiz toleransının azalmasına katkıda bulunmaktadır (Casaburi vd., 1999).

Solunum kaslarında hareketsizlik moleküler düzeyde yapım ve yıkım arasındaki dengeyi bozmaktadır. Powers vd. (2011), artan reaktif oksijen türlerinin (ROS) katabolik yolları aktive ederek kas kaybını artırdığını vurgulamaktadır. Bu durum değerlendirildiğinde kas disfonksiyonu riski taşıyan hastalarda önleme stratejileri ve hedefe yönelik solunum antrenmanları önem kazanmaktadır.

Özetle düzenli fiziksel aktivite periferik ve solunum kaslarının fonksiyonunu koruyup güçlendirirken; hareketsizlik kondisyon kaybını, kas atrofisini ve işlevsel bozukluklara neden olmaktadır.

Kaynaklar

- Benditt, J., & Dennis, M. (2010). The respiratory system and neuromuscular diseases. İçinde J. Mason, V. Broaddus, T. Martin, T. King, D. Schraufnagel, J. Murray, & J. Nadel (Ed.), *Murray and Nadel's Textbook of Respiratory Medicine* (ss. 1691-1706). Saunders & Elsevier.
- Benditt, J. O., & McCool, F. D. (2016). The Respiratory System and Neuromuscular Diseases. İçinde *Murray and Nadel's Textbook of Respiratory Medicine* (ss. 1691-1706.e4). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-1-4557-3383-5.00097-X>
- Braun, N. M. T., Arora, N. S., & Rochester, D. F. (1982). Force-length relationship of the normal human diaphragm. *journals.physiology.org* NM Braun, NS Arora, DF Rochester *Journal of Applied Physiology*, 1982 • *journals.physiology.org*, 53(2), 405-412. <https://doi.org/10.1152/JAPPL.1982.53.2.405>
- Brown, R., DiMarco, A., Hoit, J., & Garshick, E. (2006). Respiratory dysfunction and management in spinal cord injury. *Respiratory care*, 51, 853. <https://doi.org/10.4187/RESPCARE.06510853>
- Casaburi, R., Gosselink, R., Decramer, M., Dekhuijzen, R. P. N., Fournier, M., Lewis, M. I., Maltais, F., Oelberg, D. A., Reid, M. B., Roca, J., Schols, A. M. W. J., Sieck, G. C., Systrom, D. M., Wagner, P. D., Williams, T. J., & Wouters, E. (1999). Skeletal muscle dysfunction in chronic obstructive pulmonary disease. A statement of the American Thoracic Society and European Respiratory Society. *American journal of respiratory and critical care medicine*, 159(4 Pt 2). https://doi.org/10.1164/AJRCCM.159.SUPPLEMENT_1.99TITLEPAGE
- De Troyer, A., Peche, R., Yernault, J. C., & Estenne, M. (1994). Neck muscle activity in patients with severe chronic obstructive pulmonary disease. *American journal of respiratory and critical care medicine*, 150(1), 41-47. <https://doi.org/10.1164/AJRCCM.150.1.8025770>
- De Troyer, A., & Sampson, M. G. (1982). Activation of the parasternal intercostals during breathing efforts in human subjects. *Journal of applied physiology: respiratory, environmental and exercise physiology*, 52(3), 524-529. <https://doi.org/10.1152/JAPPL.1982.52.3.524>

- Decramer, M. (1999). The Respiratory Muscles. İçinde A. Fishman (Ed.), *Fishman's Pulmonary Disease and Disorders 3rd International Edition* (ss. 63-71). McGraw-Hill .
- Edwards, R., & Faulkner, J. (1995). Structure and function of the respiratory muscles. İçinde C. Roussos (Ed.), *The Thorax* (ss. 185-217). Mercel Dekker.
- Feldman, J. L., & Del Negro, C. A. (2006). Looking for inspiration: new perspectives on respiratory rhythm. *Nature reviews. Neuroscience*, 7(3), 232-242. <https://doi.org/10.1038/NRN1871>
- Feldman, J. L., Mitchell, G. S., & Nattie, E. E. (2003). Breathing: rhythmicity, plasticity, chemosensitivity. *Annual review of neuroscience*, 26, 239-266. <https://doi.org/10.1146/ANNUREV.NEURO.26.041002.131103>
- Fell, S. C. (1998). Surgical anatomy of the diaphragm and the phrenic nerve. *Chest Surgery Clinics of North America*, 8(2), 281-294. [https://doi.org/10.1016/S1052-3359\(25\)00334-5](https://doi.org/10.1016/S1052-3359(25)00334-5)
- Getsy, P. M., May, W. J., Coffee, G. A., Baby, S. M., Hsieh, Y. H., Bates, J. N., & Lewis, S. J. (2025). The ability of Ibuprofen to blunt fentanyl-induced respiratory depression is independent of its activation of carotid body chemoafferents. *The Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*, 392(2), 100060. <https://doi.org/10.1016/J.JPET.2024.100060>
- Guyenet, P. G. (2014). Regulation of breathing and autonomic outflows by chemoreceptors. *Comprehensive Physiology*, 4(4), 1511-1562. <https://doi.org/10.1002/CPHY.C140004>
- Hall, Jennifer. (2016). *Guyton and Hall textbook of medical physiology*. Elsevier.
- Hoffman, M., Augusto, V. M., Eduardo, D. S., Silveira, B. M. F., Lemos, M. D., & Parreira, V. F. (2021). Inspiratory muscle training reduces dyspnea during activities of daily living and improves inspiratory muscle function and quality of life in patients with advanced lung disease. *Physiotherapy theory and practice*, 37(8), 895-905. <https://doi.org/10.1080/09593985.2019.1656314>
- Johnson, B. D., Saupe, K. W., & Dempsey, J. A. (1992). Mechanical constraints on exercise hyperpnea in endurance athletes. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 73(3), 874-886. <https://doi.org/10.1152/JAPPL.1992.73.3.874>
- Levine, S., Kaiser, L., Lefterovich, J., & Tikunov, B. (1997). Cellular Adaptations in the Diaphragm in Chronic Obstructive Pulmonary

- Disease. *New England Journal of Medicine*, 337(25), 1799-1806.
<https://doi.org/10.1056/NEJM199712183372503>;PAGEGROUP:ST
 RING:PUBLICATION
- Levine, S., Nguyen, T., Kaiser, L. R., Rubinstein, N. A., Maislin, G., Gregory, C., Rome, L. C., Dudley, G. A., Sieck, G. C., & Shrager, J. B. (2003). Human diaphragm remodeling associated with chronic obstructive pulmonary disease: clinical implications. *American journal of respiratory and critical care medicine*, 168(6), 706-713.
<https://doi.org/10.1164/RCCM.200209-1070OC>
- Levine, S., Nguyen, T., Taylor, N., Friscia, M. E., Budak, M. T., Rothenberg, P., Zhu, J., Sachdeva, R., Sonnad, S., Kaiser, L. R., Rubinstein, N. A., Powers, S. K., & Shrager, J. B. (2008). Rapid disuse atrophy of diaphragm fibers in mechanically ventilated humans. *The New England journal of medicine*, 358(13), 1327-1335. <https://doi.org/10.1056/NEJMOA070447>
- Mantilla, C. B., & Sieck, G. C. (2003). Invited review: Mechanisms underlying motor unit plasticity in the respiratory system. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 94(3), 1230-1241.
<https://doi.org/10.1152/JAPPLPHYSIOL.01120.2002>
- McCool, F. D., & Tzelepis, G. E. (2012). Dysfunction of the diaphragm. *The New England journal of medicine*, 366(10), 932-942.
<https://doi.org/10.1056/NEJMRA1007236>
- Miller, W., Jonhson, R., & Cushing, I. (1960). Mechanics of breathing. İçinde B. Gordon (Ed.), *Clinical Cardiopulmonary Physiology* (ss. 568-603). Grune & Stratton.
- Moore, K. L. . (1992). *Clinically oriented anatomy*. Williams & Wilkins.
- Nattie, E., & Li, A. (2012). Central chemoreceptors: locations and functions. *Comprehensive Physiology*, 2(1), 221-254.
<https://doi.org/10.1002/CPHY.C100083>
- Netter, F. (2020). *Netter İnsan Anatomisi Atlası* (7. bs). ELSEVIER.
<https://www.guneskitabevi.com/netter-insan-anatomisi-atlasi-12>
- Powers, S. K., Andrew Shanely, R., Coombes, J. S., Koesterer, T. J., McKenzie, M., Van Gammeren, D., Cicale, M., & Dodd, S. L. (2002). Mechanical ventilation results in progressive contractile dysfunction in the diaphragm. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 92(5), 1851-1858.
<https://doi.org/10.1152/JAPPLPHYSIOL.00881.2001>

- Powers, S. K., Ji, L. L., Kavazis, A. N., & Jackson, M. J. (2011). Reactive oxygen species: impact on skeletal muscle. *Comprehensive Physiology*, 1(2), 941-969. <https://doi.org/10.1002/CPHY.C100054>
- Putz, R., & Pabst, R. (2007). *Sobotta İnsan Anatomisi Atlası* (22. Baskı). Urban & Fischer.
- Ratnovsky, A., Elad, D., & Halpern, P. (2008). Mechanics of respiratory muscles. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 163(1-3), 82-89. <https://doi.org/10.1016/J.RESP.2008.04.019>
- Roussos, C., & Macklem, P. T. (1982). The respiratory muscles. *The New England journal of medicine*, 307(13), 786-797. <https://doi.org/10.1056/NEJM198209233071304>
- Santana, P. V., Cardenas, L. Z., De Albuquerque, A. L. P., De Carvalho, C. R. R., & Caruso, P. (2019). Diaphragmatic ultrasound findings correlate with dyspnea, exercise tolerance, health-related quality of life and lung function in patients with fibrotic interstitial lung disease. *BMC Pulmonary Medicine*, 19(1), 183. <https://doi.org/10.1186/S12890-019-0936-1>
- Sheel, A. W. (2002). Respiratory muscle training in healthy individuals: physiological rationale and implications for exercise performance. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 32(9), 567-581. <https://doi.org/10.2165/00007256-200232090-00003>
- Sieck, G. C., & Gransee, H. M. (2012). Respiratory Muscles: Structure, Function, and Regulation. *Colloquium Series on Integrated Systems Physiology: From Molecule to Function*, 4(3), 1-96. <https://doi.org/10.4199/C00057ED1V01Y2012ISP034>
- Troyer, A. De. (1984). Coordination between rib cage muscles and diaphragm during quiet breathing in humans. *journals.physiology.orgA De Troyer, M EstenneJournal of Applied Physiology*, 1984•journals.physiology.org, 57(3), 899-906. <https://doi.org/10.1152/JAPPL.1984.57.3.899>
- Ulubay, G. (2017). Solunum Kas Fizyolojisi ve Kas gücü ölçümü. *Toraks Cerrahisi Bülteni*, 10, 37-46. <https://doi.org/10.5578/tcb.2017.006>
- Weiner, P., Waizman, J., Magadle, R., Berar-Yanay, N., & Pelled, B. (1999). The effect of specific inspiratory muscle training on the sensation of dyspnea and exercise tolerance in patients with congestive heart failure. *Clinical cardiology*, 22(11), 727-732. <https://doi.org/10.1002/CLC.4960221110>
- Wright, H., Felton, V., Pull, E., Dantzler, H., & Kline, D. D. (2025). Impact of sustained hypoxia on GABAergic and non-GABAergic

- neurons of the nucleus tractus solitarii (nTS). *Physiology*, 40(S1). <https://doi.org/10.1152/PHYSIOL.2025.40.S1.0553>
- Yücel, H., Durgun, B., Oğuz, Ö., Bozkır, M., Kızıllkanat, E., Boyan, N., & Göker, P. (2018). *Dere Anatomi Atlası ve Ders Kitabı* (H. Yücel, B. Durgun, Ö. Oğuz, M. Bozkır, E. Kızıllkanat, N. Boyan, & P. Göker, Ed.). Akademisyen Yayınevi.
- Zhang, B., Li, P., Li, J., Liu, X., & Wu, W. (2021). Effect of Oxidative Stress on Diaphragm Dysfunction and Exercise Intervention in Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Frontiers in Physiology*, 12, 684453. <https://doi.org/10.3389/FPHYS.2021.684453/BIBTEX>

2. Bölüm

Solunum Kas Fonksiyonlarının Ölçüm Yöntemleri

Abdurrahim KAPLAN¹

Giriş

Solunum Kas Fonksiyonlarının Ölçümünün Önemi

Solunum, yalnızca akciğerlerin pasif havalandırılmasından ibaret olmayan; diyafram, interkostal kaslar ve yardımcı solunum kaslarının koordineli çalışmasıyla gerçekleşen karmaşık bir fizyolojik süreçtir (West, 2016). Bu kasların fonksiyonel kapasitesi, bireyin günlük yaşam aktivitelerinden sportif performansına kadar geniş bir alanda belirleyici rol oynar (Powers & Howley, 2018). Solunum kaslarında ortaya çıkan yetersiz solunum, yalnızca ventilasyon kapasitesinin azalmasına değil; oksijenlenme bozuklukları, çabuk yorulma ve egzersiz toleransında belirgin düşüşe neden olabilir (McKenzie et al., 2009). Sporcularda bu durum, hem antrenman yoğunluğunun sürdürülebilirliğini hem de performans seviyesini doğrudan olumsuz etkiler (Romer & Polkey, 2008). Bu nedenle solunum kas fonksiyonlarının objektif olarak ölçülmesi hem performans sporlarında hem de fizyoterapi ve rehabilitasyon alanlarında kritik bir değerlendirme aracıdır. Amerikan Toraks Derneği ve Avrupa Solunum Derneği, solunum kas testlerini klinik ve sportif değerlendirmelerin temel bileşenleri arasında saymaktadır (ATS/ERS Statement, 2002). Özellikle inspiratuar kas kuvvetinin (MIP) ve ekspiratuar kas kuvvetinin (MEP) ölçümü, kas gücü ve yorgunluk düzeyi hakkında literatüre daha fazla faydalanacak bilgiler sunmaktadır.

Son yıllarda yapılan çalışmalar, solunum kaslarının hedefe yönelik antrenmanla geliştirilebildiğini ve bunun performans üzerinde anlamlı etkiler yarattığını göstermiştir (Illi et al., 2012, Enright & Unnithan, 2011).

Bu bölüm, solunum kas fonksiyonlarının neden ve nasıl ölçülmesi gerektiğini açıklamak; yapılan bu ölçme yöntemlerinin değerlendirme süreçlerinin sportif performans ile sağlık üzerindeki etkilerini ortaya koymak

¹ Doç. Dr. Hitit Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi, Antrenörlük Eğitimi Bölümü.
E mail: abdurrahimkaplan@hitit.edu.tr, Orcid ID: 0000-0003-3158-3942

amacıyla hazırlanmıştır. Etkili bir solunum sistemi, yalnızca sporcularda performans avantajı yaratmakla kalmaz; aynı zamanda sağlıklı yaşamın da temel taşlarından birini oluşturur (McArdle et al., 2015).

Solunum Kaslarının Performans ve Klinik Durum Açısından Değerlendirilme Gerekliği

Solunum kasları hem fiziksel performansın sürdürülebilirliği hem de klinik sağlığın korunması açısından kritik role sahiptir Düzenli ve uzun süreli yapılan spor, fiziksel uygunluğun önemli belirleyicisi olan kardiyorespiratuar etkinliği artırır. Bu bağlamda sporcuda solunumsal kapasiteyi belirlemek ve solunum kapasitesini artıran egzersiz yaklaşımları uygulamak modern sporlarda elzem bir hal almaya başlamıştır (Esmer, 2019). Özellikle diyafram ve interkostal kasların fonksiyonel kapasitesi, egzersiz sırasında ventilasyonun etkinliğini belirleyen temel faktörlerden biridir (Aliverti, 2016, Hodges et al., 2007). Yoğun fiziksel aktivite sırasında artan oksijen gereksinimi, solunum kaslarının daha yüksek bir çalışma hızına ulaşmasını zorunlu kılar. Bu süreçte solunum kaslarında ortaya çıkabilecek yorgunluk hem performans düşüşüne hem de metabolik stresin artmasına neden olur (Tosun et al., 2020, Romer & Polkey, 2008).

Performans Açısından Gerekliklik

Dayanıklılık sporlarında, yüksek yoğunluklu interval antrenmanlarda ve takım sporlarında solunum kaslarının kapasiteleri doğrudan performansla ilişkilidir. Araştırmalar, solunum kaslarında görülen erken yorgunluğun periferik kaslara giden kan akımını azaltarak kasların daha hızlı yorulmasına yol açtığını göstermektedir (HajGhanbari et al. 2013, McKenzie et al., 2009). Bu durum “solunum kas metaborefleksi” olarak tanımlanmakta ve performansın sınırlandırılmasında önemli bir mekanizma olarak kabul edilmektedir. Özellikle profesyonel sporcularda solunum kas kuvvetinin objektif ölçümlerle değerlendirilmesi, antrenman programlarının bireyselleştirilmesi ve performansın optimize edilmesi için zorunlu hale getirmiştir (Aliverti 2016, Illi et al., 2012).

İnspiratuar kas kuvvetinin ölçülmesi (MIP testi), sportif performansın belirleyicilerinden biri olarak kabul edilmektedir. MIP düzeyi düşük olan sporcuların anaerobik eşik değerlerinin ve egzersiz toleranslarının daha düşük olduğu bildirilmiştir (Sheel, 2002). Dolayısıyla solunum kas fonksiyonlarının değerlendirilmesi, performans kayıplarının erken dönemde tespit edilmesine önemli katkı sağlar.

Klinik Açıdan Gerekliklik

Solunum kas fonksiyonlarının değeriendirilmesi yalnızca sporcular için değil, aynı zamanda klinik popölasyonlar için de büyük önem taşır. Kronik Obstrüktif Akciğer Hastalığı (KOA), astım, nöromüsküler hastalıklar ve obezite gibi durumlarda solunum kasları sıklıkla zayıflar ve bu zayıflık, hastalığın ilerlemesini hızlandırabilir (ATS/ERS Statement, 2002). Solunum kas gücünün erken dönemde belirlenmesi, hem hastalığın seyrini izlemek hem de rehabilitasyon programlarını doğru şekilde planlamak için gerekli önem teşkil etmekte (Winkle & Sankari, 2025). Ayrıca cerrahi sonrası dönemde, özellikle üst abdominal ve torasik cerrahilerden sonra solunum kas fonksiyonlarında belirgin bir azalma meydana gelebilir. Bu durumda objektif ölçümler, postoperatif komplikasyonların önlenmesi açısından klinik değere sahiptir (McConnell, 2013). Solunum kas antrenmanının, hem klinik hem de sportif popölasyonda nefes kontrolünü, egzersiz toleransını ve ventilatuar verimliliği artırdığı bilimsel olarak kanıtlanmıştır (Contreras-Briceno et al., 2025, Enright & Unnithan, 2011). Hem klinik hem de sportif alan için bakıldığında, solunum kas fonksiyonlarının düzenli olarak değeriendirilmesi, hem mevcut durumun analizine hem de doğru antrenman/protokol seçimlerine rehberlik eder. Bu nedenle solunum kaslarının değeriendirilmesi, yalnızca performans artırmanın değil, sağlığı korumanın ve hastalık risklerini azaltmanın da temel unsurlarından biridir (Subramanian & Goyal, 2025, Powers & Howley, 2018).

Ölçümlerin Antrenman Planlaması, Klinik İzlem ve Araştırmalar için Önemi

Solunum kas fonksiyonlarının objektif olarak ölçülmesi, hem sporcuların performansını artırmak hem de klinik popölasyonlarda sağlık durumunu izlemek açısından kritik bir araçtır. Bu ölçümler, bireyin solunum kas kuvvetini, dayanıklılığını ve yorgunluk düzeyini belirleyerek, hem antrenman hem de tedavi süreçlerinin etkinliğine doğrudan katkı sağlar (Migliaccio et al., 2023, Powers & Howley, 2018).

Antrenman Planlaması Açısından Önemi

Sporcular için solunum kas fonksiyon ölçümleri, bireysel antrenman programlarının optimize edilmesine olanak tanır. Özellikle dayanıklılık sporlarında inspiratuar ve ekspiratuar kas kuvveti, aerobik kapasite ve egzersiz toleransı ile yakından ilişkilidir (Illi et al., 2012). Solunum kasları yetersiz olan sporcular, yüksek yoğunluklu antrenman sırasında daha hızlı yorulabilir ve performans düşüşü yaşayabilir. Bu nedenle ölçümler, hangi sporcunun hangi

yoğunlukta solunum kas eğitimi alması gerektiğini belirlemek için kullanılır (Romer & Polkey, 2008).

Klinik İzlem Açısından Önemi

Kronik solunum hastalıkları, nöromusküler rahatsızlıklar veya postoperatif dönemlerde solunum kasları sıklıkla zayıflar. Bu durum, komplikasyon riskini artırır ve rehabilitasyon sürecini etkiler (McConnell, 2013). Ölçümler sayesinde kas gücü ve dayanıklılık düzeyi takip edilerek, kişiye özel rehabilitasyon ve solunum kas eğitimi programları uygulanabilir. Düzenli izlem hem prognozu iyileştirir hem de komplikasyonları önler (ATS/ERS Statement, 2002).

Araştırmalar Açısından Önemi

Solunum kas fonksiyon ölçümleri, bilimsel araştırmalarda hem bağımsız değişken hem de performans veya sağlık göstergesi olarak kullanılır. Ölçümler sayesinde, farklı antrenman yöntemlerinin, rehabilitasyon programlarının veya tedavi protokollerinin etkinliği objektif olarak değerlendirilebilir (Laborde et. al, 2024, Langer et al. 2009).

Maksimal ve Submaksimal Ölçümlerin Farkı ve Kullanım Alanları

Solunum kaslarının fonksiyonel değerlendirilmesinde kullanılan yöntemler, genellikle maksimal ve submaksimal ölçümler olarak iki ana kategoriye ayrılır. Bu ölçümler hem sportif performansın izlenmesi hem de klinik değerlendirme ve araştırma çalışmalarında farklı amaçlarla tercih edilmektedir (ATS/ERS Statement, 2002).

Maksimal Ölçümler

Maksimal ölçümler, solunum kaslarının en yüksek kuvvet kapasitesini belirlemek için uygulanır. Bu ölçümler, genellikle maksimal inspiratuar basınç (MIP) ve maksimal ekspiratuar basınç (MEP) testleri ile gerçekleştirilir. Maksimal ölçümler, kasların gerçek kuvvet sınırlarını ortaya koyar ve özellikle yüksek performans sporcularında antrenman programlarının bireyselleştirilmesinde kritik öneme sahiptir (Tosun, 2023, Illi et al., 2012). Maksimal ölçümler, aynı zamanda klinik popülasyonlarda da önem taşır. Kronik solunum hastalığı, nöromusküler hastalıklar veya cerrahi sonrası dönemde solunum kas kuvvetinin belirlenmesi, komplikasyon riskinin ve rehabilitasyon gereksiniminin değerlendirilmesini sağlar (Chang et al., 2025, McConnell, 2013). Bu ölçümler sayesinde, kas yetersizliği erken dönemde tespit edilebilir ve uygun müdahaleler planlanabilir (Enright & Unnithan, 2011).

Submaksimal Ölçümler

Submaksimal ölçümler ise solunum kaslarının dayanıklılık ve çalışma süresi gibi performans özelliklerini ortaya koyar. Bu ölçümler, kasların belirli bir yük altında ne kadar süre çalışabileceğini veya tekrar edebileceğini belirler (Formiga et al., 2018, Romer & Polkey, 2008). Submaksimal testler genellikle daha güvenlidir ve yüksek riskli popülasyonlarda (yaşlı bireyler, kronik hastalar) uygulanabilir. Spor bilimlerinde submaksimal ölçümler, uzun süreli dayanıklılık gerektiren aktivitelerde kas performansını izlemek ve antrenman programlarının etkinliğini değerlendirmek için kullanılır (Gök ve ark. 2025, Sheel, 2002). Ayrıca araştırmalarda, kas yorgunluğunu ve adaptasyon süreçlerini incelemek amacıyla submaksimal testler tercih edilir.

Kullanım Alanları

- **Sporcular:** Maksimal ölçümler, antrenman planlaması ve performans optimizasyonu için; submaksimal ölçümler ise dayanıklılık kapasitesinin izlenmesi için kullanılır.
- **Klinik Popülasyonlar:** Maksimal ölçümler, kas gücü ve cerrahi risk değerlendirmesi için; submaksimal ölçümler ise uzun süreli solunum yüküne tolerans ve rehabilitasyon süreci takibi için tercih edilir.
- **Araştırmalar:** Maksimal ve submaksimal ölçümler, solunum kaslarının adaptasyon, yorgunluk ve egzersiz performansı üzerine bilimsel veriler elde etmek için kullanılır (Chang et al., 2025, McConnell, 2013, Illi et al., 2012, McKenzie et al., 2008).

Sonuç olarak, maksimal ve submaksimal ölçümler birbirini tamamlayan yöntemlerdir. Maksimal ölçümler kasın gücünü, submaksimal ölçümler ise kasın dayanıklılığını ve çalışma kapasitesini ortaya koyar. Her iki ölçümün doğru kullanımı, antrenman, klinik izlem ve araştırmalarda daha etkin ve güvenilir sonuçlar sağlar (Powers & Howley, 2018).

Basınç Temelli Ölçüm Yöntemleri

Solunum kas fonksiyonlarının değerlendirilmesinde basınç temelli ölçümler, inspiratuar ve ekspiratuar kasların kuvvetini ve performansını objektif olarak belirlemeye yarayan temel yöntemler arasında yer alır (Poddighe et al., 2024, ATS/ERS Statement, 2002). Bu yöntemler hem klinik hem de sportif uygulamalarda güvenilir veri sağlayarak, antrenman ve rehabilitasyon süreçlerinin planlanmasında kritik öneme sahiptir.

Maksimal Inspiratuar Basınç (MIP)

MIP, solunum kaslarının, özellikle diyafram ve yardımcı inspiratuar kasların maksimum kuvvet üretme kapasitesini ölçer (Illi et al., 2012). Test, genellikle nazal veya ağız yoluyla yapılan bir manometre ölçümü ile gerçekleştirilir. MIP, sporcularda performans kapasitesinin ve antrenman programlarının etkinliğinin değerlendirilmesinde, klinik popülasyonlarda ise kas zayıflığının ve rehabilitasyon ihtiyacının belirlenmesinde kullanılır (Laveneziana et al., 2019, Enright & Unnithan, 2011, Johnson et. al, 2007).

Maksimal Ekspiratuar Basınç (MEP)

MEP, abdominal ve interkostal kasların maksimum ekspiratuar basınç üretme kapasitesini ortaya koyar. Bu ölçüm, özellikle öksürük fonksiyonu ve solunum kas kuvvetinin değerlendirilmesinde önemlidir (Romer & Polkey, 2008). MEP, KOAH, astım ve nöromusküler hastalıklarda hastanın ventilasyon rezervini ve kas yetersizliğini belirlemeye yardımcı olur (Laveneziana et al., 2019, McConnell, 2013).

Submaksimal Basınç Testleri

Submaksimal basınç ölçümleri, kasların belirli bir yük altında dayanıklılığını ve çalışma süresini ortaya koyar. Bu testler, yüksek riskli hastalar veya yaşlı bireylerde güvenle uygulanabilir ve uzun süreli solunum kas performansını izlemek için kullanılır (Romer & Polkey, 2008, Sheel, 2002).

Uygulama Alanları

- **Spor Bilimleri:** Maksimal ve submaksimal basınç ölçümleri, sporcuların solunum kas kapasitesini değerlendirmek ve antrenman programlarını optimize etmek için kullanılır (Illi et al., 2012, Johnson et. al, 2007).
- **Klinik Uygulamalar:** KOAH, astım, nöromusküler hastalıklar ve postoperatif dönemlerde MIP ve MEP ölçümleri, kas gücü ve ventilasyon rezervinin takibi için kritik öneme sahiptir (Laveneziana et al., 2019, McConnell, 2013).
- **Araştırmalar:** Basınç temelli ölçümler, solunum kas yorgunluğu, antrenman adaptasyonu ve rehabilitasyon etkinliğinin bilimsel olarak değerlendirilmesini sağlar (McKenzie et al., 2008).

Sonuç olarak, basınç temelli ölçüm yöntemleri, solunum kaslarının kuvvet, dayanıklılık ve performans kapasitesini güvenilir şekilde değerlendirmek için temel araçlardır. Bu yöntemler, hem sportif performansı artırmak hem de klinik

izlemi optimize etmek için etkin rol oynar (Powers & Howley, 2018, ATS/ERS Statement, 2002).

Maksimal İspiratuar Basıncı (MIP)

Maksimal inspiratuar basınç (MIP), inspiratuar kasların maksimum kuvvet üretme kapasitesini ölçen temel bir parametredir (ATS/ERS Statement, 2002). Özellikle diyafram ve yardımcı inspiratuar kasların fonksiyonel durumu hakkında objektif bilgi sağlar. MIP ölçümleri, hem sportif performansın değerlendirilmesinde hem de klinik izlemde sıkça kullanılmaktadır (McConnell, 2013, Illi et al., 2012).

Ölçüm Yöntemi

MIP testi genellikle ağız yoluyla yapılan bir manometre ölçümü ile uygulanır. Test sırasında birey, residual volümden (RV) maksimum inspirasyon yapmaya çalışır ve manometre cihazı, inspiratuar kasların üretebildiği en yüksek negatif basıncı kaydeder (Sheel, 2002). Testin güvenilirliği, doğru teknik, motivasyon ve cihazın kalibrasyonu ile doğrudan ilişkilidir.

Klinik ve Sportif Önemi

- **Klinik Kullanım:** MIP ölçümü, KOAH, astım, nöromusküler hastalıklar ve postoperatif dönemde solunum kas zayıflığını belirlemek için kullanılır. Erken dönemde zayıflık tespit edilmesi, uygun rehabilitasyon ve solunum kas antrenmanı programlarının planlanmasına olanak tanır (McConnell, 2013).

- **Sportif Kullanım:** Sporcularda MIP ölçümleri, egzersiz sırasında ventilasyon kapasitesi ve dayanıklılığı değerlendirmek için önemlidir. Düşük MIP değeri, solunum kas yorgunluğu riskini artırabilir ve performans kaybına yol açabilir (Illi et al., 2012, Sheel, 2002).

Uygulama ve Yorumlama

MIP değeri, kişinin yaşına, cinsiyetine ve fiziksel durumuna bağlı olarak değişir. Normatif değerlerle karşılaştırma yapılarak, kas kuvvetinde azalma veya iyileşme tespit edilebilir. Ayrıca MIP, solunum kas antrenman programlarının etkinliğini objektif olarak değerlendirmek için tekrar ölçümlerle izlenebilir (Enright & Unnithan, 2011). MIP testi, basit, güvenilir ve kısa sürede uygulanabilir olması nedeniyle hem araştırmalarda hem de klinik ve sportif ortamlarda tercih edilen bir ölçüm yöntemidir (Powers & Howley, 2018).

Standart Ölçüm Protokolü

MIP ölçümleri, standart bir protokol çerçevesinde uygulanmalıdır. Test sırasında birey, residual volümden (RV) maksimum inspirasyon yapmaya çalışır ve manometre cihazı en yüksek negatif basıncı kaydeder (ATS/ERS Statement, 2002). Ölçüm öncesi cihazın kalibrasyonu, doğru ağızlık kullanımı ve bireyin pozisyonu (oturma pozisyon tercih edilir) güvenilir sonuç için kritik öneme sahiptir (McConnell, 2013). Test genellikle 3–5 tekrar ile yapılır ve en yüksek değer değerlendirilmeye alınır.

Güvenirlilik ve Sınırlılıklar

MIP testi, kısa sürede uygulanabilen ve yüksek güvenilirliğe sahip bir ölçüm yöntemidir (Sheel, 2002). Ancak, ölçüm sonuçları öğrenme etkisi, motivasyon ve doğru teknik uygulanmasına bağlı olarak değişebilir (McConnell, 2013).

Maksimal Ekspiratuar Basıncı (MEP)

Maksimal ekspiratuar basıncı (MEP), ekspiratuar kasların maksimum kuvvet üretme kapasitesini belirleyen önemli bir parametredir. Özellikle abdominal ve interkostal kasların fonksiyonel durumu hakkında bilgi sağlar ve hem klinik hem de sportif uygulamalarda kullanılır (McConnell, 2013, ATS/ERS Statement, 2002).

Standart Ölçüm Protokolü

MEP testi, genellikle tam inspirasyon sonrası maksimum ekspirasyon ile gerçekleştirilir. Ölçüm, ağız manometresi aracılığıyla yapılır ve cihazın kalibrasyonu, doğru ağızlık kullanımı ve test sırasında bireyin oturma pozisyonunda olması güvenilir sonuç için kritiktir (Sheel, 2002). Test genellikle 3–5 tekrar yapılır ve en yüksek değer değerlendirilmeye alınır. MEP değerleri yaş, cinsiyet ve fiziksel duruma göre değişir. Örneğin, sağlıklı genç yetişkin erkeklerde MEP genellikle 150–200 cmH₂O, kadınlarda ise 90–150 cmH₂O arasında bulunur (Enright & Unnithan, 2011).

Güvenirlilik ve Sınırlılıklar

MEP testi, kısa sürede uygulanabilir ve güvenilir bir yöntemdir (Sheel, 2002). Ancak sonuçlar, bireyin motivasyonu, doğru teknik uygulaması ve öğrenme etkisinden etkilenebilir. Bazı klinik popülasyonlarda, özellikle akciğer hastalıkları veya abdominal cerrahi sonrası, test sırasında güvenlik ve tolerans sorunları göz önünde bulundurulmalıdır (McConnell, 2013).

Öğrenme Etkisi ve Motivasyon Etkisi

MEP ölçümlerinde de öğrenme ve motivasyon etkisi önemlidir. Deneyimsiz bireyler kaslarını tam olarak aktive edemeyebilir ve düşük değerler elde edebilir. Test öncesinde doğru teknik anlatımı ve teşvik sağlanması, ölçüm güvenilirliğini artırır (Romer & Polkey, 2008). Motivasyon eksikliği, özellikle maksimum ekspiratuvar basınç ölçümlerinde sonucu önemli ölçüde etkileyebilir.

Sniff Nasal Inspirator Pressure (SNIP)

Burun nefes çekme testleri olarak adlandırabileceğimiz bu testler arasında; “Transdiaphragmatic pressure during sniff, esophageal pressure during sniff” ve “nasal sniff pressure (nazal inspiratuvar basınç ölçümü)” genellikle kullanılanlardır. Sniff Nazal Inspiratuvar Basınç (SNIP) ölçümü, inspiratuvar kas kuvvetinin isteğe bağlı, non-invaziv bir değerlendirmesidir. Genellikle maksimum 10 “sniff” (burundan hızlı nefes alma) kullanılır. Nazal yol üzerinden yapılan kısa, hızlı inspiratuvar bir sniff hareketi ile solunum kas kuvvetini ölçen bir yöntemdir. SNIP, özellikle diyafram fonksiyonunu ve üst hava yolu kaslarının performansını değerlendirmek için kullanılır (Ulubay, 2017, Lofaso et al., 2006, ATS/ERS Statement, 2002, Heritier et al, 1994,).

Standart Ölçüm Protokolü

SNIP testi, genellikle tek burun deliğine bağlanan bir nazal manometre ile uygulanır. Bireyden kısa ve hızlı bir şekilde maksimum inspirasyon yapması istenir. Ölçüm sırasında doğru pozisyon (oturur veya ayakta), cihazın kalibrasyonu ve nazal hava yolu açıklığı güvenilir sonuçlar için önemlidir (Caruso et al., 2015, Sheel, 2002). Test genellikle 10–15 tekrar yapılır ve en yüksek değer değerlendirilir.

SNIP değerleri yaş, cinsiyet ve fiziksel duruma bağlı olarak değişir. Normatif değerler, özellikle nöromusküler hastalıklarda kas fonksiyonunun izlenmesi ve erken dönemde güç kaybının tespit edilmesi için kullanılır (Enright & Unnithan, 2011, Romer & Polkey, 2008).

Güvenirlilik ve Sınırlılıklar

SNIP testi, invaziv olmayan, kısa sürede uygulanabilen ve güvenilir bir ölçüm yöntemidir. Ancak nazal pasajın tıkanıklığı, üst solunum yolu enfeksiyonları veya test sırasında bireyin tekniği, sonuçları etkileyebilir (McConnell, 2013, Uldry et al., 1997). Ayrıca, bazı bireyler sniff hareketini tam olarak gerçekleştiremeyebilir, bu nedenle ölçüm tekrarlanmalıdır.

Sniff Nasal Inspirator Pressure (SNIP)

Transdiyafragmatik basınç (Pdi), ileri derecede diyafram güçsüzlüğü veya bilateral diyafram paralizisini gösterebilen bir yöntemdir. Bu ölçüm için biri mideye diğeri özefagusa olmak üzere iki balon kateter yerleştirmek gerekir. Özefagustaki kateter plevra basıncını, midedeki ise gastrik (Pga) yani bir anlamda intraabdominal basıncı verir. Pdi ölçümü, özellikle diyafram fonksiyonunun hassas değerlendirilmesi gereken klinik ve araştırma ortamlarında tercih edilir (Saldarriaga et al, 2023, McConnell, 2013, ATS/ERS Statement, 2002).

Standart Ölçüm Protokolü

Pdi ölçümü, genellikle özofagus ve mideye yerleştirilen balon kateterleri aracılığıyla yapılır. Özofagus ve mide basınçları ölçülerek Pdi, bu iki basınç arasındaki fark olarak hesaplanır. Test sırasında bireyden maksimal inspirasyon ve ekspirasyon yapması istenir. Ölçüm güvenilirliği, cihaz kalibrasyonu, balon yerleşiminin doğruluğu ve bireyin pozisyonuna bağlıdır (Thapa et al., 2023, Sheel, 2002).

Referans Değerler ve Normatif Aralıklar

Pdi değerleri yaş, cinsiyet ve fiziksel duruma göre değişir. Sağlıklı yetişkinlerde maksimum Pdi genellikle 100–150 cmH₂O arasında ölçülür. Normatif değerler, diyafram fonksiyon bozukluğunu veya kas yetersizliğini tespit etmek için kullanılır (Romer & Polkey, 2008, Evans et al., 1993).

Güvenirlilik ve Sınırlılıklar

Pdi ölçümü, oldukça hassas ve güvenilir bir yöntem olmasına rağmen invaziv bir yöntemdir. Kateter yerleşimi, balon sızıntıları veya bireyin teknik hataları sonuçları etkileyebilir. Bu nedenle test deneyimli personel tarafından uygulanmalıdır (McConnell, 2013).

Akış ve Hacim Temelli Ölçüm Yöntemleri

Akış ve hacim temelli ölçümler, akciğer hacimlerini ve hava akışını doğrudan veya dolaylı olarak ölçerek solunum fonksiyonunu değerlendiren yöntemlerdir (Powers & Howler, 2018, West, 2016, Miller et al., 2005).

Spirometrik Değerlendirmeler

Spirometri, akciğer fonksiyonlarını değerlendiren temel ve en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir. Hava hacimlerini ve akım hızlarını ölçerek,

obstrüktif ve restriktif solunum bozukluklarını tespit etmede kritik rol oynar (McArdle et al., 2015, Davies & Moores, 2014).

Temel Spirometrik Parametreler

- **Zorlanmalı Ekspiratuar Hacim 1 (FEV₁):** İlk saniyede verilen maksimum ekspiratuar hava hacmi.
- **Zorlanmalı Vital Kapasite (FVC):** Maksimum inspirasyondan sonra yapılan tam ekspirasyon ile çıkarılan toplam hava hacmi.
- **FEV₁/FVC Oranı:** Obstrüktif ve restriktif bozuklukları ayırt etmek için kullanılır. Normalde ≥ 0.7 civarındadır.
- **Zorlanmalı Ekspiratuar Akım (FEF_{25-75%}):** Orta hacim ekspirasyon hızı, küçük hava yollarının fonksiyonunu gösterir (Rathot et al., 2024, Powers & Howley, 2018, Barreiro & Perillo, 2004).

Test Protokolü, Uygulama, Normatif Değerler ve Yorumlama

Spirometri testi, oturur pozisyonda, burun mandalı kullanılarak uygulanır. Test öncesi cihaz kalibrasyonu yapılmalı ve birey doğru teknikle nefes alıp vermelidir. Genellikle 3 kabul edilebilir tekrar alınır ve en yüksek değerler değerlendirilir (Quanjer et al., 1997). Normatif değerler yaş, cinsiyet, boy ve etnik kökene göre değişir. FEV₁ ve FVC değerleri, bu normlara göre yüzde (%) olarak ifade edilir. Örneğin, FEV₁ değeri %80'in altında ise hafif obstrüksiyon, %50–79 arasında orta dereceli obstrüksiyon, %50'nin altında ise ciddi obstrüksiyon düşünülür (Langan & Goodbred, 2020).

Klinik ve Spor Bilimleri Uygulamaları

- **Klinik:** Astım, KOAH ve restriktif akciğer hastalıklarının tanı ve izleminde kullanılır.
- **Spor Bilimleri:** Atletlerde akciğer kapasitesinin ve performans adaptasyonlarının değerlendirilmesinde kullanılır. Antrenman etkisi ve solunum kas kapasitesindeki değişimler spirometri ile izlenebilir (Lee et al., 2024, West, 2016, Illi et al., 2012).

Peak Inspiratory Flow (PIF) ve Peak Expiratory (PEF)

Peak inspiratory flow (PIF) ve peak expiratory flow (PEF), solunum yollarındaki maksimum hava akım hızını ölçen basit ve hızlı yöntemlerdir. Bu ölçümler, özellikle hava yolu obstrüksiyonu ve inspiratuar-ekspiratuar kas fonksiyonunun değerlendirilmesinde önemlidir (West, 2016, Sheel, 2002).

PIF, maksimal inspirasyon sırasında elde edilen en yüksek hava akım hızını gösterir. Bu parametre:

- Solunum kaslarının kuvvet ve performansını değerlendirmede kullanılır.
- Spirometrik ölçümlerle birlikte, nefes alma kapasitesindeki değişiklikleri izlemek için idealdir (McArdle et al., 2015).

- Klinik olarak özellikle inspiratuar kas güçsüzlüğü ve üst solunum yolu kısıtlılıklarının tespitinde kullanılır (Romer & Polkey 2008).

PEF, maksimal ekspirasyon sırasında elde edilen en yüksek hava akım hızını gösterir. Kullanım alanları şunlardır:

- Astım ve obstrüktif hastalıkların izleminde günlük olarak ölçülebilir.
- KOAH ve bronşiyal hiperreaktivite değerlendirmelerinde hızlı ve pratik bir yöntemdir (Powers & Howley 2018).
- Sporcularda ekspiratuar kas performansını ve antrenman etkilerini izlemek için kullanılabilir (Illi et al., 2012).

Test Protokolü, Uygulama, Normatif Değerler ve Yorumlama

- PIF ve PEF ölçümleri genellikle portatif peak flow metre veya spirometre ile yapılır.

- Test sırasında birey derin bir nefes alır veya verir ve maksimum hızda hava akımı gerçekleştirilir.

- 3 tekrar yapılır ve en yüksek değer değerlendirilir (ATS/ERS Statement, 2002).

Normatif değerler yaş, cinsiyet, boy ve fiziksel duruma göre değişir. Değerlerin %80'in altında olması, hava yolu obstrüksiyonu veya kas yetersizliği olasılığını artırır. PEF ve PIF, spirometri ile birlikte kullanıldığında solunum fonksiyonunun kapsamlı değerlendirilmesini sağlar (West, 2016).

Sınırlılıklar ve Güvenirlilik

PIF ve PEF ölçümleri kısa sürede uygulanabilen ve güvenilir yöntemlerdir. Ancak doğru teknik, motivasyon ve cihaz kalibrasyonu güvenilir sonuçlar için kritiktir. Öğrenme etkisi ve bireyin motivasyonu, özellikle sporcularda sonuçların doğruluğunu etkileyebilir (Romer & Polkey, 2008, Sheel, 2002).

Solunum Sürat, Hız ve Kas Dayanıklılığı Ölçümleri

Solunum kas dayanıklılığı ölçümleri, solunum kaslarının yüksek hızlı ve tekrarlayan kasılma sürati ile sürdürebilme kapasitesini değerlendirmek için kullanılır. Bu ölçümler hem klinik hem de sportif performans değerlendirmelerinde önemli bilgiler sağlar (McConnell, 2013, Sheel, 2002).

Ölçüm Yöntemleri

- **Dinamometre ve Manometre Kullanımı:** Maksimal inspiratuar ve ekspiratuar kas kuvveti kısa aralıklarla tekrar ettirilir.

- **Metronom Kontrollü Nefes Testleri:** Birey, belirlenen bir frekansta nefes alıp verir; dayanıklılık süresi ve kas yorgunluğu ölçülür (Illi et al., 2012).
- **Bilgisayarlı Spirometri Sistemleri:** Hava akış hızındaki değişiklikler ve kas yorgunluğu parametreleri detaylı olarak kaydedilir (Powers & Howley 2018).

Maksimal Sustained Inspiratory Pressure (MSIP) Testi

MSIP, inspiratuar kasların maksimal kuvveti belirli bir süre boyunca sürdürme yeteneğini ölçer. Test sırasında birey, residual volümden maksimum inspirasyon yapar ve belirlenen süre boyunca (genellikle 20–30 saniye) basıncı sabit tutmaya çalışır. Bu yöntem, kas yorgunluğu ve dayanıklılık kapasitesini objektif olarak değerlendirir (Illi et al., 2012).

Tekrarlayan Solunum Döngü Testleri (Repetitive Breathing)

Bu testler, bireyin belirli bir hızda inspirasyon ve ekspirasyon yapmasını gerektirir. Solunum kasları yüksek hızda tekrar eden kasılmalarla çalıştırılır ve yorgunluk başlangıcı ile dayanıklılık süresi kaydedilir. Bilgisayarlı spirometri sistemleri veya manometreler bu testlerde sıkça kullanılır (Powers & Howley 2018).

İzokinetik Solunum Kas Testleri

İzokinetik cihazlar, inspiratuar ve ekspiratuar kasların sabit hızda ürettiği kuvveti ölçerek dayanıklılık değerlendirmeyi sağlar. Bu yöntem özellikle araştırmalarda ve sporcuların antrenman performansını değerlendirmek için tercih edilir (McConnell, 2013).

Sabit yük (Constant Load) Dayanıklılık Testleri

Sabit yük dayanıklılık testleri, solunum kaslarının belirli bir yük altında uzun süre boyunca çalışabilme kapasitesini ölçen yöntemlerdir. Bu testler, inspiratuar veya ekspiratuar kasların yorulma eşiğini ve dayanıklılık kapasitesini değerlendirmek için kullanılır (McConnell, 2013, Illi et al., 2012).

Test Protokolü

- Test sırasında birey, önceden belirlenmiş bir yüzdelik yük (%30–60 MIP veya MEP) altında nefes alıp verir.
- Yük sabit tutulur ve birey, kas kuvvetini mümkün olan en uzun süre boyunca korumaya çalışır.
- Test süresi veya yorgunluğa kadar geçen süre kaydedilir. Bu süre, solunum kas dayanıklılığının objektif göstergesidir (Sheel, 2002).

Uygulama ve Ölçüm

- Manometre veya özel direnç cihazları ile uygulanır.
- Ölçüm sırasında bireyin pozisyonu, motivasyonu ve cihaz kalibrasyonu güvenilir sonuçlar için kritiktir.
- Test, genellikle inspiratuar kaslar için uygulanmakla birlikte, ekspiratuar kaslar için de uyarlanabilir (McConnell, 2013).

Artan yük (Incremental Load) Protokolleri

Artan yük protokolleri, solunum kaslarının dayanıklılığını kademeli olarak artan yükler altında ölçen yöntemlerdir (McConnell, 2013).

Test Protokolü

- Birey, belirlenen başlangıç yükü (%20–30 MIP veya MEP) ile teste başlar.
- Her belirli süre veya nefes döngüsünden sonra yük kademeli olarak artırılır.
- Test, bireyin kas yorgunluğu nedeniyle daha fazla yükü sürdürememesi veya önceden belirlenmiş maksimum yük seviyesine ulaşana kadar devam eder (Sheel, 2002).

Uygulama ve Ölçüm

- Manometre veya dirençli solunum cihazları ile uygulanır.
- Ölçüm sırasında bireyin pozisyonu, motivasyonu ve teknik doğruluğu güvenilir sonuçlar için kritik öneme sahiptir.
- Test sonuçları, maksimum dayanıklılık basıncı ve yük artırma süresine bağlı olarak solunum kas kapasitesini değerlendirir (McConnell, 2013).

Artan yük (Incremental Load) Protokolleri

Zamana karşı direnç protokolleri, bireyin solunum kaslarını belirli bir süre boyunca maksimum performansla çalıştırmasını ve dayanıklılığını ölçmeyi amaçlayan testlerdir (Illi et al., 2012).

Test Protokolü

- Birey, önceden belirlenmiş bir direnç altında (örneğin %50–70 MIP veya MEP) maksimum sayıda nefes döngüsünü belirli bir süre boyunca (genellikle 1–5 dakika) tamamlamaya çalışır.
- Test süresince yapılan toplam iş ve basınç değerleri kaydedilir.
- Kas yorgunluğu veya bireyin daha fazla nefes döngüsünü sürdürememesi testi sonlandırır (Sheel, 2002).

Uygulama ve Ölçüm

- Test, portatif direnç cihazları veya manometreler ile uygulanabilir.
- Bireyin pozisyonu, motivasyonu ve teknik doğruluğu güvenilir sonuç için kritik öneme sahiptir.
- Ölçülen parametreler, toplam iş, maksimum basınç ve dayanıklılık süresi olarak kaydedilir (McConnell, 2013).

Elektrofizyolojik Ölçüm Yöntemleri

Elektrofizyolojik ölçüm yöntemleri, solunum kaslarının aktivasyonunu ve fonksiyonel durumunu doğrudan ölçen tekniklerdir. Bu yöntemler, kas aktivitesinin niceliksel ve niteliksel değerlendirilmesini sağlar; ancak antrenman etkilerini direkt olarak ölçmezler (McConnell, 2013, De Troyer et al., 2005).

Yüzey EMG (sEMG) ile Solunum Kas Aktivitesi

Yüzey elektromiyografi (sEMG), kas elektriksel aktivitesini yüzey elektrotları aracılığıyla ölçen bir tekniktir. Solunum kaslarının aktivasyon profillerini incelemek için sıkça kullanılır.

Ölçülen Kaslar

- **Diyafram:** Primer inspiratuar kas, abdominal veya torasik elektrot yerleşimi ile izlenebilir.
- **Sternokleidomastoideus:** Yardımcı inspiratuar kas, özellikle derin nefeslerde aktif hale gelir.
- **Interkostaller:** Göğüs kafesi hareketini destekleyen kaslar; inspirasyon sırasında aktive olur (Sheel, 2002).

EMG Parametreleri

- **RMS (Root Mean Square):** Kas aktivitesinin genlik ölçümü, kas gücünü ve aktivasyon derecesini yansıtır.
- **Median Frequency (MF):** Kas yorgunluğu ve motor ünite değişimlerini değerlendirmek için kullanılır. Yorgunluk arttıkça median frequency düşer (McConnell, 2013).

Mekanik Ultrasonografi ile Kas Kalınlığı Ölçümü

Mekanik ultrasonografi, kas kalınlığı ve yapısal özellikleri görüntüleyen non-invaziv bir tekniktir. Solunum kaslarının hipertrofi veya atrofi durumunu değerlendirmek için kullanılır.

- **Diyafram kalınlığı:** Diyaframın inspirasyon ve ekspirasyon sırasında kalınlık değişimi ölçülerek kas aktivitesine dolaylı bir bakış sağlanır.

- **Sternokleidomastoideus ve interkostaller:** Kas kalınlığı ve kontraksiyon sırasında deformasyon analizi yapılabilir (Romer & Polkey 2008).

Sonuç

Solunum kas fonksiyonlarının değerdendirilmesi, hem sportif performansın artırılması hem de klinik popölasyonlarda solunum sağlığının korunması açısından kritik bir önem teşkil etmekte. Maksimal ve submaksimal ölçüm yöntemleri, solunum kaslarının güç, dayanıklılık ve çalışma kapasitesi hakkında objektif ve güvenilir veriler sunarak antrenman planlaması, rehabilitasyon programlarının oluşturulması ve bilimsel araştırmaların yürütölmesinde temel bir araç görevi göstermekte. MIP, MEP, SNIP ve transdiyafragmatik basınç gibi basınç temelli ölçümler; spirometri, PIF–PEF ve akım-hacim temelli testler; dayanıklılık ve hız ölçümleri ile elektrofizyolojik yöntemler bir arada kullanıldığında solunum sisteminin bütüncül bir değerdendirmesi mümkün kılar. Sonuç olarak, solunum kas fonksiyonlarının doğru yöntemlerle ölçölmesi; sportif performansın optimize edilmesi, klinik risklerin azaltılması, rehabilitasyon süreçlerinin etkin planlanması ve bilimsel literatüre katkı sağlanması açısından vazgeçilmezdir. Bu ölçüm yöntemlerinin sistematik olarak kullanılması hem sağlıklı bireylerde hem de klinik popölasyonlarda daha güçlü, daha verimli ve daha kontrollü bir solunum fonksiyonuna ulaşmanın temelini oluşturmaktadır.

Kaynaklar

- Aliverti, A. (2016). The respiratory muscles during exercise. *Breathe*, 12(2), 165–168.
- American Thoracic Society/European Respiratory Society. (2002). ATS/ERS statement on respiratory muscle testing. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 166(4), 518–624.
- ATS/ERS Statement. (2002). ATS/ERS Statement on respiratory muscle testing. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 166(4), 518–624.
- Barreiro, T. J., & Perillo, I. (2004). An approach to interpreting spirometry. *American family physician*, 69(5), 1107-1115.
- Caruso, P., Albuquerque, A. L., Santana, P. V., Cardenas, L. Z., Ferreira, J. G., Prina, E., ... & Carvalho, C. R. (2015). Diagnostic methods to assess inspiratory and expiratory muscle strength. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, 41(2), 110–123.
- Chang, C. L., Fang, T. P., Tsai, H. M., Chen, H. C., Liu, S. F., Lin, H. L., & Liu, J. F. (2025). Inspiratory muscle training and aerobic exercise in myasthenia gravis post-hospitalization: A randomized controlled trial. *BMC Pulmonary Medicine*, 25(1), 266.
- Contreras-Briceño, F., Manchado-Gobatto, F. B., & Wiecha, S. (2025). Tailored respiratory muscle training for athletes and patients. *Frontiers in Sports and Active Living*, 7, 1704447.
- Davies, A., & Moores, C. (2014). *The respiratory system: Basic science and clinical conditions*. Elsevier Health Sciences.
- De Troyer, A., Estenne, M., & Macklem, P. T. (2005). *Respiratory muscles*. Springer.
- Enright, S. J., & Unnithan, V. B. (2011). Inspiratory muscle training intensity effects. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 21(1).
- Esmer, O. (2019). Solunum fonksiyon testleri ile fiziksel performans arasındaki ilişki. *Efe Akademi Yayınları*.
- Evans, S. A., Watson, L., Cowley, A. J., Johnston, I. D., & Kinnear, W. J. (1993). Normal range for transdiaphragmatic pressures during sniffs. *Thorax*, 48(7), 750–753.
- Formiga, M. F., Roach, K. E., Vital, I., Urdaneta, G., Balestrini, K., Calderon-Candelario, R. A., ... & Cahalin, L. P. (2018). Reliability and validity of the test of incremental respiratory endurance measures of inspiratory muscle performance in COPD. *International journal of chronic obstructive pulmonary disease*, 1569-1576.

- Gök, U. C., Koç, M., Macit, Ö., Arslantürk, G., & Coşkun, B. (2025). İspiratuar kas kuvveti ile aerobik-anaerobik performans ilişkisi. *Spor Bilimleri Dergisi*, 35(4), 212–223.
- HajGhanbari, B., Yamabayashi, C., Buna, T. R., Coelho, J. D., Freedman, K. D., Morton, T. A., ... & Reid, W. D. (2013). Effects of respiratory muscle training on athletic performance: A systematic review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(6), 1643–1663.
- Heritier, F., Rahm, F., Pasche, P., & Fitting, J. W. (1994). Sniff nasal inspiratory pressure: A noninvasive assessment of inspiratory muscle strength. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 150(6), 1678–1683.
- Hodges, P. W., Sapsford, R., & Pengel, L. H. M. (2007). Postural and respiratory functions of the pelvic floor muscles. *Neurourology and Urodynamics*, 26(3), 362–371.
- Illi, S. K., Held, U., Frank, I., & Spengler, C. M. (2012). Effect of respiratory muscle training on exercise performance. *Sports Medicine*, 42(8), 707–724.
- Johnson, M. A., Sharpe, G. R., & Brown, P. I. (2007). Inspiratory muscle training improves cycling time-trial performance. *European Journal of Applied Physiology*, 101(6), 761–770.
- Laborde, S., Zammit, N., Iskra, M., Mosley, E., Borges, U., Allen, M. S., & Javelle, F. (2024). The influence of breathing techniques on sport performance: A meta-analysis. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 17(2), 1222–1277.
- Langan, R. C., & Goodbred, A. J. (2020). Office spirometry: indications and interpretation. *American family physician*, 101(6), 362-368.
- Langer, D., Hendriks, E. J. M., Burtin, C., Probst, V., Van der Schans, C. P., Paterson, W. J., ... & Gosselink, R. (2009). A clinical practice guideline for physiotherapists treating patients with chronic obstructive pulmonary disease based on a systematic review of available evidence. *Clinical rehabilitation*, 23(5), 445-462.
- Laveneziana, P., Albuquerque, A., Aliverti, A., Babb, T., Barreiro, E., Dres, M., ... & Verges, S. (2019). ERS statement on respiratory muscle testing at rest and during exercise. *European Respiratory Journal*, 53(6).
- Lee, H. W., Lee, J. K., Hwang, Y. I., Seo, H., Ahn, J. H., Kim, S. R., ... & Kim, D. K. (2024). Spirometric interpretation and clinical relevance according to different reference equations. *Journal of Korean Medical Science*, 39(4).

- Lofaso, F., Nicot, F., Lejaille, M., Falaize, L., Louis, A., Clement, A., ... & Fauroux, B. (2006). Sniff nasal inspiratory pressure: What is the optimal number of sniffs? *European Respiratory Journal*, 27(5), 980–982.
- Luo, Y. M., Hart, N., Mustafa, N., Man, W. D., Rafferty, G. F., Polkey, M. I., & Moxham, J. (2002). Reproducibility of twitch and sniff transdiaphragmatic pressures. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 132(3), 301–306.
- McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (2015). *Exercise physiology: Nutrition, energy, and human performance* (8th ed.). Lippincott Williams & Wilkins.
- McConnell, A. K. (2013). *Respiratory muscle training: Theory and practice*. Churchill Livingstone / Human Kinetics.
- McKenzie, D. K., Butler, J. E., & Gandevia, S. C. (2009). Respiratory muscle function and activation in chronic obstructive pulmonary disease. *Journal of applied physiology*, 107(2), 621–629.
- Migliaccio, G. M., Russo, L., Maric, M., & Padulo, J. (2023). Sports performance and breathing rate. *Sports*, 11, 103.
- Miller, M. R., Hankinson, J., Brusasco, V., Burgos, F., Casaburi, R., Coates, A., ... & Wanger, J. (2005). Standardisation of spirometry. *European Respiratory Journal*, 26(2), 319–338.
- Poddighe, D., Van Hollebeke, M., Choudhary, Y. Q., Campos, D. R., Schaeffer, M. R., Verbakel, J. Y., ... & Langer, D. (2024). Accuracy of respiratory muscle assessments for weaning prediction. *Critical Care*, 28(1), 70.
- Powers, S. K., & Howley, E. T. (2018). *Exercise physiology: Theory and application to fitness and performance* (10th ed.). McGraw-Hill Education.
- Quanjer, P., Lebowitz, M. D., Gregg, I., Miller, M. R., & Pedersen, O. F. (1997). Peak expiratory flow: conclusions and recommendations of a Working Party of the European Respiratory Society. *European respiratory journal*, 10(24), 2s.
- Rathod, M. B., Budensab, A., Bhalla, S., Mahesh, N. K., Alex, E., & Jesudas, M. (2024). Spirometric assessment of pulmonary function tests in asthma patients. *Cureus*, 16(2).
- Romer, L. M., & Polkey, M. I. (2008). Exercise-induced respiratory muscle fatigue and performance. *Journal of Applied Physiology*, 104(3), 879–888.
- Saldarriaga, C. A., Alatout, M. H., Khurram, O. U., Gransee, H. M., Sieck, G. C., & Mantilla, C. B. (2023). Chloroquine impairs transdiaphragmatic pressure in old mice. *Journal of Applied Physiology*, 135(5), 1126–1134

- Sheel, A. W. (2002). Respiratory muscle training in healthy individuals. *Sports Medicine*, 32(9), 567–581.
- Subramanian, T., & Goyal, M. (2025). Respiratory muscle strength training for athletes: A narrative review. *Journal of Clinical & Diagnostic Research*, 19(1).
- Thapa, K. R., Guleria, R., Mohan, A., Madan, K., Hadda, V., Mittal, S., & Tiwari, P. (2023). Utility of Using Ultrasound and Spirometry in Predicting Transdiaphragmatic Pressure (Pdi) in Patients With Moderate to Severe IIP. In C39. Care And Evaluation Of Patients With Interstitial Lung Disease (pp. A4982-A4982). American Thoracic Society.
- Tosun, M. I., Demirkan, E., Kaplan, A., Ari Yilmaz, Y., Eker Arici, I., Favre, M., ... & Kutlu, M. (2025). Respiratory muscle training improves aerobic capacity and respiratory muscle strength in youth wrestlers. *Frontiers in Physiology*, 16, 1492446.
- Uldry, C., Janssens, J. P., De Muralt, B., & Fitting, J. W. (1997). Sniff nasal inspiratory pressure in COPD. *European Respiratory Journal*, 10(6), 1292–1296.
- Ulubay, G. (2017). Solunum kas fizyolojisi ve kas gücü ölçümü. *Toraks Cerrahisi Bülteni*, 10(1).
- West, J. B. (2016). *Respiratory physiology: The essentials* (10th ed.). Wolters Kluwer.
- Winkle, M. J., & Sankari, A. (2025). Respiratory muscle strength training. *StatPearls* [Internet].

3. Bölüm

Solunum Kas Antrenmanlarının Fizyolojik Mekanizmaları

Abdulsamet EFDAL¹

Giriş

Solunum Kas Antrenmanının Fizyolojik ve Fonksiyonel Adaptasyonları

Solunum kasları, yapısal olarak iskelet kası özelliklerine sahip olmalarına rağmen, yaşam boyu kesintisiz çalışan ve postüral kaslara benzeyen yüksek dayanıklılık karakteristiği gösterir (Çevik ve Bostancı, 2024). Solunum kas sistemi, diyafram, interkostal ve karın kasları gibi farklı kas grupları arasındaki koordineli ve dinamik etkileşimler yoluyla solunum fonksiyonunun etkin bir şekilde sürdürülmesinde temel rol oynar (Aliverti, 2016). Nefes alıp verme sırasında bu kaslar dinamik bir şekilde birlikte çalışır. İnspirasyon sırasında diyaframın aşağı yönde hareketi abdominal hacmi ve alt kostal çapı artırırken, eksternal interkostal kasların aktivasyonu ise üst kostal kafesin elevasyonunu sağlar. Abdominal kas grubu ise intraabdominal basıncı yükselterek zorlu ve aktif ekspirasyona katkıda bulunur (De Troyer ve Boriek, 2011). Diyafram, interkostal ve abdominal kaslar arasındaki bu işlevsel bütünlüğün bozulması durumunda kas aktivitesinde uyumsuzluk ortaya çıkabilmekte ve buna bağlı olarak istenmeyen paradoksal göğüs kafesi hareketleri gelişebilmektedir; bu durum, solunumun etkinliği açısından hassas sinirsel koordinasyonun belirleyici rolünü açıkça ortaya koymaktadır (Aliverti, 2016). Buna karşılık, dinlenim halinde diyafram ve interkostal kaslar arasında etkin ve sorunsuz bir koordinasyon sağlanmakta olup, bu durum solunum fonksiyonunun temelinde yer alan sofistike nöromüsküler kontrol mekanizmalarını göstermektedir (Sieck ve Fogarty, 2025). Bu nedenle solunum kas sisteminin antrenmana verdikleri yanıt, hem iskelet kaslarının klasik adaptasyon prensiplerini hem de solunuma özgü fizyolojik süreçleri bir araya getirir (Polla ve ark., 2004). Solunum kaslarının kuvvet ve dayanıklılığını artırarak solunum pompasının mekanik

¹ Dr., Hitit Üniversitesi Sağlık Hizmetler Meslek Yüksekokulu, Çevre Koruma Teknolojileri Bölümü Çevre Sağlığı ve Çevresel Risk Yönetimi Programı,
E mail: a.sameteftal@gmail.com, Orcid ID: 0000-0001-8325-2438

verimliliğini geliştirmek ve böylece ventilatuvar iş yükünün metabolik maliyetini azaltmaktır. Bu süreç, solunum kaslarının oksidatif kapasitesinin artması ve yorgunluğa karşı dirençlerinin gelişmesi yoluyla, solunumun daha düşük enerji harcamasıyla sürdürülebilmesine katkı sağlamaktadır (Çevik ve Bostancı, 2024).

İnspiratuvar kas antrenmanı (İMT), özellikle diyafram ve interkostal kaslarda güç, dayanıklılık ve kas verimliliğini artıran, literatürde etkinliği güçlü biçimde gösterilmiş bir yöntemdir (Gosselink ve ark., 2011). Diyafram, ventilasyonun yaklaşık %75'ini sağlayan ana inspirasyon kasıdır ve hem solunum hem de duruş stabilizasyonu için hayati öneme sahiptir (Erail ve ark., 2022). Bu kapsamda İMT, diyafram kaslarının kesit alanında artış sağlayarak solunumsal kaslarda gözlenen fizyolojik adaptasyonların temelini güçlendirmektedir. (Çelik ve ark., 2025). İMT'nin fizyolojik temeli; uygulanabilir yük ile oluşturulan mekanik gerilim, ventilatuvar iş yükünün modifikasyonu ve metabolik talepteki değişim üzerine kuruludur (Bailey ve ark., 2010). Bu bileşenler, solunum kaslarının performans kapasitesini belirleyen temel fizyolojik parametreleri oluşturarak, kasların güç üretimi, dayanıklılık düzeyi ve fonksiyonel verimliliği üzerinde belirleyici bir rol oynar (Sheel, 2002).

İMT, kısa süreli orta yoğunluklu solunum yüklemelerinin (maksimum gücün %40 ila %60'ı) uygulandığı ve solunum kas gücü ve dayanıklılığında iyileşmeler sağlayan güç antrenmanı prensiplerini benimser (Mello ve ark., 2024). Tipik bir ev tabanlı İMT protokolü, dört ila on iki hafta süreyle, haftada beş ila yedi gün ve günde iki seans olacak şekilde, belirli bir inspiratuvar yüke (IRL) karşı nefes almayı içermektedir (Rodrigues ve ark., 2021). İMT, postural stabilitenin sürdürülmesinde kritik role sahip olan diyafram kasının fonksiyonel kapasitesini iyileştirmek amacıyla tasarlanmıştır (Ferraro ve ark., 2019). İMT'nin, "core" kaslarının postural dengeye olan katkısını artırarak denge kontrolünü olumlu yönde etkileyebileceğini göstermektedir (Rodrigues, Gurgel, ve Soares, 2020). Buna ek olarak, solunum pompasının venöz dönüşü destekleyici mekanizması aracılığıyla duruş stabilitesinin sürdürülmesine katkı sağlayabileceği düşünölmektedir (Rodrigues, Gurgel, dos Santos Galdino, ve ark., 2020).

Son yıllarda inspiratuvar kas antrenmanı (İMT), spor performansını artırmaya yönelik tamamlayıcı bir antrenman yöntemi olarak öne çıkmış; farklı spor dallarında fiziksel performans parametreleri üzerindeki potansiyel olumlu etkileri nedeniyle literatürde giderek artan bir ilgi görmüştür (HajGhanbari ve ark., 2013; Illi ve ark., 2012). İMT yoluyla diyafram ve interkostal kasların kuvvet ve dayanıklılığının artırılması, sporcularda ventilatuvar fonksiyonların daha etkin kullanılmasını sağlamakta; bu durum egzersiz sırasında solunuma

bağlı enerji tüketimini azaltarak performansın sürdürülebilirliğine olumlu katkı sunmaktadır (M. İ. Tosun ve ark., 2024). Sonuç olarak, özellikle yüksek düzeyde aerobik talep gerektiren dayanıklılık sporlarında, solunum kaslarına yönelik antrenman uygulamalarının performans çıktılarında klinik olarak anlamlı iyileşmeler oluşturduğu bildirilmektedir. İMT'nin temel prensibi, inspirasyon fazı sırasında solunum kaslarına kontrollü ve tekrarlı bir direnç uygulanması yoluyla bu kasların mekanik yüke maruz bırakılması ve buna bağlı olarak kas kuvveti, dayanıklılığı ve nöromüsküler verimlilikte adaptif gelişimlerin indüklenmesidir. Bu yaklaşım, diyafram ve yardımcı inspiratuvar kaslarda kasılma gücünün artırılmasını, yorgunluk eşiğinin geciktirilmesini ve ventilatuvar talebe karşı daha ekonomik bir solunum paterninin geliştirilmesini amaçlamaktadır. Direncin sistematik olarak ayarlanabilmesi, solunum kaslarında güç ve metabolik dayanıklılık yönünde progresif fizyolojik adaptasyonların gelişimini destekleyerek performansın optimize edilmesine katkı sağlar (Sheel ve ark., 2001). İMT üzerine yapılan araştırmalar, farklı sporcu gruplarında performans parametreleri üzerindeki etkilerini incelemiş ve çoğunlukla olumlu sonuçlar rapor etmiştir. Romer ve ark. (2002) tarafından yapılan bir çalışma, İMT'nin dayanıklılık sporcularında egzersiz performansını iyileştirdiğini ve yorgunluk hissini azalttığını göstermiştir. Bu bulgular, solunum kaslarını çalıştırmanın egzersiz sırasında oksijen tüketimini optimize edebileceğini ve böylece genel performansı artırabileceğini düşündürmektedir. İMT'nin sporcu performansı üzerindeki potansiyel faydaları fizyolojik mekanizmalar aracılığıyla açıklanabilir. Solunum kaslarını güçlendirmek, solunum eşiğini yükseltebilir ve böylece daha yüksek egzersiz yoğunluklarına toleransı artırabilir (M. İ. Tosun ve ark., 2024). Ek olarak, solunum kaslarının yorgunluğa karşı direnç kapasitesinin artırılması, yoğun egzersiz sırasında artan ventilatuvar taleplere rağmen bu kasların daha uzun süre etkin biçimde çalışabilmesini mümkün kılmakta; böylece “solunum kası yorgunluğu”na bağlı olarak periferik kaslara yönelen kan akımında ortaya çıkan kısıtlanmayı azaltmaktadır. Bu durum, literatürde ‘solunum kası metaborefleksi’ olarak tanımlanan kardiyovasküler yanıtın şiddetinin azaltılmasıyla ilişkilidir. Metaborefleksin baskılanması sonucunda, kardiyak debinin daha büyük bir bölümü çalışan iskelet kaslarına yönlendirilebilir ve böylece bacak kasları gibi primer performans belirleyicisi kas gruplarına oksijen ve besin maddelerinin taşınması daha etkin bir hâl alır. Bu fizyolojik mekanizmanın, periferik kaslarda metabolik stabilitenin korunmasına katkı sağladığı ve buna bağlı olarak egzersiz toleransının artması ile toplam performans süresinin uzamasında önemli bir rol oynadığı düşünülmektedir. (Archiza ve ark., 2018).

Literatürde, İMT'nin sporcularda solunum kas fonksiyonlarını iyileştirdiğine dair kanıtlar bulunsa da, aerobik kapasite ve dayanıklılık performansı üzerindeki etkilerine ilişkin sonuçlar hâlen çelişkili ve tutarsızlık göstermektedir. Bu durum, farklı çalışma protokolleri, uygulanan direnç düzeyleri ve sporcu popülasyonlarındaki heterojenlik gibi metodolojik faktörlerden kaynaklanıyor olabilir. Williams ve ark. (2002), inspiratuvar kaslara yönelik direnç antrenmanının solunum kaslarının güç ve dayanıklılık kapasitesini anlamlı derecede artırdığını rapor etmişlerdir. Çalışmada, katılımcıların maksimal inspiratuvar basınç (P_{Imax}) değerlerinde ve solunum kası dayanıklılığında belirgin iyileşmeler gözlenmiştir. Maksimal inspiratuvar basınç (P_{Imax}), solunum kaslarının maksimal kuvvet üretim kapasitesini nicel olarak değerlendirmede yaygın biçimde kullanılan, geçerli ve güvenilir bir ölçüm parametresidir. P_{Imax} değerlerindeki artış, diyafram ve diğer inspiratuvar kas gruplarının kuvvet kapasitesinde meydana gelen gelişimi göstermektedir. Bu bulgular, İMT'nin solunum kaslarını güçlendirmeye yönelik fizyolojik adaptasyonları desteklediğini ve potansiyel olarak egzersiz performansını optimize edebileceğini ortaya koymaktadır (Mills ve ark., 2013). Buna karşın, bu gelişmeler VO₂max veya genel dayanıklılık egzersiz kapasitesine anlamlı bir şekilde yansımamıştır. VO₂max, egzersiz sırasında kas dokularının maksimum oksijen tüketim kapasitesini yansıtan ve dayanıklılık performansının başlıca belirleyicilerinden biri olarak kabul edilen bir parametredir. Williams ve ark.'nın çalışması, İMT'nin solunum kaslarının işlevselliğini artırdığını göstermesine rağmen, yüksek yoğunluklu egzersizler sırasında genel performans üzerinde sınırlı etkiler ortaya koymuştur. Bu bulgu, solunum kaslarının güçlendirilmesinin egzersiz sırasında solunum kası yorgunluğunu azaltarak lokal performansı destekleyebileceğini; ancak tek başına uygulandığında genel aerobik kapasiteyi ve dayanıklılık performansını artırmada yeterli olmayabileceğini düşündürmektedir (Williams ve ark., 2002). İMT'nin, antrenmanlı dayanıklılık sporcularında solunum kaslarının güç ve dayanıklılık kapasitesini artırdığı bildirilmekle birlikte, bu kazanımların aerobik kapasite veya arteriyel oksijen desatürasyonu üzerinde anlamlı bir etkisi olmadığı rapor edilmiştir. Bu bulgular, solunum kaslarının güçlendirilmesinin lokal kas performansını iyileştirebilmesine karşın, genel kardiyorespiratuvar kapasite ve oksijen taşınımı üzerinde tek başına belirleyici bir rol oynamayabileceğini ortaya koymaktadır (M. İ. Tosun ve ark., 2024). Arteriyel oksijen desatürasyonu, arteriyel kanda oksijen kısmi basıncındaki düşüşü ifade eder ve özellikle yoğun egzersiz sırasında kas dokularına yeterli oksijen taşınıp taşınmadığını değerlendirmek için kullanılan önemli bir fizyolojik göstergedir (Harms ve ark., 2000). Yapılan çalışmalar, İMT'nin solunum kaslarının

performansını artırmasına karşın, genel sporcu performansında belirgin bir iyileşmeye yol açmadığını ortaya koymuştur. Solunum kaslarının güçlendirilmesinin egzersiz sırasında solunum kası yorgunluğunu azaltarak lokal performansı destekleyebileceğini, ancak tek başına uygulandığında genel aerobik kapasite ve dayanıklılık performansı üzerinde doğrudan belirleyici bir etki oluşturmayacağını göstermiştir (İlli ve ark., 2012).

Romer ve ark. (2002) tarafından bisikletçiler üzerinde yapılan bir çalışmada, İMT'nin zamana karşı performans ve anaerobik çalışma kapasitesini iyileştirdiği, ancak maksimum güç üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığı bildirilmiştir. Anaerobik çalışma kapasitesi, kısa süreli ve yüksek yoğunluklu egzersizler sırasında enerji üretme yeteneğini ifade eder; bu kapasitenin yüksek olması, sporcuların yoğun egzersizleri daha uzun süre sürdürebilme becerilerini artırır (Romer ve ark., 2002)

İMT, pleiotropik etkileri nedeniyle farmakolojik olmayan bir yaklaşım olarak dikkat çekmektedir. İMT'nin yaşlı bireylerde kardiyovasküler otonomik (Rodrigues ve ark., 2023) ve endotel fonksiyonları üzerinde olumlu etkiler gösterebileceği ve bu sayede kan basıncının düşürülmesine katkı sağlayabileceği düşünülmektedir. Bu bulgular, İMT'nin yaşlı popülasyonda kardiyovasküler sağlığın desteklenmesinde potansiyel bir tamamlayıcı yöntem olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir (Craighead ve ark., 2021). Bunun yanı sıra, İMT'nin gövde stabilitesini, postüral dengeyi (Ferraro ve ark., 2019) ve serebral kan akışını artırarak (Freeberg ve ark., 2023) düşme riskini azaltması da farmakolojik olmayan bir yaklaşım olarak umut vaat etmektedir.

İMT'nin Solunum Kasları Üzerindeki Etki Mekanizmaları

İMT'nin solunum kasları üzerindeki etkileri, temel olarak iki ana fizyolojik mekanizma üzerinden açıklanmaktadır: (1) solunum kaslarının oksidatif kapasite ve dayanıklılığının artırılması ve (2) dispne algısının azaltılması. Bu iki mekanizma hem solunumsal verimliliği hem de egzersiz performansını belirleyen kritik süreçleri doğrudan etkiler.

1) Solunum Kaslarının Dayanıklılığının Artması: İMT, diyafram ve yardımcı solunum kaslarında kas içi oksidatif metabolik kapasitenin artmasına yardımcı olarak metabolik asidoz eşikliğini yükseltir. Bu adaptasyon, kasların enerji üretimini daha verimli hâle getirir ve yüksek ventilatuvar yük altında laktat birikimini azaltarak kas yorgunluğunu geciktirir. Bu mekanizma sayesinde İMT, solunum kaslarının yorgunluğa karşı toleransını artırır ve kasların dayanıklılığını güçlendirerek daha uzun süre yüksek performans göstermelerini sağlar. (McConnell ve Romer, 2004). McConnell ve Romer (2004), İMT'nin solunum kaslarının yorgunluğa karşı direncini artırarak

egzersiz sırasında daha sürdürülebilir bir ventilatuvar yanıt sağladığını ve solunum kaslarının dayanıklılığını artırarak egzersiz sırasında yorgunluğun azalmasına katkıda bulunduğunu bildirmiştir. Boutellier ve ark. (1992), İMT'nin bisiklet ergometresi performansını anlamlı şekilde artırdığı rapor edilmiştir; araştırmacılar, bu performans artışının özellikle solunum kaslarının dayanıklılığındaki artış ve daha etkin oksijen kullanım kapasitesi sayesinde gerçekleştiğini vurgulamış ve solunum kaslarındaki fizyolojik adaptasyonların egzersiz kapasitesi üzerindeki kritik rolüne dikkat çekmişlerdir.

2) Dispne Algısında Azalma: İMT, solunum sırasında yaşanan dispne (nefes darlığı) algısını doğrudan azaltır. Dispne, egzersiz sırasında solunum kaslarının yetersizliği veya aşırı çalışması sonucunda ortaya çıkan rahatsız edici bir solunum hissidir. İMT, solunum kaslarının gücünü ve dayanıklılığını artırarak bu kaslar üzerindeki mekanik yük ve metabolik stresi düşürür; böylece egzersiz sırasında dispne algısını doğrudan azaltır ve böylelikle daha verimli bir ventilatuvar yanıt sağlar (Sheel ve ark., 2001). Dispne algısındaki azalma, sporcuların egzersiz sırasında daha rahat nefes almalarını ve performanslarını artırmalarını sağlar.

İMT, bu iki temel mekanizma aracılığıyla solunum kaslarının performans kapasitesini artırır; böylece sporcuların egzersiz sırasında yüksek performanslarını daha uzun süre sürdürebilmelerine ve genel dayanıklılıklarını geliştirmelerine olanak tanır. Bu bulgular, İMT'nin sporcu performansını optimize etmede etkili bir yöntem olduğunu ortaya koymaktadır.

İMT'nin Solunum Kaslarının Yorgunluğu ve Performans Üzerindeki Etkisi

Egzersiz sırasında solunum kaslarının yorgunluğu, özellikle dayanıklılık isteyen spor dallarında performansı sınırlayan bir faktör olabilir. Solunum kası yorgunluğu, egzersiz sırasında kaslara yeterli oksijen taşınmasını engelleyerek genel performansı olumsuz etkileyebilir (Katayama ve Amann, 2012). Johnson ve ark. (1996), solunum kası yorgunluğunun, büyük olasılıkla kaslara giden kan akışının azalması sonucu egzersiz toleransını düşürebileceğini belirtmişlerdir. Egzersiz sırasında solunum kaslarına giden kan akışı azaldığında, kasların oksijen ihtiyacı yeterince karşılanamaz ve bu durum yorgunluğa yol açar. Solunum kasları yeterince güçlü değilse bu yorgunluk daha belirgin hale gelir ve potansiyel olarak sporcuların performansını sınırlar (Johnson ve ark., 1996).

Genel olarak, mevcut literatür, İMT'nin solunum kası yorgunluğunu azaltmada ve egzersiz performansını artırmada etkili olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, bu etkilerin sporcuların antrenman seviyelerine ve uygulanan egzersiz türüne bağlı olarak değişebileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

İMT'nin diğer antrenman yöntemleriyle bütünleştirilerek kullanılması, sporcuların performansını daha etkin bir şekilde optimize etmek için uygun bir strateji olarak değerlendirilebilir.

İMT'nin Solunum Kaslarında Oluşturduğu Mekanik ve Hücreyel Adaptasyon

Solunum kaslarındaki antrenman uyarını üç ana bileşene dayanır: mekanik gerilme (basınca karşı üretim), volümetrik/iş yükü (tekrarlayan tidal genişlemeler) ve metabolik stres (uzun süreli iş ve yorgunluk birikimi) (Faghy, 2019). Yüksek basınç gerektiren inspirasyon sırasında artan intratorasik negatif basınç, diyafram liflerinde mekanik stres oluşturur (Goligher ve ark., 2015). Bu stres, kas hipertrofisinin moleküler temeli olan mTOR ve IGF-1 sinyal yollarının aktivasyonu için güçlü bir uyarandır (Goodman, 2019). Yakın dönemde yapılan çalışmalar, İMT'nin özellikle Tip I kas liflerinde mitokondri yoğunluğunu artırdığını, Tip II liflerde ise kas çapında belirgin bir artış oluşturduğunu göstermektedir (Ruple ve ark., 2021). Mekanik direnç artışı, diyafram ve yardımcı solunum kaslarında hipertrofik ve nöromusküler adaptasyonları tetiklerken; düzenli olarak artan ventilatuvar yük ve metabolik talep, mitokondriyal biyogenez ve kapillarizasyonu aktive eder. Bu adaptasyon, hem dayanıklılık hem de güç yönünden çift yönlü kazanımlar ortaya çıkarır; mekanik direnç artışı kas hipertrofisi ve nöromusküler koordinasyonu geliştirirken, uzun süreli artan ventilatuvar/metabolik talep mitokondriyal biyogenez ve kapillarizasyonu destekleyerek kasların oksijen kullanım kapasitesini artırır. Bu sayede solunum kasları hem daha uzun süre yüksek performans gösterebilir hem de egzersiz sırasında yorgunluğa karşı daha dirençli hâle gelir (Picard ve ark., 2012). Ayrıca, solunum kaslarının antrenman sonrası periferik oksijen alım kapasitesinin arttığı ve bunun sonucunda aynı ventilatuvar işi için daha düşük oksijen tüketiminin yeterli olduğu gösterilmiştir; bu durum, egzersiz sırasında enerji verimliliğinin artmasına ve performansın sürdürülebilirliğine katkı sağlamaktadır (Chlif ve ark., 2017).

İMT, diyaframı ve interkostal kasları güçlendirerek solunum verimliliğini artırır ve sonuç olarak arteriyel oksijenasyonu iyileştirir (Moreno ve ark., 2017). Genç sporcularda, yüksek tepe inspirasyon akışı (PIF) ve inspirasyon hacmi (IV), solunum kaslarını güçlendirerek oksijen alım kapasitesini artırır ve bu da performansa doğrudan katkıda bulunabilir (Bailey ve ark., 2010). Yüksek maksimal inspiratuvar akım (PIF) değerleri, alveollere daha fazla oksijen taşınmasını sağlayarak kaslara oksijen iletimini artırmaktadır. Bu durum, kasların oksijen gereksinimini karşılayarak yorgunluğu geciktirmekte ve dayanıklılığı iyileştirmektedir. Yüksek bir IV değeri, solunum kaslarının

inspirasyon sırasında daha fazla hava almasını sağlayarak arteriyel oksijenasyonu artırır ve kaslara daha fazla oksijen taşınmasını sağlar (Lisboa ve ark., 1997). Bu süreç, kaslarda laktik asit birikimini geciktirir ve asidozu önleyerek sporcuların anaerobik eşikte daha uzun süre kalmalarını sağlar. Verimli çalışan solunum kasları, karbondioksit atılımını hızlandırır, asit-baz dengesini korur ve egzersiz sonrası toparlanmayı destekler (Moreno ve ark., 2017). Artmış oksijenasyon, kaslara daha fazla oksijen taşınmasını sağlayarak aerobik metabolizmanın verimliliğini artırır ve anaerobik eşik üzerinde laktat birikiminin gecikmesine yol açar (Messonnier ve ark., 2007). Güçlü solunum kası, sporcular için inspirasyon sürecini daha ekonomik hale getirerek enerji tasarrufu sağlar (Subramanian ve Goyal, 2025). VO_{2max} , sporcuların aerobik kapasitesinin en önemli göstergelerinden biridir. Yüksek bir VO_{2max} , sporcuların aktivite sırasında kaslarına daha fazla oksijen sağlamalarına ve enerjilerini verimli bir şekilde kullanmalarına olanak tanır (M. I. Tosun ve ark., 2025).

İnspiratuvar kaslar yüksek oksidatif kapasiteye sahip olmalarına rağmen, artan ventilatuvar talep altında hızla yorulabilirler. İMT sonrası gözlemlenen adaptasyonlar şunlardır:

- Mitokondriyal biyogenezin artışı (PGC-1 α aracılı),
- Laktat birikiminin azalması,
- Kas içi oksijen kullanımının iyileşmesi,
- Solunum kaslarının aerobik eşığının yükselmesi (Koç ve ark., 2025;

Ren ve ark., 2025).

İMT'nin adaptif mekanizmaları, inspiratuvar solunum kaslarının yoğun egzersiz sonrasında metabolik atıkları daha verimli bir şekilde uzaklaştırmasını sağlar; bu sayede laktat birikimi azalır, kas içi oksijen kullanımı iyileşir ve toparlanma süreci hızlanır. Ayrıca, solunum kaslarının aerobik eşığı yükselir ve dayanıklılık kapasitesi artar (Spengler ve ark., 1999).

Solunum kaslarının güçlendirilmesi ve VO_{2max} 'ın artırılması, kardiyovasküler sistemin oksijen taşıma kapasitesini yükselterek kaslara iletilen oksijen miktarını artırır. Bu durum, solunum kası yorgunluğunu geciktirir ve kaslara daha fazla oksijen taşınmasını sağlayarak dayanıklılığı artırır (Hinde ve ark., 2020). Güçlendirilmiş solunum kasları, sporcuların inspirasyon sırasında enerji harcamasını azaltarak enerji verimliliğini artırır (Scano ve ark., 2006). Ayrıca, karbondioksidin vücuttan daha hızlı atılmasını sağlayarak kan pH'ının hızla normale dönmesine ve laktatın karaciğere taşınarak glukoneogeneze daha etkin şekilde katılmasına katkıda bulunur (Stickland ve ark., 2013). Bu mekanizmaların, yüksek yoğunluklu egzersiz sırasında metabolik yorgunluğun

geciktirilmesine ve dolayısıyla performansın daha uzun süre sürdürülebilmesine imkân tanıdığı bildirilmektedir (Sheel ve ark., 2001).

İMT'nin Solunum Kas Metaborefleksi Üzerine Etkisi

Solunum işindeki artış, solunum kası yorgunluğuna yol açabilir ve bu da öncelikle diyafram kasından gelen tip III ve IV afferent liflerin aktivasyonuna neden olur. Bu aktivasyon, periferik vazokonstriksiyon, ortalama arter basıncında (OAB) ve kalp atış hızında (HR) artış ve kan akışının iskelet kaslarından solunum kaslarına yönlendirilmesiyle ilişkilidir ve bu da egzersiz kapasitesinin azalmasına neden olabilir. Bu olguya inspiratuvar kas metaborefleksi (İMM) denir. İMT, solunum kaslarının güç ve dayanıklılığını artırarak bu yorgunluk yanıtını geciktirir. Güçlü ve aerobik olarak iyi adaptasyon gösteren solunum kasları, afferent liflerin aşırı aktivasyonunu sınırlar ve solunum kaslarına olan kan akışını daha verimli kullanır. Böylece periferik vazokonstriksiyon ve kardiyovasküler kompensasyon yanıtları azalır, kaslara oksijen iletimi optimize edilir ve egzersiz sırasında ventilatuvar performansın daha uzun süre korunması sağlanır (Harms, 2007). Son dönemdeki bulgular, İMT'nin tip III ve IV afferent liflerin aktivasyonunu ve dolayısıyla İMM'nin ortaya çıkışını azaltabileceğini; bu nörofizyolojik modülasyonun ise egzersiz toleransı ile performans kapasitesinde anlamlı iyileşmelere aracılık edebileceğini ortaya koymaktadır. İMM aktivasyonunun hem sağlıklı bireylerde hem de çeşitli hastalıklara sahip kişilerde egzersiz toleransı ile egzersiz kapasitesini sınırlayan önemli bir fizyolojik etken olduğu bilinmektedir. Buna karşılık, İMT'nin solunum kaslarının güç ve dayanıklılığını artırdığı, bu sayede İMM yanıtı bozulmuş bireylerde egzersiz kapasitesini anlamlı ölçüde iyileştirebilecek etkili bir yaklaşım olarak değerlendirilebileceği bildirilmektedir (Amann ve ark., 2011; e Lima ve ark., 2025)

İMT, İMM'nin olumsuz etkilerini azaltmada etkili bir klinik müdahale olarak kabul edilmektedir. Güncel araştırmalar, İMT'nin solunum kaslarının gücünü artırarak bu kasların yorgunluğa karşı dirençlerini yükselttiğini ve bunun sonucunda İMM kaynaklı performans kısıtlılıklarını belirgin ölçüde azalttığını ortaya koymaktadır. Solunum kaslarında yorgunluk direncinin artması, İMM aktivasyonunun zayıflamasında önemli bir rol oynamaktadır. Bu direnç artışının, İMT sonrasında anaerobik metabolizmanın azalması ve oksijen tüketiminin artmasıyla ilişkili olduğu bildirilmektedir. Nitekim, kalp yetmezliği olan hastalar üzerinde yürütülen bir çalışmada, altı haftalık İMT uygulamasının yorgunluk ve dispne düzeylerini anlamlı ölçüde azalttığı rapor edilmiştir. (Hosseini Pour ve ark., 2020).

Dirençsiz solunum egzersizlerinin otonomik kardiyovasküler kontrol üzerinde belirli değişiklikler oluşturabildiği bilinmekle birlikte, çeşitli çalışmalar İMT'nin direnç içermeyen solunum egzersizlerine kıyasla kardiyak otonomik modülasyonu daha olumlu yönde etkilediğini göstermektedir. Bu bulgular, uygulanan direnç düzeyinin, İMT'nin otonomik kontrol üzerindeki fizyolojik etkilerini güçlendiren temel belirleyicilerden biri olabileceğine işaret etmektedir. Literatürde, İMT'nin yalnızca solunum kaslarının güçlenmesini değil, aynı zamanda solunum kas dayanıklılığının artmasını da sağladığı vurgulanmaktadır. Bu etkiler, sporcularda ve sedanter bireylerde, ayrıca kronik kalp yetmezliği olan hastalar ve kardiyak cerrahi geçiren bireylerde de benzer şekilde gözlemlenmiştir. İMT sonrasında solunum kas fonksiyonundaki bu iyileşmenin, metaborefleks aktivasyon eşiğinin yükselmesi, fonksiyonel kapasitenin ve fiziksel performansın artırılması ile ilişkili olduğu; bunun da istirahat hâlinde kardiyak sempatik aktivitenin azalmasını kolaylaştırdığı bildirilmektedir (de Abreu ve ark., 2017).

Özetle; İMT solunum kaslarının güç, dayanıklılık verimliliğini artırarak hem sağlıklı bireylerde hem de çeşitli hastalıklara sahip kişilerde solunum fonksiyonunu optimize eden etkili bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. İMT, diyafram ve interkostal kaslarda mekanik ve hücrel adaptasyonları tetikleyerek oksidatif kapasiteyi yükseltir, dispne algısını azaltır ve solunum kası yorgunluğunu geciktirir. Bu fizyolojik iyileşmeler, egzersiz toleransını ve performans kapasitesini artırırken, solunum kas metaborefleksinin modülasyonu yoluyla istirahat hâlinde kardiyak sempatik aktivitenin azalmasına ve otonomik kardiyovasküler kontrolün iyileşmesine katkı sağlar. Ayrıca, postüral denge ve gövde stabilitesi üzerindeki olumlu etkileri ile İMT, spor performansını desteklemenin yanı sıra düşme riskinin azaltılması ve fonksiyonel kapasitenin korunması gibi klinik açıdan önemli kazanımlar da sağlamaktadır. Bu bulgular, İMT'nin hem sportif hem de klinik ortamlarda farmakolojik olmayan, çok yönlü bir non-invaziv müdahale olarak önemini ortaya koymaktadır.

Kaynakça

- Aliverti, A. (2016). The respiratory muscles during exercise. *Breathe*, 12(2), 165–168. <https://doi.org/10.1183/20734735.008116>
- Amann, M., Blain, G. M., Proctor, L. T., Sebranek, J. J., Pegelow, D. F., & Dempsey, J. A. (2011). Implications of group III and IV muscle afferents for high-intensity endurance exercise performance in humans. *Journal of Physiology*, 589(21), 5299–5309. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2011.213769>
- Archiza, B., Andaku, D. K., Caruso, F. C. R., Bonjorno, J. C., Oliveira, C. R. de, Ricci, P. A., Amaral, A. C. do, Mattiello, S. M., Libardi, C. A., Phillips, S. A., Arena, R., & Borghi-Silva, A. (2018). Effects of inspiratory muscle training in professional women football players: a randomized sham-controlled trial. *Journal of Sports Sciences*, 36(7), 771–780. <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1340659>
- Bailey, S. J., Romer, L. M., Kelly, J., Wilkerson, D. P., DiMenna, F. J., & Jones, A. M. (2010). Inspiratory muscle training enhances pulmonary O₂ uptake kinetics and high-intensity exercise tolerance in humans. *Journal of Applied Physiology*, 109(2), 457–468. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00077.2010>
- Boutellier, U., Büchel, R., Kundert, A., & Spengler, C. (1992). Applied Physiology in normal trained subjects. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 65(4), 347–353.
- Çelik, Z., Güzel, N. A., Allahverdiyeva, S., Şendur, H. N., & Cerit, M. N. (2025). Effects of simultaneous aerobic and inspiratory muscle training on diaphragm function, respiratory muscle strength, endurance, and fatigue index: randomized-controlled trial. *European Journal of Applied Physiology*. <https://doi.org/10.1007/s00421-025-05868-1>
- Çevik, A., & Bostancı, Ö. (2024). The Effect of Four-Weeks Respiratory Muscle Training on Pulmonary Functions and Aerobic and Anaerobic Performance in Male Basketball Players: Experimental Research. *Türkiye Klinikleri Journal of Sports Sciences*, 16(2), 186–193. <https://doi.org/10.5336/sportsci.2024-102953>
- Chlif, M., Chaouachi, A., & Ahmaidi, S. (2017). Effect of aerobic exercise training on ventilatory efficiency and respiratory drive in obese subjects. *Respiratory Care*, 62(7), 936–946. <https://doi.org/10.4187/respcare.04923>
- de Abreu, R. M., Rehder-Santos, P., Minatel, V., dos Santos, G. L., & Catai, A. M. (2017). Effects of inspiratory muscle training on cardiovascular autonomic control: A systematic review. *Autonomic Neuroscience: Basic*

- and *Clinical*, 208(August), 29–35.
<https://doi.org/10.1016/j.autneu.2017.09.002>
- De Troyer, A., & Boriek, A. M. (2011). Mechanics of the Respiratory Muscles. *Comprehensive Physiology*, 1(3), 1273–1300.
<https://doi.org/10.1002/j.2040-4603.2011.tb00356.x>
- e Lima, T. B. W., dos Santos Silva, B. B., de Souza, A. P. S., Aires, D. M. F., & Fagundes, M. G. (2025). The effect of inspiratory muscle training on the inspiratory muscle metaboreflex: Ae Lima, T. B. W., dos Santos Silva, B. B., de Souza, A. P. S., Aires, D. M. F., & Fagundes, M. G. (2025). The effect of inspiratory muscle training on the inspiratory muscl. *Canadian Journal of Respiratory Therapy*, 61, 51–59.
<https://doi.org/10.29390/001c.132324>
- Erail, S., Bostanci, Ö., & Polat, A. V. (2022). Ultrasound Assessment of Diaphragm Thickness in Athletes. *International Journal of Morphology*, 40(2), 376–383. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022022000200376>
- Faghy, M. (2019). A review of inspiratory muscle training. When and why does it work? *Japanese Journal of Physical Fitness and Sports Medicine*, 68(1), 3–5. <https://doi.org/10.7600/jspfsm.68.3>
- Ferraro, F. V., Gavin, J. P., Wainwright, T., & McConnell, A. (2019). The effects of 8 weeks of inspiratory muscle training on the balance of healthy older adults: a randomized, double-blind, placebo-controlled study. *Physiological Reports*, 7(9), 1–12.
<https://doi.org/10.14814/phy2.14076>
- Goligher, E. C., Fan, E., Herridge, M. S., Murray, A., Vorona, S., Brace, D., Rittayamai, N., Lanys, A., Tomlinson, G., Singh, J. M., Bolz, S. S., Rubenfeld, G. D., Kavanagh, B. P., Brochard, L. J., & Ferguson, N. D. (2015). Evolution of diaphragm thickness during mechanical ventilation: Impact of inspiratory effort. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 192(9), 1080–1088.
<https://doi.org/10.1164/rccm.201503-0620OC>
- Goodman, C. A. (2019). Role of mTORC1 in mechanically induced increases in translation and skeletal muscle mass. *Journal of Applied Physiology*, 127(2), 581–590. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01011.2018>
- Gosselink, R., De Vos, J., Van Den Heuvel, S. P., Segers, J., Decramer, M., & Kwakkel, G. (2011). Impact of inspiratory muscle training in patients with COPD: What is the evidence? *European Respiratory Journal*, 37(2), 416–425. <https://doi.org/10.1183/09031936.00031810>
- HajGhanbari, B., Yamabayashi, C., Buna, T. R., Coelho, J. D., Freedman, K. D., Morton, T. A., Palmer, S. A., Toy, M. A., Walsh, C., Sheel, A. W., &

- Reid, W. D. (2013). Effects of Respiratory Muscle Training on Performance in Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(6), 1643–1663. <https://doi.org/10.1519/jsc.0b013e318269f73f>
- Harms, C. A. (2007). Insights into the role of the respiratory muscle metaboreflex. *Journal of Physiology*, 584(3), 711. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2007.145540>
- Harms, C. A., Wetter, T. J., St. Croix, C. M., Pegelow, D. F., & Dempsey, J. A. (2000). Effects of respiratory muscle work on exercise performance. *Journal of Applied Physiology*, 89(1), 131–138. <https://doi.org/10.1152/jappl.2000.89.1.131>
- Hinde, K. L., Low, C., Lloyd, R., & Cooke, C. B. (2020). Inspiratory muscle training at sea level improves the strength of inspiratory muscles during load carriage in cold-hypoxia. *Ergonomics*, 63(12), 1584–1598. <https://doi.org/10.1080/00140139.2020.1807613>
- Hossein Pour, A. H., Gholami, M., Saki, M., & Birjandi, M. (2020). The effect of inspiratory muscle training on fatigue and dyspnea in patients with heart failure: A randomized, controlled trial. *Japan Journal of Nursing Science*, 17(2), 1–13. <https://doi.org/10.1111/jjns.12290>
- Illi, S. K., Held, U., Frank, I., & Spengler, C. M. (2012). Effect of respiratory muscle training on exercise performance in healthy individuals: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 42(8), 707–724. <https://doi.org/10.2165/11631670-000000000-00000>
- Johnson, B. D., Aaron, E. A., Babcock, M. A., & Dempsey, J. A. (1996). Respiratory muscle fatigue during exercise: Implications for performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28(9), 1129–1137. <https://doi.org/10.1097/00005768-199609000-00008>
- Katayama, K., & Amann, M. (2012). Respiratory muscle fatigue modulates the circulatory response to exercise. *The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine*, 1(3), 523–530. <https://doi.org/10.7600/jpfsm.1.523>
- Koç, M., Sarıtaş, N., Coşkun, B., & Akkurt, S. (2025). Effects of Threshold Pressure Loading Exercises Applied to Inspiratory Muscles in Taekwondo Athletes on the Concentration and Utilization of Lactate. *Journal of Human Kinetics*, 95, 55–69. <https://doi.org/10.5114/jhk/188542>
- Lisboa, C., Villafranca, C., Leiva, A., Cruz, E., Pertuzé, J., & Borzone, G. (1997). Inspiratory muscle training in chronic airflow limitation: Effect on exercise performance. *European Respiratory Journal*, 10(3), 537–542. <https://doi.org/10.1183/09031936.97.10030537>
- McConnell, A. K., & Romer, L. M. (2004). Dyspnoea in Health and Obstructive

- Pulmonary Disease. *Sports Medicine*, 34(2), 117–132. <https://doi.org/10.2165/00007256-200434020-00005>
- Mello, E. S. de F., Oliveira, A. L. M. B., Santanna, T. D. C., Soares, P. P. da S., & Rodrigues, G. D. (2024). Updates in inspiratory muscle training for older adults: A systematic review. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 127(May). <https://doi.org/10.1016/j.archger.2024.105579>
- Messonnier, L., Kristensen, M., Juel, C., & Denis, C. (2007). Importance of pH regulation and lactate/H⁺ transport capacity for work production during supramaximal exercise in humans. *Journal of Applied Physiology*, 102(5), 1936–1944. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00691.2006>
- Mills, D. E., Johnson, M. A., McPhillimey, M. J., Williams, N. C., Gonzalez, J. T., Barnett, Y. A., & Sharpe, G. R. (2013). The effects of inspiratory muscle training on plasma interleukin-6 concentration during cycling exercise and a volitional mimic of the exercise hyperpnea. *Journal of Applied Physiology*, 115(8), 1163–1172. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00272.2013>
- Moreno, A. M., Toledo-Arruda, A. C., Lima, J. S., Duarte, C. S., Villacorta, H., & Nóbrega, A. C. L. (2017). Inspiratory Muscle Training Improves Intercostal and Forearm Muscle Oxygenation in Patients With Chronic Heart Failure: Evidence of the Origin of the Respiratory Metaboreflex. *Journal of Cardiac Failure*, 23(9), 672–679. <https://doi.org/10.1016/j.cardfail.2017.05.003>
- Picard, M., Jung, B., Liang, F., Azuelos, I., Hussain, S., Goldberg, P., Godin, R., Danialou, G., Chaturvedi, R., Rygiel, K., Matecki, S., Jaber, S., Des Rosiers, C., Karpati, G., Ferri, L., Burelle, Y., Turnbull, D. M., Taivassalo, T., & Petrof, B. J. (2012). Mitochondrial dysfunction and lipid accumulation in the human diaphragm during mechanical ventilation. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 186(11), 1140–1149. <https://doi.org/10.1164/rccm.201206-0982OC>
- Polla, B., D'Antona, G., Bottinelli, R., & Reggiani, C. (2004). Respiratory muscle fibres: Specialisation and plasticity. *Thorax*, 59(9), 808–817. <https://doi.org/10.1136/thx.2003.009894>
- Ren, Z., Guo, J., He, Y., Luo, Y., & Wu, H. (2025). Effects of Inspiratory Muscle Training on Respiratory Muscle Strength, Lactate Accumulation and Exercise Tolerance in Amateur Runners: A Randomized Controlled Trial. *Life*, 15(5), 1–13. <https://doi.org/10.3390/life15050705>
- Rodrigues, G. D., Dal Lago, P., & da Silva Soares, P. P. (2021). Inspiratory muscle training improves breathing pattern and sympatho-vagal balance but not spontaneous baroreflex sensitivity in older women. *Respiratory*

- Physiology and Neurobiology*, 290(December 2020), 103672. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2021.103672>
- Rodrigues, G. D., Gurgel, J. L., dos Santos Galdino, I., da Nóbrega, A. C. L., & da Silva Soares, P. P. (2020). Respiratory pump contributions in cerebrovascular and postural control responses during orthostatic stress in older women. *Respiratory Physiology and Neurobiology*, 275(August 2019), 103384. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2020.103384>
- Rodrigues, G. D., Gurgel, J. L., & Soares, P. P. da S. (2020). Inspiratory muscles contributions to postural control in healthy older women. *Respiratory Physiology and Neurobiology*, 281(June), 103505. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2020.103505>
- Romer, L. M., McConnell, A. K., & Jones, D. A. (2002). Effects of inspiratory muscle training on time-trial performance in trained cyclists. *Journal of Sports Sciences*, 20(7), 547–562. <https://doi.org/10.1080/026404102760000053>
- Ruple, B. A., Godwin, J. S., Mesquita, P. H. C., Osburn, S. C., Sexton, C. L., Smith, M. A., Ogletree, J. C., Goodlett, M. D., Edison, J. L., Ferrando, A. A., Fruge, A. D., Kavazis, A. N., Young, K. C., & Roberts, M. D. (2021). Myofibril and Mitochondrial Area Changes in Type I and II Fibers Following 10 Weeks of Resistance Training in Previously Untrained Men. *Frontiers in Physiology*, 12(September). <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.728683>
- Scano, G., Grazzini, M., Stendardi, L., & Gigliotti, F. (2006). Respiratory muscle energetics during exercise in healthy subjects and patients with COPD. *Respiratory Medicine*, 100(11), 1896–1906. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2006.02.030>
- Sheel, A. W. (2002). Respiratory muscle training in healthy individuals: Physiological rationale and implications for exercise performance. *Sports Medicine*, 32(9), 567–581. <https://doi.org/10.2165/00007256-200232090-00003>
- Sheel, A. W., Derchak, P. A., Morgan, B. J., Pegelow, D. F., Jacques, A. J., & Dempsey, J. A. (2001). Fatiguing inspiratory muscle work causes reflex reduction in resting leg blood flow in humans. *Journal of Physiology*, 537(1), 277–289. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.2001.0277k.x>
- Sieck, G. C., & Fogarty, M. J. (2025). Diaphragmmuscle: a Pump That Can Not Fail. *Physiological Reviews*, 105(4), 2589–2656. <https://doi.org/10.1152/physrev.00043.2024>
- Spengler, C. M., Roos, M., Laube, S. M., & Boutellier, U. (1999). Decreased exercise blood lactate concentrations after respiratory endurance training

- in humans. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 79(4), 299–305. <https://doi.org/10.1007/s004210050511>
- Stickland, M. K., Lindinger, M. I., Olfert, I. M., Heigenhauser, G. J. F., & Hopkins, S. R. (2013). Pulmonary Gas Exchange and Acid-Base Balance During Exercise. *Comprehensive Physiology*, 3(2), 693–739. <https://doi.org/10.1002/j.2040-4603.2013.tb00500.x>
- Subramanian, T., & Goyal, M. (2025). Respiratory Muscle Strength Training for Athletes: A Narrative Review. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 2–5. <https://doi.org/10.7860/jcdr/2025/76089.20433>
- Tosun, M. I., Demirkan, E., Kaplan, A., Ari Yilmaz, Y., Eker Arici, I., Favre, M., Aslan, V., & Kutlu, M. (2025). Respiratory muscle training improves aerobic capacity and respiratory muscle strength in youth wrestlers. *Frontiers in Physiology*, 16(March), 1–9. <https://doi.org/10.3389/fphys.2025.1492446>
- Tosun, M. İ., Yılmaz, Y. A., Arıcı, İ. E., & Kaplan, A. (2024). Inspiratory Muscle Training and Its Potential Benefits on Athlete Performance. *International Journal of Religion*, 5(11), 2055–2063. <https://doi.org/10.61707/9esaph86>
- Williams, J. S., Wongsathikun, J., Boon, S. M., & Acevedo, E. O. (2002). Endurance Capacity in Athletes. *Med Sci Sports Exerc*, 34(7), 1194–1198. <https://doi.org/doi: 10.1097/00005768-200207000-00022>

4. Bölüm

Sporcularda Solunum Kas Antrenmanının Performans Üzerine Etkileri

Mehmet İsmail TOSUN¹

Giriş

Spor bilimlerinde sporcunun performansını belirleyen temel unsurlar uzun süre boyunca kardiyovasküler kapasite, iskelet kaslarının kuvveti, kas-tendon mekaniği, metabolik verimlilik ve sinir-kas koordinasyonu gibi alanlarda yoğunlaşarak incelenmiştir (Khare vd., 2023; van der Zwaard vd., 2021). Sporcu performansına yönelik bu alanlarda kaydedilen bilimsel çalışmalar, sporcu performansını optimize etmede önemli katkılar sağlamış olsa da egzersiz fizyolojisinin daha bütüncül bir yaklaşımla ele alınmasının gerekliliği gün geçtikçe daha fazla kabul görmektedir (Matthews vd., 2024; Bragazzi vd., 2020). Son yıllarda özellikle dayanıklılık ve yüksek şiddetli aralıklı egzersizler bağlamında yapılan araştırmalar, solunum kaslarının özellikle de diyafram ve interkostal kasların fiziksel performans üzerindeki dolaylı ama kritik rolüne ışık tutmaktadır (Illi vd., 2012).

Solunum sistemi, uzun süre boyunca limitsiz yani sınırlayıcı olmayan bir sistem olarak değerlendirilmiştir (Bassett & Howley, 2000). Bu görüşün temelinde, solunum sisteminin gerek istirahat halinde gerekse submaksimal egzersiz sırasında sağladığı oksijen taşınım kapasitesinin, organizmanın genel ihtiyaçlarını karşılamakta yeterli olduğu düşüncesi yatmaktadır. Ancak yüksek yoğunluklu veya uzun süreli egzersiz sırasında artan ventilatuvar gereksinim, solunum kasları üzerinde ciddi bir fizyolojik yük oluşturmaktadır (Romer & Polkey, 2008). Özellikle inspiratuvar kasların sürekli yüksek frekans ve kuvvetle çalışması, bu kas gruplarında yorgunluk gelişimini tetikleyebilir. Bu durum, "solunum kas yorgunluğu" olarak adlandırılmakta ve periferik kaslara yönelen kan akışını azaltarak, genel performansı olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Harms vd., 1997; Romer vd., 2006).

Bu bağlamda, solunum kaslarının performans üzerindeki rolü yalnızca oksijen alımını sağlayan pasif bir taşıma sistemi olarak değil, aktif olarak

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Hitit Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi, Beden Eğitimi ve Spor Bölümü.
E mail: mehmetismailtosun@hitit.edu.tr, Orcid ID: 0000-0003-3158-3942

egzersiz kapasitesini şekillendiren bir faktör olarak değerlendirilmelidir. Araştırmalar, solunum kaslarının yorgunluğunun merkezi sinir sistemi düzeyinde bir refleks yanıt başlatarak (metaborefleks) alt ekstremité kaslarına giden kan akışını sınırladığını göstermiştir. Bu durum, özellikle uzun mesafe koşucuları, bisikletçiler, triatletler ve takım sporcuları gibi yüksek düzeyde aerobik kapasite gerektiren sporlarda önemli bir performans kısıtı oluşturabilir (Kowalski vd., 2023; Holm vd., 2004; Dempsey vd., 2008).

Solunum kaslarının bu denli önemli bir role sahip olmasına karşın, spor antrenman programlarında sistematik olarak hedeflenen bir antrenman bileşeni olarak yer alması nispeten yenidir. Solunum kas antrenmanı (SKA), temel olarak inspiratuvar ve ekspiratuvar kasların kuvvet ve dayanıklılığını artırmaya yönelik olarak tasarlanmış spesifik egzersizleri içerir. Literatürde SKA'nın hem dayanıklılık hem de sprint performansı üzerinde pozitif etkileri olduğu gösterilmiş, VO₂max, zaman-tükenme süresi ve algılanan efor düzeylerinde anlamlı iyileşmeler gözlemlenmiştir (Tosun vd., 2025; Al-Otaibi vd., 2024; Subramanian & Goyal, 2025; Illi vd., 2012; HajGhanbari vd., 2013).

SKA uygulamalarında kullanılan teknikler arasında en yaygın olanlar, inspiratuvar kasların karşı dirençle çalışmasını sağlayan cihazlarla yapılan dirençli solunum egzersizleri ve hiperkapnik hipoventilasyon yöntemleridir. Bu yöntemler, solunum kaslarının hem kas lif düzeyinde adaptasyonunu hem de solunum kontrol merkezlerinin plastisitesini artırarak, ventilatuvar verimliliği ve egzersiz sürdürülebilirliğini artırabilir (Turner vd., 2011; Lomax vd., 2014). Nitekim, günümüzde pek çok elit düzeyde sporcu, performans programlarının bir parçası olarak SKA'yı düzenli şekilde uygulamaktadır (Cunha vd., 2019).

Bu bölümde solunum kaslarının ihmal edilen ama stratejik öneme sahip potansiyelini sunmak ve antrenörler ile spor bilimcilerine bu alandaki uygulamaları kendi branşlarına uyarlayabilmeleri için teorik bir zemin oluşturmak amaçlanmıştır.

Solunum Kas Antrenmanının Performansa Etkileri

Dayanıklılık Sporları

Dayanıklılık sporlarında SKA'nın etkileri, literatürde en tutarlı şekilde rapor edilen bulgular arasındadır. Özellikle koşu, bisiklet, kürek ve yüzme gibi aerobik kapasitenin belirleyici olduğu branşlarda yapılan araştırmalar, SKA egzersiz süresini uzattığını, tükenme noktasına ulaşma zamanını geciktirdiğini ve yarışın son bölümlerinde performans düşüşünü önlediğini ortaya koymaktadır (Archiza vd.,2018; Fernández-Lázaro vd.,2022). Literatür, SKA'nın kürek, bisiklet, yüzme, koşu ve triatlon gibi dayanıklılık gerektiren

sporlarda hem fizyolojik parametrelerine hem de performans çıktılarına olumlu katkılar sağladığını göstermektedir. Bulgular kaslarının atletik performansta potansiyel bir sınırlayıcı olduğunu ve bu kaslara yönelik özgül antrenmanların verimi artırabileceğini desteklemektedir (Illi vd.,2012; Kowalski vd.,2023).

Kürek sporu, tam vücut koordinasyonu ve yüksek metabolik talep gerektiren bir branş olarak, solunum kaslarının performans üzerindeki rolünü belirgin biçimde ortaya koymaktadır. Yapılan çalışmalar, katılımcıların çoğunlukla elit düzeyde erkek ve kadın kürekçilerden oluştuğunu ve uygulanan protokollerin genellikle inspiratuar basınç eşiği yüklemesi (IBEY) yöntemine dayandığını göstermektedir. Bu protokoller, günde iki kez 30 derin inspirasyon, haftada yedi gün, dört ila on bir haftalık dönemlerde uygulanmıştır (Volianitis vd.,2001; Klusiewicz vd.,2008). Bu süreç sonunda solunum kası gücünde %34–45 oranında artış ve altı dakikalık ile 5000 m zamana karşı testlerinde sırasıyla %3,5 ve %3,1 oranında performans gelişimi gözlenmiştir. Bu bulgular, SKA'nın kürek performansında solunum kası yorgunluğunu azaltarak oksijen kullanım verimliliğini artırdığını göstermektedir (Griffiths & McConnell, 2007).

Bisikletçilerde SKA'nın etkinliği, hem istemli izokapnik hiperpne (IZH) hem de IBEY protokolleri ile incelenmiştir. Çalışmalara katılan bisikletçiler, çoğunlukla düzenli antrenman yapan genç erkek sporculardır. Protokoller haftada beş ila yedi gün süren, 4-6 haftalık periyotlarda uygulanmıştır (Holm vd., 2004; Romer & McConnell, 2002). Bu uygulamaların ardından, bisikletçilerde ventilatuar kapasitede %12–16 oranında artış ve zamana karşı testlerde %2,1-4,75 aralığında performans iyileşmeleri tespit edilmiştir (Johnson vd., 2007). Bulgular, SKA'nın bisiklet sporcularında ventilasyon ve lokomotor kas koordinasyonunu geliştirerek, özellikle uzun süreli eforlarda solunum ekonomisini artırdığını göstermektedir.

Yüzme branşı, solunum kası yorgunluğunun en yüksek düzeyde görüldüğü dayanıklılık sporu olarak öne çıkmaktadır. Bu durum, suyun sağladığı direnç ve sınırlı inspirasyon süresi ile ilişkilidir (Lomax & McConnell, 2003). Çalışmalarda hem elit hem de gelişmekte olan yüzücüler incelenmiş ve SKA protokolleri genellikle IPTL yöntemiyle günde iki kez 30 inspirasyon, haftada 5-7 gün, 4–8 hafta süreyle uygulanmıştır (Kilding vd.,2010; Okrzymowska vd.,2019). Sonuçlar, %1,2-7,3 arası performans artışı, pulmoner fonksiyonlarda gelişme ve solunum kası yorgunluğunda azalma göstermiştir. Bununla birlikte, ileri düzey yüzücülerde bu etkiler sınırlı kalmıştır; bu durum, yüksek hacimli yüzme antrenmanlarının zaten benzer adaptasyonları oluşturmasıyla açıklanmaktadır (Wylegala vd., 2007).

Koşu branşında yapılan araştırmalar, SKA'nın solunum kas dayanıklılığı ve algılanan efor üzerinde anlamlı etkiler yarattığını ortaya koymuştur. Katılımcılar

genellikle iyi antrenmanlı koşuculardan oluşmuş; SKA protokolleri (haftada beş seans, 30 dakikalık uygulamalar, dört hafta) ve kademeli akış dirençli yüklenme (TFRL) yöntemleri (haftada üç seans, 36 inspirasyon, altı hafta) kullanılmıştır (Faghy & Brown, 2016; Leddy vd.,2007). Bu çalışmalar, koşu performansında %2–3 oranında gelişme, ventilatuvar dayanıklılıkta artış ve algılanan efor düzeyinde azalma rapor etmiştir. SKA'nın koşucularda yorgunluk toleransını artırarak daha uzun süre yüksek tempoda efor uygulanmasına imkan sağladığı görülmektedir.

Triatlon sporcularında SKA'nın önemi hem çevresel hem de fizyolojik faktörlerin birleşiminden kaynaklanmaktadır. Triatletler genellikle yüksek antrenmanlı bireyler olup, araştırmalarda IBEY'e göre protokoller uygulanmıştır. SKA'nın triatletlerde özellikle neopren kıyafetlerin göğüs hareketlerini kısıtladığı durumlarda solunum eforunu azalttığı, yarış sırasında solunum kası yorgunluğunu geciktirdiği ve çoklu yarış günlerinde toparlanmayı hızlandırdığı tespit edilmiştir (Kowalski vd., 2023; Boussana vd., 2003). Ayrıca, SKA'nın oksijen satürasyonunu koruyarak hipoksik koşullarda performans sürdürülebilirliğini artırdığı vurgulanmıştır.

Wylegala vd., (2007) yürüttüğü çalışmada, 30 deneyimli erkek dalgıç üç gruba ayrılmıştır: direnç temelli SKA (DSKA), dayanıklılık temelli SKA (DTSKA) ve plasebo. Katılımcılar dört hafta boyunca haftada beş gün, günde 30 dakikalık seanslarla çalışmışlardır. DSKA grubunda su altı dayanıklılık süresi %66 ($p<0.001$), yüzey dayanıklılığı %33 artmış; DTSKA grubunda ise sırasıyla %26 ve %38 artış gözlenmiştir. Maksimal inspiratuvar basınç (MIP) ve maksimal ekspiratuvar basınç (MEP) değerleri sırasıyla %12 ve %15 oranında yükselmiştir. Sonuç olarak, özellikle DSKA'nın solunum kas gücü ve yüzme dayanıklılığı üzerinde belirgin etki yarattığı saptanmıştır (Wylegala vd., 2007).

Genel olarak mevcut bulgular, SKA'nın sporcu popülasyonlarında hem solunum kası fonksiyonlarını hem de genel dayanıklılık performansını geliştirdiğini göstermektedir. Bununla birlikte, bu etkinin büyüklüğü branş, antrenman düzeyi ve uygulanan protokolün özelliklerine göre değişmektedir. Daha ileri araştırmaların, antrenman yoğunluğu, süresi ve bireysel adaptasyon farklılıklarını dikkate alarak SKA'nın uzun vadeli etkilerini incelemesi önerilmektedir.

Dayanıklılık aktivitelerinde solunum kaslarının yorgunluğu, ventilatuvar kapasite azaldığında artan “ventilatuvar maliyet” ile ilişkilidir. Inspiratuvar kasların oksidatif dayanıklılığı arttığında, aynı ventilatuvar iş yükü için daha az metabolik enerji harcanır; böylece kas glikojeni daha verimli kullanılır ve yorgunluk gecikir (Harms vd., 1997). Dayanıklılık sporlarında SKA'nın etkileri, yalnızca mekanik verimlilikle sınırlı kalmayıp, aynı zamanda nöromüsküler

koordinasyonun ve otonom sinir sistemi dengesinin iyileştirilmesiyle ilişkilidir. Düzenli SKA uygulamaları, kalp atım hızı değişkenliğinde artış ve parasempatik tonus güçlenmesi sağlamaktadır (Trevisan vd., 2021). Bu durum, antrenman sonrası toparlanmanın hızlanması ve egzersiz sırasında daha stabil kardiyak ritim elde edilmesi anlamına gelir. Özellikle yüksek performanslı dayanıklılık sporcularında, bu adaptasyonun uzun vadeli yorgunluk yönetiminde önemli bir avantaj sağladığı düşünülmektedir.

Takım Sporları

Takım sporları, kısa süreli yüksek yoğunluklu eforların sınırlı toparlanma aralıklarıyla tekrarlandığı karmaşık metabolik profiller sunar. Bu sporların fizyolojik doğası gereği hem aerobik hem anaerobik enerji sistemleri eşzamanlı olarak aktive olur ve ventilatuvar gereksinim, genellikle VO_2max %70–90'ı düzeyindedir. Bu koşullar altında solunum kaslarının yorgunluğu, performansın sürdürülebilirliği açısından kritik bir faktör haline gelir (Álvarez-Herms vd., 2019). Son yıllarda yapılan çalışmalar, SKA'nın takım sporlarında tekrarlı sprint yeteneği (RSA), Yo-Yo aralıklı toparlanma testi performansı ve algılanan efor (RPE) düzeyleri üzerinde anlamlı etkiler oluşturduğunu göstermektedir (Kowalski vd.,2025; Turner vd.,2011). SKA'nın özellikle maçın ilerleyen bölümlerinde performans sürekliliğinin korunmasına katkı sağladığı, ventilatuvar yorgunluğu azaltarak sprint tekrarları arasındaki toparlanma süresini kısalttığı bildirilmektedir (Romer & McConnell, 2003).

Basketbolcularda SKA çeşitli solunum ve performans parametreleri üzerindeki etkileri, literatürde farklı araştırmalarla ele alınmıştır. De Sousa & Muller (2022) tarafından yürütülen çalışmada, sekiz hafta boyunca haftada iki ila dört seans SKA uygulanan on erkek profesyonel basketbolcuda, zorunlu ekspiratuvar akış (PEF) değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı bir artış tespit edilmiştir. Buna karşın, zorunlu ekspiratuvar hacim (FEV_1) ve zorunlu vital kapasite (FVC) değerlerinde anlamlı bir değişim gözlenmemiştir. Bu bulgular, SKA'nın özellikle ekspiratuvar kas gücünü geliştirme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir (de Sousa & Muller, 2022). Chang vd., (2016) tarafından gerçekleştirilen deneysel bir çalışmada, dokuz üniversite düzeyindeki basketbolcu üç hafta süreyle, günde iki kez ve haftada beş gün olacak şekilde, maksimal inspiratuvar basıncın %60–80'ine karşı direnç oluşturan SKA cihazı kullanılarak SKA protokolüne tabi tutulmuştur. Müdahale sonunda VO_2max düzeyinde anlamlı bir artış gözlenmiştir (45.2 ± 3.6 'dan 49.4 ± 4.1 mL/kg/dk; $p=0.045$). Araştırmacılar, solunum kas dayanıklılığındaki bu artışın, egzersiz sırasında alt ekstremite kaslarına giden kan akımını koruyarak genel performansı desteklediğini bildirmiştir (Chang vd., 2016). Cavaggioni vd.

(2021) tarafından yapılan başka bir çalışmada ise, otuz dört genç erkek basketbolcu altı hafta boyunca nazal solunuma dayalı ventilatuvar antrenman programına katılmıştır. Müdahale sonucunda FVC, FEV₁ ve pik ekspiratuar akış (PEF) değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı artışlar ($p<0.05$) elde edilmiştir. Ayrıca Yo-Yo IR1 testi sonuçları, aerobik performansın geliştiğini ortaya koymuştur. Bulgular, nazal solunum temelli ventilatuvar antrenmanların pulmoner fonksiyonları geliştirerek ventilatuvar verimliliği artırabileceğini desteklemektedir (Cavaggioni vd., 2021).

Futbolcularda SKA uygulanabilirliği ve performans üzerindeki etkileri, son yıllarda giderek artan sayıda çalışma tarafından araştırılmaktadır. Mevcut bulgular genel olarak, SKA'nın solunum kas gücü ve aerobik kapasite üzerinde anlamlı iyileşmeler sağladığını, ancak klasik spirometrik parametrelerdeki değişimlerin sınırlı kaldığını bildirmişlerdir. Maćkala vd. (2019) tarafından gerçekleştirilen randomize kontrollü çalışmada, 17 yaş ortalamasına sahip 16 elit düzey genç futbolcu sekiz hafta boyunca haftada beş gün SKA cihazı ile solunum kası antrenmanına tabi tutulmuştur. Uygulama sonucunda deney grubunda MIP ve VO₂max değerlerinde anlamlı artışlar ($p<0.005$) tespit edilmiştir. Buna karşın, FVC ve FEV₁ değerlerinde anlamlı bir değişim gözlenmemiştir. Bu sonuçlar, inspiratuar kas yüklenmesinin aerobik dayanıklılığı artırdığı, ancak statik solunum hacimlerinde belirgin bir etkisinin bulunmadığını göstermektedir.

León-Morillas vd. (2021) tarafından gerçekleştirilen sistematik derleme ve meta-analiz çalışmasında, futbolcularda SKA uygulamalarını içeren dokuz klinik araştırma ($N\approx 160$) analiz edilmiştir. Meta-analiz sonuçlarına göre, SKA'nın MIP ($SDM = 0.89$; $p<0.001$) ve VO₂max ($SDM = 0.92$; $p<0.01$) değerlerinde anlamlı gelişme sağladığı, buna karşın FVC, FEV₁ ve MEP parametrelerinde anlamlı farklılık oluşturmadığı bildirilmiştir. Bu bulgular, SKA'nın futbolcularda solunum kas gücünü ve aerobik kapasiteyi artıran etkili bir tamamlayıcı antrenman yöntemi olduğunu desteklemektedir. Özmen vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada, 18 erkek futbolcu beş hafta boyunca haftada iki kez 15 dakikalık SKA programına katılmıştır. Uygulama sonucunda deney grubunda MIP değerlerinde %14 oranında artış ($p=0.04$) gözlenmiş, ancak 20 metre mekik koşu testi (20-MST) ile değerlendirilen aerobik dayanıklılık performansında istatistiksel olarak anlamlı bir değişim tespit edilmemiştir. Bu durum, kısa süreli SKA uygulamalarının solunum kas gücünü artırmakla birlikte, dayanıklılık performansında anlamlı bir gelişme sağlamayabileceğini göstermektedir. Mahajana vd. (2012) tarafından yürütülen randomize kontrollü çalışmada, 40 amatör futbolcu dört hafta boyunca PowerBreathe® Classic cihazı ile haftada beş gün inspiratuar kas antrenmanına

tabi tutulmuştur. Deney grubunda Yo-Yo Intermittent Recovery Test (YYIRT-1) performansında ve maksimum gönüllü ventilasyon (MVV) değerlerinde anlamlı artışlar ($p<0.05$) elde edilmiştir. Çalışma bulguları, SKA'nın özellikle aralıklı egzersiz kapasitesini ve ventilatuvar dayanıklılığı geliştirdiğini göstermektedir. León-Morillas vd. (2023) tarafından yürütülen pilot randomize kontrollü araştırmada ise, 14 futbolcu altı hafta boyunca maksimal inspiratuar basıncın %20–80'i aralığında inspiratuar kas antrenmanı uygulamıştır. Deney grubunda MVV anlamlı artış ($p=0.005$) belirlenirken, denge parametrelerinde istatistiksel olarak anlamlı bir değişim gözlenmemiştir. Araştırmanın sonuçları SKA'nın solunum kas fonksiyonlarını geliştirdiğini, ancak postural kontrol mekanizmaları üzerinde doğrudan bir etkisinin bulunmadığını göstermektedir. Deshak (2019) tarafından gerçekleştirilen korelasyonel bir çalışmada, 126 futbolcuda inspiratuar kas gücü ile aerobik kapasite arasındaki ilişki incelenmiştir. Bulgular, inspiratuar kas gücü ile $VO_2\text{max}$ arasında zayıf düzeyde pozitif bir korelasyon ($r=0.24$; $p<0.05$) olduğunu ortaya koymuştur. Bu sonuç, inspiratuar kas kuvvetinin performansı doğrudan sınırlayan bir faktör olmaktan ziyade, destekleyici bir unsur olarak rol oynayabileceğini düşündürmektedir.

Hartz vd., (2018) tarafından yürütülen randomize kontrollü çalışmada, 19 erkek hentbol sporcusuna 12 hafta boyunca haftada beş gün PowerBreathe® cihazı ile inspiratuar kas antrenmanı uygulanmıştır. Uygulama sonunda MIP değerlerinin 170 cmH₂O'dan 262 cmH₂O'ya ($p<0.01$), MEP değerlerinin 177 cmH₂O'dan 218 cmH₂O'ya ($p<0.05$) yükseldiği; ayrıca $VO_2\text{max}$ değerlerinde anlamlı artış (54 → 60 mL/kg/dk; $p<0.05$) meydana geldiği rapor edilmiştir. Bu bulgular, SKA'nın hentbolcularda hem inspiratuar hem de ekspiratuar kas gücünü artırarak kardiyorespiratuvar dayanıklılığı geliştirdiğini ve yüksek yoğunluklu eforlarda ventilatuvar verimliliği artırabileceğini göstermektedir. Parodi-Feye vdv., (2023) tarafından elit düzey kadın hentbolcular üzerinde yapılan çalışmada, sekiz haftalık PowerBreathe® temelli inspiratuar kas antrenmanı programı sonrasında deney grubunda $VO_2\text{max}$ değerlerinde artış eğilimi gözlenmiş, kontrol grubunda ise düşüş eğilimi kaydedilmiştir. Ancak gruplar arası fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p>0.05$). Spirometrik parametrelerde (FVC, FEV₁, PEF) de anlamlı değişim saptanmamıştır. Araştırmacılar, SKA'nın kadın hentbolcularda performansın korunmasına katkı sağladığını, özellikle yüksek antrenman yüklenme dönemlerinde solunum kas dayanıklılığını destekleyerek ventilatuvar verimliliği sürdürdüğünü belirtmişlerdir. Bu bulgular, SKA'nın kadın sporcularda sezon içi yorgunluk yönetiminde destekleyici bir araç olabileceğini düşündürmektedir.

Rugby sporcularında yapılan benzer bir araştırmada, Nunes Júnior vd., (2018) 20 amatör oyuncuya 12 hafta boyunca haftada beş gün, %60–80 MIP

yüklenmesiyle yüksek yoğunluklu inspiratuar kas antrenmanı uygulamıştır. Çalışma sonunda MIP, MEP ve MVV değerlerinde anlamlı artışlar ($p<0.05$) elde edilmiştir. FVC ve FEV₁ parametrelerinde anlamlı değişiklik gözlenmezken, 6 dakikalık yürüme/koşu mesafesinde istatistiksel olarak anlamlı artış tespit edilmiştir ($p<0.05$). Bu sonuçlar, SKA'nın rugby oyuncularında solunum kas dayanıklılığını geliştirerek oksijen kullanım verimliliğini artırdığını ve periferik kas performansına dolaylı katkı sağladığını göstermektedir. Çalışma, temas yoğunluğu yüksek ve toparlanma aralıklarının kısa olduğu rugby gibi sporlarda, SKA'nın ventilatuar yorgunluğu geciktirici bir mekanizma olarak işlev görebileceğini bildirmektedir. Hokey sporcularında gerçekleştirilen çalışma ise, kısa süreli solunum kası antrenmanlarının etkisini değerlendirmiştir. Ramos vd., (2020) tarafından yapılan randomize kontrollü çalışmada, 11 erkek tekerlekli paten hokeyi sporcusuna dört hafta boyunca haftada üç gün, her seansta 30 tekrarlık solunum manevrası şeklinde %50 MIP yüklenmesi uygulanmıştır. Uygulama sonunda PEF değerinde anlamlı artış ($p=0.033$) gözlenmiş, ancak FVC ve FEV₁ parametrelerinde anlamlı fark bulunmamıştır. Araştırmacılar, kısa süreli SKA uygulamalarının hokey sporcularında solunum kas gücünü geliştirdiğini, ancak aerobik kapasite veya pulmoner hacimlerde belirgin bir değişim oluşturmadığını bildirmiştir. Araştırmanın bulguları SKA'nın etkisinin antrenman süresi ve yüklenme düzeyine bağlı olduğunu; kısa süreli uygulamaların daha çok solunum kas kuvveti üzerinde etkili olduğunu göstermektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, mevcut literatür SKA'nın takım sporlarında hem inspiratuar hem de ekspiratuar kas gücü üzerinde anlamlı gelişmeler sağladığını, ventilatuar kapasiteyi artırarak egzersiz sırasında oksijen ekonomisini iyileştirdiğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, bu kazanımların büyüklüğü; antrenman süresi, yoğunluğu, kullanılan cihaz türü ve katılımcı özellikleri gibi değişkenlere bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Özellikle yüksek yoğunlukta ve uzun süreli SKA protokollerinin, aralıklı eforlara dayalı spor dallarında metabolik dayanıklılığı desteklediği ve performans düşüşünü geciktirdiği anlaşılmaktadır. Futbol ve basketbol gibi dayanıklılık-temelli takım sporlarında yapılan araştırmalar, SKA'nın solunum kas fonksiyonlarını ve aerobik kapasiteyi artırmada etkili bir yöntem olduğunu; ancak kısa süreli veya düşük yoğunluklu uygulamaların bu gelişimi istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yansıtmayabileceğini göstermektedir. Bu durum, solunum kası antrenmanlarının etkili olabilmesi için belirli bir süreklilik, yüklenme yoğunluğu ve bireysel uyum düzeyi gerektirdiğini vurgulamaktadır. SKA, yalnızca fiziksel dayanıklılığı artıran bir yöntem olmanın ötesinde, takım sporlarında bilişsel-performans bileşenlerini de dolaylı olarak destekleyen bir

araç olarak değerlendirilebilir. Özellikle profesyonel düzeydeki sporcularda, maç sonu ventilatuvar kompensasyon fazında daha düşük ventilasyon hacmiyle oksijen satürasyonunun korunabilmesi, SKA'nın solunumsal verimliliği artırdığının önemli bir göstergesidir. Bu etki, egzersiz sırasında solunum kaslarının oksijen tüketim talebinin azalması ve böylece periferik kaslara daha fazla oksijen yönlendirilmesiyle açıklanmaktadır. Dolayısıyla SKA, yalnızca yorgunluğu geciktiren değil, aynı zamanda oksijen yönetimi stratejilerini optimize eden, metabolik ekonomiyi iyileştiren ve dayanıklılığa bağlı karar verme performansını destekleyen bir uygulama olarak öne çıkmaktadır (Fernández-Lázaro vd., 2022).

Tüm bu veriler ışığında, solunum kası antrenmanlarının hem bireysel hem de takım sporlarında düşük maliyetli, uygulanabilir ve yüksek verimlilikte bir tamamlayıcı antrenman yaklaşımı olarak değerlendirilmesi mümkündür. Bu yöntemin sistematik biçimde antrenman programlarına entegre edilmesi, yalnızca fizyolojik adaptasyonları değil, aynı zamanda performans sürekliliği, yorgunluk yönetimi ve genel rekabet avantajı açısından da önemli katkılar sağlayabilir.

Dövüş Sporları

Dövüş sporları hem anaerobik hem aerobik enerji sistemlerinin yüksek düzeyde etkileşim gösterdiği, kısa dinlenme süreli ve yüksek ventilatuvar stres içeren branşlardır. Bu sporlar sırasında solunum kasları hem inspiratuvar basınç üretimi hem de gövde stabilizasyonu görevini eşzamanlı yürütür. Bu nedenle solunum kaslarının yorgunluğu, yalnızca ventilatuvar performansı değil, postural denge ve teknik stabiliteyi de olumsuz etkileyebilir (Tosun vd., 2025).

Son yıllarda yapılan çalışmalar, dövüş sporlarında SKA'nın hem solunum kas kuvveti hem de genel performans parametreleri üzerinde olumlu etkiler oluşturduğunu göstermektedir. Literatürde gelişim çağındaki sporcularda yürütülen çalışmalar, inspiratuvar kas gücünün artırılmasının ventilatuvar kapasiteyi iyileştirdiğini ve bunun hem aerobik hem de anaerobik performans çıktılarıyla ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Ergen taekwondo sporcularında gerçekleştirilen bir çalışmada, sekiz hafta boyunca uygulanan SKA'nın ardından deney grubunda VO_{2max} ve anaerobik güç değerlerinde anlamlı artışlar gözlenmiştir. Bununla birlikte, FVC, SVC ve MVV gibi temel solunum fonksiyon parametrelerinde de belirgin gelişmeler rapor edilmiş, inspiratuvar basınç, akım ve hacimle ilişkili tüm solunum kas performans göstergelerinin kontrol grubuna kıyasla anlamlı düzeyde arttığı bildirilmiştir. Bu bulgular, solunum kaslarının kuvvetlenmesiyle ventilatuvar verimliliğin arttığını ve bunun egzersiz sırasında oksijen kullanım ekonomisine olumlu yansıdığını

düşündürmektedir (Koç & Sarıtaş, 2019). Tosun vd. (2025) tarafından genç güreşçiler üzerinde yürütülen kontrollü bir çalışmada da benzer bulgular rapor edilmiştir. Geleneksel güreş antrenmanına ek olarak uygulanan SKA maksimal inspiratuar basınç, pik inspiratuar akım ve inspiratuar volüm değerlerinde anlamlı artışlar sağlamış; buna paralel olarak Yo-Yo dayanıklılık testi performansı ve VO_{2max} düzeylerinde de belirgin iyileşmeler rapor edilmiştir. Kontrol grubunda bazı solunum parametrelerinde sınırlı gelişmeler görülmesine rağmen, özellikle inspiratuar volümde anlamlı bir değişimin olmaması, SKA'nın bu kazanımlar üzerindeki özgül katkısını desteklemektedir. Çalışmanın sonuçları güreş gibi yüksek şiddetli ve aralıklı efor gerektiren sporlarda solunum kas gücünün artırılmasının, aerobik dayanıklılığı ve toparlanma kapasitesini destekleyerek performansa olumlu katkı sağlayabileceğini bildirmektedir. Farklı mücadele sporcularını karşılaştırmalı olarak ele alan kesitsel çalışmalar, solunum kas kuvvetinin branşa özgü talepler doğrultusunda farklılaştığını ortaya koymaktadır. Judo, muaythai, boks ve taekwondo sporcularının incelendiği bir çalışmada, temel spirometrik solunum fonksiyonları açısından branşlar arasında anlamlı farklar saptanmazken, solunum kas kuvveti parametrelerinde belirgin branş farklılıkları rapor edilmiştir. Özellikle judo ve muaythai sporcularının maksimal inspiratuar basınç değerlerinin boks ve taekwondo sporcularına kıyasla daha yüksek olduğu, maksimal ekspiratuar basınç açısından ise muaythai sporcularının öne çıktığı görülmüştür. Farklı mücadele sporlarının teknik yapısı, kas aktivasyon paterni ve metabolik gereksinimlerinin solunum kas adaptasyonlarını farklı biçimlerde şekillendirebildiğini düşündürmektedir (Ermiş vd., 2019).

Dövüş sporları, yüksek şiddetli ve aralıklı yüklenmelerin kısa toparlanma süreleriyle tekrarlandığı yapıları nedeniyle solunum sistemi üzerinde belirgin bir fizyolojik stres oluşturmaktadır ve bu süreçte solunum kasları hem ventilasyonun sürdürülmesinde hem de gövde stabilizasyonunun korunmasında önemli bir rol üstlenmektedir. Mevcut kanıtlar SKA'nın dövüş sporcularında maksimal inspiratuar basınç, inspiratuar akım ve inspiratuar volüm gibi solunum kas performans göstergelerini anlamlı düzeyde geliştirdiğini ve bu kazanımların VO_{2max} ile saha temelli dayanıklılık performansına olumlu şekilde yansıdığını göstermektedir (Tosun vd., 2025; Koç & Sarıtaş, 2019). Özellikle güreş ve taekwondo gibi aralıklı yüksek şiddetli eforların baskın olduğu branşlarda, solunum kas yorgunluğunun geciktirilmesi ventilatuvar verimliliğin korunmasına ve performansın sürdürülebilirliğine katkı sağlamaktadır. Buna ek olarak, branşlar arası karşılaştırmalar judo ve muaythai sporcularında solunum kas kuvvetinin daha yüksek düzeylerde seyrettiğini ortaya koymakta; bu durum dövüş sporlarının teknik yapısı, izometrik

yüklenme düzeyi ve metabolik taleplerinin solunum kas adaptasyonlarını farklı biçimlerde şekillendirebildiğini düşündürmektedir (Ermiş vd., 2019). Bu bulgular ışığında, SKA'nın dövüş sporlarında performansa katkısının bilimsel olarak desteklendiği, ancak bu etkinin branşa özgü gereksinimler ve sporcu profili dikkate alınarak planlanan protokollerle daha anlamlı hale gelebileceği sonucuna varılmaktadır.

Genel Değerlendirme ve Sonuç

SKA, son yıllarda egzersiz fizyolojisi ve spor performansı alanında giderek artan biçimde ilgi gören bir araştırma konusu haline gelmiştir. Güncel literatür, SKA'nın sadece solunum fonksiyonlarını değil, aynı zamanda genel egzersiz performansını, metabolik verimliliği ve yorgunluk toleransını da anlamlı biçimde geliştirdiğini ortaya koymaktadır (Illi vd., 2012; HajGhanbari vd., 2013; Fernández-Lázaro vd., 2022). İspiratuvar kasların düzenli yüklenmeye maruz kalması, diyafram ve interkostal kaslarda hipertrofik ve nöromusküler adaptasyonlar oluşturarak ventilatuvar verimliliği artırmakta, aynı ventilatuvar iş yükü için daha düşük oksijen tüketimi ve enerji harcaması sağlamaktadır (Romer & Polkey, 2008; Harms vd., 1997). Bu durum periferik kaslara yönlendirilen kan akışını artırarak yorgunluk başlangıcını geciktirir ve dayanıklılık performansını güçlendirir (Dempsey, 2012). Kürek, bisiklet, triatlon ve koşu gibi dayanıklılık temelli branşlarda yapılan kontrollü çalışmalar, SKA'nın VO₂max değerlerinde %2 ila %6 arasında artış, tükenme süresinde anlamlı uzama ve algılanan efor düzeyinde azalma sağladığını göstermektedir (Volianitis vd., 2001; Holm vd., 2004; Archiza vd., 2018). Ayrıca SKA'nın otonom sinir sistemi yanıtlarını iyileştirerek kalp atım hızı değişkenliğini artırdığı, parasempatik aktiviteyi güçlendirdiği ve toparlanma sürecini hızlandırdığı da rapor edilmiştir (Akbar vd., 2022).

Takım sporları ve karma enerji sistemleri gerektiren branşlarda elde edilen bulgular da SKA'nın çok boyutlu etkilerini desteklemektedir. Futbol, basketbol ve hentbol sporcuları üzerinde yapılan çalışmalarda SKA'nın MIP, MEP ve MVV değerlerinde anlamlı artışlar sağladığı; buna paralel olarak VO₂max ve aralıklı efor kapasitesini yükselttiği saptanmıştır (Maćkala vd., 2019; León-Morillas vd., 2021; Hartz vd., 2018). Bu etkiler, solunum kas yorgunluğuna bağlı metaboreflaks aktivasyonunun azalmasıyla açıklanmaktadır; böylece alt ekstremiteler kaslarına giden kan akımı korunmakta ve egzersiz süresince oksijen sunumu optimize edilmektedir (Yılmaz vd., 2025; Demirkan vd., 2025; Romer & McConnell, 2003). Dövüş sporlarında yürütülen çalışmalar ise SKA'nın ventilatuvar kapasiteyi artırmanın yanı sıra gövde stabilitesini ve anaerobik güç çıktısını da iyileştirdiğini göstermiştir (Koç & Sarıtaş, 2019; Tosun vd., 2025).

Tüm bu bulgular, SKA'nın yalnızca solunumsal değil, sistemik düzeyde performans belirleyici bir unsur olduğunu ortaya koymaktadır. Dolayısıyla, SKA'nın antrenman programlarına bütüncül bir yaklaşımla entegre edilmesi, sportif performansın fizyolojik sınırlarını genişletmede bilimsel olarak desteklenmiş, düşük maliyetli ve yüksek verimli bir strateji olarak değerlendirilmektedir.

Kaynaklar

- Akbar, S., Soh, K. G., Jazaily Mohd Nasiruddin, N., Bashir, M., Cao, S., & Soh, K. L. (2022). Effects of neuromuscular training on athletes physical fitness in sports: A systematic review. *Frontiers in physiology*, 13, 939042. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.939042>
- Al-Otaibi, H. M., Sartor, F., & Kubis, H. P. (2024). The influence of low resistance respiratory muscle training on pulmonary function and high intensity exercise performance. *Journal of exercise science and fitness*, 22(3), 179–186. <https://doi.org/10.1016/j.jesf.2024.02.007>
- Álvarez-Herms, J., Julià-Sánchez, S., Corbi, F., Odriozola-Martínez, A., & Burtcher, M. (2019). Putative Role of Respiratory Muscle Training to Improve Endurance Performance in Hypoxia: A Review. *Frontiers in physiology*, 9, 1970. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01970>
- Archiza, B., Andaku, D. K., Caruso, F. C. R., Bonjorno Jr, J. C., Oliveira, C. R. D., Ricci, P. A., ... & Borghi-Silva, A. (2018). Effects of inspiratory muscle training in professional women football players: a randomized sham-controlled trial. *Journal of sports sciences*, 36(7), 771-780.
- Bassett, D. R., Jr, & Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(1), 70–84. <https://doi.org/10.1097/00005768-200001000-00012>
- Boussana, A., Galy, O., Hue, O., Matecki, S., Varray, A., Ramonatxo, M., & Le Gallais, D. (2003). The effects of prior cycling and a successive run on respiratory muscle performance in triathletes. *International journal of sports medicine*, 24(1), 63–70. <https://doi.org/10.1055/s-2003-37201>
- Bragazzi, N. L., Khoramipour, K., Chaouachi, A., & Chamari, K. (2020). Toward Sportomics: Shifting From Sport Genomics to Sport Postgenomics and Metabolomics Specialties. Promises, Challenges, and Future Perspectives. *International journal of sports physiology and performance*, 15(9), 1201–1202. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2020-0648>
- Cavaggioni, L., Trecroci, A., Formenti, D., Courtney, R., Dascanio, G., Scurati, R., Ongaro, L., & Alberti, G. (2022). Effects of a nasal breathing protocol on physical fitness and pulmonary function in young basketball players. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 62(10), 1368–1374. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.21.12921-4>
- Chang, Y.-C., Lan, Y.-C., Tsai, M.-W., & Chou, L.-W. (2016). Effects of 3-week respiratory muscle training on sport performance in college basketball athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 48(5 Suppl 1), 941.

- Cunha, M., Mendes, F., Paciência, I., Rodolfo, A., Carneiro-Leão, L., Rama, T., Rufo, J., Delgado, L., & Moreira, A. (2019). The effect of inspiratory muscle training on swimming performance, inspiratory muscle strength, lung function, and perceived breathlessness in elite swimmers: a randomized controlled trial. *Porto biomedical journal*, 4(6), e49. <https://doi.org/10.1097/j.pbj.0000000000000049>
- de Sousa, C. A., & Muller, A. J. (2022). Analysis of Respiratory Muscle Training in Basketball Athletes from APAB Blumenau. *Lecturas: Educación Física y Deportes*, 27(287).
- Demirkan, E., Tosun, M. I., Kaplan, A., Eker Arici, I., Harmanci, H., Favre, M., Cosmin, D. G., & Aslan, V. (2025). Does the inspiratory muscle warm-up have an acute effect on wrestling recovery performance?. *PloS one*, 20(2), e0316821. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0316821>
- Dempsey, J. A., Amann, M., Harms, C. A., & Wetter, T. J. (2012). Respiratory system limitations to performance in the healthy athlete: some answers, more questions!. *Deutsche Zeitschrift fur Sportmedizin*, 63(6), 157-162.
- Deshak, S., Yeole, U. L., & Jadhav, N. (2019). Association of inspiratory muscle strength with sports performance in football players. *Journal of Medical Science and Clinical Research*, 7(3), 1033-1038.
- Dörfler, D., Petrovic, M., Pohl, W., & Wanke, T. Positive effects of inspiratory muscle training (IMT) on ventilatory response to progressive hypercapnia in healthy subjects.
- Ermiş, E., Yılmaz, A. K., & Mayda, M. H. (2019). Analysis of respiratory functions and respiratory muscle strength of martial arts athletes. *International Journal of Applied exercise physiology*, 8(1), 10-17.
- Faghy, M. A., & Brown, P. I. (2016). Training the inspiratory muscles improves running performance when carrying a 25 kg thoracic load in a backpack. *European journal of sport science*, 16(5), 585-594. <https://doi.org/10.1080/17461391.2015.1071878>
- Fernández-Lázaro, D., Corchete, L. A., García, J. F., Jerves Donoso, D., Lantarón-Caeiro, E., Cobreros Mielgo, R., Mielgo-Ayuso, J., Gallego-Gallego, D., & Seco-Calvo, J. (2022). Effects on Respiratory Pressures, Spirometry Biomarkers, and Sports Performance after Inspiratory Muscle Training in a Physically Active Population by Powerbreath®: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Biology*, 12(1), 56. <https://doi.org/10.3390/biology12010056>
- Griffiths, L. A., & McConnell, A. K. (2007). The influence of inspiratory and expiratory muscle training upon rowing performance. *European journal*

- of applied physiology*, 99(5), 457–466. <https://doi.org/10.1007/s00421-006-0367-6>
- HajGhanbari, B., Yamabayashi, C., Buna, T. R., Coelho, J. D., Freedman, K. D., Morton, T. A., Palmer, S. A., Toy, M. A., Walsh, C., Sheel, A. W., & Reid, W. D. (2013). Effects of respiratory muscle training on performance in athletes: a systematic review with meta-analyses. *Journal of strength and conditioning research*, 27(6), 1643–1663. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318269f73f>
- Harms, C. A., Babcock, M. A., McClaran, S. R., Pegelow, D. F., Nিকেle, G. A., Nelson, W. B., & Dempsey, J. A. (1997). Respiratory muscle work compromises leg blood flow during maximal exercise. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md. : 1985), 82(5), 1573–1583. <https://doi.org/10.1152/jappl.1997.82.5.1573>
- Holm, P., Sattler, A., & Fregosi, R. F. (2004). Endurance training of respiratory muscles improves cycling performance in fit young cyclists. *BMC physiology*, 4, 9. <https://doi.org/10.1186/1472-6793-4-9>
- Illi, S. K., Held, U., Frank, I., & Spengler, C. M. (2012). Effect of respiratory muscle training on exercise performance in healthy individuals: a systematic review and meta-analysis. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 42(8), 707–724. <https://doi.org/10.1007/BF03262290>
- Johnson, M. A., Sharpe, G. R., & Brown, P. I. (2007). Inspiratory muscle training improves cycling time-trial performance and anaerobic work capacity but not critical power. *European journal of applied physiology*, 101(6), 761–770. <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0551-3>
- Khare, S. P., Reddy, T. O., Kumar, D. A., & Sisodia, D. A. (2023). Muscle architecture and sports performance. *J. Sports Sci. Nutr*, 4, 254-257.
- Kilding, A. E., Brown, S., & McConnell, A. K. (2010). Inspiratory muscle training improves 100 and 200 m swimming performance. *European journal of applied physiology*, 108(3), 505–511. <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1228-x>
- Klusiewicz, A., Borkowski, L., Zdanowicz, R., Boros, P., & Wesołowski, S. (2008). The inspiratory muscle training in elite rowers. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 48(3), 279–284.
- Koç, M., & Saritas, N. (2019). The Effect of Respiratory Muscle Training on Aerobic and Anaerobic Strength in Adolescent Taekwondo Athletes. *Journal of Education and Training Studies*, 7(2), 103-110.
- Kowalski, T., Dias Rodrigues, G., & Zanini, M. (2025). Application of respiratory muscle training for improved intermittent exercise

- performance in team sports: a narrative review. *Frontiers in sports and active living*, 7, 1632207. <https://doi.org/10.3389/fspor.2025.1632207>
- Kowalski, T., Kasiak, P. S., Rebis, K., Klusiewicz, A., Granda, D., & Wiecha, S. (2023). Respiratory muscle training induces additional stress and training load in well-trained triathletes-randomized controlled trial. *Frontiers in physiology*, 14, 1264265. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1264265>
- León-Morillas, F., León-Garzón, M. C., Del Mar Martínez-García, M., Reina-Abellán, J., Palop-Montoro, M. V., & de Oliveira-Sousa, S. L. (2021). Effects of respiratory muscle training in soccer players: a systematic review with a meta-analysis. Auswirkungen des Atemmuskeltrainings bei Fußballspielern: Eine systematische Überprüfung mit Metaanalyse. *Sportverletzung Sportschaden : Organ der Gesellschaft für Orthopädisch-Traumatologische Sportmedizin*, 35(3), 154–164. <https://doi.org/10.1055/a-1524-0021>
- Mackała, K., Kurzaj, M., Okrzymowska, P., Stodółka, J., Coh, M., & Rożek-Piechura, K. (2019). The Effect of Respiratory Muscle Training on the Pulmonary Function, Lung Ventilation, and Endurance Performance of Young Soccer Players. *International journal of environmental research and public health*, 17(1), 234. <https://doi.org/10.3390/ijerph17010234>
- Mahajan, A. A., Kulkarni, N., Khatri, S. M., Kazi, A., & Shinde, N. (2012). EFFECTIVENESS OF RESPIRATORY MUSCLE TRAINING IN RECREATIONAL SOCCER PLAYERS: A RANDOMIZED CONTROLLED TRIAL. *Romanian Journal of Physical Therapy/Revista Romana de Kinetoterapie*, 18(30).
- Matthews, M. J., Kanungo, S., Baker, R. J., & Kenter, K. (2024). Exercise Physiology: A Review of Established Concepts and Current Questions. *Physiologia*, 4(2), 202-212. <https://doi.org/10.3390/physiologia4020011>
- Nunes Júnior, A. D. O., Donzeli, M. A., Shimano, S. G. N., Oliveira, N. M. L. D., Ruas, G., & Bertencello, D. (2018). Effects of high-intensity inspiratory muscle training in rugby players. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 24, 216-219.
- Okrzymowska, P., Kurzaj, M., Seidel, W., & Rożek-Piechura, K. (2019). Eight Weeks of Inspiratory Muscle Training Improves Pulmonary Function in Disabled Swimmers-A Randomized Trial. *International journal of environmental research and public health*, 16(10), 1747. <https://doi.org/10.3390/ijerph16101747>
- Parodi-Feye, A. S., Cappuccio-Díaz, Á. D., & Magallanes-Mira, C. A. (2023). Effects of Inspiratory Muscle Training on Physiological Performance

- Variables in Women's Handball. *Journal of human kinetics*, 89, 101–112.
<https://doi.org/10.5114/jhk/169366>
- Ramos, I., Barreira, S., & Viana, R. (2020). Inspiratory muscle training on lung function of male roller hockey players: a randomized controlled trial pilot study. *Porto biomedical journal*, 5(5), e075.
<https://doi.org/10.1097/j.pbj.0000000000000075>
- Romer, L. M., & McConnell, A. K. (2003). Specificity and reversibility of inspiratory muscle training. *Medicine and science in sports and exercise*, 35(2), 237–244.
<https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000048642.58419.1E>
- Romer, L. M., & Polkey, M. I. (2008). Exercise-induced respiratory muscle fatigue: implications for performance. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 104(3), 879–888.
<https://doi.org/10.1152/japplphysiol.01157.2007>
- Subramanian, T., & Goyal, M. (2025). Respiratory Muscle Strength Training for Athletes: A Narrative Review. *Journal of Clinical & Diagnostic Research*, 19(1).
- Tosun, M. I., Demirkan, E., Kaplan, A., Ari Yilmaz, Y., Eker Arici, I., Favre, M., Aslan, V., & Kutlu, M. (2025). Respiratory muscle training improves aerobic capacity and respiratory muscle strength in youth wrestlers. *Frontiers in physiology*, 16, 1492446.
<https://doi.org/10.3389/fphys.2025.1492446>
- Trevisan, C. S. C., Garcia-Araújo, A. S., Duarte, A. C. G. O., Furino, V. O., Russo, T. L., Fujimoto, A., Souza, H. C. D., Jaenisch, R. B., Arena, R., & Borghi-Silva, A. (2021). Effects of respiratory muscle training on parasympathetic activity in diabetes mellitus. *Brazilian journal of medical and biological research = Revista brasileira de pesquisas medicas e biologicas*, 54(7), e10865. <https://doi.org/10.1590/1414-431X2020e10865>
- Turner, L. A., Mickleborough, T. D., McConnell, A. K., Stager, J. M., Tecklenburg-Lund, S., & Lindley, M. R. (2011). Effect of inspiratory muscle training on exercise tolerance in asthmatic individuals. *Medicine and science in sports and exercise*, 43(11), 2031–2038.
<https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31821f4090>
- van der Zwaard, S., Brocherie, F., & Jaspers, R. T. (2021). Under the Hood: Skeletal Muscle Determinants of Endurance Performance. *Frontiers in sports and active living*, 3, 719434.
<https://doi.org/10.3389/fspor.2021.719434>

- Volianitis, S., McConnell, A. K., Koutedakis, Y., McNaughton, L., Backx, K., & Jones, D. A. (2001). Inspiratory muscle training improves rowing performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 33(5), 803–809. <https://doi.org/10.1097/00005768-200105000-00020>
- Wylegala, J. A., Pendergast, D. R., Gosselin, L. E., Warkander, D. E., & Lundgren, C. E. (2007). Respiratory muscle training improves swimming endurance in divers. *European journal of applied physiology*, 99(4), 393–404. <https://doi.org/10.1007/s00421-006-0359-6>
- Yilmaz, Y. A., Tosun, M. I., Demirkan, E., Can, S., Özkan, A., Arici, M., Kutlu, M., Ayranci, M., Marković, M., Arici, İ. E., Güneş, M. O., & Kowalski, T. (2025). Inspiratory muscle warm up improves 400 m performance in elite male runners. *Scientific reports*, 15(1), 28879. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-14797-0>

5. Bölüm

Solunum Hastalıkları ve Solunum Kası Antrenmanı

Yasemin ARI YILMAZ¹

Giriş

Pulmoner rehabilitasyon (PR), kronik solunum yolu hastalığı olan bireylerin fiziksel ve psikolojik iyilik hâlini artırmayı hedefleyen, kapsamlı ve kanıta dayalı bir müdahale programıdır. Bu programın temel hedefleri arasında egzersiz kapasitesini artırmak, uzun vadeli tedaviye uyumu desteklemek ve sürdürülebilir davranış değişikliklerini teşvik etmek yer almaktadır. Pulmoner rehabilitasyon, genellikle fizyoterapist, solunum terapisti, hemşire, psikolog, davranış uzmanı, egzersiz fizyoloğu, diyetisyen, ergoterapist ve sosyal hizmet uzmanından oluşan multidisipliner bir ekip tarafından yürütülmektedir (Troosters ve ark., 2023).

Egzersiz antrenmanı, PR'nin temel bileşenini oluşturmaktadır (Xiong ve ark., 2023). Uygun şekilde yapılandırıldığında bu program, hastalığın herhangi bir evresinde—klinik stabilite döneminde, bir alevlenme sonrasında ya da remisyon sürecinde—başlatılabilir. Programın öncelikli hedefleri; semptom yükünü azaltmak, fiziksel performansı artırmak ve hastanın günlük yaşam aktivitelerine daha aktif katılımını sağlayarak yaşam kalitesini iyileştirmektir (Lamberton ve ark., 2024).

KOAH ve Solunum Kas Antrenmanı

Kronik Obstrüktif Akciğer Hastalığı (KOAH), hava yollarında ve/veya alveollerde kalıcı yapısal değişiklikler sonucu gelişen, önlenebilir ve tedavi edilebilir bir hastalık olup genellikle ilerleyici bir seyir gösterir (GOLD, 2025). Dünya genelinde 400 milyondan fazla kişiyi etkileyen KOAH, halen en sık görülen üçüncü ölüm nedenidir (de Oca ve ark., 2025). Patogenezinde kalıcı hava akımı kısıtlanması söz konusu olduğundan, hastalık tipik olarak dispne, öksürük ve balgam üretimi gibi kronik solunum semptomlarıyla kendini gösterir. Sigara kullanımı başlıca risk faktörü olsa da; biyokütle yakıtlarının

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Hitit Üniversitesi Tıp Fakültesi Göğüs Hastalıkları Ana Bilim Dalı
E mail: yaseminariyilmaz@hitit.edu.tr Orcid ID: 0000-0002-8674-8911

oluşturduğu iç ortam hava kirliliği, çevresel ve mesleki toz-duman maruziyeti, akciğer gelişimini etkileyen erken yaşam faktörleri, tekrarlayan solunum yolu enfeksiyonları, genetik yatkınlık (örn. α 1-antitripsin eksikliği) ve yaşlanma da hastalık gelişiminde önemli rol oynamaktadır (GOLD, 2025; de Oca ve ark., 2025; Zhang ve ark., 2021). Bu etkenler, kronik hava yolu inflamasyonuna, mukosilyer temizliğin bozulmasına ve alveoler yıkıma yol açarak geri dönüşümsüz hava akımı kısıtlanmasına neden olur (GOLD, 2025).

KOAH'taki inflamatuvar süreç; hava yolu epitelinde hasara ve sitokin ile kemokin salınımına neden olarak inflamatuvar hücrelerin akciğer dokusuna göçünü tetikler. Aktive olan bu hücreler tarafından salınan nötrofil elastaz, proteazlar ve reaktif oksijen türleri; alveol yıkımı (amfizem) ve mukus hipersekresyonuna neden olur (Shapiro, 1995). α 1-antitripsin düzeylerindeki azalma, proteaz-antiproteaz dengesini daha da bozarak doku yıkımını hızlandırır. Ortaya çıkan oksidatif stres, inflamasyonu, epitel hücre apoptozunu ve doku yeniden yapılanmasını tetikleyerek fibroze katkı sağlar (Barnes, 2013; Shapiro, 1995). Sonuç olarak; küçük hava yollarının daralması, alveoler duvarların yıkımı ve kalıcı hava akımı kısıtlanması meydana gelir (Rabe & Watz, 2017). Bu süreç, akciğerin elastik geri çekilme kuvvetini azaltır ve hiperinflasyona yol açar. Hiperinflasyon arttıkça diyafram düzleşir, inspiratuar kasların iş yükü artar, buna bağlı olarak solunum kaslarının kuvveti ve dayanıklılığı azalır (Barreiro & Gea, 2015). Kas hücrelerindeki mitokondriyal disfonksiyon ve oksidatif stres, kas atrofisini daha da derinleştirir. Böylece alveoler yapısal hasar, bronşiyal yeniden yapılanma ve solunum kas disfonksiyonu, kendi kendini sürdüren patolojik bir döngü oluşturur (Ottenheim ve ark., 2005).

Bu nedenle, pulmoner rehabilitasyon (PR), KOAH tedavisinde farmakolojik yaklaşımlar kadar vazgeçilmez bir bileşen hâline gelmiştir (GOLD, 2025; Spruit ve ark., 2013). GOLD 2025 raporuna göre; solunumsal semptomları olan ya da alevlenme riski yüksek KOAH hastaları için PR, Seviye A kanıtla önerilmektedir. PR'nin egzersiz kapasitesini artırdığı, dispneyi azalttığı ve yaşam kalitesini iyileştirdiği de yine Seviye A düzeyinde kanıtlarla desteklenmektedir (GOLD, 2025; Zhang, 2022). Hastaneden yeni taburcu olan (<4 hafta) bireylerde, PR'nin yeniden hastaneye yatış oranlarını azalttığı Seviye B düzeyinde kanıtlarla gösterilmiştir (GOLD, 2025; Puhan ve ark., 2016). Ayrıca PR'nin anksiyete ve depresyon semptomları üzerindeki olumlu etkileri de Seviye A düzeyinde desteklenmektedir (Gordon ve ark., 2019; Rochester ve ark., 2023).

Her ne kadar hasta antrenmanı, bilgi düzeyinin artırılması açısından gerekli olsa da, mevcut veriler tek başına antrenmanın sürdürülebilir davranış

değişikliği sağlamada yetersiz kaldığını göstermektedir (GOLD, 2025). Buna karşılık, sağlık profesyonelleriyle düzenli iletişim içeren öz-yönetim modellerinin sağlık durumunu iyileştirdiği ve hastaneye başvuru sıklığını azalttığı bildirilmiştir (Schrijver ve ark., 2022). KOAH'ta telerehabilitasyon uygulamalarının potansiyel yararlarını öne süren çeşitli çalışmalar mevcut olsa da, bulgular hâlen tutarsızdır ve kılavuz düzeyinde güçlü bir öneri oluşturacak yeterlilikte değildir (GOLD, 2025; Rochester ve ark., 2023).

Son olarak, fiziksel aktivite düzeyi KOAH'ta mortalitenin güçlü bir belirleyicisi olarak Seviye A düzeyinde kabul görmektedir. Bu nedenle tüm KOAH hastalarında fiziksel aktivitenin artırılması önerilse de, bu hedefe ulaşmak için en uygun ve net bir strateji henüz tanımlanmamıştır (GOLD, 2025; Waschki ve ark., 2011).

Pulmoner rehabilitasyonda en iyi sonuçlar 8–12 haftalık programlarla elde edilmekte, 12 haftadan uzun süreli programların ek bir fayda sağlamadığı bildirilmiştir (Bishop ve ark., 2025). Haftada en az iki, tercihen üç kez uygulanan egzersiz antrenmanı önerilmektedir (Liu ve ark., 2025). Alt ekstremitelerde dayanıklılık ve kuvvet egzersizleri ile yürüyüş antrenmanları, program kapsamında düşük riskle uygulanabilmektedir. Ek olarak, inhalasyon teknik antrenmanı ve nöromusküler elektrik stimülasyonu da rehabilitasyon protokollerine entegre edilebilir (Rochester ve ark., 2023). Müdahalenin içeriği, sıklığı ve şiddeti; hastanın klinik özelliklerine göre bireyselleştirilmelidir. Programın sonunda başta yürüme hızı ve mesafesi olmak üzere işlevsel hedeflere ulaşılması amaçlanır (GOLD, 2025).

Pulmoner rehabilitasyona katılan her hastada başlangıç ve son değerlendirmeler yapılmalı; eğitim gereksinimleri, davranış değişikliği hedefleri (motivasyon dahil), fiziksel ve ruhsal sağlık durumu, antrenmanı engelleyebilecek faktörler, kazanımlar ve tedavi hedefleri sistematik olarak belirlenmelidir. Bu kapsamda yapılan değerlendirmeler arasında; ayrıntılı tıbbi öykü ve fizik muayene, bronkodilatör sonrası spirometri, egzersiz kapasitesinin ölçülmesi, semptom şiddetinin ve alevlenme etkilerinin değerlendirilmesi, özellikle alt ekstremitelerde kas gücünün belirlenmesi, beslenme durumunun saptanması ve hastanın rehabilitasyona yönelik beklentilerinin anlaşılması yer almaktadır (GOLD, 2025; Lamberton ve ark., 2024; Troosters ve ark., 2023; Xiong ve ark., 2023).

İlk iki değerlendirme, hastanın rehabilitasyona uygunluğunu belirlemek amacıyla kullanılır. Egzersiz toleransı; maksimum oksijen tüketimi, maksimum kalp hızı ve maksimum iş yükü gibi fizyolojik parametrelerin ölçüldüğü bisiklet ya da koşu bandı testleriyle değerlendirilebilir (Rochester ve ark., 2023). Alternatif olarak sabit yük bisiklet testi veya sabit hızda yürüyüş testleri

uygulanabilir; klinik pratikte ise en sık kullanılan saha testi Altı Dakika Yürüme Testi'dir (6DYT) (Bishop ve ark., 2025). Rehabilitasyon etkinliğinin değerlendirilmesinde yalnızca egzersiz kapasitesi değil, aynı zamanda psikolojik durum, günlük işlevsellik ve sağlıkla ilişkili yaşam kalitesi gibi hasta odaklı çıktılar da dikkate alınmalıdır (Liu ve ark., 2025; Rochester ve ark., 2023). Sağlık durumu değerlendirmelerinde bazı ölçekler solunum hastalıklarına özgü olarak geliştirilmiştir (SGRQ, CAT), bazıları ise genel ruhsal durumu değerlendirmeyi amaçlar (HADS). Anksiyete ve depresyon taramasında sık kullanılan bir diğer araç olan Birinci Basamak Ruhsal Bozukluklar Değerlendirme Anketi (PMQ), depresyonu olan hastaların belirlenmesinde etkili bulunmuştur (Gordon ve ark., 2019; Smid ve ark., 2016).

Pulmoner rehabilitasyon kapsamında uygulanan egzersizler, üç ana başlık altında sınıflandırılabilir (Han ve ark., 2024; Xie ve ark., 2025):

Aerobik egzersizler: Yürüyüş bandında yürüme, bisiklet ergometri ya da tempolu yürüyüş gibi aktiviteleri içerir. Genellikle haftada 3–5 gün, 30–45 dakika süreyle uygulanır (Liu ve ark., 2025; Troosters ve ark., 2023).

Direnç (kuvvet) antrenmanları: Kol, bacak, sırt ve göğüs kaslarını hedef alan, düşük ağırlıkla yüksek tekrar sayısına dayalı egzersizlerdir. Amaç kas kütlesini ve periferik dayanıklılığı artırmaktır (Liu ve ark., 2025; Troosters ve ark., 2023).

Solunum kası antrenmanı: Diyafram ve interkostal kasları güçlendirmek amacıyla, basınca karşı çalışan inspiratuvar ve/veya ekspiratuvar cihazlarla (örneğin Threshold İKA, POWERbreathe) gerçekleştirilir.

Aerobik ve direnç egzersizleri, periferik kas disfonksiyonunun düzeltilmesinde, egzersiz kapasitesinin artırılmasında, dispnenin azaltılmasında ve yaşam kalitesinin iyileştirilmesinde temel rol oynamaktadır (Liu ve ark., 2025; Troosters ve ark., 2023). Ancak KOAH'ta sık görülen solunum mekaniği bozuklukları—diyaframın düzleşmesi, solunum iş yükünün artması, hiperinflasyon, inspiratuvar kas yorgunluğu ve disfonksiyonu gibi—klasik egzersiz antrenmanı ile tam olarak giderilemeyen patofizyolojik bir boşluk oluşturmaktadır (Barreiro ve ark., 2015; Ottenheijm ve ark., 2005). Bu nedenle, inspiratuvar kas antrenmanı (İKA), son yıllarda rehabilitasyon programlarının tamamlayıcı ve giderek daha kritik bir bileşeni hâline gelmiştir (Han ve ark., 2024; Xie ve ark., 2025).

Randomize kontrollü çalışmalar, İKA'nın diyafram kalınlığını artırdığını, maksimum inspiratuvar basıncı (MIP) üzerinde anlamlı iyileşmeler sağladığını, egzersiz sırasında ventilatuvar rezervi koruduğunu, dispneyi azalttığını ve altı dakika yürüme mesafesinde ek artış sağladığını göstermiştir (Han ve ark., 2024;

Ichiba ve ark., 2023; Xie ve ark., 2025). Meta-analizler, İKA'nın standart PR programlarına eklenmesinin, yalnızca PR'ye kıyasla egzersiz kapasitesi ve semptom kontrolü açısından daha üstün sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur. Bu nedenle İKA, pulmoner rehabilitasyon programlarında güçlü şekilde önerilmelidir (Han ve ark., 2024; Qi ve ark., 2025; Torres-Castro ve ark., 2025; Xie ve ark., 2025). Elde edilen bu bulgular ışığında, solunum kası antrenmanı, hastaların işlevsel kazanımlarını belirgin biçimde artıran terapötik bir egzersiz modu olarak öne çıkmaktadır (Han ve ark., 2024; Xie ve ark., 2025).

Solunum Kası Antrenmanının Fizyolojik Etkileri

Solunum kası antrenmanı (SKA), diyafram ve yardımcı solunum kaslarında anlamlı yapısal ve işlevsel adaptasyonlar sağlayan, güçlü kanıtlara dayalı bir rehabilitasyon yaklaşımıdır. Bu yöntemin fizyolojik etkileri aşağıdaki başlıklar altında özetlenebilir (Han ve ark., 2024; Xie ve ark., 2025):

1.Yapısal Adaptasyon ve Kuvvet Artışı

SKA'nın birincil etkisi, inspiratuvar kas gücünün artırılmasıdır. Solunum kaslarının yüksek eşik basınca karşı tekrarlayan yüklenmesi, diyaframdaki tip I ve tip II kas liflerinde hipertrofiye yol açar (Ramirez-Sarmiento ve ark., 2002). Bu süreç, maksimum inspiratuvar basınç (MIP) ve maksimum ekspiratuvar basınç (MEP) düzeylerinde anlamlı artışlarla kendini gösterir (Han ve ark., 2024; Qi ve ark., 2025). Özellikle yüksek yük protokollerinde motor ünite senkronizasyonu artar ve aktivasyon eşiği düşer; bu da inspiratuvar kasların daha etkin kasılmasını sağlar (Geddes ve ark., 2008).

2. Dayanıklılık Adaptasyonu ve Oksidatif Kapasite Artışı

Tekrarlayan inspiratuvar yüklenme, solunum kaslarının oksidatif kapasitesini artırır. Bu sayede mitokondri yoğunluğu, oksidatif enzim aktivitesi ve kapiller ağ gelişiminde belirgin artışlar meydana gelir (Ramirez-Sarmiento ve ark., 2002).

- Bu adaptasyonların sonuçları şunlardır:
- Oksijen kullanım verimliliğinde artış
- Kas yorgunluğunun gecikmesi
- Egzersiz sırasında ventilatuvar rezervin korunması

Bu özellikler, klinik stabil dönemlerde ve efor sırasında inspiratuvar kas yorgunluğunun azalmasıyla fonksiyonel kapasiteyi iyileştirir.

3. Solunum İş Yükünün Azaltılması

SKA sonrasında diyaframın mekanik verimliliği belirgin şekilde artar. Diyafram daha uygun bir uzunluk-gerilim ilişkisine döner ve inspirasyon için gereken transdiyafragmatik basınç, daha az motor ünite aktivasyonu ile sağlanır (Qi ve ark., 2025).

Bunun sonucunda:

- Solunumun enerji maliyeti azalır,
- Ventilatuvar verimlilik artar,
- Dispne algısı hem objektif hem subjektif olarak iyileşir.

Bu mekanizma, özellikle KOAH, kalp yetmezliği ve obezite gibi solunum iş yükünün arttığı klinik durumlarda daha belirgin katkı sağlar (Caicedo-Trujillo ve ark., 2023; Iaia ve ark., 2009; Smid ve ark., 2027).

4. Nöromüsküler Koordinasyonun Artışı

SKA, diyafram, interkostal ve abdominal kaslar arasındaki koordinasyonu artırarak daha ekonomik ve ritmik bir ventilatuvar modelin gelişmesini sağlar (Azambuja ve ark., 2020). Hacme dayalı ya da yüksek frekanslı antrenmanlar sırasında proprioseptif duyarlılıktaki artış aşağıdaki faydaları sağlar:

- Inspiratuvar akım hızlarının daha iyi kontrolü
- Tidal volümün daha etkin regülasyonu
- Genel ventilatuvar verimliliğin artışı

Bu adaptasyonlar yalnızca kronik solunum hastalıklarında değil, aynı zamanda sportif performansta da artışla ilişkilidir.

5. Yorgunluğa Direncin Artışı

SKA, diyaframın periferik yorgunluğa karşı direncini artırır ve kas fonksiyonunu hem akut hem kronik yüklenmelere karşı daha stabil hâle getirir. Bu süreçte iskemik metabolit birikimi azalır (Xie ve ark., 2025).

Klinik Sonuçlar

Tüm bu fizyolojik mekanizmaların birleşimi sonucunda SKA'nın klinik etkileri şunlardır:

- Dispne düzeyinde anlamlı azalma,
- Egzersiz kapasitesinde artış,
- Solunum kası fonksiyonlarında kuvvet ve dayanıklılık kazanımı,
- Ventilatuvar verimlilikte sürdürülebilir iyileşme.

Bu nedenle SKA, KOAH, kalp yetmezliği, restriktif akciğer hastalıkları, obezite, post-COVID sendromu ve atletik performans programlarında modern rehabilitasyonun temel bileşenlerinden biri hâline gelmiştir (Azambuja ve ark., 2020; Bento ve ark., 2023; Caicedo-Trujillo ve ark., 2023; McCool & Tzelepis, 2012).

Uygulama Protokolü

SKA protokolünde başlangıç yükü genellikle hastanın maksimum inspiratuvar basıncının (MIP) %30–40'ı arasında belirlenir. Bu aralık, hem

güvenli hem de fizyolojik adaptasyon açısından yeterli uyaran sağlayan bir eşik olarak kabul edilir (Ammous ve ark., 2023; Vázquez-Gandullo ve ark., 2022). Yük ilerlemesi haftalık olarak değerlendirilir ve hasta toleransına bağlı olarak %5–10 oranında artırılır. Bu ilerleme modeli, solunum kas hipertrofisi ve dayanıklılığının artırılması konusunda en güçlü kanıta sahip protokol olarak öne çıkmaktadır. Her seans 20–30 dakika sürmeli ve yük–dinlenme döngüsü (örneğin, 2–3 dakika yüklenme + 1 dakika dinlenme) hastanın dispne düzeyine göre bireyselleştirilmelidir (Vázquez-Gandullo ve ark., 2022).

KOAH'ta optimal adaptasyon için SKA'nın haftada en az 5 gün uygulanması ve program süresinin 8–12 hafta olması önerilmektedir. Bu sürede fizyolojik adaptasyonlar belirgin hâle gelir. Stabil KOAH'ta bu protokol eksiksiz şekilde uygulanabilirken, ileri evre hastalarda başlangıç yükü %20–30 MIP olarak ayarlanmalı ve yüklenme daha kademeli biçimde artırılmalıdır (Smid ve ark., 2017; Torres-Castro ve ark., 2025). Hiperinflasyon, şiddetli dispne (Borg ≥ 5), belirgin kas yorgunluğu ya da ek komorbiditelerin varlığında daha kısa süreli seanslar veya aralıklı yükleme protokolleri tercih edilmelidir (Ammous ve ark., 2023). Alevlenme sonrası dönemde, SKA genellikle 2–3 hafta içinde güvenli şekilde yeniden başlatılabilir; ancak yük artışı bu dönemde daha dikkatli şekilde uygulanmalıdır (Figueiredo ve ark., 2020; Rochester ve ark., 2023; Torres-Castro ve ark., 2025).

Güvenlik Önlemleri

(Figueiredo ve ark., 2020; Rochester ve ark., 2023; Torres-Castro ve ark., 2025)

1- Her seanstan önce fizyolojik durum değerlendirilmelidir:

Dispne, öksürük, balgam artışı veya kıvam değişikliği, ateş ya da yeni gelişen göğüs ağrısı varsa seans ertelenmelidir.

2- Oksijen saturasyonu izlenmelidir:

Eğitim sırasında SpO₂'nin %88'in altına düşmesi durumunda seans derhal sonlandırılmalı ve hasta dinlendirilmelidir. Hipoksemik KOAH hastalarında ilave oksijen desteği ile eğitim yapılabilir.

3- Dispne seviyesi takip edilmelidir:

Borg dispne skoru ≥ 7 olan hastalarda yük azaltılmalı veya seans sonlandırılmalıdır.

4- Dinamik hiperinflasyon riski göz önünde bulundurulmalıdır:

Yüksek inspiratuvar yükler, transdiyafragmatik basıncı artırarak hiperinflasyonu kötüleştirebilir. Bu nedenle yük artışı kademeli yapılmalı, şiddetli KOAH'lı bireylerde aralıklı protokoller tercih edilmelidir.

5- Kardiyovasküler uyarı işaretleri izlenmelidir:

Taşikardi, yeni başlayan aritmi, baş dönmesi, presenkop ya da göğüs ağrısı gözlemlendiğinde eğitim derhal kesilmelidir. KOAH'ta kalp yetmezliği ve pulmoner hipertansiyon sık eşlik ettiği için bu durum hayati önem taşır.

6- Eğitim ortamı uygun olmalıdır:

Soğuk hava, güçlü kokular (ör. boya, deterjan), tozlu veya yetersiz havalandırılmış ortamlar dispneyi kötüleştirebilir ve eğitimden önce uzaklaştırılmalıdır.

7- Enerji dengesi ve katabolik yük izlenmelidir:

KOAH'ta kas kaybı yaygın olduğundan, aşırı yorgunluk, iştahsızlık ve kilo kaybı yönünden hastalar yakından izlenmeli; aşırı katabolik yük oluşturan protokollerden kaçınılmalıdır.

8- Valsalva manevrasından kaçınılmalıdır:

Valsalva, intratorasik ve intrakraniyal basıncı artırarak aritmi veya hipotansiyon riskini yükseltir. Özellikle yaşlı bireylerde tehlikeli olabilir.

9- İnhaler tedaviye uyum sağlanmalıdır:

Bronkodilatör kullanımı, egzersiz sırasında dispne toleransını artırarak performansı iyileştirir.

SKA; interstisyel akciğer hastalıkları, bronşektazi, kistik fibrozis, astım, pulmoner hipertansiyon, COVID-19 sonrası sendrom, yoğun bakım sonrası sendrom, akciğer kanseri, akciğer volüm azaltma cerrahisi ve transplantasyon geçirmiş bireylerde de fayda sağlayabilmektedir (Rochester ve ark., 2023).

Ancak, kontrolsüz astım alevlenmeleri, aktif hemoptizi, yeni gelişen pnömotoraks, mediastinal veya büyük büllöz hastalık, kontrolsüz aritmiler, yakın dönem miyokard enfarktüsü, ciddi kalp yetmezliği, hipertansif krizler, aktif enfeksiyon, ateş ve derin nefes almanın güvenli olmadığı durumlar SKA için kontrendikasyon oluşturur. Ayrıca, yakın tarihli torasik cerrahiler ve üst solunum yolu enfeksiyonları sonrası da SKA ertelenmelidir. Osteoporoz, ileri yaş, bilişsel bozukluk veya motor koordinasyon sorunları olan bireylerde eğitim sırasında yakın takip önerilmektedir (Bolton ve ark., 2013). Bu önlemler göz önünde bulundurulduğunda, SKA'nın KOAH'ta yüksek güvenlik profiline sahip, iyi tolere edilen ve ciddi komplikasyon riski oldukça düşük bir rehabilitasyon yöntemi olduğu kabul edilmektedir (Ammous ve ark., 2023).

Astım ve Solunum Kası Antrenmanı

Astım; kronik hava yolu inflamasyonu, değişken hava akımı kısıtlanması ve bronşiyal aşırı duyarlılık ile karakterize olan, alevlenme ve remisyon dönemleriyle seyreden bir solunum yolu hastalığıdır (GINA, 2024). Hastalığın patofizyolojisi; eozinofilik inflamasyon, mast hücresi aktivasyonu, Th2 aracılı bağışıklık yanıtı, epitel bariyer disfonksiyonu ve hava yolu yeniden yapılanması

(airway remodeling) gibi süreçlerle şekillenir. Bu mekanizmalar; bronş düz kas kontraksiyonu, mukus hipersekresyonu ve hava yolu duvarında kalınlaşmaya neden olarak değişken hava akımı obstrüksiyonuna yol açar (Barnes, 2014).

Alevlenme dönemlerinde artmış solunum iş yükü, diyafram yorgunluğu, yardımcı solunum kaslarına aşırı bağımlılık, dinamik hiperinflasyon ve tidal volümde azalma gibi belirtiler ön plana çıkar. Klinik olarak stabil dönemlerde dahi birçok astım hastasında inspiratuvar kas fonksiyonlarında belirgin azalma, efor dispnesinde artış, ventilatuvar rezervin azalması ve fiziksel aktivite kısıtlılığı görülmektedir (Vermeulen ve ark., 2016). Bu fizyopatolojik zemin, SKA olan ilgiyi artırmış ve SKA'nın astım yönetiminde hedefe yönelik, önerilen bir müdahale olarak konumlanmasına katkı sağlamıştır.

Astımda SKA'nın kanıt düzeyi henüz sınırlı olmakla birlikte, en tutarlı etkiler inspiratuvar kas gücü üzerindedir. Randomize kontrollü çalışmalar ve sistematik derlemeler, 6–12 haftalık SKA programlarının maksimum inspiratuvar basınçta (MIP) klinik olarak anlamlı artış sağladığını göstermektedir. Buna karşın, maksimum ekspiratuvar basınç (MEP) ve klasik solunum fonksiyon testleri (FEV₁, FVC) üzerindeki etkiler ya çok düşük düzeyde kalmakta ya da anlamlı bulunmamaktadır (Duruturk ve ark., 2018; Wu ve ark., 2024).

SKA, egzersiz toleransını da artırabilir; bazı çalışmalar, 6 Dakika Yürüme Testi (6DYT), Artan Yürüme Testi (ISWT) veya bisiklet dayanıklılık testlerinde iyileşme bildirmiştir. Bu etkiler, özellikle daha yüksek antrenman yükleri ve uzun süreli programlarla daha belirgin hale gelmiştir. Ancak derlenmiş analizlerde egzersiz kapasitesi açısından bulgular heterojen olup, genel olarak sonuçlar tutarsız ve net değildir (Duruturk ve ark., 2018; Wu ve ark., 2024).

Benzer şekilde, çeşitli çalışmalar SKA'nın efor dispnesini azalttığını ve astım ile ilişkili yaşam kalitesi ölçeklerinde (AQLQ, ACQ, SGRQ) mütevazı iyileşmeler sağladığını öne sürmektedir. Ancak bu etkiler genellikle küçük örneklem gruplarına dayalıdır ve çalışmalar arasında tutarlılık bulunmamaktadır (Chung ve ark., 2021; Duruturk ve ark., 2018; Lista-Paz ve ark., 2023).

SKA'nın bronşiyal aşırı duyarlılık, inhaler provokasyon eşikleri ve eforla tetiklenen bronkokonstriksiyon (EIB) üzerindeki etkilerine ilişkin kanıtlar ise yalnızca birkaç küçük ve heterojen çalışmadan oluşmakta olup, bu alanlarda henüz kesin yargılara ulaşılamamıştır (Shei ve ark., 2016; Weiner ve ark., 1992). Mevcut literatürde SKA'nın astımda alevlenme sıklığını azaltma ya da sağlık hizmeti kullanımını düşürme konusunda anlamlı bir katkı sunduğuna dair yeterli kanıt da bulunmamaktadır. Bu nedenle, önde gelen astım kılavuzları, SKA'yı henüz hastalığı modifiye eden standart bir tedavi yöntemi olarak kabul etmemektedir (Silva ve ark., 2013).

Özetle, mevcut veriler, SKA'nın astımda inspiratuvar kas gücünü artırmada güvenilir bir tamamlayıcı yöntem olduğunu desteklemektedir; ancak egzersiz toleransı, dispne, yaşam kalitesi, bronşiyal aşırı duyarlılık, eforla tetiklenen bronkospazm ve alevlenme riski üzerindeki potansiyel etkiler belirsizliğini korumakta ve bu alanlarda daha yüksek kalitede çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Uygulama Protokolü

Astımda ska protokolleri, KOAH'takilere kıyasla daha konservatif şekilde başlatılmalı ve semptomların günlük değişkenliği dikkate alınarak titizlikle bireyselleştirilmelidir. Astımda eğitime MIP'nin %20–30'u seviyesinde başlamak, hastalık içindeki günlük ve bireyler arası değişkenlikler nedeniyle en güvenli başlangıç stratejisi olarak kabul edilmektedir (Lista-Paz ve ark., 2023; Wu ve ark., 2024). Yükler haftalık olarak %5–10 oranında, hastanın dispne toleransı göz önünde bulundurularak artırılabilir. Tipik seans süresi 15–25 dakika arasında değişmekle birlikte, alevlenmeye yatkın bireylerde başlangıçta 10–15 dakikalık daha kısa seanslar tercih edilebilir. Programın haftada 5 gün, toplamda 6–8 hafta süreyle uygulanması önerilmekte; ancak 8–12 haftaya kadar uzatılan eğitimler, klinik iyileşmeler açısından daha etkili sonuçlar sağlamaktadır (Lista-Paz ve ark., 2023; Shei ve ark., 2016; Wu ve ark., 2024).

Güvenlik Önlemleri

Her seanstan önce semptom kontrolü sağlanmalıdır (öksürük, hırıltı, göğüs sıkışması). Egzersiz öncesinde uygun bronkodilatör uygulanması, eforla tetiklenen bronkokonstriksiyon riskini azaltır (Chung ve ark., 2021; Duruturk ve ark., 2018).

1- Ev temelli eğitim önerilebilir: Özellikle soğuk hava, polen ya da sigara dumanı gibi bronkokonstriktör tetikleyicilere maruziyetten kaçınılması gereken durumlarda (Silva ve ark., 2013; Wu ve ark., 2024).

2- Egzersiz sırasında düzenli ve kontrollü solunum paterni sürdürülmelidir. Aşırı havalanmayı önlemek için büyük dudak tekniği kullanılabilir. Intratorasik basınç artışı engellemek için yükler kademeli artırılmalı, Valsalva manevrasından kaçınılmalı ve dinamik hiperinflasyona yatkın bireylerde aralıklı protokoller tercih edilmelidir. Egzersiz sırasında hırıltı, göğüs sıkışması, artan dispne ya da uzamış ekspirasyon gelişirse yük azaltılmalı, gerekirse seans sonlandırılmalıdır (Duruturk ve ark., 2018; GINA, 2024; Weiner ve ark., 1992).

3- SpO₂ <%92, Borg skoru >6 veya hırıltı gelişmesi durumunda eğitim durdurulmalıdır (Wu ve ark., 2024).

4- Astım alevlenmesi sonrası bronkospazm genellikle 3–7 gün içinde stabilize olur. SKA'ya başlamak için en güvenli zaman, genellikle atağın 5. günüdür. Şiddetli alevlenmelerde bu süre 10–14 güne kadar uzatılabilir. Bu süreçte başlangıç yükü %20–25 MIP seviyesinde tutulmalı, ilk 1–2 hafta içinde yük artışı konservatif şekilde yapılmalı ve seans öncesinde bronkodilatör uygulanması önerilmektedir (Duruturk ve ark., 2018; Silva ve ark., 2013; Wu ve ark., 2024).

İnterstisyel Akciğer Hastalıkları ve Solunum Kası Antrenmanı

İnterstisyel akciğer hastalıklarında (İAH); artmış elastik yük, azalmış akciğer kompliyansı, belirgin restriktif fizyoloji, difüzyon bozukluğu ve egzersizle ortaya çıkan oksijen desatürasyonu hem istirahatte hem de egzersiz sırasında solunum kaslarına aşırı yük binmesine neden olur. Bu fizyopatolojik yapı, inspiratuvar kas yorgunluğunun erken başlamasına, ventilatuvar rezervin hızla tükenmesine ve dispne belirgin artışa yol açar (Mendes ve ark., 2021; Walterspacher ve ark., 2013). Bu nedenle, SKA'nın temel amacı; solunum iş yükünü azaltmak ve egzersize bağlı oksijen düşüşünü en aza indirmektir.

Her ne kadar randomize kontrollü çalışmalar sayıca sınırlı ve örneklem büyüklükleri düşük olsa da, mevcut literatür, SKA'nın interstisyel akciğer hastalığı (İAH) ya da interstisyel alveolar hipoventilasyon fenotipine sahip bireylerde maksimum inspiratuvar basınçta (MIP) anlamlı artışlar sağladığını tutarlı biçimde göstermektedir (Hoffman, 2021; Zaki ve ark., 2023). Küçük ölçekli kontrollü çalışmalar ayrıca, fonksiyonel egzersiz kapasitesinde mütevazı artışlar ve dispne skorlarında hafif azalmalar bildirmektedir; ancak bu sonuçlar çalışmadan çalışmaya değişkenlik göstermektedir.

Ventilatuvar verimlilikteki artış ve inspiratuvar kas yorgunluğunun gecikmesi özellikle fibrotik fenotipin baskın olduğu hastalarda—günlük yaşam aktivitelerine karşı daha iyi tolerans ile ilişkilendirilmiştir (Aktan ve ark., 2024). Öte yandan, belirgin difüzyon bozukluğu, eşlik eden pulmoner hipertansiyon veya egzersize bağlı derin desatürasyon yaşayan bireylerde klinik kazançlar daha sınırlı olmakta ve bu hastalarda eğitim yoğunluğu dikkatle bireyselleştirilerek, sürekli izlem altında uygulanmalıdır (Aslan ve ark., 2020; Luo ve ark., 2022).

Uygulama Protokolü

İnterstisyel akciğer hastalıklarında; belirgin restriktif mekanik kısıtlılık, düşük akciğer kompliyansı ve egzersizle gelişen desatürasyon nedeniyle, SKA protokolü KOAH ve astıma kıyasla daha dikkatli biçimde uygulanmalıdır (Walterspacher ve ark., 2013; Mendes ve ark., 2021; Rochester ve ark., 2023).

Başlangıç yükü genellikle MIP'nin %20–30'u aralığında belirlenmelidir. Fibrotik fenotipe özgü yüksek elastik yük nedeniyle, %30'un üzerindeki yüklerden kaçınılmalıdır (Hoffman ve ark., 2021; Mendes ve ark., 2021).

Yük ilerlemesi genellikle haftalık %5–10 oranında planlanır. Ancak difüzyon bozukluğu ya da eşlik eden pulmoner hipertansiyonu olan hastalarda bu artış %3–5 ile sınırlı tutulmalıdır (Aslan ve ark., 2020; Hoffman ve ark., 2021; Luo ve ark.; Rochester ve ark., 2023).

Seanslar başlangıçta 10–15 dakika olacak şekilde yapılandırılır, tolerans arttıkça 20 dakikaya kadar uzatılır (Hoffman ve ark., 2021; Mendes ve ark., 2021). Sürekli protokoller, çoğu İAH hastasında dispneyi hızlıca artırabileceği için, aralıklı protokoller tercih edilmelidir (ör. 1–2 dakika yükleme, ardından 1 dakika dinlenme) (Hoffman ve ark., 2021; Mendes ve ark., 2021; Rochester ve ark., 2023).

Program haftada en az 5 gün uygulanmalı, toplamda 6–8 hafta sürmelidir. Ancak, 8–12 haftaya uzatılan protokoller, kas adaptasyonları açısından daha optimal kazanımlar sağlamaktadır (Zaki ve ark., 2023; Aktan ve ark., 2024).

Efora bağlı belirgin desatürasyon gözlenen hastalarda, SKA gerekliyse ilave oksijen desteği ile uygulanabilir. Bu strateji, ventilatuvar yükü azaltarak seansların tolere edilebilirliğini artırır ve yük ilerlemesinin daha güvenli biçimde yapılmasını sağlar (Mendes ve ark., 2021; Rochester ve ark., 2023).

Güvenlik Önlemleri

İnterstisyel akciğer hastalıklarında güvenlik kriterleri, difüzyon bozukluğu ve efora bağlı desatürasyonun KOAH ve astıma kıyasla daha erken ve şiddetli gelişmesi nedeniyle farklılık göstermektedir (Mendes ve ark., 2021; Rochester ve ark., 2023; Waltersbacher ve ark., 2013). Egzersiz sırasında $SpO_2 < \%88$ olması, seansın durdurulması veya oksijen desteğinin artırılması için kritik eşiktir (Mendes ve ark., 2021). Pulmoner hipertansiyonu olan bireylerde düşük yük + aralıklı protokol zorunludur; çünkü ani yüklenme hemodinamik stres yaratabilir (Aktan ve ark., 2024; Luo ve ark., 2022). Difüzyon kapasitesi (DLCO) $< \%30$ olan hastalarda hızlı yük ilerlemesi; dispne, taşikardi ve aşırı fizyolojik yanıt riskini artırır. Bu nedenle yük artışı minimum düzeyde yapılmalıdır (Mendes ve ark., 2021). Yaygın kuru öksürük, egzersiz sırasında yüklenmeyi artırabilir. Bu nedenle eğitimden önce hava yolu tahriş edici faktörlerden kaçınılmalı ve gerekirse bronkodilatör uygulanmalıdır. Egzersiz sonrası aşırı yorgunluk, kas ağrısı veya oksijen toparlanmasında gecikme görülen bireylerde seans süresi ve yük azaltılmalıdır (Hoffman ve ark., 2021). Pulmoner hipertansiyon, sağ kalp yetmezliği, belirgin taşikardi, baş dönmesi veya presenkop gelişirse, seans derhal sonlandırılmalıdır (Aktan ve ark., 2024).

Göğüs duvarı rijiditesi olan fibrotik İAH hastalarında Valsalva manevrası, intratorasik basıncı aşırı artırabileceği için kesinlikle uygulanmamalıdır (Mendes ve ark., 2021).

Bu önlemler doğrultusunda, uygun hasta seçimi ve dikkatli izlem ile SKA, İAH'ta güvenli ve etkili bir rehabilitasyon yöntemi olarak uygulanabilmektedir (Hoffman ve ark., 2021; Mendes ve ark., 2021; Rochester ve ark., 2023; Zaki ve ark., 2021).

Nöromusküler Hastalıklar ve Solunum Kası Antrenmanı

Nöromusküler hastalıklarda (NMH) solunum yetmezliği, esas olarak diyafram, interkostal ve abdominal kasların ilerleyici zayıflığına bağlı olarak gelişir. Bu ilerleyici kayıp; vital kapasitede azalma, inspiratuvar rezerv volümünün kaybı, hipoventilasyon ve gece boyunca belirginleşen alveoler hipoventilasyonla sonuçlanır (Akpa ve ark., 2024). Zamanla toraks duvarının kompliyansı azalır ve eşlik eden yapısal deformiteler—kifoskolyoz, skolyoz ve göğüs duvarı rijiditesi gibi—solunum sistemi üzerindeki mekanik yükü daha da artırır (Khan ve ark., 2023). Ekspektorasyon kapasitesinin bozulması; etkisiz öksürük, sekresyon temizliğinde yetersizlik ve bunun sonucunda tekrarlayan enfeksiyonlar, atelektazi ve ventilasyon–perfüzyon uyumsuzluğuna yol açar (Akpa ve ark., 2024; Khan ve ark., 2023).

Bu fizyopatolojik zincir, SKA'yı nöromusküler hastalıkların rehabilitasyonunda yalnızca solunum kas gücünü artırmak için değil; aynı zamanda ventilatuvar sürekliliği desteklemek, sekresyon mekaniklerini optimize etmek, diyafram fonksiyonunu korumak ve nihayetinde sağkalıma katkı sağlamak amacıyla da kritik bir müdahale aracı hâline getirmiştir (Akpa ve ark., 2024; vanKleef ve ark., 2024).

Etkinlik ve Klinik Bulgular

Gelişen kanıtlar, SKA'nın nöromusküler hastalıklarda diğer solunum hastalıklarına kıyasla daha doğrudan ve belirgin mekanik katkılar sağladığını göstermektedir. Küçük ölçekli randomize kontrollü çalışmalar ve prospektif kohort araştırmaları, SKA'nın ALS (amiyotrofik lateral skleroz), Duchenne musküler distrofisi (DMD), spinal musküler atrofi (SMA) ve çeşitli miyopatilerde MIP'yi ortalama %15–30 oranında artırdığını, MEP artışlarının ise daha sınırlı kaldığını ortaya koymuştur (Ortiz-Garcia ve ark., 2025; Yeldan ve ark., 2008).

Inspiratuvar kas dayanıklılığı ve ventilatuvar verimlilikte de iyileşmeler rapor edilmiştir. Ultrasonografik incelemeler, diyafram kalınlığında artış ve motor ünite rekrutmanında iyileşme gibi yapısal kazanımları desteklemektedir;

ancak bu bulguların örneklem büyüklüğü ve metodolojik kalitesi hâlen sınırlıdır (Watson ve ark., 2022).

SKA ayrıca; gece hipovekilasyonunu hafifletebilir, alveoler ventilasyonu artırabilir ve özellikle hafif-orta düzeyde nöromüsküler zayıflığı olan bireylerde sekresyon temizliğini kolaylaştırabilir (Khan ve ark., 2023; vanKleef ve ark., 2024). Ancak, ileri evre ALS veya ciddi miyopatik tablolarda, solunum kaslarındaki yapısal dejenerasyon SKA'nın terapötik etkilerini ciddi biçimde kısıtlamakta ve müdahale daha çok fonksiyonel kaybın yavaşlatılması amacıyla uygulanmaktadır (Khan ve ark., 2023).

Uygulama Protokolü

Nöromüsküler hastalıklarda, kas yorgunluğu riskinin yüksek olması, ventilatuvar rezervin sınırlı olması ve kolayca gelişen yetersizlik nedeniyle, SKA daha düşük başlangıç yükleri ve daha yavaş ilerleme stratejileriyle uygulanmalıdır (Akpa ve ark., 2024; Khan ve ark., 2023; vanKleef ve ark., 2024).

1- Başlangıç yükü genellikle MIP'nin %15–20'si olarak belirlenir. Yeterli tolerans gösteren, dikkatle seçilmiş hastalarda bu oran %25–30'a kadar çıkarılabilir (Khan ve ark., 2023).

2- Haftalık yük artışı KOAH ya da astım protokollerine göre daha konservatif olmalı, genellikle %2–5 düzeyinde tutulmalıdır.

3- Seans süresi başlangıçta 5–10 dakika ile sınırlanmalı, toleransa bağlı olarak 15–20 dakikaya kadar uzatılmalıdır (Akpa ve ark., 2024).

4- Aralıklı protokoller (örneğin, 1 dakika yükleme + 1 dakika dinlenme) NMH hastaları için en güvenli uygulama modelidir (Akpa ve ark., 2024).

5- SKA haftada 5–7 gün, toplamda 8–12 hafta süresince uygulanmalıdır (Khan ve ark., 2023).

6- Belirgin solunum kası zayıflığı olan, invaziv veya noninvaziv mekanik ventilasyon kullanan hastalarda; diyafram pili uygulamaları, BiPAP destekli egzersiz veya düşük basınçlı İKA cihazlarıyla kombine protokoller tercih edilmelidir (Akpa ve ark., 2024).

Güvenlik Önlemleri

SKA sırasında en önemli güvenlik endişeleri; kas aşırı yüklenmesi, ventilatuvar yorgunluk ve hipovekilasyona bağlı hiperkapni gelişimidir. Bu nedenle:

- Inspiratuvar kas gücü düşük olan bireylerde, egzersiz sırasında sistematik yorgunluk skorlama sistemleri, sürekli SpO₂ takibi ve tercihen end-tidal CO₂ ya da transkutanöz PCO₂ izlemeleri yapılmalıdır.

- NMH hastalarında yalnızca oksijen verilmesi önerilmez. Gerekli durumlarda, oksijen desteği mutlaka noninvasiv ventilasyon ile kombine edilmelidir (Khan ve ark., 2023).

Aşağıdaki belirtiler geliştiğinde eğitim hemen sonlandırılmalıdır:

- Borg dispne skoru >6,
- Kaslarda belirgin tremor,
- Baş dönmesi,
- Konuşma güçlüğü,
- Sekresyon yönetiminde yetersizlik,
- SpO₂ < %88 (Akpa ve ark., 2024; Khan ve ark., 2023).

Mekanik aşırı yüklenme, miyopatik hastalıklarda kas hasarı veya rabdomyoliz riskini artırabilir. Bu nedenle:

- Eğitim ilerlemesi asla hızlandırılmamalı,
- Valsalva manevrası, izometrik yüklenmeler ve nefes tutma kesinlikle yasaklanmalıdır (Watson ve ark., 2022).

- İleri evre ALS, DMD veya SMA vakalarında, SKA'nın amacı güç artışı değil, mevcut kas kaybını yavaşlatmak olmalıdır (Akpa ve ark., 2024; Ortiz-Garcia ve ark., 2025).

Morbid Obezite ve Solunum Kası Antrenmanı

Morbid obezitede diyaframın yukarıya doğru yer değiştirmesi, göğüs duvarı ve akciğer kompliyansında azalmaya yol açar. Buna bağlı olarak fonksiyonel rezidüel kapasite (FRC) ve ekspiratuvar rezerv volümünde (ERV) ciddi düşüşler görülür ve solunum sistemi üzerindeki mekanik yük belirgin biçimde artar. Bu yük, özellikle santral obezite durumunda, inspiratuvar kasların iş yükünü 2 ila 3 kat artırarak solunum kaslarında yorgunluk gelişimine zemin hazırlar (Littleton & Tulaimat, 2017).

Obezite hipoventilasyon sendromunda (OHS), leptin direnci ve kemoreseptör duyarlılığının azalması nedeniyle santral ventilatuvar sürükleyici gücün bozulması gibi faktörler bu mekanik bozuklukları daha da ağırlaştırır. OHS genellikle obstrüktif uyku apnesi ve kronik hiperkapni ile birlikte seyreder (Bjork ve ark., 2024; Masa ve ark., 2019). Sonuç olarak, alveoler hipoventilasyon, gündüz hiperkapnisi, egzersiz kapasitesinde düşüş, periferik kas gücünde azalma ve yaşam kalitesinde bozulma gözlenir (Rabec ve ark., 2025).

OHS'de mortaliteyi etkileyen başlıca komorbiditeler; pulmoner hipertansiyon ve sağ kalp yüklenmesidir. Bu hemodinamik sınırlayıcılar,

egzersiz reçetelendirme ve pulmoner rehabilitasyon (PR) programlarının planlanmasında mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır (Figorilli ve ark., 2025).

Pulmoner Rehabilitasyonun Etkinliği ve SKA'nın Yeri

Obezite ve OHS'de pulmoner rehabilitasyon, KOAH ya da interstisyel akciğer hastalıklarına kıyasla daha az çalışılmıştır. Ancak mevcut klinik araştırmalar, kısa vadede egzersiz kapasitesi, kilo yönetimi ve yaşam kalitesinde anlamlı iyileşmeler sağlandığını göstermektedir (Lin ve ark., 2015).

OHS'li hastalarda, noninvaziv ventilasyon (NIV) ile birlikte uygulanan 3 aylık kapsamlı rehabilitasyon programlarının; kilo kaybını kolaylaştırdığı, 6 dakika yürüme mesafesini artırdığı ve sağlıkla ilişkili yaşam kalitesini iyileştirdiği gösterilmiştir. Ancak, bu kazanımların program sonrasında uzun vadede korunması genellikle zayıf tedavi uyumu nedeniyle sınırlıdır (Han ve ark., 2020; Masa ve ark., 2020; Nayebi ve ark., 2022).

Sistemik derlemeler, obez bireylerde uygulanan inspiratuvar kas antrenmanının (IKA) maksimum inspiratuvar basıncı (MIP), fonksiyonel egzersiz performansı (ör. 6DYT) ve dispne algısını iyileştirdiğini; ancak akciğer fonksiyon testleri veya vücut kitle indeksinde anlamlı değişiklik oluşturmadığını bildirmektedir (Caicedo-Trujillo ve ark., 2023; Alqahtani ve ark., 2025). OHS'de özel olarak SKA/IKA'yı değerlendiren randomize çalışmalar az sayıda olduğundan, mevcut öneriler esasen obezite grupları ve diğer kronik solunum hastalıklarından elde edilen veriler ile uzman görüşlerine dayanmaktadır (Laveneziana ve ark., 2019; Mokhlesi ve ark., 2019).

Uygulama Protokolü

Morbid obezite, özellikle OHS varlığında, pulmoner rehabilitasyon ve SKA protokolleri KOAH'a kıyasla daha dikkatli ve bireyselleştirilmiş biçimde planlanmalıdır. Bunun nedeni; artmış mekanik yük, yaygın kardiyometabolik komorbiditeler ve gündüz/gece hiperkapninin yaygınlığıdır (Bjork ve ark., 2024; Littleton & Tulaimat, 2017; Masa ve ark., 2019; Rabec ve ark., 2025).

Ağırılık taşıyan egzersizler (ör. yürüyüş, merdiven çıkma) düşük hız ve eğimle başlatılmalı, iskelet sistemi yükünü azaltan yöntemler (ör. bisiklet ergometri, su içi egzersiz) öncelikli olarak tercih edilmelidir (Lin ve ark., 2015).

OHS'li hastalarda, egzersiz seansları noninvaziv mekanik ventilasyon (NIMV) altında veya PAP/NIV ile senkronize şekilde uygulanabilir. Bu strateji egzersiz sırasında ventilatuvar yükü azaltır ve solunum kası iş yükünü hafifletir (Han ve ark., 2020; Masa ve ark., 2020; Nayebi ve ark., 2022).

SKA açısından:

Başlangıç yükü genellikle MIP'nin %20–30'u arasında olmalı; göğüs duvarı rijiditesi ve intratorasik basınç artışı riskleri nedeniyle %40'ın üzeri kesinlikle önerilmemelidir (Caicedo-Trujillo ve ark., 2023).

Haftalık yük artışı %5–10 seviyesinde tutulmalıdır; ancak OHS, pulmoner hipertansiyon veya belirgin hiperkapni varlığında bu oran %3–5 ile sınırlandırılmalıdır (Laveneziana ve ark., 2019).

1–2 dakika yük + 1–2 dakika dinlenme içeren aralıklı protokoller, sürekli yüklemeye göre dispneyi daha az artırdığı için tercih edilmelidir (Caicedo-Trujillo ve ark., 2023; Alqahtani ve ark., 2025).

Güvenlik Önlemleri

Morbid obezite ve OHS'de PR ve SKA sırasında en kritik unsur, hasta güvenliğidir. Bu bireylerde egzersize bağlı desatürasyon ve hiperkapni, KOAH veya İAH'a kıyasla daha erken ve daha şiddetli gelişebilir (Bjork ve ark., 2024).

Egzersiz sırasında $SpO_2 < \%88$ olduğunda seans durdurulmalı, oksijen desteği artırılmalı veya egzersiz şiddeti azaltılmalıdır (Laveneziana ve ark., 2019). OHS'de pulmoner hipertansiyon ve sağ kalp yetmezliği riski nedeniyle ani yüksek şiddetli yüklemeler ve Valsalva manevrası kontrendikedir. Bu durumlar ciddi hemodinamik stres ve aritmi riskini artırır (Figorilli ve ark., 2025). Seans boyunca nabız, tansiyon, göğüs ağrısı, baş dönmesi ve presenkop gibi belirtiler yakından izlenmelidir. Obeziteye bağlı ortopedik yük örneğin düşme riski, eklem patolojisi nedeniyle denge antrenmanı, uygun ayakkabı kullanımı ve gözetimli egzersiz zorunludur. Kronik hiperkapnisi olan bireylerde ventilasyondaki hızlı artış, baş ağrısı ve nörokognitif semptomları kötüleştirebilir. Bu nedenle seans öncesi ve sonrası kan gazı değerlendirmesi gerekebilir (Mokhlesi ve ark., 2019).

Bu önlemler doğrultusunda uygulandığında, PR ve SKA; obezite ve OHS'li bireylerde egzersiz kapasitesini artıran, dispneyi azaltan ve yaşam kalitesini iyileştiren etkili ve güvenli müdahaleler olarak kabul edilmektedir (Alqahtani ve ark., 2025; Laveneziana ve ark., 2019; Mokhlesi ve ark., 2019).

Obstrüktif Uyku Apne Sendromu (OSAS) ve Solunum Kası Antrenmanı

Obstrüktif uyku apne sendromunun (OSAS) temel patofizyolojik mekanizmaları, özellikle farengeal segmentte üst havayolunun daralması, havayolu çökmesine yatkınlığın artması ve uyku sırasında nöromusküler kompensatuvar aktivitenin azalmasıdır. Obeziteye bağlı yumuşak doku hipertrofisi, dil ve farengeal yapılarda yağ birikimi, kraniofasiyal anomaliler ve sıvının servikal bölgeye yeniden dağılması, birlikte farengeal kritik kapanma

basıncını (Pcrit) yükselterek havayolu kollapsını kolaylaştırır (Hartfield ve ark., 2023; Xu ve ark., 2025).

Tekrarlayan apne–hipopne döngüleri; aralıklı hipoksi, hiperkapni, oksijen satürasyonunda dalgalanmalar ve uyanma yanıtlarında artış ile sonuçlanır. Bu olaylar, sempatik sinir sistemi aktivitesini artırarak endotel disfonksiyonu, sistemik hipertansiyon, metabolik sendrom, insülin direnci ve kardiyovasküler riskin artışı ile ilişkilidir (Arnaud ve ark., 2020).

OSAS’lı bireylerde, üst havayolunun açıklığını sürdürmek amacıyla inspiratuvar kaslar gece boyunca artan nöromusküler sürüklenmeye maruz kalır. Hipoksi, uyku bölünmesi ve fiziksel inaktivite; periferik kas performansını daha da bozarak gündüz egzersiz kapasitesinde azalmaya yol açar (Gouveris ve ark., 2020).

SKA’nın Etkinliği ve Klinik Kullanımı

OSAS tedavisinde temel yaklaşım sürekli pozitif havayolu basıncı (CPAP) veya diğer PAP yöntemleridir. Bununla birlikte, pulmoner rehabilitasyon (PR) ve SKA giderek daha fazla tamamlayıcı müdahaleler olarak değerlendirilmektedir. Güncel sistematik derlemeler ve meta-analizler, İKA’nın maksimum inspiratuvar basınçta (MIP) anlamlı artış sağladığını, gündüz uykululuğunu azalttığını (Epworth Uykululuk Skalası, ESS) ve uyku kalitesini iyileştirdiğini (Pittsburgh Uyku Kalitesi İndeksi, PSQI) göstermektedir (Nóbrega-Júnior ve ark., 2020; Silva ve ark., 2024).

Bu çalışmalarda İKA ile ortalama olarak:

- MIP’de 20–30 cmH₂O artış,
- ESS skorunda 2–4 puanlık azalma,
- PSQI skorlarında klinik açıdan anlamlı iyileşme sağlanmıştır.

Uygulama Protokolü

Randomize kontrollü çalışmalar, MIP’nin %50–60’ı (bazı protokollerde %75’e kadar) ile 6–12 hafta boyunca uygulanan İKA’nın, apne-hipopne indeksi (AHI) üzerinde mütevazı azalma, MIP’de anlamlı artış ve egzersiz performansında iyileşme sağladığını; üstelik ciddi advers olay bildirilmediğini ortaya koymaktadır (Nóbrega-Júnior ve ark., 2020).

OSAS’ta ekspiratuvar kas antrenmanı (EKA) ile ilgili çalışmalar oldukça sınırlıdır. 2024 yılında yayımlanan kontrollü bir çalışma, bazı semptomatik ve solunumsal parametrelerde fayda olabileceğini öne sürse de, örneklem büyüklüğünün küçük olması ve yöntemsel heterojenlik nedeniyle kanıt düzeyi zayıf kabul edilmektedir (Ertürk ve ark., 2024).

Bu bağlamda, CPAP tedavisiyle birlikte İKA'nın yardımcı faydalar sağlayabileceğine dair kanıtlar artmakla birlikte, henüz kesin sonuçlara ulaşmak için yeterli veri mevcut değildir. EMT'nin klinik yeri ise çok daha belirsizdir ve bu alanda yüksek kaliteli çalışmalara ihtiyaç vardır.

Güvenlik Önlemleri

OSAS'ta SKA uygulanırken, hastalığa özgü patofizyolojik dinamikler ve eşlik eden kardiyometabolik riskler dikkate alınmalıdır. Üst havayolu kollapsı, aralıklı hipoksi ve sempatik aşırı aktivite; kardiyovasküler yükü artırdığı için, İKA sırasında oluşabilecek intratorasik basınç değişimleri özellikle kontrolsüz hipertansiyon veya kardiyovasküler hastalık öyküsü olan bireylerde dikkatle izlenmelidir (Hartfield ve ark., 2023; Xu ve ark., 2025; Arnaud ve ark., 2020).

OSAS'ta nöromusküler kompensasyon, gece boyunca sürekli olarak artmış inspiratuvar sürüklenmeyle sürdürüldüğünden, bu kaslar hali hazırda fizyolojik stres altında kalmaktadır. Bu nedenle İKA, PAP tedavisinden hemen önce ya da hemen sonra değil; gün içindeki stabil dönemlerde uygulanmalıdır (Gouveris ve ark., 2020; Krause-Sorio ve ark., 2021).

Özellikle obeziteye bağlı mekanik yükü yüksek olan, sedanter bireylerde ani yorgunluk, baş dönmesi veya dispne gelişmemesi için düşük başlangıç yükleriyle başlanmalıdır (Xu ve ark., 2025).

Her ne kadar ciddi advers olaylar bildirilmemiş olsa da (Krause-Sorio ve ark., 2021; Nóbrega-Júnior ve ark., 2020), özellikle gece hipoksemisi belirgin veya PAP tedavisine uyumsuz hastalarda, eğitim süreci gözetim altında başlatılmalıdır (Torres-Castro ve ark., 2022).

Aşağıdaki klinik durumlar İKA'nın geçici olarak ertelenmesini gerektirir:

- Akut üst solunum yolu enfeksiyonu,
- Ciddi nazal obstrüksiyon,
- Aktif bronkospazm,
- Şiddetli gündüz uykululuğu,
- CPAP ile ilişkili nazal irritasyon ya da aerofaji (Ertürk ve ark., 2024; Neumannova ve ark., 2018).

Tüm bu önlemlerle birlikte uygulandığında İKA, OSAS'lı bireylerde güvenli ve etkili bir tamamlayıcı tedavi seçeneği olarak değerlendirilmektedir (Dar ve ark., 2022; Neumannova ve ark., 2018).

Perioperatif Solunum Yetmezliği ve Solunum Kası Antrenmanı

Perioperatif solunum yetmezliği, anestezi, cerrahi travma ve postoperatif mekanik-geometrik değişikliklerin birleşik etkileriyle oluşan çok faktörlü bir patofizyolojik sürecin sonucudur. Genel anestezi, fonksiyonel rezidüel

kapasiteyi (FRC) yaklaşık %15–20 oranında azaltır; diyafragmanın sefalad yer değiştirmesi, özellikle bağımlı akciğer bölgelerinde hızla atelektazi gelişimine yol açar (Ladha ve ark., 2015; Wanderer ve ark., 2021). Ameliyat sırasında düşük tidal volüm, surfaktan disfonksiyonu, oksijen absorpsiyonuna bağlı atelektazi ve ventilasyon-perfüzyon (V/Q) uyumsuzluğu birlikte hipoksemiye neden olur (Ladha ve ark., 2015; Lagier ve ark., 2022).

Postoperatif dönemde ağrı, hipoventilasyon, derin nefes alma kısıtlılığı, öksürük refleksinin baskılanması ve sekresyon retansiyonu; bronşiyal kapanmaya eğilimi artırarak mikroatektazi ve enfeksiyon riskini yükseltir. Ayrıca opioid analjezikler, diyafram ve interkostal kas aktivitesini azaltarak alveoler hipoventilasyonu ve dolayısıyla hiperkapniyi kolaylaştırabilir (Wanderer ve ark., 2021).

Abdominal ve torasik cerrahi sonrası diyafragmatik hareket açıklığı %50'ye kadar azalabilir ve bu da solunum kaslarında artan mekanik yüke ve yetersizliğe neden olabilir (ISICEM 44th, 2025; Lagier ve ark., 2022). KOAH, obezite, ileri yaş ya da düşük preoperatif inspiratuvar kas gücü gibi komorbiditelerin varlığı, postoperatif solunum yetmezliği riskini daha da artırır (ISICEM 44th, 2025).

Solunum Kası Antrenmanının Etkinliği

Perioperatif dönemde SKA özellikle torasik ve abdominal cerrahi geçirecek hastalarda, postoperatif pulmoner komplikasyonları (PPC) azaltma ve ventilatuvar iyileşmeyi hızlandırma potansiyeli nedeniyle kanıta dayalı bir strateji olarak öne çıkmıştır. Preoperatif dönemde 2–4 hafta süresince uygulanan inspiratuvar kas antrenmanı (İKA), diyafram kalınlığını ve maksimum inspiratuvar basıncı (MIP) anlamlı ölçüde artırmakta; postoperatif atelektazi, pnömoni ve mekanik ventilasyon süresini %30–50 oranında azaltmaktadır (Katsura ve ark., 2015; Yu ve ark., 2025).

Yüksek kaliteli randomize kontrollü çalışmalar, MIP'nin %30–50'si yoğunluğunda uygulanan İKA'nın, FVC ve FEV₁ iyileşmesini hızlandırdığını, dispne skorlarını düşürdüğünü ve hastanede kalış süresini kısalttığını göstermektedir (Cordeiro ve ark., 2022; Katsura ve ark., 2015; Yu ve ark., 2025). Son meta-analizlerde, preoperatif İKA, PPC riskini anlamlı ölçüde azaltan Seviye A müdahale olarak sınıflandırılmıştır (Cordeiro ve ark., 2016; ISICEM 44th, 2025).

Postoperatif dönemde, düşük-orta yoğunlukta erken başlanan İKA; ventilatuvar rezervi artırmak, sekresyon drenajını desteklemek ve oksijenlenmeyi iyileştirmek açısından özellikle diyafragmatik performansı zayıf olan hastalarda fayda sağlamaktadır (Cordeiro ve ark., 2022).

Uygulama Protokolü

İKA, torasik, kardiyak ve üst abdominal cerrahiler öncesinde preoperatif optimizasyonun temel bir parçası haline gelmiştir. Cerrahiden 2–4 hafta önce, MIP'nin %30–50'siyle başlanan ve haftalık %5–10'luk artışlarla ilerletilen, günde 1–2 kez 15–20 dakikalık eşik dirençli antrenmanlar, anlamlı MIP artışı, diyafram kalınlığında artış ve PPC'lerde %30–50 azalma sağlamaktadır (Cordeiro ve ark., 2022; Yu ve ark., 2025).

Postoperatif dönemde yeterli ağrı kontrolü ve hemodinamik stabilite sağlandıktan sonra İKA, daha düşük yüklerle (%20–30 MIP) yeniden başlatılabilir. Bu aşamadaki hedefler; ventilatuvar rezervi artırmak, hipoventilasyonu azaltmak ve sekresyon drenajını kolaylaştırmaktır (Katsura ve ark., 2015; Cordeiro ve ark., 2022). KOAH, OSAS veya ILD gibi kronik hastalıklarda kullanılan yüksek yoğunluklu uzun süreli İKA protokollerinden farklı olarak, perioperatif İKA daha koruyucu ve bireyselleştirilmiş ilerleme gerektirir.

İnsizyon yeri, postoperatif ağrı, opioid kaynaklı solunum depresyonu ve dikiş hattının korunması gibi faktörler göz önünde bulundurulmalı; Valsalva manevrası ve maksimal inspiratuvar eforlardan kaçınılmalıdır (Cordeiro ve ark., 2016; Katsura ve ark., 2015). Kardiyak cerrahi geçiren veya yüksek riskli hastalarda, İKA mutlaka gözetimli başlatılmalı ve erken mobilizasyon programlarıyla entegre edilmelidir (Cordeiro ve ark., 2016; Katsura ve ark., 2015; Yu ve ark., 2025).

Güvenlik Önlemleri

Perioperatif dönemde İKA'nın güvenliği, cerrahi travma, anestezi etkileri ve mekanik kısıtlılıklar nedeniyle kronik solunum hastalıklarından farklılık gösterir. Torasik ve abdominal cerrahi sonrası insizyona bağlı ağrı, diyafragmatik hareket azalması ve opioid kaynaklı solunum depresyonu, yüksek yoğunluklu inspiratuvar manevraların tolere edilmesini zorlaştırır. Bu nedenle postoperatif dönemde İKA düşük yüklerle (%20–30 MIP) başlatılmalı ve Valsalva manevrası kesinlikle önlenmelidir (Cordeiro ve ark., 2022; Katsura ve ark., 2015; Yu ve ark., 2025).

Aşağıdaki durumlarda İKA ertelenmelidir:

- Hemodinamik instabilite,
- Kontrolsüz aritmi,
- Aktif cerrahi kanama,
- Ciddi ağrı veya dren baskısı.
- Kardiyak cerrahi sonrası erken dönem seanslar mutlaka gözetimli ve monitörize koşullarda yapılmalıdır (Katsura ve ark., 2015; Yu ve ark., 2025).

Atelektazi, sekresyon retansiyonu veya hipoventilasyon riski taşıyan hastalarda İKA; derin solunum egzersizleri, öksürük antrenmanı ve erken mobilizasyonla birleştirilmelidir. Yüksek ateş, nötropeni, üst solunum yolu ödemi veya bronkospazm durumlarında ise geçici olarak durdurulmalıdır. Ayrıca aşırı inspiratuvar eforlar, dikeş hattındaki gerilimi artırabileceğinden kaçınılmalıdır (Cordeiro ve ark., 2022; Katsura ve ark., 2015).

Güncel meta-analizler, uygun hasta seçimi ve kontrollü ilerleme ile uygulandığında İKA'nın perioperatif dönemde güvenli ve etkili olduğunu ve ciddi advers olay bildirilmediğini göstermektedir (Cordeiro ve ark., 2022; Katsura ve ark., 2015; Yu ve ark., 2025).

Diğer Solunum Hastalıkları ve Solunum Kası Antrenmanı

Pulmoner hipertansiyonda (PH), artmış sağ ventrikül yükü, azalmış pulmoner ve periferik perfüzyon, periferik kas disfonksiyonu ve kronik hiperventilasyon paternleri nedeniyle solunum kas fonksiyonu belirgin şekilde bozulur. Bu mekanizmalar bir araya geldiğinde maksimum inspiratuvar basınçta (MIP) azalma, ventilatuvar verimsizlik ve belirgin efor dispnesi gelişir. Güncel randomize kontrollü çalışmalar, MIP'nin %30–60'ı şiddetinde 8–12 haftalık SKA uygulamasının MIP'te anlamlı artışlar, 6 dakika yürüme mesafesinde iyileşme, ventilatuvar verimsizlikte azalma ve yaşam kalitesinde belirgin düzelme sağladığını göstermektedir (Aslan ve ark., 2020; Luo ve ark., 2022). 2022 tarihli bir meta-analiz, İKA'nın WHO Fonksiyonel Sınıf II–III PH hastalarında ventilatuvar rezervi artırdığını ve dispne skorlarını anlamlı düzeyde düşürdüğünü bildirmiştir (Luo ve ark., 2022). Bu bulgular, SKA'nın PH hastalarında güvenli ve etkili tamamlayıcı bir müdahale olduğunu desteklemektedir.

Post-COVID-19 sendromunda görülen dispne, egzersiz intoleransı ve düşük MIP/MEP değerleri; viral miyopati, nöromüsküler ileti bozukluğu ve uzun süreli yatak istirahati sonucu gelişen diyafram zayıflığı ile ilişkilidir. Randomize kontrollü çalışmalar, MIP'nin %30–50'si yoğunluğunda 6–8 haftalık eşik basınçlı inspiratuvar kas antrenmanının; MIP'te anlamlı artış, ventilatuvar verimlilikte iyileşme, dispne skorlarında azalma ve ortalama 30–50 metrelik 6 dakika yürüme mesafesi artışı sağladığını göstermektedir (Abodonya ve ark., 2021; Bento ve ark., 2023). 2023 tarihli bir sistematik derleme, İKA'nın post-COVID-19 sendromlu hastalarda—özellikle kalıcı dispne ve düşük MIP değerlerine sahip olanlarda—etkili ve güvenli bir rehabilitasyon modülü olduğunu vurgulamıştır (Bento ve ark., 2023).

Kistik fibroziste (CF) kronik hava yolu inflamasyonu, bronşiektaziye bağlı artmış ventilatuvar yük ve akciğer hiperinflasyonu diyaframda mekanik

dezavantaj oluşturur ve inspiratuvar kas yorgunluğuna zemin hazırlar. İKA'ye yönelik randomize kontrollü çalışmalar, 6–10 haftalık eğitim programlarının MIP'te artış, egzersiz toleransında iyileşme ve dispne azalma sağladığını göstermiştir; ancak örneklem büyüklüklerinin küçük olması nedeniyle bu hastalık grubundaki kanıt düzeyi, KOAH veya OSAS'a kıyasla daha düşüktür (García-Pérez-de-Sevilla ve ark., 2022). 2022 tarihli bir sistematik derleme, İKA'nın CF'de güvenli olduğunu ve özellikle hafif-orta şiddette hastalığı olan bireylerde fonksiyonel kapasiteyi artırabileceğini bildirmiştir. Bununla birlikte, uygulanan protokollerin heterojenliği nedeniyle henüz standart klinik öneriler yapılamamaktadır (García-Pérez-de-Sevilla ve ark., 2022; Enright ve ark., 2004). Yine de hava hapsine bağlı mekanik dezavantajı azaltma ve solunum kas dayanıklılığını artırma potansiyeli nedeniyle SKA, CF'de makul bir tamamlayıcı tedavi olarak değerlendirilmektedir.

Geleceğe Yönelik Gelişmeler ve Klinik Perspektif

SKA, yalnızca klasik solunum hastalıklarında değil; kardiyometabolik hastalıklar, nöromüsküler bozukluklar, obezite, post-COVID sendromu ve perioperatif bakım gibi geniş bir klinik yelpazede çok disiplinli bir rehabilitasyon stratejisine dönüşmüştür. Gelecekteki SKA uygulamalarının; sensör tabanlı yük izleme teknolojileri, telerehabilitasyon platformları, yapay zeka destekli yük ayarlama algoritmaları ve diyaframa odaklanan ultrasonografi değerlendirmeleri ile daha bireyselleştirilmiş, gerçek zamanlı ve optimize edilmiş modellerle gelişmesi beklenmektedir (Bello ve ark., 2025; Torres-Castro ve ark., 2025; vanKleef ve ark., 2024).

Kas biyolojisi, diyafragmatik görüntüleme ve nöromotor kontrol alanlarındaki translasyonel araştırmalar, SKA'dam en fazla fayda görebilecek klinik fenotiplerin belirlenmesinde kilit rol oynayacaktır (vanKleef ve ark., 2024). Ayrıca SKA'nın kardiyopulmoner rezervi artırma, otonom sinir sistemi aktivitesini modüle etme ve periferik kas oksijen kullanımını iyileştirme gibi çok boyutlu etkileri, onu yalnızca tamamlayıcı bir yaklaşım değil; aynı zamanda cerrahi süreçler, yoğun bakım rehabilitasyonu ve kronik hastalık yönetimi için de temel bir tedavi bileşeni haline getirmektedir (Bello ve ark., 2025; vanKleef ve ark., 2024).

İKA ve EKA Karşılaştırması: Klinik Rol ve Kanıt Düzeyi

SKA kavramsal olarak hem inspiratuvar kas antrenmanı hem de ekspiratuvar kas antrenmanı uygulamalarını içerir. Ancak güncel literatür büyük oranda İKA çalışmalarına dayanmaktadır; randomize kontrollü çalışmaların ve meta-analizlerin çoğu İKA üzerinde yoğunlaşmış olup daha

yüksek düzeyde kanıt ve klinik öneriler sunmaktadır (Bello ve ark., 2025; vanKleef ve ark., 2024). Buna karşılık EKA'ya dair çalışmalar sınırlıdır; örneklem büyüklükleri küçüktür, protokoller heterojendir ve metodolojik kalite düşüktür. Bu nedenle EKA'nın kanıt düzeyi daha zayıf kalmaktadır (Erturk ve ark., 2023; Templeman ve ark., 2020).

Tüm bu sınırlamalara rağmen EMT, özellikle öksürük etkinliğinde azalma ya da ekspiratuvar kas zayıflığı bulunan popülasyonlarda (ALS, DMD, omurilik yaralanması, kronik bronşit, bronşiektazi, obeziteye bağlı ventilatuvar bozukluklar) klinik olarak anlamlı katkılar sağlayabilir (Templeman ve ark., 2020; Xiang ve ark., 2025). Ayrıca ses terapisi, Parkinson hastalığı ve atletik performans alanlarında yeni uygulama alanları tanımlansa da bu kullanımların kanıt düzeyi henüz düşüktür (Benzo-Iglesias ve ark., 2025).

Genel olarak EMT, İKA'nın tek başına yeterli olmadığı durumlarda tamamlayıcı bir modalite olarak değerlendirilmeli ve birincil tedavi yaklaşımı olarak değil, destekleyici bir strateji olarak uygulanmalıdır (Erturk ve ark., 2023; Templeman ve ark., 2020; Xiang ve ark., 2025).

Mevcut veriler, SKA'nın düşük maliyetli, güvenli ve geniş klinik uygulanabilirliği sayesinde rehabilitasyonun temel bileşenlerinden biri haline geleceğini güçlü şekilde desteklemektedir. Hem İKA hem de EKA modalitelerinin uygun hasta gruplarında dikkatli planlama ve gözetimle uygulanması, solunum kas fonksiyonlarının iyileştirilmesi ve yaşam kalitesinin artırılması açısından önemli bir potansiyele sahiptir.

Kaynaklar

- Abodonya, A. M., Abdelbasset, W. K., Awad, E. A., Elalfy, I. E., Salem, H. A., & Elsayed, S. H. (2021). Inspiratory muscle training for recovered COVID-19 patients after weaning from mechanical ventilation: A pilot control clinical study. *Medicine (Baltimore)*, 100(13), e25339. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000025339>
- Akpa, B., Pusalavidyasagar, S., & Iber, C. (2024). Respiratory issues and current management in neuromuscular diseases: A narrative review. *Journal of Thoracic Disease*, 16(9), 6292–6307. <https://doi.org/10.21037/jtd-23-1931>
- Aktan, R., Tertemiz, K. C., Yiğit, S., Özalevli, S., Özgen Alpaydın, A., & Uçan, E. S. (2024). Effects of home-based telerehabilitation-assisted inspiratory muscle training in patients with idiopathic pulmonary fibrosis: A randomized controlled trial. *Respirology*, 29. <https://doi.org/10.1111/resp.14810>
- Alqahtani, M. M., Nuhmani, S., AlQuaimi, M., Al-Subaiei, M. E., Ahmad, S., Alsomali, H. J., & Shanb, A. (2025). Effects of inspiratory muscle training on functional fitness in obese and overweight adults: A systematic review of randomised control trials. *Electronic Journal of General Medicine*, 22(6), em700. <https://doi.org/10.29333/ejgm/17394>
- Ammous, O., Feki, W., Lotfi, T., Khamis, A. M., Gosselink, R., Rebai, A., & Kammoun, S. (2023). Inspiratory muscle training, with or without concomitant pulmonary rehabilitation, for chronic obstructive pulmonary disease (COPD). *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2023(1), CD013778. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD013778.pub2>
- Arnaud, C., Bochaton, T., Pépin, J. L., & Belaidi, E. (2020). Obstructive sleep apnoea and cardiovascular consequences: Pathophysiological mechanisms. *Archives of Cardiovascular Diseases*, 113(5), 350–358. <https://doi.org/10.1016/j.acvd.2020.01.003>
- Aslan, G. K., Akıncı, B., Yeldan, I., & Okumuş, G. (2020). A randomized controlled trial on inspiratory muscle training in pulmonary hypertension: Effects on respiratory functions, functional exercise capacity, physical activity, and quality of life. *Heart & Lung*, 49(4), 381–387. <https://doi.org/10.1016/j.hrtlng.2020.01.014>
- Azambuja, A. C. M., de Oliveira, L. Z., & Sbruzzi, G. (2020). Inspiratory muscle training in patients with heart failure: What is new? Systematic review and meta-analysis. *Physical Therapy*, 100(12), 2099–2109. <https://doi.org/10.1093/ptj/pzaa171>

- Barnes, P. J. (2014). Cellular and molecular mechanisms of asthma. *Clinics in Chest Medicine*, 35(1), 71–86. <https://doi.org/10.1016/j.ccm.2013.10.004>
- Barreiro, E., & Gea, J. (2015). Respiratory and limb muscle dysfunction in COPD. *COPD: Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*, 12(4), 413–426. <https://doi.org/10.3109/15412555.2014.974737>
- Bello, G., De Pascale, G., Antonelli, M., Longhini, F., Bruni, A., Heunks, L., Arriagada, R., San Martín, C., Martí, J. D., Rocco, P. R. M., Gosselink, R., Schultz, M. J., & Battaglini, D. (2025). Respiratory muscle dysfunction in older critically ill patients: Implications for rehabilitation. *Anaesthesia Critical Care & Pain Medicine*, 2025, 101657. <https://doi.org/10.1016/j.accpm.2025.101657>
- Bento, H., Fisk, E., Johnson, E., Goudelock, B., Hunter, M., & Hoekstra, D. (2023). Inspiratory muscle training while hospitalized with acute COVID-19 respiratory failure: A randomized controlled trial. *Journal of Acute Care Physical Therapy*, 14(3), 134–142. <https://doi.org/10.1097/JAT.0000000000000217>
- Benzo-Iglesias, M. J., Rocamora-Pérez, P., Valverde-Martínez, M., García-Luengo, A., Benzo-Iglesias, P. M., & López-Liria, R. (2025). Efficacy of respiratory muscle training in improving pulmonary function and survival in patients with amyotrophic lateral sclerosis: A systematic review and meta-analysis. *Therapeutic Advances in Respiratory Disease*, 19, 1–15. <https://doi.org/10.1177/17534666251346095>
- Bishop, J. A., Spencer, L. M., Dwyer, T. J., McKeough, Z. J., McAnulty, A., Leung, R., & Alison, J. A. (2025). Effect of pulmonary rehabilitation duration on exercise capacity and health-related quality of life in people with chronic obstructive pulmonary disease: PuRe Duration Trial. *Respirology*, 30(1), 41–50. <https://doi.org/10.1111/resp.14820>
- Bjork, S., Jain, D., Marliere, M. H., Predescu, S. A., & Mokhlesi, B. (2024). Obstructive sleep apnea, obesity hypoventilation syndrome, and pulmonary hypertension: A state-of-the-art review. *Sleep Medicine Clinics*, 19(2), 307–325. <https://doi.org/10.1016/j.jsmc.2024.02.009>
- Bolton, C. E., Bevan-Smith, E. F., Blakey, J. D., Crowe, P., Elkin, S. L., Garrod, R., et al. (2013). British Thoracic Society guideline on pulmonary rehabilitation in adults. *Thorax*, 68(Suppl 2), ii1–ii30. <https://doi.org/10.1136/thoraxjnl-2013-203808>
- Caicedo-Trujillo, S., Torres-Castro, R., Vasconcello-Castillo, L., Solis-Navarro, L., Sanchez-Ramirez, D., Núñez-Cortés, R., et al. (2023). Inspiratory muscle training in patients with obesity: A systematic review and meta-

- analysis. *Frontiers in Medicine*, 10, 1284689. <https://doi.org/10.3389/fmed.2023.1284689>
- Chung, Y., Huang, T. Y., Liao, Y. H., & Kuo, Y. C. (2021). Twelve-week inspiratory muscle training improves respiratory muscle strength in adults with stable asthma: A randomized controlled trial. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(6), 3267. <https://doi.org/10.3390/ijerph18063267>
- Cordeiro, A. L. L., Melo, T., Silva Jr, J. M., et al. (2022). Effects of inspiratory muscle training on pulmonary function and functional capacity in upper abdominal surgery: Randomized controlled trial. *Chest*, 162(1), 64–75.
- Dar, J. A., Mujaddadi, A., & Moiz, J. A. (2022). Effects of inspiratory muscle training in patients with obstructive sleep apnoea syndrome: A systematic review and meta-analysis. *Sleep Science*, 15(4), 480–489. <https://doi.org/10.5935/1984-0063.20220081>
- de Oca, M. M., Perez-Padilla, R., Celli, B., Aaron, S. D., Wehrmeister, F. C., Amaral, A. F. S., et al. (2025). The global burden of COPD: Epidemiology and effect of prevention strategies. *The Lancet Respiratory Medicine*, 13(8), 709–724. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(24\)00339-4](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(24)00339-4)
- Duruturk, N., Acar, M., & Dogrul, M. I. (2018). Effect of inspiratory muscle training in the management of patients with asthma: A randomized controlled trial. *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation and Prevention*, 38(3), 198–203. <https://doi.org/10.1097/HCR.0000000000000318>
- Enright, S., Chatham, K., Ionescu, A. A., Unnithan, V. B., & Shale, D. J. (2004). Inspiratory muscle training improves lung function and exercise capacity in adults with cystic fibrosis. *Chest*, 126(2), 405–411. <https://doi.org/10.1378/chest.126.2.405>
- Erturk, N., Celik, A., & Calik Kutukcu, E. (2023). High- and low-intensity expiratory muscle strength training in patients with severe obstructive sleep apnea syndrome using non-invasive mechanical ventilation: A double-blinded, randomized controlled trial. *Heart & Lung*, 61, 29–36. <https://doi.org/10.1016/j.hrtlng.2023.03.009>
- Erturk, N., Celik, A., Kahraman Yaman, S., Yaman, H., Unal, F., & Calik Kutukcu, E. (2024). Expiratory muscle strength training reduces oxidative stress and systemic inflammation in men with obstructive sleep apnea syndrome: A double-blinded, randomized parallel trial. *Sleep*, 47(12), zsae221. <https://doi.org/10.1093/sleep/zsae221>

- Figorilli, M., Velluzzi, F., & Redolfi, S. (2025). Obesity and sleep disorders: A bidirectional relationship. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 35(6), 104014. <https://doi.org/10.1016/j.numecd.2025.104014>
- Figueiredo, R. I. N., Azambuja, A. M., Cureau, F. V., & Sbruzzi, G. (2020). Inspiratory muscle training in COPD: A systematic review. *Respiratory Care*, 65(8), 1189–1201. <https://doi.org/10.4187/respcare.07098>
- García-Pérez-de-Sevilla, G., Yvert, T., Blanco, Á., Sosa Pedreschi, A. I., Thuissard, I. J., & Pérez-Ruiz, M. (2022). Effectiveness of physical exercise interventions on pulmonary function and physical fitness in children and adults with cystic fibrosis: A systematic review with meta-analysis. *Healthcare (Basel)*, 10(11), 2205. <https://doi.org/10.3390/healthcare10112205>
- Geddes, E. L., O'Brien, K., Reid, W. D., Brooks, D., & Crowe, J. (2008). Inspiratory muscle training in adults with chronic obstructive pulmonary disease: An update of a systematic review. *Respiratory Medicine*, 102(12), 1715–1729. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2008.07.005>
- Global Initiative for Asthma (GINA). (2024). *Global strategy for asthma management and prevention (2024 update)*. Fontana, WI: GINA.
- Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease (GOLD). (2025). *Global strategy for the diagnosis, management, and prevention of chronic obstructive pulmonary disease (2025 report)*. GOLD.
- Gordon, C. S., Waller, J. W., Cook, R. M., Cavallera, S. L., Lim, K. T., & Osadnik, C. R. (2019). Effect of pulmonary rehabilitation on symptoms of anxiety and depression in chronic obstructive pulmonary disease: A systematic review and meta-analysis. *Chest*, 156(1), 80–91. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2019.04.009>
- Gouveris, H., Bahr, K., Schmitt, E., Abriani, A., Boekstegers, T., Fassnacht, S., et al. (2020). Corticoperipheral neuromuscular disconnection in obstructive sleep apnoea. *Brain Communications*, 2(1), fcaa056. <https://doi.org/10.1093/braincomms/fcaa056>
- Gray, E., Menadue, C., Piper, A., Wong, K., Kiernan, M., & Yee, B. (2024). Hypercapnia is not excluded by normoxia in neuromuscular disease patients: Implications for oximetry. *ERJ Open Research*, 10, 00927–2023. <https://doi.org/10.1183/23120541.00927-2023>
- Han, B., Chen, Z., Ruan, B., Chen, Y., Lv, Y., Li, C., & Yu, L. (2024). Effects of inspiratory muscle training in people with chronic obstructive pulmonary disease: A systematic review and meta-analysis. *Life (Basel)*, 14(11), 1470. <https://doi.org/10.3390/life14111470>

- Han, T., Zhang, L., Yu, C. Y., Li, Y. M., Wang, Y., & Zhang, X. L. (2020). Ventilatory response to exercise is preserved in patients with obesity hypoventilation syndrome. *Journal of Clinical Sleep Medicine*, 16(12), 2089–2098. <https://doi.org/10.5664/jcsm.8766>
- Hartfield, P. J., Janczy, J., Sharma, A., Newsome, H. A., Sparapani, R. A., Rhee, J. S., et al. (2023). Anatomical determinants of upper airway collapsibility in obstructive sleep apnea: A systematic review and meta-analysis. *Sleep Medicine Reviews*, 68, 101741. <https://doi.org/10.1016/j.smrv.2022.101741>
- Hoffman, M. (2021). Inspiratory muscle training in interstitial lung disease: A systematic scoping review. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, 47(4), e20210089. <https://doi.org/10.36416/1806-3756/e20210089>
- Iaia, F. M., Hellsten, Y., Nielsen, J. J., Fernström, M., Sahlin, K., & Bangsbo, J. (2009). Four weeks of speed endurance training reduces energy expenditure during exercise and maintains muscle oxidative capacity despite a reduction in training volume. *Journal of Applied Physiology* (1985), 106(1), 73–80. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.90676.2008>
- Ichiba, T., Miyagawa, T., Tsuda, T., Kera, T., & Yasuda, O. (2023). Changes in diaphragm thickness and 6-min walking distance improvement after inspiratory muscle training in patients with chronic obstructive pulmonary disease: Clinical trial. *Heliyon*, 9(9), e20079. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20079>
- International Symposium on Intensive Care & Emergency Medicine (44th ISICEM). (2025). *Critical Care*, 29(Suppl 1), 97. <https://doi.org/10.1186/s13054-025-05304-y>
- Katsura, M., Kuriyama, A., Takeshima, T., Fukuhara, S., & Furukawa, T. A. (2015). Preoperative inspiratory muscle training for postoperative pulmonary complications in adults undergoing cardiac and major abdominal surgery. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2015(10), CD010356. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD010356.pub2>
- Khan, A., Frazer-Green, L., Amin, R., Wolfe, L., Faulkner, G., Casey, K., et al. (2023). Respiratory management of patients with neuromuscular weakness: An American College of Chest Physicians clinical practice guideline and expert panel report. *Chest*, 164(2), 394–413. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2023.03.011>
- Krause-Sorio, B., An, E., Aguila, A. P., Martinez, F., Aysola, R. S., & Macey, P. M. (2021). Inspiratory muscle training for obstructive sleep apnea: Protocol development and feasibility of home practice by sedentary

- adults. *Frontiers in Physiology*, 12, 737493. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.737493>
- Ladha, K., Melo, M. F. V., McLean, D. J., Wanderer, J. P., Grabitz, S. D., Kurth, T., & Eikermann, M. (2015). Intraoperative protective mechanical ventilation and risk of postoperative respiratory complications: A systematic review and individual patient data meta-analysis. *BMJ*, 351, h3646. <https://doi.org/10.1136/bmj.h3646>
- Lagier, D., Zeng, C., Fernandez-Bustamante, A., & Vidal Melo, M. F. (2022). Perioperative pulmonary atelectasis: Part II. Clinical implications. *Anesthesiology*, 136(1), 206–236. <https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000004009>
- Lamberton, C. E., & Mosher, C. L. (2024). Review of the evidence for pulmonary rehabilitation in COPD: Clinical benefits and cost-effectiveness. *Respiratory Care*, 69(6), 686–696. <https://doi.org/10.4187/respcare.11541>
- Laveneziana, P., Albuquerque, A., Aliverti, A., Babb, T., Barreiro, E., Dres, M., et al. (2019). ERS statement on respiratory muscle testing at rest and during exercise. *European Respiratory Journal*, 53(6), 1801214. <https://doi.org/10.1183/13993003.01214-2018>
- Lin, X., Zhang, X., Guo, J., Roberts, C. K., McKenzie, S., Wu, W. C., et al. (2015). Effects of exercise training on cardiorespiratory fitness and biomarkers of cardiometabolic health: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of the American Heart Association*, 4(7), e002014. <https://doi.org/10.1161/JAHA.115.002014>
- Lista-Paz, A., Bouza Cousillas, L., Jácome, C., Fregonezi, G., Labata-Lezaun, N., Llurda-Almuzara, L., & Pérez-Bellmunt, A. (2023). Effect of respiratory muscle training in asthma: A systematic review and meta-analysis. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 66(3), 101691. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2022.101691>
- Littleton, S. W., & Tulaimat, A. (2017). The effects of obesity on lung volumes and oxygenation. *Respiratory Medicine*, 124, 15–20. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2017.01.004>
- Liu, S., Yang, A., Yu, Y., Xu, B., Yu, G., & Wang, H. (2025). Exercise prescription training in chronic obstructive pulmonary disease: Benefits and mechanisms. *International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*, 20, 1071–1082. <https://doi.org/10.2147/COPD.S512275>
- Luo, Z., Qian, H., Zhang, X., Wang, Y., Wang, J., & Yu, P. (2022). Effectiveness and safety of inspiratory muscle training in patients with pulmonary

- hypertension: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, 9, 999422. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2022.999422>
- Masa, J. F., Benítez, I., Sánchez-Quiroga, M. Á., Gomez de Terreros, F. J., Corral, J., Romero, A., et al. (2020). Long-term noninvasive ventilation in obesity hypoventilation syndrome without severe OSA: The Pickwick randomized controlled trial. *Chest*, 158(3), 1176–1186. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2020.03.068>
- Masa, J. F., Pépin, J. L., Borel, J. C., Mokhlesi, B., Murphy, P. B., & Sánchez-Quiroga, M. Á. (2019). Obesity hypoventilation syndrome. *European Respiratory Review*, 28(151), 180097. <https://doi.org/10.1183/16000617.0097-2018>
- McCool, F. D., & Tzelepis, G. E. (2012). Inspiratory muscle training in the patient with neuromuscular disease: What is the evidence? *Chest*, 142(3), 763–769. <https://doi.org/10.1093/ptj/75.11.1006>
- Mendes, R. G., Castello-Simões, V., Trimer, R., Garcia-Araújo, A. S., Gonçalves da Silva, A. L., Dixit, S., et al. (2021). Exercise-based pulmonary rehabilitation for interstitial lung diseases: A review of components, prescription, efficacy, and safety. *Frontiers in Rehabilitation Sciences*, 2, 744102. <https://doi.org/10.3389/fresc.2021.744102>
- Mokhlesi, B., Masa, J. F., Brozek, J. L., Gurubhagavatula, I., Murphy, P. B., Piper, A. J., et al. (2019). Evaluation and management of obesity hypoventilation syndrome: An official American Thoracic Society clinical practice guideline. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 200(3), e6–e24. <https://doi.org/10.1164/rccm.201905-1071ST>
- Nayebi, A., Naderi, Z., Sami, R., Hashemi, M., Aalipoor, Z., & Amra, B. (2022). Evaluation of the effects of noninvasive ventilation on blood gas and depression levels of patients with obesity hypoventilation syndrome. *Advances in Biomedical Research*, 11, 73. https://doi.org/10.4103/abr.abr_216_21
- Neumannova, K., Hobzova, M., Sova, M., & Prasko, J. (2018). Pulmonary rehabilitation and oropharyngeal exercises as an adjunct therapy in obstructive sleep apnea: A randomized controlled trial. *Sleep Medicine*, 52, 92–97. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2018.03.022>
- Nóbrega-Júnior, J. C. N., Dornelas de Andrade, A., de Andrade, E. A. M., Andrade, M. D. A., Ribeiro, A. S. V., & Pedrosa, R. P. (2020). Inspiratory muscle training in the severity of obstructive sleep apnea, sleep quality and excessive daytime sleepiness: A placebo-controlled, randomized trial.

- Nature and Science of Sleep*, 12, 1105–1113.
<https://doi.org/10.2147/NSS.S269360>
- Ortiz-Garcia, J. N., Rueda-Capristan, D. E., Kumarr, A., Herrera, D. A., Alanso-Ramirez, A. C., & Orthon-Martinez, D. (2025). The impact of respiratory muscle training on respiratory function in patients with neuromuscular disease: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 17, 12.
<https://doi.org/10.1186/s13102-025-01198-z>
- Ottenheijm, C. A., Heunks, L. M., Sieck, G. C., Zhan, W. Z., Jansen, S. M., & Degens, H. (2005). Diaphragm dysfunction in chronic obstructive pulmonary disease. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 172(2), 200–205. <https://doi.org/10.1164/rccm.200502-262OC>
- Puhan, M. A., Gimeno-Santos, E., Cates, C. J., & Troosters, T. (2016). Pulmonary rehabilitation following exacerbations of chronic obstructive pulmonary disease. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 12, CD005305. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD005305.pub4>
- Qi, X. H., Ren, H. M., Wang, N., Shi, X. P., Wang, X. X., & Wang, Y. (2025). Effects of respiratory muscle training on clinical outcomes in patients with chronic obstructive pulmonary disease: A systematic review and meta-analysis. *Annals of Thoracic Medicine*, 20(4), 213–221.
https://doi.org/10.4103/atm.atm_230_24
- Rabe, K. F., & Watz, H. (2017). Chronic obstructive pulmonary disease. *The Lancet*, 389(10082), 1931–1940. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)31222-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)31222-9)
- Rabec, C., Janssens, J. P., & Murphy, P. B. (2025). Ventilation in the obese: Physiological insights and management. *European Respiratory Review*, 34(176), 240190. <https://doi.org/10.1183/16000617.0190-2024>
- Ramirez-Sarmiento, A., Orozco-Levi, M., Guell, R., Barreiro, E., Hernandez, N., Mota, S., et al. (2002). Inspiratory muscle training in patients with chronic obstructive pulmonary disease: Structural adaptation and physiologic outcomes. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 166(11), 1491–1497.
<https://doi.org/10.1164/rccm.200202-075OC>
- Rochester, C. L., Alison, J. A., Carlin, B., Jenkins, A. R., Cox, N. S., Bauldoff, G., et al. (2023). Pulmonary rehabilitation for adults with chronic respiratory disease: An official American Thoracic Society clinical practice guideline. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 208(4), e7–e26. <https://doi.org/10.1164/rccm.202306-1066ST>

- Schrijver, J., Lenferink, A., Brusse-Keizer, M., Zwerink, M., van der Valk, P. D., van der Palen, J., et al. (2022). Self-management interventions for people with chronic obstructive pulmonary disease. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 1(1), CD002990. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD002990.pub4>
- Shapiro, S. D. (1995). The pathogenesis of emphysema: The elastase:antielastase hypothesis 30 years later. *Proceedings of the Association of American Physicians*, 107(3), 346–352. PMID: 8608421
- Shei, R. J., Paris, A. L. R., Wilhite, D. P., Chapman, R. F., & Mickleborough, T. D. (2016). The role of inspiratory muscle training in the management of asthma and exercise-induced bronchoconstriction. *Physician and Sportsmedicine*, 44(4), 327–334. <https://doi.org/10.1080/00913847.2016.1176546>
- Silva de Sousa, A., Pereira da Rocha, A., Brandão Tavares, D. R., Frazão Okazaki, J. É., de Andrade Santana, M. V., Fernandes Moça Trevisani, V., & Pereira Nunes Pinto, A. C. (2024). Respiratory muscle training for obstructive sleep apnea: Systematic review and meta-analysis. *Journal of Sleep Research*, 33(3), e13941. <https://doi.org/10.1111/jsr.13941>
- Silva, I. S., Fregonezi, G. A. F., Dias, F. A. L., Ribeiro, C. T. D., Guerra, R. O., & Ferreira, G. M. H. (2013). Inspiratory muscle training for asthma. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2013(9), CD003792. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD003792.pub2>
- Smid, D. E., Franssen, F. M. E., Houben-Wilke, S., Vanfleteren, L. E. G. W., Janssen, D. J. A., Wouters, E. F. M., & Spruit, M. A. (2017). Responsiveness and MCID estimates for CAT, CCQ, and HADS in patients with COPD undergoing pulmonary rehabilitation: A prospective analysis. *Journal of the American Medical Directors Association*, 18(1), 53–58. <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2016.08.003>
- Spruit, M. A., Singh, S. J., Garvey, C., ZuWallack, R., Nici, L., Rochester, C., et al. (2013). An official American Thoracic Society/European Respiratory Society statement: Key concepts and advances in pulmonary rehabilitation. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 188(8), e13–e64. <https://doi.org/10.1164/rccm.201309-1634ST>
- Templeman, L., & Roberts, F. (2020). Effectiveness of expiratory muscle strength training on expiratory strength, pulmonary function and cough in the adult population: A systematic review. *Physiotherapy*, 106, 43–51. <https://doi.org/10.1016/j.physio.2019.06.002>
- Torres-Castro, R., Caicedo-Trujillo, A., Gimeno-Santos, E., Gutiérrez-Arias, R., Alsina-Restoy, X., Vasconcello-Castillo, L., et al. (2025). Effectiveness of

- inspiratory muscle training in chronic respiratory diseases: An overview of systematic reviews of clinical randomized trials. *Frontiers in Sports and Active Living*, 7, 1549652. <https://doi.org/10.3389/fspor.2025.1549652>
- Torres-Castro, R., Solis-Navarro, L., Puppo, H., Alcaraz-Serrano, V., Vasconcello-Castillo, L., Vilaró, J., & Vera-Urbe, R. (2022). Respiratory muscle training in patients with obstructive sleep apnoea: A systematic review and meta-analysis. *Clocks & Sleep*, 4(2), 219–229. <https://doi.org/10.3390/clockssleep4020020>
- Troosters, T., Janssens, W., Demeyer, H., & Rabinovich, R. A. (2023). Pulmonary rehabilitation and physical interventions. *European Respiratory Review*, 32(168), 220222. <https://doi.org/10.1183/16000617.0222-2022>
- van Kleef, E. S. B., Poddighe, D., Caleffi Pereira, M., Schuurbijs, M. L., Groothuis, J. T., Wijkstra, P. J., et al. (2024). Future directions for respiratory muscle training in neuromuscular disorders: A scoping review. *Respiration*, 103(10), 601–621. <https://doi.org/10.1159/000539726>
- Vázquez-Gandullo, E., Hidalgo-Molina, A., Montoro-Ballesteros, F., Morales-González, M., Muñoz-Ramírez, I., & Arnedillo-Muñoz, A. (2022). Inspiratory muscle training in patients with chronic obstructive pulmonary disease (COPD) as part of a respiratory rehabilitation program: Implementation of mechanical devices: A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(9), 5564. <https://doi.org/10.3390/ijerph19095564>
- Vermeulen, F., Garcia, G., Ninane, V., & Laveneziana, P. (2016). Activity limitation and exertional dyspnea in adult asthmatic patients: What do we know? *Respiratory Medicine*, 117, 122–130. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2016.06.003>
- Walterspacher, S., Schlager, D., Walker, D. J., Müller-Quernheim, J., Windisch, W., & Kabitz, H. J. (2013). Respiratory muscle function in interstitial lung disease. *European Respiratory Journal*, 42(1), 211–219. <https://doi.org/10.1183/09031936.00109512>
- Wanderer, J. P., Li, G., & Freundlich, R. E. (2021). Risk of postoperative pulmonary complications: Reply. *Anesthesiology*, 135(5), 930–931. <https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000003979>
- Waschki, B., Kirsten, A., Holz, O., Müller, K. C., Meyer, T., Watz, H., & Magnussen, H. (2011). Physical activity is the strongest predictor of all-cause mortality in patients with COPD: A prospective cohort study. *Chest*, 140(2), 331–342. <https://doi.org/10.1378/chest.10-2521>

- Watson, K., Egerton, T., Sheers, N., Retica, S., McGaw, R., Clohessy, T., et al. (2022). Respiratory muscle training in neuromuscular disease: A systematic review and meta-analysis. *European Respiratory Review*, 31(166), 220065. <https://doi.org/10.1183/16000617.0065-2022>
- Weiner, P., Azgad, Y., Ganam, R., & Weiner, M. (1992). Inspiratory muscle training in patients with bronchial asthma. *Chest*, 102(5), 1357–1361. <https://doi.org/10.1378/chest.102.5.1357>
- Wu, P., Qian, X., Hu, Y., & Yan, X. (2024). Effectiveness of threshold-pressure inspiratory muscle training on pulmonary rehabilitation in children and adolescents with asthma: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Asthma and Allergy*, 17, 1073–1082. <https://doi.org/10.2147/JAA.S479398>
- Xiang, Y., Tang, O., & Zeng, L. (2025). Effectiveness of respiratory muscle training in adults with multiple sclerosis: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Neurology*, 16, 1665651. <https://doi.org/10.3389/fneur.2025.1665651>
- Xie, J., Zhu, Y., Wang, Y., Mo, Y., Shi, X., Ai, J., et al. (2025). Effects of pulmonary rehabilitation combined with inspiratory muscle training on lung function and exercise capacity in older patients with COPD: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Medicine (Lausanne)*, 12, 1621375. <https://doi.org/10.3389/fmed.2025.1621375>
- Xiong, T., Bai, X., Wei, X., Wang, L., Li, F., Shi, H., & Shi, Y. (2023). Exercise rehabilitation and chronic respiratory diseases: Effects, mechanisms, and therapeutic benefits. *International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*, 18, 1251–1266. <https://doi.org/10.2147/COPD.S408325>
- Xu, L., Keenan, B. T., Wiemken, A. S., Staley, B., Benediktsdottir, B., Juliusson, S., et al. (2025). The relationship between upper airway anatomy and obesity in patients with obstructive sleep apnea. *Annals of the American Thoracic Society*, 22(11), 1749–1763. <https://doi.org/10.1513/AnnalsATS.202410-1027OC>
- Yeldan, İ., Gurses, H. N., & Yuksel, H. (2008). Comparison study of chest physiotherapy home training programs on respiratory functions in patients with muscular dystrophy. *Clinical Rehabilitation*, 22(8), 741–748. <https://doi.org/10.1177/0269215508091203>
- Yu, P., Luo, Z., Wang, Y., Lin, S., Qin, D., Jones, A. Y., & He, J. (2025). Preoperative inspiratory muscle training improves lung function prior to elective heart valve surgery and reduces postoperative lung function

- impairment and pulmonary complications: A randomised trial. *Journal of Physiotherapy*, 71(1), 27–34. <https://doi.org/10.1016/j.jphys.2024.12.002>
- Zaki, S., Moiz, J. A., Mujaddadi, A., Ali, M. S., & Talwar, D. (2023). Does inspiratory muscle training provide additional benefits during pulmonary rehabilitation in people with interstitial lung disease? A randomized control trial. *Physiotherapy Theory and Practice*, 39(3), 518–528. <https://doi.org/10.1080/09593985.2021.2024311>
- Zhang, H., Hu, D., Xu, Y., Wu, L., & Lou, L. (2022). Effect of pulmonary rehabilitation in patients with chronic obstructive pulmonary disease: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Annals of Medicine*, 54(1), 262–273. <https://doi.org/10.1080/07853890.2021.2012935>
- Zhang, X., Zhu, X., Wang, X., Wang, L., Sun, H., Yuan, P., & Ji, Y. (2021). Association of exposure to biomass fuels with occurrence of chronic obstructive pulmonary disease in rural Western China: A prospective cohort study. *International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*, 16, 1531–1540.

6. Bölüm

Solunum Kas Isınması ve Akut Etkileri

Erkan DEMİRKAN¹

Giriş

Geleneksel ısınma stratejileri genellikle düşük yoğunluklu koşu egzersizleri, statik veya dinamik açma germe (stretching) ile spora özgü alıştırmaları içermektedir. Yarışma veya antrenman öncesinde yapılan genel veya özel ısınma hareketleri, sporla ilgili oluşabilecek sakatlıkların önlemesi ve organizmayı yapılacak fiziksel efora hazırlayarak, performans artışının sağlanmasında önemli rol oynamaktadır (Demirkan ve ark., 2025). Bununla birlikte, bazı bilimsel çalışmalar, tüm vücut ısınmasına ek olarak yapılan solunum kas ısınma (SKI) egzersizlerinin de, solunum parametreleri ve sportif performansı artırmada önemli bir destek unsur olabileceğini göstermektedir (Marostegan et al., 2022, Cirino ve ark., 2023; Demirkan ve ark., 2025, Yılmaz ve ark., 2025). Solunum sisteminin egzersiz performansını etkileyen ana sistemlerden biri olması ve elde edilen bilimsel sonuçlar dikkatleri solunum kas ısınma çalışmalarına yöneltmiştir. Bu doğrultuda yapılan çalışmaların ortaya koyduğu pozitif sonuçlar, özellikle yüksek yoğunluklu eforlarda SKI'nın spor alanında uygulanabilir önemli bir strateji haline gelebileceğini düşündürmektedir (Cirino ve ark., 2023; Demirkan ve ark., 2025, Yılmaz ve ark., 2025, Tosun ve ark., 2025).

Bu bölümde, solunum kas ısınma egzersizlerinin sporcu ve sağlıklı aktif bireyler üzerindeki fizyolojik etki mekanizmaları ve performans üzerindeki etkilerine değinilecektir. Ayrıca ilerde yapılacak bilimsel çalışmalar ve spor alanında geleneksel ısınmaya ek olarak antrenör ve sporcuların bu uygulamadan nasıl yararlanabileceklerine ilişkin ısınma protokol bilgilerine yer verilecektir.

Solunum Kas Yorgunluğu ve Akut Etkilerin Fizyolojik Mekanizmaları

Yoğun egzersizlerde, kardiyorespiratuar ve nöromüsküler sistemler, eforu sürdürmek için alveolar ventilasyon, oksijen (O₂) tüketimi, karbondioksit (CO₂) üretimi ve kalp debisinin artışı gibi çeşitli modülasyonlara uğramaktadır

¹ Prof. Dr., Hitit Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi, Antrenörlük Eğitimi Bölümü.

E mail: erkandemirkan@hitit.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-6243-8062

(Cirino ve ark., 2023). Egzersize bağılı yorgunluk ve egzersiz sonrası oluşan yorgunluk birikiminin önemli nedenlerinden biri doku hipoksisidir. Özellikle, yüksek yoğunluklu antrenman veya yarışma programları, seanslar arasında dinlenme süresinin sınırlı kalmasına neden olabilmektedir. Ancak, yerinde müdahale, yorgunluğu gidermeye, antrenman kalitesini artırmaya ve sporcuların çeşitli organ sistemlerinin iyileşmesini desteklemeye yardımcı olabilir (Dai ve ark., 2025). Bu konuya ilişkin geçmişten günümüze yapılan çalışmalardan örnek vermek gerekirse, Volianitis ve ark. (2001), solunum ısınmasının kürek performansına etkilerini incelemiş ve solunum ısınmasının, inspiratuar kas gücünün bazal değerlerine kıyasla MIP'de %7'lik bir artışa yol açtığını ortaya koymuşlardır. Ayrıca, solunum ısınmasının kürek sporuna özgü ısınmayla birleştirilmesinin, submaksimal kürek ısınmasına (10,2%) ve kürek sporcuna özgü ısınmasına (11,1%) kıyasla yorgunluğu %4,2 oranında önemli ölçüde azalttığını bildirmişlerdir. Diğer bir çalışmada, Cheng ve ark. (2013) bisiklet ergometresinde yapılan submaksimal egzersizde geleneksel SKI protokolünün uygulanmasının metabolik refleksi geciktirerek oksijen saturasyonundaki düşüşü hafifletmiş olabileceğini öne sürmektedirler. Yılmaz ve ark. (2025)'nın yaptığı çalışmada ise, %60 MIP ısınma, yüksek yoğunluklu aralıklarda performans artışı için daha uygun olsa da, %40 MIP protokolünün eforlar arasındaki dinlenme aşamaları için avantajlı olabileceğini bildirmişlerdir. Ayrıca, SKI'nın solunum kaslarının gücünü artırarak, algılanan eforu azaltarak ve oksijen kinetiğini optimize ederek atletik performansı geliştirdiği çok sayıda çalışma ile ortaya konmuştur (Yılmaz ve ark., 2025). Elde edilen sonuçlar özellikle sporcuların solunum kas yorgunluğunu azaltmada ve yüksek yoğunluklu, kısa süreli egzersizlerden sonra daha hızlı iyileşmeyi desteklemede, sağlıklı bireylerde ise solunum parametreleri üzerinde sağlayabileceği iyileşme, SKI uygulamasının potansiyel ergojenik bir etki oluşturabileceğinden dolayı kullanılabileceğini göstermektedir.

MIP'nin %40'ında uygulanan SKI'nın, solunum kaslarının yorgunluğunu geciktirerek koşu performansını olumlu yönde etkileyebileceği bildirilmiştir (Yılmaz ve ark., 2025). Yapılan bu çalışma sonuçları değerlendirildiğinde, yazarlar (Yılmaz ve ark., 2025), SKI'nın ardından, özellikle MIP'nin %40'ında Maksimal ekspirasyon basıncının (MEB) korunması, sprint gibi yüksek yoğunluklu eforlar sırasında ekspiratuar kas fonksiyonunun sürdürülmesinde kritik bir rol oynayabileceğini belirtmişlerdir. Bununla birlikte, yüksek ekspiratuar kas fonksiyonunun, CO₂ temizliğini kolaylaştırarak ve göğüs içi basıncını stabilize ederek daha etkili ventilasyona katkıda bulunabileceğini ileri sürmüşlerdir. Böylelikle bu durum verimli gaz değişimini destekleyebilir ve solunum kaslarının yorgunluğunun başlamasını geciktirerek, özellikle, solunum

ve lokomotor taleplerin zirveye ulaştığı yüksek şiddetli aktivitelerin son aşamalarında nefes darlığı hissini azaltılabileceğini bildirmektedirler. Dai ve ark., (2025) SKI sonrası bireylerin vastus medialis ve biceps brachii kaslarında kas oksijen saturasyonunda artış gözlemlendiğinin, solunum kaslarının metabolik refleksini anlamlı düzeyde bastırdığını ve ekstremitelere oksijenli arteriyel kan akışının yeterli düzeyde perfüzyonunu sağladığını ortaya koymuşlardır. Ayrıca, bu sonuçların, algılanan eforu azaltmada ve kas oksijenlenmesini optimize etmede etkinli bir yöntem olabileceğini ileri sürmektedirler. Bununla birlikte, klinik çalışmalar, solunumun otonom sinir sistemi ve barorefleksin modülatörü olması nedeniyle nefes darlığı ve egzersiz intoleransı gibi solunum hasarına neden olan hastalıkların önlenmesi ve rehabilitasyonunda yardımcı olarak kan basıncını düşürebileceğini göstermektedir (Palermo ve ark., 2020; Cirino ve ark., 2023).

Solunum kas metaborefleksi ve oksijen dağılımına etkisi

Genel olarak, egzersizin ilk evrelerinde kaslar dinlenme halindeki oksijen gereksiniminden daha fazla oksijene ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenle kasların oksijen saturasyonu düşüş göstermektedir. Ancak bir zaman sonra egzersiz şiddeti korunduğunda ve vücut çalışan kasların oksijen ihtiyacını karşıladıkça, bu ilişkinin eğrisi egzersiz şiddetinin devamlılığına dayalı olarak plato oluşturur.

Egzersiz sırasında kan gazı homeostazının düzenlenmesinde hayati öneme sahip olan solunum pompası kasları, plevral basınç, inspiratuar ve ekspiratuar akım, akciğer hacmi ve havalandırmadaki değişiklikleri koordine etmek için uyum içinde çalışmaktadır. Egzersiz hiperpnisi, solunum kaslarının kan akışına ve O₂ iletimine yüksek talep oluşturmakta olup, bu durum yorgunluğa yol açabilmektedir (Welch ve ark., 2019). Yapılan bir çalışmada, aynı iş yükü altında çalışan iki grup arasında oluşan oksijen saturasyonu seviyesinin SKI yapan grupta yüksek olduğu belirtilmektedir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, femoral medialis ve bicepsdeki oksijen saturasyon seviyesinin yüksek olmasının, SKI'nın solunum kas fonksiyonunu iyileştirebileceğini, dolayısıyla solunum metabolik refleksini inhibe edip, egzersiz yapan kastaki kas oksijen içeriğinin artırabileceğini düşündürmektedir (Dai ve ark., 2025).

Performans üzerine etkileri ve aktivasyon sonrası potansiyasyon (PAP) etkileşimi

SKI'nın olumlu etkileri, inspiratuar parametreleri değerlendiren çalışmaların %88'inde ve performans parametrelerini inceleyen çalışmaların %45'inde bildirilmiştir (Cirino ve ark., 2023). Bununla birlikte, performans üzerine

etkilerini konu edinen toplamda 22 çalışmanın % 54'ünde, sporcularda solunum ve performans parametreleri üzerinde olumlu sonuçlar gösterdiği literatür çalışmalarında yer almaktadır (Tablo 1). Benzer bir şekilde sağlıklı bireyler üzerine yapılan 13 çalışmanın çoğunluğunda, eşzamanlı ele alınan ya da bir parametrenin bakıldığı araştırma konuları bağlamında, solunum parametreleri, fiziksel performans, pulmoner fonksiyon ve dispne üzerinde pozitif etkiler oluşturduğu ileri sürülmektedir (Tablo 2).

Performans parametreleri ile ilgili olarak, geleneksel protokolü benimseyen çalışmalar, SKI'nın kürek çekme, badminton, aralıklı koşu, yüzme, anaerobik kondisyon testi, maksimum koşu (sprint), hokey (Crino ve ark., 2023), güreş ve 400 m hız sporcuları üzerindeki (Demirkan ve ark., 2025; arı ve ark., 2025) performans artışlarının %2,1 ile %34,4 arasında değiştiğini bildirilmektedir.

Literatür çalışmalarında (Tong and Fu, 2006; Lin et al., 2007; Lomax et al., 2011), ayrıca SKI'nın inspiratuar kas fonksiyonunu geliştirdiği, egzersiz toleransını artırdığı, koşu mesafesi performansını artırdığı, egzersiz sırasında laktat konsantrasyonunu azalttığı ve nefes darlığını azalttığı bildirilmektedir. Bu sonuçlara ilave olarak, spesifik SKI protokolü, submaksimal bisiklet egzersizi ve ardından gelen aralıklı yüksek yoğunluklu sprint egzersizi sırasında kas oksijen satürasyonunun azalmasına karşı daha fazla koruma sağladığı bildirilmektedir (Cheng et al., 2013).

Egzersiz veya antrenmanda PAP etkisi, özellikle yüksek yoğunluklu eforlar öncesinde uygulanan kısa süreli ısınmalarda belirgin hale gelmektedir. Yapılan araştırmalar, SKI sonrasında elde edilen inspiratuar kas gücü artışlarının ve koşu, sprint veya yüzme performansındaki gelişmelerin, PAP mekanizmasıyla açıklanabilecek geçici nöromusküler adaptasyonlardan kaynaklandığını vurgulamaktadırlar (Cirino ve ark., 2023; Demirkan ve ark., 2025). Solunum kaslarının bu “ön-aktivasyon etkisi”, iskelet kaslarında görülen PAP'a benzer şekilde, hem merkezi sinir sisteminde motor komut hassasiyetini artırmakta hem de periferik kaslarda kasılma kinetiğini hızlandırmaktadır.

Bununla birlikte, SKI'nın oluşturduğu bu potansiyasyon etkisinin süresi sınırlıdır. Çalışmalar, solunum kas ısınmasının ardından yaklaşık 10–15 dakikalık bir süre içinde PAP etkisinin azaldığını ortaya koymaktadır (Hawkes ve ark., 2007). Bu nedenle, SKI uygulamasının zamanlaması, özellikle yarışma veya yüksek yoğunluklu antrenman öncesi dönemde, PAP etkisinin devam ettiği bu optimal zaman aralığına denk gelecek şekilde planlanması önerilebilir.

Solunum kas ısınması kavramı ve uygulama protokolü

Solunum kas ısınması, solunum kas antrenmanı için geliştirilen yöntem, teknik ve protokollerden türetilmiş, akut bir egzersiz modelidir (Yılmaz ve ark.,

2025). Spor alanında birçok çalışmanın konusu olan inspiratuar kas ısınması ana eforlardan önce uygulanarak fiziksel ve spor performansını iyileştirmenin potansiyel bir yolu olarak kullanılmaktadır (Soares de Araujo ve ark., 2024).

Literatürde SKI'nın sporcular ve sağlıklı aktif bireyler üzerinde çeşitli görevleri yerine getirirken olumlu etkileri olduğu bildirilmiş olsa da, inspiratuar yükün reçetelenmesi ile ilgili uygulanacak protokoller ve ısınma protokolünün özellikleri, örneğin tekrar sayısı (nefes sayısı), setler arasındaki molalar ve inspiratuar egzersiz aleti olarak kullanılan ekipman gibi konularda hala belirsizlikler bulunmaktadır (Cirino ve ark., 2023). Ancak, yapılan çalışma protokolleri incelendiğinde, SKI protokolü ile ilgili olarak, özellikle hacim (set sayısı ve tekrar sayısı) ve yoğunluk (maksimum inspiratuar basıncın yüzdesi) açısından, çoğu çalışma Tablo 1 ve 2'de yer aldığı üzere egzersiz öncesinde 2 set halinde 30 nefes alımı ile % 40 hava kısıtlama (MIP) yapılarak uygulandığı görülmektedir. Setler arasında dinlenme aralığının ise 1-2 dakikalık süre ile sınırlı olduğu dikkate alınabilir. Deneysel çalışma formatındaki uygulamalarda % 15'lik hava kısıtlamasına (MIP) karşılık gelen inspiratuar yüke sahip SKI protokolü plasebo olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte, yapılan bir çalışmada, maksimal solunum basıncının % 40 ile yapılan solunum kas egzersizinin diğer protokoller (% 30, % 50) ile karşılaştırıldığında Egzersiz sonunda en yüksek egzersiz performansı ve en düşük nefes darlığı gösteren yoğunluk olduğu için optimal yoğunluk olduğu bildirilmektedir (Kantarson ve ark., 2010).



Resim 1- Solunum Kas Isınması Uygulama Yöntemi

Yukarıda bahsedilen bu bilgilere ek olarak, SKI'nın olumlu etkilerini ortaya koyan araştırmaların bir çoğu, POWERbreathe solunum aparatı ile 2 set x 30 nefes tekrarın, %40 MIP inspiratuar yükten oluşan geleneksel protokolün

uygulanması sonucu ortaya konduğu görülmektedir (Tablo 1 ve 2). Bununla birlikte, SKI'nın yüksek yoğunluklu egzersizler üzerindeki etki süresi hala netlik kazanmamakla birlikte, fiziksel egzersize başlamak için geçen süre, performans üzerindeki etkisini sınırlandırabileceği ileri sürülmektedir (Cirino ve ark., 2023). Hawkes ve ark. (2007) geleneksel SKI protokolünün MIP üzerindeki olumlu etkilerinin, müdahaleyi takiben 15 dakika sonra etkisini yitirdiğini bildirmektedirler.

Tablo 1 Sporcular üzerinde yapılan SKI çalışma protokolleri ve elde edilen sonuçlar

Yazar (yıl)	Çalışma grubu (n)	Yaş	SKI protokol	KA	Test ölçüm yöntemi	Sonuç
Volianiti s ve ark. (1999)	12 sporcu olmayan 11 kürek sporcusu	20±1 20±2	Kontrol: SKI yok SKI: 2 x 30 (% 40 MIP)	PB	MIP değerlendirilmesi	MIP↑
Volianiti s ve ark. (2001)	müsabık kürek sporcusu 7 erkek 7 kadın	19,9 ±0,7 20,1±0,9	Kontrol: SKI yok SKI: 2 x30 (% 40 MIP)	PB	6 dakika tüm güçle kürek çekme	Test sonrası MIP↓ Güç ↑ Mesafe ↑ Dispne:↓
Lin ve ark. (2007)	10 erkek badminton sporcusu	23±2	Kontrol: SKI yok Plasebo: 2 x 30 (% 15 MIP) SKI: 2 x 30(% 40 MIP)	PB	Dinamik solunum kas fonksiyonu T testi- Maksimum artımlı badminton ayak çalışması testi	MIP↑, Maksimal basınç gelişim oranı:↑, Mesafe (m)↑, Dispne ↓, Laktik asit ↓
Lomax ve ark., (2011)	12 amatör erkek futbol oyuncusu	24.6 ± 1.3	Kontrol: SKI yok SKI: 2 x 30(% 40 MIP) 60 saniye ara ile	PL	MIP değerlendirme- Yo-Yo toparlanma testi	MIP ↑, Mesafe (m) ↑
Cheng ve ark., (2013)	10 kadın futbol oyuncusu	19.9 ± 1.4	Kontrol: SKI yok Plasebo: 2 x 30 (% 15 MIP) SKI: 2 x 30(% 40 MIP)	PB	2 set 6 dakika bisiklet egzersizi, 6 x 10 saniye sprint	Performans, metabolik ve solunum parametrelerinde değişim yok
Johnson ve ark., (2014)	10 antrene yol bisikletçisi	32 ± 9	1 aktivite yapılmaksızın, 2 Kontrol: SKI yok, 3 SKI: 2 x 30(% 40 MIP) (30 saniye ara ile)	PB	10 kilometrelik bisiklet zamana karşı deneme testleri	Performans, metabolik ve solunum parametrelerinde değişim yok
Wilson ve ark., (2014)	15 elit yüzücü (9 erkek)	21.2 ± 1.6	1 Kontrol SKI yok, 2 sadece SKI-2 x 30 (40% MIP) 3 SKI-2 x 30 (15% MIP) 4 SKI -2 x 30 (40% MIP)	PB	100 m serbest stil sprint zaman denemesi	Süre ↓, metabolik ve solunum parametrelerinde değişim yok
Arend ve ark. (2015)	10 erkek müsabık kürek sporcusu	23.1 ± 3.8	- Kontrol: SKI yok, - SKI: 2 x 30 (% 40 MIP) (2 dakika ara ile)	PB	Submaksimal yoğunlukta kürek çekme testi (%90 VO2 max)	Performans, metabolik ve solunum parametrelerinde solunum frekansı hariç

						değişim yok
Ozdal ve ark. (2016)	30 çim hokeyi oyuncusu	20.5 ± 2.0	Kontrol: SKI yok SKI: 2 x 30 (40% MIP) (2 dakika ara ile)	PB	Wingate test	↑ Performans Parametrelerind e
Hartz ve ark.. (2017)	14 kadın hentbol sporcusu	19 ± 1	Kontrol: SKI yok, 1: SKI—2 x 30 (15% MIP) 2: SKI—2 x 30 (40% MIP)	PB	Yo-Yo dayanıklılık test	Performans, metabolik veya solunum parametrelerind e değişiklik yok
Ozdal ve Bostancı (2018)	30 erkek elit çim hokeyi oyuncusu	20.50 ±1.98	Kontrol: SKI yok SKI: 2 x 30 (40% MIP) (2 dakika ara ile)	PB	MIP/MEP değerlendirmesi, Bisiklet ergometresi ile artımlı test (VO2 pik)	↑MIP/MEP (referans değerle karşılaştırma) ↑ Solunum parametreleri
Richard ve Billaut (2018)	7 seçkin erkek uzun pist hız patencisi	23.4 ± 3.3	Kontrol: SKI yok, 1: SKI—2 x 30 (15% MIP) 2: SKI—2 x 30 (40% MIP) (1 dakika ara ile)	PB	600 m buz pateni zaman denemeleri	Performans veya solunum parametrelerind e değişiklik yok
Merola ve ark. (2019)	11 judo sporcusu	22.3 ± 2.3	Kontrol: SKI yok, Plasebo:2 x 30 (15% MIP) SKI—2 x 30 (60% MIP)	PB	Spesifik judo kondisyon testi, MIP ve MEP değerlendirmesi	Inspiratuar, performans veya solunum parametrelerind e değişiklik yok
Richard ve Billaut (2019)	8 elit hız patencisi (5 erkek)	21.4 ± 3.5	Plasebo 2 x 30 (15% MIP) 2: SKI—2 x 30 (40% MIP) (1 dakika ara ile)	PB	3000 m buz pateni zaman denemeleri	Performans veya solunum parametrelerind e değişiklik yok
Tong ve ark. (2019)	9 erkek (futbol ve hentbol)	20.6 ± 0.9	Kontrol: SKI yok, SKI :2 x 30 (40% MIP)	PB	MIP değerlendirmesi, spora özgü dayanıklılık plank testi (gövde kasları gücü)	MIP'nin hızlı iyileşmesi, ↑Gövde kas gücü Performans parametreleri (sprintler), Toparlanma döneminde metabolik veya solunum parametrelerind e değişiklik yok
Avci ve ark. (2021)	30 erkek hokey oyuncusu	21.50 ± 2.98	Kontrol: SKI yok, Plasebo 2 x 30 (5% MIP) 2: SKI—2 x 30 (40% MIP) (1 dakika ara ile)	-	Hokey Testleri: Hokey drag-flick ve şut performansı testi Gol ve skorlama Drag-flick performansı testi Vuruş performansı testi	↑Drag-flick test ve şut performansı
Arend ve ark. (2021)	10 üst düzey erkek kürekçi	23.1 ±3.8	Kontrol: SKI yok, SKI: 2 x 30 (40% MIP) (2 dakika ara ile)	PB	Submaksimal yoğunlukta kürek çekme testi (VO2max'ın %90'ı)	Performans veya solunum parametrelerind e (VO2 kinetiği) herhangi bir

						değişiklik yok
Barnes ve Ludge (2021)	17 orta mesafe koşucusu 10 erkek 7 kadın	20.3 ± 1.5 20.2 ± 1.3	Kontrol: 1 x 30 (30 yavaş ve uzun nefesler, 3 cm H2O dirence karşı) SKI: 1 x 30 (50% S-indeksi)	PB	Inspiratuar kas fonksiyonu testi (S-indeksi) 3200 m koşu performansı denemesi	↑Performans parametreleri ↑S-indeksi Solunum parametrelerind e değişiklik yok, Dispne hariç↓
Cirino ve ark. (2021)	10 erkek judo sporcusu	22 ± 1	Kontrol: SKI yok Plasebo: 2 x 15 (15% MIP) SKI: 2 x15 (40% MIP) (60-saniye ara)	PB	Judo maçı, müsabaka sonrası 4 dakika Toparlanma	↑Teknik-taktik parametreler, Toparlanma döneminde metabolik veya solunum parametrelerind e değişiklik yok
Arı ve ark. (2025)	13 erkek elit koşucu	22.7 ± 2	Placebo: 2x 30 (% 15 MIP) SKI: 2x 30 (% 40 MIP), SKI: 2x 30 (% 60 MIP) (90 saniye ara ile)	PB	400 m koşu	↑MIP (% 40- 60 MIP), ↑ hızlı toparlanma % 40 MIP, ↑ 400 m koşu performansı % 60 MIP
De mirkan ve ark. (2025)	14 erkek güreşçi	15- 16	1: sadece ısınma 2: ısınma + SKI 2 x 30 (% 40 MIP) 3: ısınma + Plasebo 2 x 30 (% 15 MIP)	PB	Güreş antrenmanı	↑MIP (% 40 MIP), ↓Yorgunluk, ↑Toparlanma
Alberola -Blanes ve ark. (2025)	8 dalgıç (6 erkek)	26.63 ± 4.67	Kontrol: SKI yok, SKI: 30 nefes (% 56 MIP)	PB	2.1 m havuzda dinamik ve statik su altında kalış	↓Gaz kullanımı, ↑Performans parametreleri, ↑solunum parametreleri

KA: kullanılan aparat; **PB:** POWERbreathe; **PL: PowerLung;**

Bu tabloda yer alan bilgilerin çoğunluğu “*Cirino ve ark. (2023)*” tarafından derlenen makaleden alıntılanmıştır.

Tablo 2 Sağlıklı bireyler üzerinde yapılan SKI çalışmaları ve elde edilen sonuçlar

Yazar (yıl)	Çalışma grubu (n)	Yaş	SKI protokol	KA	Egzersiz /test/antrenman	Sonuç
Volianitis ve ark. (2001 ^a)	14 sağlıklı birey	26±3	Kontrol: SKI yok SKI: 2 x30 (% 40 MIP)	PB	-	Tekrarlı MIP ölçümler arası “öğrenme etkisi” ↓
Tong and Fu (2006)	10 sağlıklı erkek	21,3±1,2	Kontrol: SKI yok Plasebo: 2 x 30 (% 15 MIP) SKI: 2 x 30(% 40 MIP)	PB	Dinamik solunum kas fonksiyonu T testi / Yo-Yo testi	MIP:↑ Optimal basınç:↑ PIF↑ Maksimal basınç gelişim oranı:↑ Dispne:↓
Hawkes	12 sağlıklı	25±9	Kontrol: SKI	PB	MIP	MIP↑

ve ark. (2007)	birey 6 erkek 6 kadın		yok SKI: 2 x 30(% 40 MIP)		değerlendirme	MIP değerlendirmesinde diyafram ve interkostal kasların EMG aktivitesi ↑
Lomax ve McConnel l (2009)	8 sağlıklı aktif birey (7 kadın, 1 erkek)	29.1± 6.3	Kontrol: SKI yok SKI: 2 x 30(% 40 MIP) 60 saniye ara ile	PB	MIP değerlendirme	MIP ↑
Ohya ve ark. (2015)	10 sağlıklı erkek katılımcı	25.1 ± 4.8	Plasebo: 2 x 30 (% 15 MIP) SKI: 2 x 30(% 40 MIP) (60 saniye ara ile)	PB	5 x 5-saniye sprint bisiklet testi (25-saniye aktif toparlanma)	↑ MIP SKI sonrası, Performans, metabolik ve solunum parametrelerinde değişim yok
Thurston ve ark. (2015)	11 rekreatif aktif erkek katılımcı	24.9 ± 4.2	Kontrol: SKI yok, düşük: 2 x 30 (13 milimetre açık), orta: 2 x 30 (8 milimetre açık), yüksek: 2 x 30 (3 milimetre açık) (	-	Yoruluncaya kadar bisiklet testi (%85 VO2max)- Akciğer fonksiyon testi (spirometri)	Performans, metabolik ve solunum parametrelerinde değişim yok
Arend ve ark. (2016)	10 sağlıklı erkek katılımcı	26.4 ± 4.1	Kontrol: SKI yok, 1: SKI—2 x 30 (15% MIP) 2: SKI—2 x 30 (40% MIP) 3: SKI—2 x 12 (60% MIP) 4: SKI—2 x 6 (80% MIP)	PB	MIP değerlendirilmesi	% 40 ve 60 SKI'nda MIP↑
Ozdal (2016)	26 sağlıklı erkek katılımcı	26.31 ± 4.39	Kontrol: SKI yok, 1: SKI—2 x 30 (15% MIP) 2: SKI—2 x 30 (40% MIP)	PB	MIP değerlendirmesi , Pulmoner fonksiyon testi (spirometri)	↑MIP değerlendirmesi , ↑ Pulmoner fonksiyon
Faghy ve Brown (2017)	9 sağlıklı ve aktif erkek katılımcı	26.4 ± 9.1	Kontrol: SKI yok SKI: 2 x 30 (40% MIP)	PB	2,4 kilometrelik koşu zaman denemeleri (25 kilogram göğüs yükü), MIP değerlendirilmesi	↓MIP egzersiz sonrası (protokoller arasında fark yok) Performans, metabolik veya solunum parametrelerinde değişiklik yok
Silapabanl eng ve ark. (2021)	26 sağlıklı erkek katılımcı	19–23	Kontrol: SKI yok, SKI: 2 x 30 (40% S indeks)	PB	3 dakikalık tam kapasite testi bisiklet ergometresinde	↓Testin üçüncü dakikasında kalp atış hızı, Performans parametrelerinde değişiklik yok
Manchado - Gobatto ve ark.	15 fiziksel olarak aktif erkek	23 ± 1	Kontrol: SKI yok SKI: 2 x15 (40% MIP)	PB	30 saniye boyunca tüm gücünü treadmill üzerinde koşu,	↑Mutlak (W) ve rölatif güç (W.kg/1) Toparlanma

(2022)			(60-saniye ara) Egzersizden 2 dakika önce uygulandı		test sonrası toparlanma	döneminde metabolik veya solunum parametrelerinde değişiklik yok
Marostega n Ve ark. (2022)	15 fiziksel olarak aktif erkek	23 ± 1	Kontrol : SKI yok 1: SKI-2 x 15 (15% MIP) 2: SKI-2 x 15 (40% MIP) 3: SKI-2 x 15 (60% MIP) (60 saniye ara) Egzersizden 2 dakika önce uygulandı	PB	30 saniye boyunca tüm gücünü treadmill üzerinde koşu, test sonrası toparlanma	↑SKI'de %15, %40 ve %60 MIP'de rölatif güç ve kuvvet, ↑Hız % 60 MIP , Toparlanma döneminde metabolik veya solunum parametrelerinde değişiklik yok
Gabler ve ark. (2025)	13 rekreasyonel aktif katılımcı (5 kadın)	23±5	SKI: 2 × 30, (40% MIP), Plasebo: 2 × 30 (15% MIP)	PB	Bisikletle yorgunluk testine tabi tutuldu (%80–85 V02 max)	Dispne de değişim yok, oksijen saturasyonunda değişim yok, solunum parametrelerinde değişim↑

KA: kullanılan aparat; **PIF:** peak inspiratory flow (zirve solunum akışı);

PB: POWERbreathe;

Bu tabloda yer alan bilgilerin çoğunluğu “*Cirino ve ark. (2023)*” tarafından derlenen makaleden alıntılanmıştır.

Sonuç

Sonuç olarak, yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar dikkate alındığında, SKI yalnızca ventilatuar bir hazırlık aracı değil, aynı zamanda nöromüsküler sistemde geçici bir güçlenme etkisi oluşturan, PAP benzeri bir ergojenik strateji olarak değerlendirilebilir. Bu bağlamda, solunum kas ısınmasının hem fizyolojik hem de nörofizyolojik düzeyde aktivasyon oluşturarak, performansın artırılmasına katkıda bulunduğu ileri sürülmektedir. Bu yaklaşım, klasik ısınma anlayışının ötesine geçerek, sporcu performansını hem solunumsal hem motor düzeyde optimize eden bütüncül bir hazırlık modeli sunmaktadır.

Literatürde yaygın olarak kullanılan protokol bilgileri dikkate alındığında, özellikle sporcularda verimli bir PAP etkisi oluşturma için SKI'nın antrenman veya müsabaka/yarışmalar öncesinde (1-2 dakika), % 40 maksimum inspirasyon basıncında, 2 set halinde 30 nefes tekrarı ve setler arasında 1 dakikalık dinlenme yapılarak uygulanabileceği söylenebilir. Bununla birlikte, PAP etki süresinin devamlılığına yönelik net bir sonuç ortaya konulmamıştır. Ancak, 15 dakikalık bir korunma evresinin olabileceği bildirilmektedir. Bu konuda daha fazla çalışma yapılarak potansiyel etki süresinin devamlılığına yönelik netlik kazandırılabilir.

Kaynakça

- Alberola-Blanes, R., Alacid, F., Quero-Calero, C. D., & 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.
- Arend, M., Kivastik, J., & 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., & 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., & Jürimäe, J. (2015). Effect of inspiratory muscle warm-up on submaximal rowing performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(1), 213-218.
- Avci, N., Özdal, M., & 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).
- Barnes, K. R., & Ludge, A. R. (2021). Inspiratory muscle warm-up improves 3,200-m running performance in distance runners. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 35(6), 1739-1747.
- Cheng, C. F., Tong, T. K., Kuo, Y. C., Chen, P. H., Huang, H. W., & Lee, C. L. (2013). Inspiratory muscle warm-up attenuates muscle deoxygenation during cycling exercise in women athletes. *Respiratory physiology & neurobiology*, 186(3), 296-302.
- Cirino, C., Gobatto, C. A., Pinto, A. S., Torres, R. S., Hartz, C. S., Azevedo, P. H., ... & 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., & Manchado-Gobatto, F. B. (2023). Effects of inspiratory muscle warm-up on physical exercise: a systematic review. *Biology*, 12(2), 333.
- Dai, X., Yan, J., & Bi, X. (2025). Acute effects of inspiratory muscle warm-up on muscle oxygenation, perceived exertion and prefrontal cortical activation. *PLoS One*, 20(6), e0325228.
- Demirkan, E., Tosun, M. I., Kaplan, A., Eker Arici, I., Harmanci, H., Favre, M., ... & Aslan, V. (2025). Does the inspiratory muscle warm-up have an acute effect on wrestling recovery performance?. *PLoS One*, 20(2), e0316821.

- Demirkan, E., Tosun, M. I., Kaplan, A., Eker Arici, I., Harmanci, H., Favre, M., ... & Aslan, V. (2025). Does the inspiratory muscle warm-up have an acute effect on wrestling recovery performance?. *PLoS One*, 20(2), e0316821.
- Faghy, M. A., & 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.
- Gabler, M. C., Martin, B. J., Johnson, B. D., Schlader, Z. J., & 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*, 20(7), 970-978.
- Hartz, C. S., Ferreira, C. R., & Moreno, M. A. (2017). Effects of the application of an inspiratory muscular warm-up protocol in the physical performance of handball athletes. *J. Exerc. Physiol*, 20(5), 12-22.
- Hawkes, E. Z., Nowicky, A. V., & McConnell, A. K. (2007). Diaphragm and intercostal surface EMG and muscle performance after acute inspiratory muscle loading. *Respiratory physiology & neurobiology*, 155(3), 213-219.
- Johnson, M. A., Gregson, I. R., Mills, D. E., Gonzalez, J. T., & Sharpe, G. R. (2014). Inspiratory muscle warm-up does not improve cycling time-trial performance. *European journal of applied physiology*, 114(9), 1821-1830.
- Kantarson, J., Jalayondeja, W., Chaunchaiyakul, R., & 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.
- Lin, H., Tong, T. K., Huang, C., Nie, J., Lu, K., & Quach, B. (2007). Specific inspiratory muscle warm-up enhances badminton footwork performance. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 32(6), 1082-1088.
- Lomax, M., & 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., & 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.

- Manchado-Gobatto, F. B., Torres, R. S., Marostegan, A. B., Rasteiro, F. M., Hartz, C. S., Moreno, M. A., ... & 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.
- Marostegan, A. B., Gobatto, C. A., Rasteiro, F. M., Hartz, C. S., Moreno, M. A., & 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.
- Merola, P. K., Zaccani, W. A., Faria, C. C., Berton, D. C., Verges, S., & Franchini, E. (2019). High load inspiratory muscle warm-up has no impact on Special Judo Fitness Test performance. *Idō Movement for Culture*, 19(1).
- Ohya, T., Hagiwara, M., & 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), 556.
- Özdal, M. (2016). Acute effects of inspiratory muscle warm-up on pulmonary function in healthy subjects. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 227, 23-26.
- Özdal, M., & 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., & Kabadayi, M. (2016). Effect of respiratory warm-up on anaerobic power. *Journal of Physical Therapy Science*, 28(7), 2097-2098.
- Palermo, A. E., Cahalin, L. P., & Nash, M. S. (2020). A case for inspiratory muscle training in SCI: potential role as a preventative tool in infectious respiratory diseases like COVID-19. *Spinal cord series and cases*, 6(1), 87.
- Richard, P., & 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., & 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(1), 191-200.
- Silapabanleng, S., Boonkobkaew, N., Singthongyam, T., Phangjaem, M., Puengtanom, V., Nakpanom, W., & Suwondit, P. (2021). Effect of

- Inspiratory Muscle Warm-Up on Short-Distance Cycling Performance. *Science & Technology Asia*, 221-228.
- Soares de Araujo, L., Marostegan, A. B., Menezes Scariot, P. P., Bordon Orsi, J., Cirino, C., Papoti, M., ... & Manchado-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.
- Thurston, T. S., Coburn, J. W., Brown, L. E., Bartolini, A., Beaudette, T. L., Karg, P., ... & Galpin, A. J. (2015). Effects of respiratory muscle warm-up on high-intensity exercise performance. *Sports*, 3(4), 312-324.
- Tong, T. K., & Fu, F. H. (2006). Effect of specific inspiratory muscle warm-up on intense intermittent run to exhaustion. *European journal of applied physiology*, 97(6), 673-680.
- Tong, T. K., Baker, J. S., Zhang, H., Kong, Z., & 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.
- Volianitis, S., McConnell, A. K., & Jones, D. A. (2001^a). 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., & 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.
- Volianitis, S., McConnell, A. K., Koutedakis, Y., & Jones, D. A. (2001). Specific respiratory warm-up improves rowing performance and exertional dyspnea. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(7), 1189-1193.
- Welch, J. F., Kipp, S., & Sheel, A. W. (2019). Respiratory muscles during exercise: mechanics, energetics, and fatigue. *Current Opinion in Physiology*, 10, 102-109.
- Wilson, E. E., McKeever, T. M., Lobb, C., Sherriff, T., Gupta, L., Hearson, G., ... & Shaw, D. E. (2014). Respiratory muscle specific warm-up and elite swimming performance. *British journal of sports medicine*, 48(9), 789-791.
- Yilmaz, Y. A., Tosun, M. I., Demirkan, E., Can, S., Özkan, A., Arici, M., ... & Kowalski, T. (2025). Inspiratory muscle warm up improves 400 m performance in elite male runners. *Scientific Reports*, 15(1), 28879.

7. Bölüm

Solunum Kas Antrenmanında Yeni Yönelimler ve Teknolojik Gelişmeler

Mert AYRANCI¹

Giriş

Solunum Kas Antrenmanında Paradigma Değişimi

Solunum kas antrenmanının (SKA) kullanım alanı yıllar içinde önemli bir dönüşüm geçirmiştir. 1990 ve 2015 yılları arasında SKA'nın temel uygulama alanı ağırlıklı olarak KOAH (Canbulat, 1998; Larson, 1985; Magadle vd., 2007), kardiyak rehabilitasyon (Ferreira vd., 2009; Mancini vd., 1995; Sutbeyaz vd., 2010) ve nöromüsküler hastalıklar (Estrup vd., 2009; Koessler vd., 2001; McCool & Tzelepis, 1995) gibi klinik popülasyonlarda görülmektedir. Yapılan çalışmalar ile SKA'nın klinik fonksiyonel kapasiteyi arttırmadaki etkisi güçlü bir biçimde ortaya konulmuştur. Ancak son 10 yıldaki meta-analizler ve araştırmalar SKA'nın sporculardaki performans artırıcı etkilerini gösteren araştırmalara hızla çoğalmaya başlamış ve bu çalışmalar sporcuların dayanıklılık, yorgunluk toleransı ve ventilatuar verimliliği üzerindeki belirgin etkileri ortaya koyarak alanın odağını performansa doğru genişletmiştir (Demirkan vd., 2025; Gomes-Neto vd., 2016; Köroğlu, 2021).

Son 5 yılda yapılan çalışmalarda ise teknolojinin ilerlemesi ve yapay zekâ gibi veri tabanlı modellerin kullanılması sonucunda, bluetooth bağlantılı cihazlar, mobil uygulamalar ve sensör tabanlı yük takip sistemleriyle dijitalleşmiş, Airofit Pro, POWERbreathe K-Series ve Pro₂ gibi akıllı cihazlar sayesinde anlık basınç ölçümü, nefes patern analizi ve kişiselleştirilmiş antrenman planlanması mümkün hale gelmiştir.

Bu yeni teknolojilerin ortaya çıkışında sporcularda yüksek ventilasyon gereksinimi, solunum kas yorgunluğunun performansı sınırlaması (Mankad vd., 2025) branş spesifik solunum stratejileri (Tosun vd., 2025; Yılmaz vd., 2025) ve veri tabanlı antrenman yönetimine duyulan gereksinim belirleyici olmuştur (Cruz vd., 2024). Dolayısıyla SKA günümüzde yalnızca rehabilitasyon aracı

¹ Arş. Gör., Hitit Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Rekreasyon Bölümü
E mail: mertayranci@hitit.edu.tr Orcid: 0000-0003-4289-3049

değil, aynı zamanda gerçek zamanlı veri analitiği ile desteklenen modern bir performans optimizasyon stratejisine dönüşmüştür.

Modern Solunum Kas Antrenmanı Yaklaşımlarının Temel Prensipleri

Günümüzde modern solunum kas antrenmanı yaklaşımlarını anlamak için geleneksel threshold resistance modeline kısaca değinmek gerekir. Klasik yaklaşım, sabit bir direnç mekanizması ile solunum kaslarının yüklenmesini esas alır ve özellikle POWERbreathe Classic gibi cihazların temelini oluşturmuştur; bu yöntemlerin fizyolojik etkileri McConnel tarafından sistematik biçimde açıklanmıştır (McConnell, 2013). Ancak 2020 sırasında SKA'nın kişiselleştirilmiş bir yapıya evrilmesiyle anlık yük takibi, sensör tabanlı basınç ve akış ölçümleri, bireye özgü ventilasyon profili analizi gibi kavramlar öne çıkmıştır. Bluetooth bağlantılı dijital SKA cihazlarının doğruluk ve izleme kapasitesini inceleyen çalışmalar, özellikle sensör tabanlı geri bildirimin antrenman etkinliğini arttırdığını göstermektedir (Stavrou vd., 2021).

Modern yaklaşımlar aynı zamanda solunum kas adaptasyonun nöromüsküler aktivasyon, diyafram hipertrofisi, artmış inspiratuar kas kuvveti ve gelişmiş solunum ekonomisi gibi mekanizmalar üzerinden gerçekleştiğini vurgular (Basbug vd., 2023; Pereira vd., 2019; Ramsook vd., 2017). Bunlara ek olarak son yıllarda “fonksiyonel solunum” kavramı önem kazanmış; diyaframın yalnızca bir solunum kası değil aynı zamanda postüral stabilizasyonda temel bir rol oynadığı (Hodges & Gandevia, 2000) core stabilitesi ile solunum-hareket koordinasyonunun atletik performansı etkilediği ortaya konmuştur. Dolayısıyla modern SKA anlayışı, yalnızca kas kuvvetini artırmaya odaklanan tek boyutlu yaklaşımlardan çıkarak sensör destekli, kişisel biyomekanik odaklı ve hareketle bütünleşik çok boyutlu bir modele dönüşmüştür.

Yüksek Yoğunluklu ve Spesifik Antrenman Modelleri

Yüksek Yoğunluklu SKA (Y-SKA)

Yüksek Yoğunluklu SKA (Y-SKA), klasik SKA protokollerinin uyguladığı %30-50 MIP düzeylerine kıyasla çok daha yüksek bir direnç aralığı (%60-%80 MIP) kullanmasıyla ayrılır ve özellikle dayanıklılık sporlarında performans artırıcı etkileri nedeniyle son yıllarda büyük ilgi görmektedir (Y.-C. Wu vd., 2025; Yu vd., 2024). Yüksek yoğunluklu protokoller, solunum kaslarının güç ve dayanıklılık kapasitesini daha agresif biçimde artırırken, ventilatuar eşik (VT), VO_2 max ve egzersiz sırasında algılanan zorluk (RPE) üzerinde anlamlı iyileşmeler sağlayan sonuçlar üretmiştir (Deliceoğlu vd., 2024; Kowalski vd., 2024). Bu etkilerin temelinde inspiratuar kasların yorgunluğa direncinin artması, solunum kaslarının daha verimli çalışması ve periferik kan akımının

daha etkin yönlendirilmesi yatmaktadır. Ayrıca Y-SKA dayanıklılık sporlarında popüler bir yöntem olarak görülmektedir. Çünkü yüksek ventilasyon gerektiren koşu, bisiklet, triatlon ve kürek gibi branşlarda erken solunum kas yorgunluğu performansı sınırlayan en kritik faktörlerden biridir. Bu nedenle Y-SKA, yüksek performanslı sporcularda ventilatuar ekonomiyi artıran, yorgunluk toleransını geliştiren ve yoğun rekabet koşullarında avantaj sağlayan önemli bir antrenman yöntemine dönüşmüştür.

Spora Özgü Protokoller

Spora özgü solunum kas antrenmanı yaklaşımı, farklı branşların farklı ventilatuar taleplere sahip olması nedeniyle SKA'nın tek tip bir protokol olmaktan çıkarak branşa özgü bir modele dönüşmesini beraberinde getirmiştir. Özellikle yüzme sporunda, hidrostatik basınç, nefes zamanlamasının kulaç döngüsüne bağımlılığı ve su altında diyaframın azalmış kuvvet üretimi gibi faktörler, solunum kaslarının hem güç hem de nefes kontrolü açısından özgül yüklenme gereksinimini ortaya koymaktadır (Liu vd., 2025).

Dayanıklılık ve patlayıcılık gerektiren spor branşlarında solunum kas antrenmanı yaklaşımları, branşa özgü ventilatuar talepler doğrultusunda farklılık göstermektedir. Bisiklet ve triatlon gibi dayanıklılık sporlarında solunum hızı yüksek, ventilasyon talebi uzun süreli ve sürekli olduğundan, orta-yüksek yoğunlukta ve yüksek hacimli SKA protokolleri tercih edilir; bu sayede solunum kas yorgunluğu azaltılır ve ventilatuar verimlilik artar (Kowalski vd., 2024).

Buna karşılık, boks ve dövüş sporları gibi patlayıcı karakterdeki branşlarda, kısa süreli yüksek ventilasyon patlamaları, ani nefes geçişleri ve gövde rotasyonu ile entegre solunum paternleri ön plandadır; bu nedenle aralıklı (interval) ve yüksek yoğunluklu SKA protokolleri daha uygun bir yaklaşım sunar (Alnuman & Alshamasneh, 2022). Bu farklılıklar, solunum kas antrenmanının spor branşlarının metabolik ve nöromüsküler taleplerine göre yapılandırılması gerektiğini ortaya koymaktadır (Manifield, 2022).

1.1. Periyodizasyon Yaklaşımları

Solunum kas antrenmanının periyodize edilmesi, SKA'nın ciddi bir performans hazırlık aracı olarak kabul edilmesiyle birlikte önem kazanmıştır. Modern periyodizasyon modelleri, SKA'yı sezonluk makro döngü içinde hazırlık, yarışma ve geçiş dönemlerine özgü farklı yüklenme yoğunluklarıyla yapılandırmayı önerir. Örneğin hazırlık döneminde daha yüksek yoğunluk (%60-80 MIP) ve daha yüksek frekans (haftada 5-6 gün), yarışma döneminde

ise düşük-orta yoğunluk (%30-50 MIP) ve daha düşük frekansın kullanılması önerilmektedir (McConnell, 2013).

Bu yaklaşım, solunum kaslarının tıpkı diğer iskelet kaslarında olduğu gibi aşamalı yüklenme ve toparlanma prensipleri doğrultusunda adaptasyon göstermesini sağlar. Ayrıca SKA'nın direnç antrenmanı, aerobik antrenman ve interval antrenmanlarla kombinasyonu, ventilatuar eşiği daha fazla arttırdığı ve solunum ekonomisini iyileştirdiği önceki çalışmalarda görülmüştür.

Dayanıklılık sporlarında SKA'nın makro döngüye entegrasyonu, sporcuların yarışma döneminde daha düşük solunum maliyeti ile performans göstermelerine yardımcı olabilir. Bu nedenle periyodizasyon, modern SKA uygulamalarında kritik bir yapı taşı haline gelmiştir.

Dijitalleşme ve Akıllı Cihazlar

Akıllı Inspiratuar Antrenman Cihazları

Dijitalleşmenin solunum kas antrenmanına entegrasyonu, özellikle POWERbreathe K-serisi ve Airofit Pro gibi sensör tabanlı cihazların yaygınlaşması ile hız kazanmıştır. Bu cihazlarda kullanılan basınç ve akış sensörleri, inspiratuar basıncı milisaniye düzeyinde ölçerek kullanıcıya anlık geri bildirim sağlar. Örneğin Airofit Pro, Bluetooth bağlantısı üzerinden akıllı telefon uygulamasına veri aktararak kullanıcının inspiratuar basınç, solunum hacmi ve nefes paternlerini gerçek zamanlı olarak izlemesine imkân tanır (Kowalski & Klusiewicz, 2023; Uçar Baytaroğlu & Karahan, 2025). Benzer biçimde McConnel (2021) POWERbreathe K-Series cihazları, dahili mikro sensörlerle direnç yükünü kullanıcı performansına göre otomatik ayarlar ve bu cihazların “kişiye özel yük adaptasyonu” özelliğini modern SKA'nın bileşenlerinden biri olarak tanımlamıştır (McConnell, 2013).

Yeni nesil dijital SKA cihazları, kullanıcı davranışlarını analiz ederek antrenman sırasında tutarlılık, nefes ritmi performans eğilimleri gibi parametreleri değerlendirir ve uygulama üzerinden bireye özel SKA programları önerir. Bu durum, SKA'nın klasik mekanik cihazlardan çıkarak veri odaklı, kişiselleştirilmiş ve sensör destekli bir sisteme dönüşmesinin temelini oluşturmıştır.

Mobil Uygulamalar ve Tele-SKA

Covid 19 pandemisinden sonra ev temelli rehabilitasyon ve tele-sağlık çözümleri dünya genelinde hızla yaygınlaşmış, solunum kas antrenmanı da bu dönüşümden etkilenmiştir. Tele-SKA uygulamalarında hastalar veya sporcular SKA cihazlarını evde kullanırken sensör verileri mobil uygulama aracılığıyla bulut tabanlı bir sisteme aktarılır ve klinisyen ya da antrenör tarafından uzaktan

izlenir. Bu modelin etkinliği, özellikle pulmoner rehabilitasyonda tele-rehabilitasyonun yüz yüze eğitime benzer başarı sağlandığını gösteren makaleler literatürde görölmektedir (Cavalheiro vd., 2021; Haesum vd., 2012; Mousavi vd., 2022). loT tabanlı solunum izleme sistemleri, nefes frekansı, inpiratuar basınç ve egzersiz uyumunu gerçek zamanlı olarak takip etmeye olanak tanımakta ve sporcularda antrenman yükünün uzaktan yönetilmesini mümkün kılmaktadır. Bu yaklaşım, özellikle yüksek hacimli antrenman dönemlerinde sporcuların ventilatuar adaptasyonlarını takip etmek için değerli bir araç haline gelmiştir.

Giyilebilir Solunum Sensörleri

Giyilebilir solunum sensörleri, sporcularda ventilasyon takibini gerçek zamanlı non-invaziv biçimde yapmayı mümkün kıldığı için modern antrenman biliminde önemli bir teknolojik gelişme olarak görölmektedir. Göğüs bantları (Polar H10, Garmin HRM-Pro) diyafram EMG sensörleri ve solunum frekansı analiz eden elastik göğüs kayışları, solunum hacmi ve frekansındaki değişimleri yüksek doğrulukla tespit edebilmektedir (Martín Gómez vd., 2024; Rogers vd., 2022) Wearable sensörlerinin geçerliliğini inceleyen çalışmalar, solunum frekansı ölçümünde göğüs bantlarının referans cihazlara yakın doğruluk sağladığını göstermiştir (Ali vd., 2021; Chu vd., 2019; De Fazio vd., 2021; Hussain vd., 2023). Ayrıca Whoop, Garmin ve Polar gibi sistemlerde solunum parametreleri (Respiratory Rate -RR) uyku, dinlenme ve egzersiz sırasında otomatik olarak ölçölmekte ve sporcularda antrenman yükü, yorgunluk seviyesi ve toparlanma durumu için önemli biyobelirteçler olarak kullanılmaktadır (Fuller vd., 2020; Massaroni vd., 2019). Bu sistemler, yüksek yoğunluklu antrenmanlarda ventilasyon tepkisini takip etmek için giderek daha fazla tercih edilmektedir.

VR/AR Tabanlı Solunum Antrenmanı ve Biofeedback

VR Destekli Solunum Eğitimleri

Sanal Gerçeklik (VR) tabanlı solunum eğitimi, özellikle 2020 sonrası dönemde hem klinik popölasyonlarda hem de stres yönetimi ve performans geliştirme amacıyla kullanılan yenilikçi bir yaklaşım olarak öne çıkmıştır (Jang vd., 2019; Şimşekli & Tan, 2025; Wormser vd., 2025). VR' ın temel avantajı, kullanıcıyı görsel-işitsel uyarılarla kontrollü bir ortama yerleştirerek solunumu bilinçli biçimde düzenleme fırsatı sunmasıdır. KOAH hastalarında VR tabanlı pulmoner rehabilitasyonun etkinliğini inceleyen Chai, Wu ve He (2023), VR destekli eğitimin dispne şiddetini azalttığını, akciğer fonksiyonlarını geliştirdiğini ve anksiyete düzeyini düşürdüğünü bildirmiştir (Chai vd., 2023).

Spor ve performans alanında ise VR tabanlı farkındalık temelli nefes meditasyonunun stres ve kaygıyı azalttığını, diyafragmatik solunumu geliştirdiğini ve böylece sporcuların baskı altında odaklanma ile kendini düzenleme becerilerini güçlendirerek motor performanslarını artırdığını bildirmiştir (Wagner & Wiecek, 2024). Bu çalışmalar VR' ın yalnızca rehabilitasyon aracı olmadığını aynı zamanda nefes kontrolü, farkındalık ve psikofizyolojik regülasyon süreçlerinde güçlü bir eğitim aracı haline geldiğini göstermektedir.

Biofeedback Sistemleri

Biofeedback tabanlı solunum eğitimi, kalp hızı değişkenliği (HRV), solunum frekansı diyafram aktivasyonu ve otonom sinir sistemi regülasyonunu hedefleyen bilimsel olarak desteklenmiş bir yöntemdir. HRV-biofeedback'in otonom sinir sistemi regülasyonu yoluyla solunumsal kontrolü geliştirdiği, stres ve kaygıyı azalttığı ve hem klinik (Wu vd., 2025) hem de sporcu popülasyonlarında (Su vd., 2025) performans artışı sağladığı literatürde gösterilmiştir. Dijital biofeedback teknolojileri üzerine yapılan güncel incelemelerde, mobil cihazlarla entegre biofeedback sistemlerinin nefes farkındalığını artırdığı, HRV regülasyonunu desteklediği ve stres yönetiminde etkili olduğu belirtilmiştir (Ng vd., 2024; Rockstroh vd., 2021; Shin & Son, 2024). Bu sistemlerde solunum ritmi ve kalp hızı, gerçek zamanlı grafikler aracılığıyla kullanıcıya iletilir ve birey nefesini bu geri bildirim doğrultusunda koordine ederek parasempatik aktivasyonu artırır. Özellikle sporcularda biofeedback, yarışma öncesi regülasyon, baskı altında odaklanma ve nefes ekonomisinin iyileştirilmesi için güçlü bir araç haline gelmiştir.

Yapay Zekâ ve Makine Öğrenimi Tabanlı Solunum Analizi

Yapay zekâ (YZ) ve Makine öğrenimi (MÖ), son yıllarda solunum paternlerinin analizinde güçlü araçlara dönüşmüş ve solunum sinyallerinin sınıflandırılması, performans tahmini ve ventilatuar eşik analizinde yenilikçi uygulamalar sunmuştur. Özellikle solunum paternlerinin (normal, hızlı, düzensiz, apneik) otomatik sınıflandırılmasında derin öğrenme modellerinin yüksek doğrulukla çalıştığı gösterilmiştir. Örneğin, Pessoa et al. (2024), CNN ve LSTM bileşenlerinden oluşan hibrit bir model kullanarak yalnızca akustik solunum seslerinden boyutsuz solunum hava akımı eğrilerini tahmin etmiş ve modelin yüksek korelasyon ($r = 0.77$) ve düşük hata değerleriyle ($MAE = 0.34$) güvenilir sonuçlar verdiğini bildirmiştir (Pessoa vd., 2024). Benzer şekilde, Choi et al. (2024), CNN tabanlı bir Attention U-Net mimarisiyle göğüs BT görüntülerinden solunum kaslarını otomatik olarak segmente ederek bu kas

hacimlerinin solunum fonksiyon testleri (FVC, FEV₁, TLC) ile güçlü korelasyon gösterdiğini rapor etmiştir. Bu çalışmalarla uyumlu olarak, Li (2025), fiziksel egzersiz süresince solunum hızındaki değişimlerin yapay zeka temelli modeller aracılığıyla izlenebileceğini ve solunum oranının hem kardiyorespiratuar verimliliği hem de fizyolojik stres düzeyini yansıtan dijital bir biyo-belirteç olarak değerlendirilebileceğini rapor etmiştir (Li, 2025). Bu bütünsel bulgular, yapay zekâ temelli CNN modellerinin hem görüntüleme hem de akustik sinyal analizinde solunumsal fonksiyonların güvenilir şekilde tahmin edilmesi ve dijital biyo-belirteçlerin geliştirilmiş açılarından güçlü bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir.

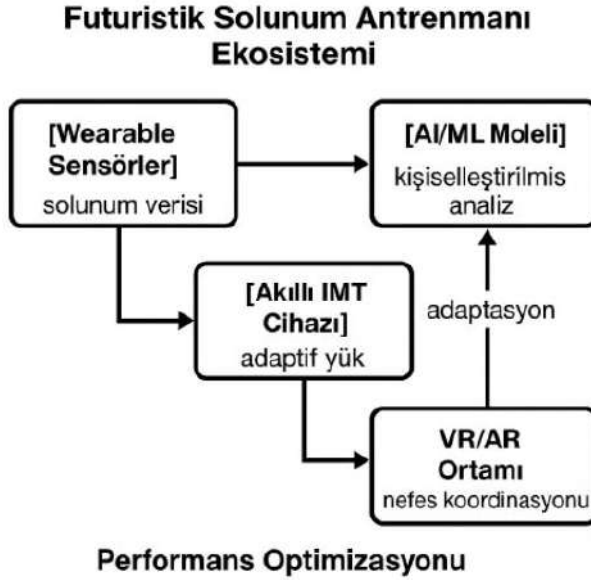
Solunum Antrenmanlarının Gelecek Perspektifi

Gelecekte SKA tamamen kişiye özgü, veri temelli algoritmalarla yönetilen bir yapıya evrilmesi beklenmektedir. Giyilebilir solunum sensörleri ve derin öğrenme modelleri, egzersiz sırasında solunum sinyallerinden ventilatuar eşiklerin ve aerobik-anaerobik geçiş noktalarının tahmin edilmesinde laboratuvar ergospirometrisine yakın doğruluklar bildirmeye başlamıştır. Örneğin, Contreras-Briceno ve ark. (2024), solunum bandı verilerinden ventilatuar eşikleri kestiren bir yapay zeka modelinin klinik değerlendirmeye uyumlu sonuçlar verdiğini göstermiştir (Contreras-Briceño vd., 2024). Benzer şekilde Nicolo, Massoroni ve Passfield (2017), dayanıklılık sporcularında solunum frekansının giyilebilir sensörlerle izlenmesinin antrenman yükü ve performans yönetimi için kritik bir fizyolojik gösterge olduğunu vurgulayarak “solunum ekonomisi” kavramının önemini öne çıkarmaktadır (Nicolò vd., 2017).

Bu teknolojik gelişmeler, SKA cihazlarının yalnızca sabit bir yüzde MIP yüklemesi uygulayan mekanik araçlar olmaktan çıkarak, kullanıcının anlık solunum paternini, yorgunluk düzeyini ve performans trendlerini analiz eden akıllı, adaptif eğitim sistemleri haline gelmesini mümkün kılacaktır. Diğer yandan spor genomikleri alanında artan kanıtlar, belirli genetik varyantların aerobik performans ve ventilatuar yanıtla ilişkili olabileceğini göstermektedir; Ahmetov ve Fedotovskaya’nın (2015) kapsamlı derlemesi, genetik profil ile dayanıklılık/performans ilişkisini ayrıntılı biçimde özetlemekte ve gelecekte solunum kapasitesi ve SKA yanıtının kısmen genetik temelli kişiselleştirilmesinin mümkün olabileceğine işaret etmektedir (Ahmetov & Fedotovskaya, 2015).

Ayrıca sanal gerçeklik (VR) tabanlı nefes eğitimleri ile solunum odaklı psikofizyolojik müdahalelerin entegrasyonu, SKA’ nin yalnızca mekanik yüklenme değil, aynı zamanda dikkat gevşeme ve beden farkındalığına da içine

alan çok bileşenli bir eğitim sürecine dönüşmesini sağlayabilir. VR nefes müdahalelerini inceleyen güncel bir sistematik derleme, VR tabanlı nefes uygulamalarının stres ve kaygıyı azaltmada ve nefes kontrolünü geliştirmede kullanabildiğini göstermektedir (Cortez-Vázquez vd., 2024). Bu tür yaklaşımlar, sporcularda hem duygusal regülasyon hem de solunum paternlerinin optimizasyonu için kullanılabilecek bütüncül VR + SKA + YZ çözümlerinin önünü açmaktadır. Solunum kas yorgunluğunun dayanıklılık performansını sınırlayabildiğini ortaya koyan klasik çalışmalar (örn, Johnson ve ark., 1996), gelecekte nefes ekonomisini iyileştirmeye odaklı, sezona ve bransa özgü, yüksek düzeyde kişiselleştirilmiş SKA protokollerinin performans programlamasında merkezi bir rol oynayacağını düşündürmektedir (Johnson vd., 1996).



Şekil 1. Futuristik Solunum Antrenmanı Ekosistemi

Bu ekosistem, modern solunum kas antrenmanının gelecekte nasıl bütünleşik bir yapıya dönüşeceğini göstermektedir. Wearable sensörler aracılığıyla toplanan solunum verileri, yapay zekâ ve makine öğrenimi modelleri tarafından işlenerek kişiye özgü performans analizleri oluşturur. Bu analizler, akıllı SKA cihazlarına aktarılır ve cihazın yüklenme direncini anlık olarak bireyin ihtiyacına göre uyarlamasını sağlar. Süreç aynı zamanda VR/AR ortamları ile desteklenerek nefes-hareket koordinasyonu, postüral stabilite ve dikkat odaklanması gibi psikofizyolojik bileşenler geliştirilir. Tüm sistem bir araya geldiğinde, sporcularda nefes ekonomisini artırmayı ve performans

optimizasyonunu hedefleyen tamamen kişiselleştirilmiş, veri odaklı ve adaptif bir solunum antrenmanı modeli ortaya çıkar.

Sonuç

Solunum kas antrenmanında yaşanan teknolojik dönüşüm, SKA'nın hem klinik rehabilitasyon süreçlerinde hem de sportif performans uygulamalarında çok daha etkili, güvenilir ve kişiye özgü bir müdahale biçimine evrilmesini sağlamıştır. Sensör tabanlı akıllı cihazlar, giyilebilir solunum sistemleri, yapay zekâ temelli analizler ve VR/AR destekli eğitim ortamları, solunum fonksiyonlarının değerlendirilmesi ve geliştirilmesini tamamen veri odaklı ve objektif bir yapıya taşımıştır. Bu dijitalleşme, klasik SKA yaklaşımlarının ötesine geçerek bireylerin solunum paternlerini gerçek zamanlı izleme, antrenman yükünü anlık olarak uyarlama ve kişisel performans gereksinimlerini göre optimize edilmiş protokoller tasarlama olanağı sunmaktadır. Gelecekte SKA'nın; biyomekanik geri bildirim, genetik yatkınlık analizleri ve yapay zekâ destekli karar sistemlerinin entegrasyonu ile daha da bireyselleşmiş, çok boyutlu ve bilimsel bir solunum antrenmanı ekosisteminin merkezinde yer alması beklenmektedir. Bu bölüm söz konusu teknolojik gelişmelerin SKA'nın etki alanını genişlettiğini ve solunum performansı anlayışını hem klinik hem sportif bağlamda yeniden şekillendirdiğini göstermektedir.

Kaynaklar

- Ahmetov, I. I., & Fedotovskaya, O. N. (2015). Current Progress in Sports Genomics. In *Advances in Clinical Chemistry* (Vol. 70, pp. 247–314). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/bs.acc.2015.03.003>
- Ali, M., Elsayed, A., Mendez, A., Savaria, Y., & Sawan, M. (2021). Contact and Remote Breathing Rate Monitoring Techniques: A Review. *IEEE Sensors Journal*, 21(13), 14569–14586. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2021.3072607>
- Alnuman, N., & Alshamasneh, A. (2022). The Effect of Inspiratory Muscle Training on The Pulmonary Function in Mixed Martial Arts and Kickboxing Athletes. *Journal of Human Kinetics*, 81, 53–63. <https://doi.org/10.2478/hukin-2022-0005>
- Basbug, G., Gurses, H. N., Zeren, M., & Elmadag, N. M. (2023). Effects of inspiratory muscle training on respiratory muscle strength, respiratory function and functional capacity in adolescents with idiopathic scoliosis. *Wiener Klinische Wochenschrift*, 135(11), 282–290. <https://doi.org/10.1007/s00508-023-02197-1>
- Canbulat, N. (1998). *Kronik obstrüktif akciğer hastalığında inspiratuar kas eğitiminin etkinliği* [Ph.D.]. <https://www.proquest.com/docview/2526800916/abstract/E963947DED954307PQ/1>
- Cavalheiro, A. H., Silva Cardoso, J., Rocha, A., Moreira, E., & Azevedo, L. F. (2021). Effectiveness of Tele-rehabilitation Programs in Heart Failure: A Systematic Review and Meta-analysis. *Health Services Insights*, 14, 11786329211021668. <https://doi.org/10.1177/11786329211021668>
- Chai, X., Wu, L., & He, Z. (2023). Effects of virtual reality-based pulmonary rehabilitation in patients with chronic obstructive pulmonary disease: A meta-analysis. *Medicine*, 102(52), e36702. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000036702>
- Chu, M., Nguyen, T., Pandey, V., Zhou, Y., Pham, H. N., Bar-Yoseph, R., Radom-Aizik, S., Jain, R., Cooper, D. M., & Khine, M. (2019). Respiration rate and volume measurements using wearable strain sensors. *Npj Digital Medicine*, 2(1), 8. <https://doi.org/10.1038/s41746-019-0083-3>
- Contreras-Briceño, F., Cancino, J., Espinosa-Ramírez, M., Fernández, G., Johnson, V., & Hurtado, D. E. (2024). Estimation of ventilatory thresholds during exercise using respiratory wearable sensors. *Npj Digital Medicine*, 7(1), 198. <https://doi.org/10.1038/s41746-024-01191-9>
- Cortez-Vázquez, G., Adriaanse, M., Burchell, G. L., Ostelo, R., Panayiotou, G., & Vlemingx, E. (2024). Virtual Reality Breathing Interventions for

- Mental Health: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 49(1), 1–21. <https://doi.org/10.1007/s10484-023-09611-4>
- Cruz, L. B. V. da, Pupin, C. de F., & Verri, E. D. (2024). The influence of respiratory techniques on sports performance: Literature review. *Research, Society and Development*, 13(9), e0813946759–e0813946759. <https://doi.org/10.33448/rsd-v13i9.46759>
- De Fazio, R., Stabile, M., De Vittorio, M., Velázquez, R., & Visconti, P. (2021). An Overview of Wearable Piezoresistive and Inertial Sensors for Respiration Rate Monitoring. *Electronics*, 10(17), 2178. <https://doi.org/10.3390/electronics10172178>
- Deliceoğlu, G., Kabak, B., Çakır, V. O., Ceylan, H. İ., Raul-Ioan, M., Alexe, D. I., & Stefanica, V. (2024). Respiratory Muscle Strength as a Predictor of VO2max and Aerobic Endurance in Competitive Athletes. *Applied Sciences*, 14(19), 8976. <https://doi.org/10.3390/app14198976>
- Demirkan, E., Tosun, M. İ., Kaplan, A., Ayrançlı, M., Cosmin, D. G., Arıcı, M., Kutlu, M., Aslan, V., & Favre, M. (2025). Post-training breakdown: Acute effects of different training types on body hydration status and performance. *Frontiers in Psychology*, 15. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1528840>
- Estrup, C., Lyager, S., Nørraa, N., & Olsen, C. (2009). Effect of Respiratory Muscle Training in Patients with Neuromuscular Diseases and in Normals. *Respiration*, 50(1), 36–43. <https://doi.org/10.1159/000194904>
- Ferreira, P. E. G., Rodrigues, A. J., & Évora, P. R. B. (2009). Effects of an inspiratory muscle rehabilitation program in the postoperative period of cardiac surgery. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, 92, 275–282. <https://doi.org/10.1590/S0066-782X2009000400005>
- Fuller, D., Colwell, E., Low, J., Orychock, K., Tobin, M. A., Simango, B., Buote, R., Heerden, D. V., Luan, H., Cullen, K., Slade, L., & Taylor, N. G. A. (2020). Reliability and Validity of Commercially Available Wearable Devices for Measuring Steps, Energy Expenditure, and Heart Rate: Systematic Review. *JMIR mHealth and uHealth*, 8(9), e18694. <https://doi.org/10.2196/18694>
- Gomes-Neto, M., Saquetto, M. B., Silva, C. M., Carvalho, V. O., Ribeiro, N., & Conceição, C. S. (2016). Effects of Respiratory Muscle Training on Respiratory Function, Respiratory Muscle Strength, and Exercise Tolerance in Patients Poststroke: A Systematic Review With Meta-Analysis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 97(11), 1994–2001. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2016.04.018>

- Haesum, L. K. E., Soerensen, N., Dinesen, B., Nielsen, C., Grann, O., Hejlesen, O., Toft, E., & Ehlers, L. (2012). Cost-utility analysis of a telerehabilitation program: A case study of COPD patients. *Telemedicine Journal and E-Health: The Official Journal of the American Telemedicine Association*, 18(9), 688–692. <https://doi.org/10.1089/tmj.2011.0250>
- Hodges, P. W., & Gandevia, S. C. (2000). Activation of the human diaphragm during a repetitive postural task. *The Journal of Physiology*, 522(1), 165–175. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.2000.t01-1-00165.xm>
- Hussain, T., Ullah, S., Fernández-García, R., & Gil, I. (2023). Wearable Sensors for Respiration Monitoring: A Review. *Sensors*, 23(17), 7518. <https://doi.org/10.3390/s23177518>
- Jang, M.-S., Choung, S.-D., Shim, J.-H., & Hong, S.-T. (2019). Effect of Virtual Reality Inspiratory Muscle Training on Diaphragm Movement and Respiratory Function in Female Patients with Thoracic Restriction. *Korean Society of Physical Medicine*, 14(1), 101–110. <https://doi.org/10.13066/kspm.2019.14.1.101>
- Johnson, B. D., Aaron, E. A., Babcock, M. A., & Dempsey, J. A. (1996). Respiratory muscle fatigue during exercise: Implications for performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 28(9), 1129.
- Koessler, W., Wanke, T., Winkler, G., Nader, A., Toifl, K., Kurz, H., & Zwick, H. (2001). 2 Years' Experience With Inspiratory Muscle Training in Patients With Neuromuscular Disorders. *Chest*, 120(3), 765–769. <https://doi.org/10.1378/chest.120.3.765>
- Köroglu, Y. (2021). The Effects of Respiratory Muscle Training on Aerobic, Anaerobic and Respiration Parameters. *African Educational Research Journal*, 9(2), 405–417.
- Kowalski, T., Granda, D., & Klusiewicz, A. (2024). Practical Application of Respiratory Muscle Training in Endurance Sports. *Strength & Conditioning Journal*, 46(6), 686. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000842>
- Kowalski, T., & Klusiewicz, A. (2023). POWERbreathe® S-Index Test – guidelines and recommendations for practitioners. *Biomedical Human Kinetics*, 15(1), 225–228. <https://doi.org/10.2478/bhk-2023-0026>
- Larson, J. louise. (1985). *INSPIRATORY MUSCLE TRAINING IN PATIENTS WITH CHRONIC OBSTRUCTIVE PULMONARY DISEASE (EXERCISE, REHABILITATION)* [University of Illinois at Chicago]. <https://www.proquest.com/docview/303433024?pq->

origsite=gscholar&fromopenview=true&sourcetype=Dissertations%20&%20Theses

- Li, X. (2025). Deep learning to promote health through sports and physical training. *Frontiers in Public Health*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2025.1583581>
- Liu, S., Gou, P., & Lin, M. (2025). The effect of respiratory muscle training on swimming performance: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Physiology*, 16. <https://doi.org/10.3389/fphys.2025.1638739>
- Magadle, R., McConnell, A. K., Beckerman, M., & Weiner, P. (2007). Inspiratory muscle training in pulmonary rehabilitation program in COPD patients. *Respiratory Medicine*, 101(7), 1500–1505. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2007.01.010>
- Mancini, D. M., Henson, D., Manca, J. L., Donchez, L., & Levine, S. (1995). Benefit of Selective Respiratory Muscle Training on Exercise Capacity in Patients With Chronic Congestive Heart Failure. *Circulation*, 91(2), 320–329. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.91.2.320>
- Manifield, J. R. (2022). *Effects of Inspiratory Muscle Training in Older Adults* [Ph.D., University of Northumbria at Newcastle]. <https://www.proquest.com/docview/2786886666/abstract/7D3CB935CD A64E45PQ/1>
- Mankad, D., Chokshi, T. R., & Satani, K. (2025). Respiratory Muscle Training: A Review. *Medical Science: Recent Advances and Applications Vol. 3*, 34–45. <https://doi.org/10.9734/bpi/msraa/v3/5293>
- Martín Gómez, R., Allevard, E., Kamstra, H., Cotter, J., & Lamb, P. (2024). Validity and Reliability of Movesense HR+ ECG Measurements for High-Intensity Running and Cycling. *Sensors*, 24(17), 5713. <https://doi.org/10.3390/s24175713>
- Massaroni, C., Nicolò, A., Girardi, M., La Camera, A., Schena, E., Sacchetti, M., Silvestri, S., & Taffoni, F. (2019). Validation of a Wearable Device and an Algorithm for Respiratory Monitoring During Exercise. *IEEE Sensors Journal*, 19(12), 4652–4659. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2019.2899658>
- McConnell, A. (2013). *Respiratory Muscle Training: Theory and Practice*. Elsevier Health Sciences.
- McCool, F. D., & Tzelepis, G. E. (1995). Inspiratory Muscle Training in the Patient With Neuromuscular Disease. *Physical Therapy*, 75(11), 1006–1014. <https://doi.org/10.1093/ptj/75.11.1006>
- Mousavi, F., Mousavi, A., Kimiafar, K., & Sarbaz, M. (2022). Evaluating the Cost Effectiveness of Tele-Rehabilitation: A Systematic Review of

- Randomized Clinical Trials. *Frontiers in Health Informatics*, 11, 118. <https://doi.org/10.30699/fhi.v11i1.368>
- Ng, H.-Y. H., Wu, C. W., Hsu, H.-C., Huang, C.-M., Hsu, A.-L., Chao, Y.-P., Jung, T.-P., & Chuang, C.-H. (2024). Neurological Evidence of Diverse Self-Help Breathing Training With Virtual Reality and Biofeedback Assistance: Extensive Exploration Study of Electroencephalography Markers. *JMIR Formative Research*, 8(1), e55478. <https://doi.org/10.2196/55478>
- Nicolò, A., Massaroni, C., & Passfield, L. (2017). Respiratory Frequency during Exercise: The Neglected Physiological Measure. *Frontiers in Physiology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00922>
- Pereira, M. C., Dacha, S., Testelmans, D., Gosselink, R., & Langer, D. (2019). Assessing the effects of inspiratory muscle training in a patient with unilateral diaphragm dysfunction. *Breathe*, 15(2), e90–e96. <https://doi.org/10.1183/20734735.0129-2019>
- Pessoa, D., Rocha, B. M., Gomes, M., Rodrigues, G., Petmezas, G., Cheimariotis, G.-A., Maglaveras, N., Marques, A., Frerichs, I., de Carvalho, P., & Paiva, R. P. (2024). Ensemble deep learning model for dimensionless respiratory airflow estimation using respiratory sound. *Biomedical Signal Processing and Control*, 87, 105451. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2023.105451>
- Ramsook, A. H., Molgat-Seon, Y., Schaeffer, M. R., Wilkie, S. S., Camp, P. G., Reid, W. D., Romer, L. M., & Guenette, J. A. (2017). Effects of inspiratory muscle training on respiratory muscle electromyography and dyspnea during exercise in healthy men. *Journal of Applied Physiology*, 122(5), 1267–1275. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00046.2017>
- Rockstroh, C., Blum, J., & Göritz, A. S. (2021). A mobile VR-based respiratory biofeedback game to foster diaphragmatic breathing. *Virtual Reality*, 25(2), 539–552. <https://doi.org/10.1007/s10055-020-00471-5>
- Rogers, B., Schaffarczyk, M., & Gronwald, T. (2022). Estimation of Respiratory Frequency in Women and Men by Kubios HRV Software Using the Polar H10 or Movesense Medical ECG Sensor during an Exercise Ramp. *Sensors*, 22(19), 7156. <https://doi.org/10.3390/s22197156>
- Shin, H. J., & Son, H. H. (2024). Effect of diaphragmatic breathing training with visual biofeedback on respiratory function in patients with multiple rib fractures: A randomized-controlled study. *Turkish Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, 70(1), 131–141. <https://doi.org/10.5606/tftrd.2024.12601>

- Şimşekli, D., & Tan, M. (2025). Effects of breathing exercises performed with virtual reality on dyspnea, anxiety and quality of life in COPD patients: A randomized controlled trial. *Heart & Lung*, 71, 7–13. <https://doi.org/10.1016/j.hrtlng.2025.01.014>
- Stavrou, V. T., Tournlakopoulos, K. N., Daniil, Z., & Gourgoulisanis, K. I. (2021). Respiratory Muscle Strength: New Technology for Easy Assessment. *Cureus*, 13(5), e14803. <https://doi.org/10.7759/cureus.14803>
- Su, Y.-T., Huang, P.-H., & Hsiao, T.-C. (2025). The Impact of Heart Rate Variability Biofeedback on Anxiety Reduction and Batting Performance Enhancement in Taiwan University Baseball Players. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 10(1), 65. <https://doi.org/10.3390/jfmk10010065>
- Sutbeyaz, S. T., Koseoglu, F., Inan, L., & Coskun, O. (2010). Respiratory muscle training improves cardiopulmonary function and exercise tolerance in subjects with subacute stroke: A randomized controlled trial. *Clinical Rehabilitation*, 24(3), 240–250. <https://doi.org/10.1177/0269215509358932>
- Tosun, M. I., Demirkan, E., Kaplan, A., Ari Yilmaz, Y., Eker Arici, I., Favre, M., Aslan, V., & Kutlu, M. (2025). Respiratory muscle training improves aerobic capacity and respiratory muscle strength in youth wrestlers. *Frontiers in Physiology*, 16. <https://doi.org/10.3389/fphys.2025.1492446>
- Uçar Baytaroğlu, İ. M., & Karahan, A. Y. (2025). Effectiveness of a mobile respiratory trainer (AiroFit PROTM) in ankylosing spondylitis: A randomized controlled trial. *Annals of Medicine*, 57(1), 2582913. <https://doi.org/10.1080/07853890.2025.2582913>
- Wagner, M., & Wiczorek, A. (2024). Ego-depletion and motor skill performance under pressure—Experimental effects of a short term virtual-reality based mindfulness breathing meditation with integrated biofeedback. *Scientific Reports*, 14(1), 17541. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-68043-0>
- Wormser, J., Romanet, C., Cachanado, M., Youinou, M., Chatellier, G., Sánchez, I. T., & Philippart, F. (2025). Virtual reality in adults with respiratory diseases experiencing dyspnoea: A systematic review and meta-analysis. *BMJ Open Respiratory Research*, 12(1). <https://doi.org/10.1136/bmjresp-2024-002722>
- Wu, D.-W., Yang, P.-C., & Lin, I.-M. (2025). Effects of Heart Rate Variability (HRV) Biofeedback in Pulmonary Indicators and HRV Indices Among Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Applied*

Psychophysiology and Biofeedback, 50(3), 383–394.
<https://doi.org/10.1007/s10484-024-09664-z>

- Wu, Y.-C., Chen, Y.-H., Huang, W.-M., & Chen, C.-N. (2025). Home-based, short-duration, high-intensity interval inspiratory muscle training improves exercise capacity of patients with chronic heart failure: A double-blind study. *European Journal of Cardiovascular Nursing*, 24(7), 1161–1169. <https://doi.org/10.1093/eurjcn/zvaf130>
- Yilmaz, Y. A., Tosun, M. I., Demirkan, E., Can, S., Özkan, A., Arici, M., Kutlu, M., Ayranci, M., Marković, M., Arici, İ. E., Güneş, M. O., & Kowalski, T. (2025). Inspiratory muscle warm up improves 400 m performance in elite male runners. *Scientific Reports*, 15(1), 28879. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-14797-0>
- Yu, B., Liu, W., Hu, Y., Huang, Y., Dai, Q., Yang, Y., Fu, C., Zeng, Z., Li, L., Yang, B., Lei, Z., Fan, Y., Li, Y., Wu, J., Zhu, J., Yu, P., Yang, J., Zuo, H., Jia, P., & Yang, S. (2024). Effectiveness of high-intensity inspiratory muscle training, and resistance and aerobic exercise for cardiovascular health in chronic obstructive pulmonary disease (HIRAC-COPD): A randomized controlled trial protocol. *BMC Pulmonary Medicine*, 24(1), 627. <https://doi.org/10.1186/s12890-024-03385-z>

8. Bölüm

Solunum Kas Antrenmanı Araştırmalarında Metodolojik Yaklaşımlar

Mustafa ARICI¹

Giriş

Solunum kası antrenmanı (SKA), hem spor hem de klinik ortamlarda etkili bir müdahale olarak kabul edilmekte olup, inspiratuar gücü, solunum kaslarının dayanıklılığını geliştirme ve dispneyi azaltma üzerindeki etkileri önceki çalışmalarda belirtilmiştir (Basso-Vanelli vd., 2015; Gosselink vd., 2011; Langer vd., 2018). Literatürde yer alan çalışmalar, SKA'nın dayanıklılık sporcularında fiziksel performansı artırabileceğini ve kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOA), kalp yetmezliği ve nöromusküler hastalıkları olan hastalarda yaşam kalitesini önemli ölçüde iyileştirebileceğini göstermektedir (Hajghanbari vd., 2013; Illi vd., 2012).

SKA, uygulamalı fizyolojide hızla gelişen bir alan olup araştırmacıların, klinisyenlerin ve spor profesyonellerinin ilgisini çekmektedir. Klinik ortamlarda SKA, kronik solunum ve kalp hastalığı olan hastalarda kullanılırken, sporda dayanıklılık gerektiren etkinliklerde performansı artırmak için bir strateji olarak kullanılmaktadır (Illi vd., 2012; A. McConnell, 2013).

SKA uygulamalarının yaygınlaşmasıyla birlikte, etkilerini ve altta yatan fizyolojik mekanizmaları inceleyen bilimsel çalışmalarda önemli bir artış olmuştur (Mota vd., 2023; Tosun vd., 2024). Bu çalışmalar; deneysel tasarım, kullanılan protokoller ve etkinliği değerlendirme yöntemleri açısından önemli ölçüde farklılık göstermektedir. Bu çeşitlilik yalnızca solunum sisteminin karmaşıklığını değil, aynı zamanda incelenen popülasyona ve müdahalenin özel hedeflerine bağlı olarak çeşitlendirilmiş metodolojik yaklaşımlara olan ihtiyacı da yansıtmaktadır (Gosselink vd., 2011; Shei vd., 2016).

Bu bölüm, SKA araştırmalarında benimsenen metodolojik yaklaşımlara yönelik genel bir bakış açısı sunmayı hedeflemektedir. Başlıca deneysel tasarım türleri tanıtıldıktan sonra kullanılan ölçüm araçları, katılımcı seçim kriterleri ve veri toplama ve analizinde uygulanabilecek yeni uygulamalar hakkında bilgiler

¹ Arş. Gör., Hitit Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Rekreasyon Bölümü
E mail: mustafaarici@hitit.edu.tr Orcid ID: 0000-0002-6459-8326

yer alacaktır. Burada hedeflenen SKA alanında gelecekteki çalışmaların tasarımına rehberlik edebilecek eleştirel ve yapıcı bir çerçeve sunmaktır.

Solunum Kas Antrenmanında Kullanılan Deneysel Tasarımlar

SKA araştırmaları, farklı klinik ve sportif bağlamlarda müdahalelerin etkinliğini değerlendirmek için çeşitli deneysel tasarımlar kullanır. En sık kullanılan tasarımlar arasında randomize kontrollü çalışmalar, çapraz tasarımlar, yarı deneysel çalışmalar ve daha az ölçüde uzunlamasına gözlemsel çalışmalar bulunur. Randomize kontrollü çalışmalar, randomizasyon ve kontrol gruplarının kullanımı yoluyla önyargıyı azaltma kabiliyetleri nedeniyle bir tedavinin nedensel etkinliğini belirlemek için altın standardı temsil eder (Geddes vd., 2008; Illi vd., 2012). SKA, genellikle farklı inspiratuar yüklerin etkisini karşılaştırmak (%30 - %60 Maksimum İspiratuar Basınç (MIP)) veya antrenmanın plasebo antrenmanına göre etkinliğini incelemek amacıyla kullanılmaktadır (Shei vd., 2016).

Çapraz tasarımlar, özellikle sporcular veya nadir hastalıkları olan popülasyonlar gibi küçük örneklemeler üzerinde yürütülen çalışmalarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu tür bir tasarım, katılımcıların kendi kendilerinin kontrolleri olarak işlev görmelerine olanak tanıyarak istatistiksel gücü artırmakta ve bireyler arası farklılıkları en aza indirmektedir (Downey vd., 2007). Ancak çapraz tasarımların kullanımı müdahalenin kalıcı etkilerinin dikkatli bir şekilde kontrol edilmesini gerektirir (A. K. McConnell & Romer, 2004).

Bazı çalışmalarda, özellikle randomizasyonun etik veya uygulamaya yönelik olarak mümkün olmadığı klinik ortamlarda yarı deneysel tasarımlar kullanılmaktadır. Örneğin, Elnaggar (2021), SKA'nın astım hastaları üzerindeki etkisini değerlendirmek için kontrol grubu olmayan bir ön test – son test tasarım kullanmıştır. Bu tür çalışmalar her ne kadar faydalı bilgiler sunsa da önyargıya oldukça yatkındır ve nedensel çıkarımları zayıflatmaktadır. Bu nedenle, karma yöntemlerin entegrasyonu veya titiz kontroller yoluyla metodolojik kalitenin artırılması elzem hale gelmektedir.

SKA üzerine yapılan çalışmalar hem klinik hem de spor ortamlarında son yıllarda oldukça hızlı yaygınlaşmıştır. Ancak deneysel tasarımların çeşitliliği ve incelenen popülasyonların çokluğu, karmaşık ve her zaman karşılaştırılabilir olmayan bir metodolojik ortamın ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Çalışmalarda kullanılan metodolojileri tam olarak anlamak, sonuçları doğru bir şekilde yorumlamak ve farklı uygulama bağlamlarında en etkili ve uygun stratejileri belirlemek için çok önemlidir (Abreu vd., 2025; Greco vd., 2025). En sık tercih edilen metodolojik tasarımlar, randomize kontrollü çalışmalar, çapraz

tasarımlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Etkinliği değerlendirmede altın standart olarak kabul edilen randomize kontrollü çalışmalar, özellikle klinik ortamlarda (KOA, kalp yetmezliği, nöromusküler hastalıklar) yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin, Langer vd. (2018), plasebo grubu ve MIP, 6 dakika yürüme testi ve dispne skalasına dayalı müdahale öncesi/sonrası ölçümler içeren çift kör bir randomize kontrollü çalışma kullanarak KOA tanısı almış olan hastalarda SKA'nın etkinliğini değerlendirmiştir.

Sağlıklı ve atletik örneklem gruplarında, çapraz tasarımlar daha yaygın olarak kullanılmakta ve her katılımcının hem deneysel hem de kontrol deneği olarak rol almasına olanak tanıyarak, daha az sayıda denekle uygulama tasarlanması istatistiksel gücü artıracaktır (Annino vd., 2022; Chang vd., 2021; Rondinel vd., 2024). Shei vd. (2016), bu yaklaşımı dayanıklılık sporcularında uygulayarak yüksek yoğunluklu solunum antrenmanının etkisini plasebo yüküyle karşılaştırmış ve VO₂ maks ve solunum eşiğinde önemli gelişmeler olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Literatürde yer alan çalışmalarda popülasyonlar son derece heterojen olarak karşımıza çıkmaktadır. KOA hastalarına ek olarak (Gosselink vd., 2011), diğer popülasyonlar şunlardır:

- COVID-19 sonrası denekler: Corrêa ve ark. (2025), COVID sonrası sendromu olan hastalarla uzaktan denetlenen, evde uygulanan bir SKA programı uygulayarak akciğer fonksiyonu ve egzersiz toleransı üzerinde faydalar elde ettiklerine değinmişlerdir.

- Multipl skleroz veya Parkinson hastalığı olan hastalar: Pitts vd. (2009), yapmış oldukları çalışmada SKA'nın yutma fonksiyonunu iyileştirebileceğini ve solunum yolu enfeksiyonu riskini azaltabileceğini göstermişlerdir.

- Hareketsiz yaşlı yetişkinler: Vilaça vd. (2019) ile Souza vd. (2014), yaşlı bireylerde uygulanan 6–8 haftalık SKA programlarının inspirasyon gücünde ve yaşam kalitesi üzerinde anlamlı iyileşmeler sağladığını bildirmişlerdir.

- Serbest dalış ve bisiklet sporcuları: Lomax & McConnell (2009), istemli nefes tutma süresini ve submaksimal performansı artırmak için yoğun SKA programlarından faydalanmışlardır.

Çalışmalarda uygulanan SKA protokolleri hedeflere göre değişiklik göstermektedir. En yaygın yöntem, eşik direnç cihazları (PowerBreathe K-Serisi, Threshold IMT) veya değişken yüklü elektromanyetik cihazlar kullanan SKA'dır. Başlangıç yükü genellikle MIP'in %30-50'si olarak ayarlanır ve bireysel toleransa bağlı olarak kademeli olarak %60-70'e çıkarılır (McConnell, 2013). Önerilen sıklık en az 6-8 hafta boyunca haftada 5-7 kez, 15-30 dakikalık seanslar halindedir (Alnuman & Alshamasneh, 2022; Sadek vd., 2018).

Antrenmanı değerlendirme yöntemleri:

- MIP/ Maksimum Ekspiratuar Basınç (MEP): inspiratuar/ekspiratuar kas gücünün doğrudan bir ölçüsü olarak faydalanılır (Park vd., 2016).
- Tükenme süresi: sabit bir yükte tükenme süresi (Verges vd., 2007).
- Dispne eşiği ve Borg ölçeği: algılanan solunum zorluğu ve efor düzeyini değerlendirmek için kullanılır (Basso-Vanelli vd., 2015).
- 6 dakikalık yürüme testi, VO2 maks ve bisiklet ergometresinde artımlı testler (Lin vd., 2022; Tran vd., 2021).

• PowerBreathe K5, SpiroTiger® ve mobil uygulamalarla entegre yeni teknolojiler artık günlük aktivite sırasında sürekli izleme, gerçek zamanlı iş yükü özelleştirmesi ve ventilasyon parametrelerinin kaydedilmesini sağlamaktadır (Rozenberg vd., 2023; Vázquez-Gandullo vd., 2022).

Örneklem seçimi, randomizasyon, plasebo gruplarının dahil edilmesi, müdahalenin süresi ve sonuç ölçütlerinin standardizasyonu, çalışmaların metodolojik kalitesini belirleyen temel unsurlardır (Abreu vd., 2025; Kowalski vd., 2025).

SKA, inhalasyona ve bazı durumlarda ekshalasyona karşı değişken direnç gösteren ve ventilasyonda rol alan kasların uyarılmasına olanak sağlayan özel cihazlar ile yapılmaktadır. Bilimsel literatürde en sık kullanılan cihazlar arasında; PowerBreathe® (Fernández-Lázaro vd., 2021), Threshold IMT® (Kaeotawee vd., 2022), Airofit® (Michalica vd., 2024) ve SpiroTiger® (Bernardi vd., 2015) cihazları yer almaktadır. Bu araçlar özel olarak bireyselleştirilmiş antrenman, ilerleme takibi ve antrenmanın standartlaştırılmasına olanak tanır.

PowerBreathe®: SKA cihazı ile uygulama esnasında standart protokoller genellikle şunları içermektedir:

Günde 2 antrenman, her bir antrenmanda 30 nefes, başlangıç yükü MIP'in %30-50'si kadar, hastanın durumuna bağlı olarak 7-10 günde bir kademeli artış, toplam 6-8 hafta süren antrenmanlar (Ferraro vd., 2019).

SKA protokollerinde yük genellikle bireyin ilk MIP'ine göre kişiselleştirilmiş kriterleri takip eder. İzlenen modeller iskelet kası antrenmanına benzemektedir, aşamalı yüklenme ve bireysel süreçler dikkate alınarak haftalık ilerleme önerilmektedir (A. McConnell, 2013; Rehder-Santos vd., 2019).

Solunum Ölçüm Cihazlarının Geçerliliği ve Güvenilirliği

• Statik değerlendirme araçları

MIP ve MEP, sırasıyla inspiratuar ve ekspiratuar kas gücünü ölçmek için en sık kullanılan parametrelerdir. Amerikan Toraks Derneği (ATS) yönergelerine

göre, geçerliliği sağlamak için bu testler kalibre edilmiş dijital manometrelerle ve standart protokollere uygun olarak gerçekleştirilmelidir (ATS/ERS, 2002). Çok sayıda çalışma, grup içi korelasyon katsayılarının (ICC) 0,85'ten büyük olmasıyla test-tekrar test güvenilirliğini doğrulamıştır (Larribaut vd., 2020; Lomax & McConnell, 2009; Woszezenki vd., 2017). Ancak doğruluk, deneysel protokollerde dikkate alınması gereken faktörler olan; hastanın öğrenmesi ve motivasyonundan etkilenebilmektedir (Neder vd., 1999).

- **Dinamik Araçlar: İzokinetik Direnç Cihazları**

Son yıllarda solunum kaslarının eş zamanlı olarak antrene edilmesine ve değerlendirilmesine olanak tanıyan cihazlar geliştirilmiştir. Bunlar arasında, sabit veya değişken inspiratuar yükler oluşturabilen ve solunum performansı hakkında objektif veriler sağlayabilen Threshold IMT ve PowerBreathe gibi ayarlanabilir direnç cihazları yer almaktadır (Kaszuba vd., 2019; Rozek-Piechura vd., 2020). Bu cihazlar korunan direnç, tidal hacim ve inspiratuar süre gibi parametreleri ölçmeye yardımcı olmaktadır (A. K. McConnell & Griffiths, 2010).

- **PowerBreathe: Özellikler ve Geçerlilik, Güvenilirlik**

PowerBreathe, inspirasyon gücünü antrene etmek ve değerlendirmek için en yaygın kullanılan cihazlardan biridir. İnhalasyon sırasında mekanik veya elektronik direnç uygulayarak kas adaptasyonunu uyaran taşınabilir bir cihazdır. PowerBreathe K5 gibi elektronik modeller, basınç, akış ve hacmi gerçek zamanlı olarak kaydeden dahili sensörler sayesinde ayrıntılı değerlendirmeye olanak tanımaktadır (Langer vd., 2018).

Çok sayıda çalışma bu cihazın geçerliliğini ve güvenilirliğini doğrulamıştır (Fernández-Lázaro vd., 2022; van Hollebeke vd., 2021; Vicente-Campos vd., 2022). Lee vd. (2021), PowerBreathe verileri ile standart klinik cihazlarla elde edilen referans veriler arasında güçlü bir korelasyon olduğunu bildirmiştir (ICC>0,90). Ayrıca cihazın düzenli kullanımının KOAH veya astımlı hastalarda MIP'i önemli ölçüde iyileştirdiği ve dispneyi azalttığı gösterilmiştir (Lage vd., 2017; Langer vd., 2018). Kullanım kolaylığı ve görsel biyolojik geri bildirim özelliği, cihazı hem klinik ortamlarda hem de sporda özellikle kullanışlı bir araç haline getirmektedir.

- **Ölçüm Cihazlarının Seçiminde Metodolojik Hususlar**

Ölçüm cihazının seçiminde hedef kitle (yetişkinler, yaşlılar, sporcular, kronik hastalar), bağlam (araştırma veya klinik uygulama) ve amaç (teşhis, değerlendirme, izleme veya antrenman) dikkate alınmalıdır. Cihazların sonuçların tekrarlanması, öğrenilmesi ve yorumlanması için net kriterler içeren, doğrulanmış protokollerle kullanılması oldukça önemlidir. Bu koşullar olmadan

her ne kadar teknik olarak gelişmiş cihazlar da olsalar yanıltıcı veya karşılaştırılmaz veriler üretebilirler.

Örneklem Seçim Kriterleri

SKA çalışmaları için katılımcıların dahil edilme ve dışlanma kriterlerini seçmek, sonuçların iç ve dış geçerliliğini doğrudan etkileyebileceği için metodolojik yaklaşım açısından oldukça kritik bir nokta olarak karşımıza çıkmaktadır. Literatürde seçim kriterleri genellikle yaş, solunum sağlığı durumu (örneğin KOAH, astım veya nöromusküler rahatsızlıklar), fiziksel aktivite düzeyi ve fonksiyonel testleri gerçekleştirme becerisi gibi faktörlere göre tanımlanmaktadır (A. McConnell, 2013). Örneğin Corrêa vd. (2025) tarafından yapılan çalışmada, dahil edilme kriterlerindeki çeşitliliğin COVID-19 sonrası hastalarda SKA'nın etkinliği konusunda çelişkili sonuçlara yol açabileceği gözlemlenmiştir.

Birçok çalışma, yanlılığa sebep olabilecek faktörlerin etkisini en aza indirmek için daha katı dışlama kriterleri kullanmaktadır (Cook vd., 2023; Ge vd., 2018; Kadoya vd., 2023). Bunlar arasında ciddi kardiyovasküler komorbiditeler, bilişsel bozukluk veya deneysel protokole uyumu tehlikeye atabilecek tıbbi geçmiş gibi durumlar yer alabilir (Bowhay vd., 2025). Ayrıca bazı protokoller, katılımcının egzersizlerin getirdiği solunum yükünü tolere edebildiğinden emin olmak için zorlu vital kapasite (FVC) veya MIP testleriyle ön tarama testlerinin gerçekleştirilmesini önermektedir (Su vd., 2024; Zhang vd., 2023). Bu tür ön tarama ve ölçümler, özellikle sürekli ve tekrarlanan submaksimal efor gerektiren PowerBreathe gibi cihazlar kullanıldığında önem arz etmektedir (Griffiths & McConnell, 2006).

Örneklem büyüklüğü, metodolojik açıdan önemli bir diğer unsurdur. Birçok çalışma, örneklem seçiminin küçük olmasından kaynaklanan sınırlamalar bildirirse de gerekli büyüklüğü belirlemek için istatistiksel güç hesaplamalarının kullanılması giderek daha fazla önerilen bir uygulama olarak karşımıza çıkmaktadır (Chilakapati vd., 2025; de Oliveira-Sousa vd., 2023). Örneğin Melgaço vd. (2025) tarafından yapılan çalışma, örneklem büyüklüğü için istatistiksel gerekçelendirmenin eksikliğinin SKA denemelerinde yaygın bir zayıflık olduğunu vurgulamıştır. Son olarak, örneklem grubunun cinsiyet dengesi, etnik temsil ve klinik durumun ciddiyetine göre sınıflandırılması, sonuçların genelleştirilebilirliğini sağlamak için olması gereken temel unsurlardandır.

Sonuçların Yorumlanması: Klinik Önem ve İstatistiksel Önem

SKA araştırmalarında, sonuçların doğru yorumlanması için istatistiksel anlamlılık ile klinik anlamlılık arasında ayırım yapmak çok önemlidir. İstatistiksel olarak anlamlı bir sonuç (genellikle p değeri <0.05 ile tanımlanır), gözlenen farkın şansa bağlı olma olasılığının düşük olduğunu gösterir. Fakat bu, özellikle gözlenen etki küçük olduğunda, farkın klinik veya pratik olarak anlamlı olduğu anlamına gelmemektedir (Sullivan & Feinn, 2012).

Örneğin SKA programlarında, büyük bir çalışmada MIP'te 2–3 cmH₂O'luk bir artış istatistiksel olarak anlamlı olabilir, ancak fonksiyonel kapasite veya hastanın dispne algısı açısından somut faydalar sağlamayabilir (Jaeschke vd., 1989; Langer vd., 2018). Bu nedenle, Minimum Klinik Olarak Önemli Farkı (MCID), yani bir değişikliğin hasta tarafından yararlı veya ilişkili olarak algılanabileceği minimum eşiği de dikkate almak önemlidir.

KOAH veya pulmoner fibrozis gibi kronik solunum yolu hastalıkları olan popülasyonlar için müdahaleler planlanırken klinik önem daha da önem kazanmaktadır. Bu popülasyonlarda, literatürde ilgili sonuç için kabul edilen MCID eşiğini aştıkları sürece, küçük ölçekli iyileşmeler bile klinik açıdan önemli olabilir (Gosselink vd., 2011). Ancak birçok SKA çalışması bu değerleri açıkça bildirmediğinden, sonuçların günlük klinik uygulamaya dönüştürülmesi olasılığı sınırlıdır (Luo vd., 2022; Van Kleef vd., 2024).

Son olarak gözlemlenen etkinin doğru bir analizinin yalnızca p -değerlerini değil, etki büyüklüğü ölçümlerini, güven aralıklarını ve istatistiksel güç tahminlerini de içermesi gerektiğini vurgulamak önemlidir. Literatürde yer alan son çalışmalar, istatistiksel sağlamlık ve klinik uygunluğu birleştiren bütünlük bir yorum önererek, klinik karar vericiler ve solunum terapistleri için daha faydalı bir yaklaşım sunmaktadır (Aldhahir vd., 2025; Hopkins vd., 1999). Bu dengeli yaklaşım, SKA müdahalelerinin etkinliğinin daha gerçekçi bir şekilde değerlendirilmesine ve gelecekteki araştırmaların daha iyi tasarlanmasına olanak tanıyacaktır.

Metodolojik Protokollerde Ortaya Çıkan Teknolojiler

Son yıllardaki teknolojik gelişmeler, SKA araştırmalarında kullanılan metodolojik protokolleri önemli ölçüde dönüştürmüştür. Mekanik manometreler veya dijital akış ölçerler gibi geleneksel cihazlar, gerçek zamanlı veri, entegre analizler ve kişiselleştirilmiş görsel geri bildirim sağlayabilen daha gelişmiş cihazlara yerini bırakmıştır (Da Silva Guimarães vd., 2021; Krause-Sorio vd., 2021; van Hollebeke vd., 2021; Vázquez-Gandullo vd., 2022). Bu yeni teknolojiler, yalnızca daha yüksek ölçüm hassasiyeti sağlamakla kalmayıp aynı zamanda deneysel protokolleri standartlaştırmak ve optimize etmek için yeni imkanlar da sunmaktadır (A. McConnell, 2013). En önemli gelişmelerden biri,

inspirasyon performansının ayrıntılı değerlendirmesini sağlamak için basınç, hacim ve akış sensörlerini bünyesinde bulunduran PowerBreathe K Serisi gibi taşınabilir elektronik cihazların piyasaya sürülmesidir. Cihaz, parametrelerin anında görüntülenmesini sağlayarak protokole uyumun izlenmesini ve bireysel fizyolojik tepkilere göre iş yükünün uyarlanmasını kolaylaştırmaktadır (Langer vd., 2018). Ayrıca verilerin analiz süreçleri için dışa aktarılabilmesi, çok merkezli çalışmalarda standartlaştırılmış bilgilerin toplanmasını kolaylaştırır (Birrer vd., 2022; Hoffman vd., 2018).

SpiroTiger gibi gelişmiş araçlar veya antrenman seansları sırasında göğüs hareketini ve tidal hacmi ölçen giyilebilir teknolojiler, laboratuvar dışında daha ekolojik değerlendirmelere olanak tanımaktadır (Bernardi vd., 2015). Bu teknolojiler, geleneksel yöntemlerle her zaman tespit edilemeyen solunum mekaniğindeki ince değişiklikleri tespit edebilir. Son olarak, telemonitörizasyon ve dijital pulmoner rehabilitasyon sistemlerinin kullanımı, özellikle pandemi sonrası dönemde ve klinik merkezlere erişimi sınırlı olan hastalar için hızla yaygınlaşmaktadır (Sanchez-Ramirez vd., 2024). SKA cihazlarına bağlı mobil uygulamalar, zamana bağımlı olmayan geri bildirim, uyum hatırlatmaları ve günlük performansa bağlı otomatik protokol ayarlamaları sağlayabilir. Son çalışmalar, bu çözümlerin hasta motivasyonunu yüksek seviyede tutarken geleneksel SKA müdahalelerinin etkinliğini koruyabileceğini, hatta artırabileceğini göstermiştir (Kim vd., 2022; Krause-Sorio vd., 2021; McCreery vd., 2021).

Gelecekteki Araştırmalar İçin Sonuçlar ve Perspektifler

SKA hem klinik hem de spor ortamlarında önemli bir potansiyel göstermektedir. Bununla birlikte, KOAH hastalarından dayanıklılık sporcularına kadar çeşitli popülasyonlarda SKA'nın etkinliğine dair artan kanıtlara rağmen, literatür hala bulguların genelleştirilebilirliğini sınırlayan önemli metodolojik boşluklara dikkat çekmektedir (Gosselink vd., 2011; Illi vd., 2012). Özellikle deneysel tasarımlardaki değişkenlik, standart protokollerin eksikliği ve ölçüm araçlarının heterojenliği, acilen ele alınması gereken kritik sorunları temsil etmektedir (Van Kleef vd., 2024). Gelecekteki araştırmaların daha kaliteli olması açısından, örneklem seçim kriterlerinin net olması, yeterli istatistiksel güç analizi yapılması ve klinik olarak anlamlı sonuç ölçütlerinin kullanımını içeren ortak metodolojik kılavuzlara yönelmek fayda sağlayacaktır. MCID gibi ölçütlerin sistematik olarak benimsenmesi, sonuçların yorumlanması için faydalı sonuçlar doğurabilir ve verilerin günlük klinik uygulamaya entegrasyonunu kolaylaştırabilir (Jaeschke vd., 1989; Sullivan & Feinn, 2012). Benzer şekilde, etki büyüklüğü ve güven aralıklarının raporlanması, p-

değerlerine yapılan yüzeysel atıfların ötesine geçerek daha bütüncül bir istatistiksel yorumlama sağlamalıdır.

Bir diğer önemli bakış açısı da dijital ve giyilebilir teknolojilerin değerlendirme ve müdahale protokollerine entegrasyonudur. Akıllı cihazlar, mobil uygulamalar ve uzaktan izleme sistemleri yalnızca doğruluğu ve uyumu artırmakla kalmaz, aynı zamanda ev ortamlarında büyük ölçekli uzunlamasına çalışmaların yürütülmesini de sağlayabilir. Bu yaklaşım, uzmanlaşmış bakıma sınırlı erişimi olan popülasyonlarda SKA'nın incelenmesi açısından umut vaat etmektedir (Chen vd., 2024; Formiga vd., 2020; Hartman vd., 2025).

Sonuç olarak, gelecekteki araştırmalar, giderek daha kişiselleştirilmiş ve etkili SKA stratejileri geliştirme hedefiyle, metodolojik titizlik ve teknolojik yeniliği birleştiren, iyi tasarlanmış çok merkezli çalışmalara odaklanmalıdır. SKA'nın pulmoner rehabilitasyonun ve fiziksel performansın optimizasyonunun temel bir bileşeni olarak kullanımını pekiştirmek ancak bütünlüklük bir bilimsel yaklaşımla mümkün olacaktır.

Kaynaklar

- Abreu, R. M. de, Cairo, B., Karsten, M., & Feiereisen, P. (2025). Innovative approaches to exercise assessment and prescription in non-communicable diseases. *frontiersin.org* RM Abreu, B Cairo, M Karsten, P Feiereisen *Frontiers in Sports and Active Living*, 2025•frontiersin.org, 7.
<https://doi.org/10.3389/FSPOR.2025.1560372/FULL>
- Aldahhir, A. M., Alyami, M. M., Alanazi, O., Alasimi, A. H., Alqarni, A. A., Alqahtani, J. S., Naser, A. Y., Alwafi, H., Dairi, M. S., Alghamdi, S. M., Siraj, R. A., Alobaidi, N. Y., Almeshari, M. A., & Alghamdi, A. S. (2025). Practice of High-Flow Nasal Cannula in Patients with Mild to Moderate COPD Among Healthcare Providers in Saudi Arabia: A Cross-Sectional Study. *Journal of Multidisciplinary Healthcare*, 18, 7567-7577.
<https://doi.org/10.2147/JMDH.S560186>
- Alnuman, N., & Alshamasneh, A. (2022). The Effect of Inspiratory Muscle Training on the Pulmonary Function in Mixed Martial Arts and Kickboxing Athletes. *Journal of Human Kinetics*, 81(1), 53-63.
<https://doi.org/10.2478/HUKIN-2022-0005>
- Annino, G., Alashram, A., Romagnoli, C., Balducci, E., De Paolis, M., Manzi, V., & Padua, E. (2022). Acute Effects of Kinesio Taping on Functional Performance in Healthy Soccer Players: A Randomized, Controlled Crossover Trial. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology* 2023, Vol. 8, Page 2, 8(1), 2.
<https://doi.org/10.3390/JFMK8010002>
- ATS/ERS Statement on respiratory muscle testing. (2002). *American journal of respiratory and critical care medicine*, 166(4), 518-624.
<https://doi.org/10.1164/RCCM.166.4.518>
- Basso-Vanelli, R. P., Pires di Lorenzo, V. A., Labadessa, I. G., Regueiro, E. M. G., Jamami, M., Gomes, E. L. F. D., & Costa, D. (2015). Effects of Inspiratory Muscle Training and Calisthenics-and-Breathing Exercises in COPD With and Without Respiratory Muscle Weakness. <https://home.liebertpub.com/rcare>, 61(1), 50-60.
<https://doi.org/10.4187/RESPCARE.03947>
- Bernardi, E., Pomidori, L., Bassal, F., Contoli, M., & Cogo, A. (2015). Respiratory muscle training with normocapnic hyperpnea improves ventilatory pattern and thoracoabdominal coordination, and reduces oxygen desaturation during endurance exercise testing in COPD

- patients. *International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*, 10(1), 1899-1906. <https://doi.org/10.2147/COPD.S88609>
- Birrer, D. L., Kuemmerli, C., Obwegeser, A., Liebi, M., von Felten, S., Pettersson, K., & Horisberger, K. (2022). INSPIRA: study protocol for a randomized-controlled trial about the effect of spirometry-assisted preoperative inspiratory muscle training on postoperative complications in abdominal surgery. *Trials* 2022 23:1, 23(1), 473-. <https://doi.org/10.1186/S13063-022-06254-4>
- Bowhay, B., Williams, C. A., Goodrum, S., Lacy-Kerr, T., Gibbons, M. A., Scotton, C. J., & Tomlinson, O. W. (2025). Utilisation of cardiopulmonary exercise testing for tailored pulmonary rehabilitation in people with interstitial lung diseases: A systematic review. *Clinical Rehabilitation*. <https://doi.org/10.1177/02692155251391661>
- Chang, Y. C., Chang, H. Y., Ho, C. C., Lee, P. F., Chou, Y. C., Tsai, M. W., & Chou, L. W. (2021). Effects of 4-Week Inspiratory Muscle Training on Sport Performance in College 800-Meter Track Runners. *Medicina* 2021, Vol. 57, Page 72, 57(1), 72. <https://doi.org/10.3390/MEDICINA57010072>
- Chen, Q., Wu, X., Huang, Y., & Chen, L. (2024). Internet of Things-Based Home Respiratory Muscle Training for Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease: A Randomized Clinical Trial. *International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*, 19, 1093-1103. <https://doi.org/10.2147/COPD.S454804>
- Chilakapati, S., Rao, J. K., & Paliwal, B. (2025). Exploring the scope of inspiratory muscle training in difficult weaning: reflections on the multicentre RCT. *Journal of Intensive Care* 2025 13:1, 13(1), 13-. <https://doi.org/10.1186/S40560-024-00768-6>
- Cook, A., Smith, L., Anderson, C., Ewing, N., Gammack, A., Pecover, M., Sime, N., & Galley, H. F. (2023). The effect of Preoperative threshold inspiratory muscle training in adults undergoing cardiac surgery on postoperative hospital stay: a systematic review. *Physiotherapy Theory and Practice*, 39(4), 690-703. <https://doi.org/10.1080/09593985.2022.2025548>;REQUESTEDJOURNALS:JOURNAL:IPTP20;WGROU:STRING:PUBLICATION
- Corrêa, E. M., da Silva Mendonça, S., Rocha, R. S. B., da Costa Cunha, K., Falcão, L. F. M., & Normando, V. M. F. (2025). The effects of inspiratory muscle training on exercise tolerance in patients with post-covid-19 syndrome: a systematic review. *Respiratory*

- Da Silva Guimarães, B., De Souza, L. C., Cordeiro, H. F., Regis, T. L., Leite, C. A., Puga, F. P., Alvim, S. H., & Lugon, J. R. (2021). Inspiratory Muscle Training With an Electronic Resistive Loading Device Improves Prolonged Weaning Outcomes in a Randomized Controlled Trial. *Critical Care Medicine*, 49(4), 589-597. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000004787>
- de Oliveira-Sousa, S. L., León-Garzón, M. C., Gacto-Sánchez, M., Ibáñez-Vera, A. J., Espejo-Antúnez, L., & León-Morillas, F. (2023). Does Inspiratory Muscle Training Affect Static Balance in Soccer Players? A Pilot Randomized Controlled Clinical Trial. *Healthcare* 2023, Vol. 11, Page 262, 11(2), 262. <https://doi.org/10.3390/HEALTHCARE11020262>
- Downey, A. E., Chenoweth, L. M., Townsend, D. K., Ranum, J. D., Ferguson, C. S., & Harms, C. A. (2007). Effects of inspiratory muscle training on exercise responses in normoxia and hypoxia. *Respiratory physiology & neurobiology*, 156(2), 137-146. <https://doi.org/10.1016/J.RESP.2006.08.006>
- Elnaggar, R. K. (2021). A randomized placebo-controlled study investigating the efficacy of inspiratory muscle training in the treatment of children with bronchial asthma. *Journal of Asthma*, 58(12), 1661-1669. <https://doi.org/10.1080/02770903.2020.1821058>;WGROU:STRIN G:PUBLICATION
- Fernández-Lázaro, D., Corchete, L. A., García, J. F., Jerves Donoso, D., Lantarón-Caeiro, E., Cobreros Mielgo, R., Mielgo-Ayuso, J., Gallego-Gallego, D., & Seco-Calvo, J. (2022). Effects on Respiratory Pressures, Spirometry Biomarkers, and Sports Performance after Inspiratory Muscle Training in a Physically Active Population by Powerbreath®: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Biology* 2023, Vol. 12, Page 56, 12(1), 56. <https://doi.org/10.3390/BIOLOGY12010056>
- Fernández-Lázaro, D., Gallego-Gallego, D., Corchete, L. A., Fernández Zoppino, D., González-Bernal, J. J., García Gómez, B., & 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* 2021, Vol. 18, Page 6703, 18(13), 6703.
<https://doi.org/10.3390/IJERPH18136703>
- Ferraro, F. V., Gavin, J. P., Wainwright, T., & McConnell, A. (2019). The effects of 8 weeks of inspiratory muscle training on the balance of healthy older adults: a randomized, double-blind, placebo-controlled study. *Physiological Reports*, 7(9), e14076.
<https://doi.org/10.14814/PHY2.14076>;ISSUE:ISSUE:DOI
- Formiga, M. F., Dosbaba, F., Hartman, M., Batalik, L., Plutinsky, M., Brat, K., Ludka, O., & Cahalin, L. P. (2020). <p>Novel versus Traditional Inspiratory Muscle Training Regimens as Home-Based, Stand-Alone Therapies in COPD: Protocol for a Randomized Controlled Trial</p>. *International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*, 15, 2147-2155. <https://doi.org/10.2147/COPD.S266234>
- Ge, X., Wang, W., Hou, L., Yang, K., & Fa, X. (2018). Inspiratory muscle training is associated with decreased postoperative pulmonary complications: Evidence from randomized trials. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 156(3), 1290-1300.e5.
<https://doi.org/10.1016/J.JTCVS.2018.02.105>
- Geddes, E. L., O'Brien, K., Reid, W. D., Brooks, D., & Crowe, J. (2008). Inspiratory muscle training in adults with chronic obstructive pulmonary disease: An update of a systematic review. *Respiratory Medicine*, 102(12), 1715-1729.
<https://doi.org/10.1016/j.rmed.2008.07.005>
- Gosselink, R., De Vos, J., Van Den Heuvel, S. P., Segers, J., Decramer, M., & Kwakkel, G. (2011). Impact of inspiratory muscle training in patients with COPD: what is the evidence? *European Respiratory Journal*, 37(2), 416-425.
<https://doi.org/10.1183/09031936.00031810>
- Greco, G., Fischetti, F., & Cataldi, S. (2025). *Designing and Evaluating Adapted Exercise and Sport Interventions: Toward a Pragmatic, Standardized, and Scalable Framework for Clinical and Community*. <https://doi.org/10.20944/preprints202511.0259.v1>
- Griffiths, L. A., & McConnell, A. K. (2006). The influence of inspiratory and expiratory muscle training upon rowing performance. *European Journal of Applied Physiology* 2006 99:5, 99(5), 457-466.
<https://doi.org/10.1007/S00421-006-0367-6>
- Hajghanbari, B., Yamabayashi, C., Buna, T. R., Coelho, J. D., Freedman, K. D., Morton, T. A., Palmer, S. A., Toy, M. A., Walsh, C., Sheel, A. W., & Reid, W. D. (2013). Effects of respiratory muscle training on

- performance in athletes: a systematic review with meta-analyses. *Journal of strength and conditioning research*, 27(6), 1643-1663. <https://doi.org/10.1519/JSC.0B013E318269F73F>
- Hartman, M., Dosbaba, F., Batalik, L., Vlazna, D., Plutinsky, M., Brat, K., Costa, R. C., Lima, A. S., Cahalin, L. P., & Formiga, M. F. (2025). Home-Based Inspiratory Muscle Training as Stand-Alone Therapy in COPD: A Randomized Sham-Controlled Trial Assessing Novel and Established Training Methods. *COPD*, 22(1). <https://doi.org/10.1080/15412555.2025.2487473>
- Hoffman, M., Van Hollebeke, M., Clerckx, B., Muller, J., Louvaris, Z., Gosselink, R., Hermans, G., & Langer, D. (2018). Can inspiratory muscle training improve weaning outcomes in difficult to wean patients? A protocol for a randomised controlled trial (IMweanT study). *BMJ Open*, 8(6), e021091. <https://doi.org/10.1136/BMJOPEN-2017-021091>
- Hopkins, W. G., Hawley, J. A., & Burke, L. M. (1999). Design and analysis of research on sport performance enhancement. *Medicine and science in sports and exercise*, 31(3), 472-485. <https://doi.org/10.1097/00005768-199903000-00018>
- Illi, S. K., Held, U., Frank, I., & Spengler, C. M. (2012). Effect of Respiratory Muscle Training on Exercise Performance in Healthy Individuals. *Sports Medicine* 2012 42:8, 42(8), 707-724. <https://doi.org/10.1007/BF03262290>
- Jaeschke, R., Singer, J., & Guyatt, G. H. (1989). Measurement of health status: Ascertaining the minimal clinically important difference. *Controlled Clinical Trials*, 10(4), 407-415. [https://doi.org/10.1016/0197-2456\(89\)90005-6](https://doi.org/10.1016/0197-2456(89)90005-6)
- Kadoya, Y., Balamane, S., Visintini, S., & Chow, B. (2023). The efficacy of inspiratory muscle training in patients with coronary artery disease: Protocol for a systematic review and meta-analysis. *PLOS ONE*, 18(9), e0289287. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0289287>
- Kaeotawee, P., Udomittipong, K., Nimmannit, A., Tovichien, P., Palamit, A., Charoensitisup, P., & Mahoran, K. (2022). Effect of Threshold Inspiratory Muscle Training on Functional Fitness and Respiratory Muscle Strength Compared to Incentive Spirometry in Children and Adolescents With Obesity: A Randomized Controlled Trial. *Frontiers in Pediatrics*, 10, 942076. <https://doi.org/10.3389/FPED.2022.942076/BIBTEX>

- Kaszuba, M., Śliwka, A., Piliński, R., Nowobilski, R., & Wloch, T. (2019). Methodologies of inspiratory muscle training techniques in obstructive lung diseases. *Medical Rehabilitation*. <https://bibliotekanauki.pl/articles/1790967.pdf>
- Kim, S. H., Shin, M. J., Lee, J. M., Huh, S., & Shin, Y. B. (2022). Effects of a new respiratory muscle training device in community-dwelling elderly men: an open-label, randomized, non-inferiority trial. *BMC Geriatrics* 22:1, 22(1), 155-. <https://doi.org/10.1186/S12877-022-02828-8>
- Kowalski, T., Schumann, M., Klich, S., & Zanini, M. (2025). Equity in training load: research design considerations for intervention assessment in sports science and physical therapy. *SpringerT Kowalski, M Schumann, S Klich, M ZaniniEuropean Journal of Applied Physiology, 2025•Springer, 125(8), 2067-2075*. <https://doi.org/10.1007/S00421-025-05844-9>
- Krause-Sorio, B., An, E., Aguila, A. P., Martinez, F., Aysola, R. S., & Macey, P. M. (2021). Inspiratory Muscle Training for Obstructive Sleep Apnea: Protocol Development and Feasibility of Home Practice by Sedentary Adults. *Frontiers in Physiology, 12*, 737493. <https://doi.org/10.3389/FPHYS.2021.737493/BIBTEX>
- Lage, S., Gomes, D., Corradi, A. L., Andrade, A., Fregonezi, G., Parreira, V., & Castro, A. C. (2017). Effects of inspiratory muscle training in patients with asthma. *European Respiratory Journal, 50*(suppl 61), PA3282. <https://doi.org/10.1183/1393003.CONGRESS-2017.PA3282>
- Langer, D., Ciavaglia, C., Faisal, A., Webb, K. A., Neder, J. A., Gosselink, R., Dacha, S., Topalovic, M., Ivanova, A., & O'Donnell, D. E. (2018). Inspiratory muscle training reduces diaphragm activation and dyspnea during exercise in COPD. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.01078.2017>, 125(2), 381-392. <https://doi.org/10.1152/JAPPLPHYSIOL.01078.2017>
- Larribaut, J., Gruet, M., McNarry, M. A., Mackintosh, K. A., & Verges, S. (2020). Methodology and reliability of respiratory muscle assessment. *Respiratory Physiology & Neurobiology, 273*, 103321. <https://doi.org/10.1016/J.RESP.2019.103321>
- Lee, S., You, S., Yang, S., & Park, D. (2021). Reliability and Validity of an Electronic Inspiratory Loading Device for Assessing Pulmonary Function in Patients with COPD. *Physical Therapy Rehabilitation Science, 10*(1), 40-47. <https://doi.org/10.14474/PTRS.2021.10.1.40>

- Lin, C. H., Lee, C. W., & Huang, C. H. (2022). Inspiratory Muscle Training Improves Aerobic Fitness in Active Children. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2022, Vol. 19, Page 14722, 19(22), 14722. <https://doi.org/10.3390/IJERPH192214722>
- Lomax, M., & 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. <https://doi.org/10.1159/000211229>
- Luo, Z., Qian, H., Zhang, X., Wang, Y., Wang, J., & Yu, P. (2022). Effectiveness and safety of inspiratory muscle training in patients with pulmonary hypertension: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, 9, 999422. <https://doi.org/10.3389/FCVM.2022.999422/BIBTEX>
- McConnell, A. (2013). *Respiratory muscle training: theory and practice*. [https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=7VVPf7MAN9cC&oi=fnd&pg=PT5&dq=Respiratory+muscle+training:+theory+and+practice.+Elsevier+Health+Sciences.+Shei,+R.+J.,+et+al.+\(2016\).&ots=OOyjSCjhTz&sig=fbE3CVBL19woF5QJZctNn9FgHMc](https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=7VVPf7MAN9cC&oi=fnd&pg=PT5&dq=Respiratory+muscle+training:+theory+and+practice.+Elsevier+Health+Sciences.+Shei,+R.+J.,+et+al.+(2016).&ots=OOyjSCjhTz&sig=fbE3CVBL19woF5QJZctNn9FgHMc)
- McConnell, A. K., & Griffiths, L. A. (2010). Acute cardiorespiratory responses to inspiratory pressure threshold loading. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42(9), 1696-1703. <https://doi.org/10.1249/MSS.0B013E3181D435CF>
- McConnell, A. K., & Romer, L. M. (2004). Respiratory muscle training in healthy humans: resolving the controversy. *International journal of sports medicine*, 25(4), 284-293. <https://doi.org/10.1055/S-2004-815827>
- McCreery, J. L., Mackintosh, K. A., Mills-Bennett, R., McNarry, M. A., McCreery, J. L., Mackintosh, K. A., Mills-Bennett, R., & McNarry, M. A. (2021). The Effect of a High-Intensity Pro2Fit Inspiratory Muscle Training Intervention on Physiological and Psychological Health in Adults with Bronchiectasis: A Mixed-Methods Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2021, Vol. 18, 18(6), 1-17. <https://doi.org/10.3390/IJERPH18063051>
- Melgaço, G. M., Porto, I. L. B., Soares, L. F., Basso, F. M., Araújo, T. de A., Cardoso, R. F., Lorenzo, V. A. P. Di, & de Lima, V. P. (2025). LEVEL OF PARTICIPATION IN PEOPLE WITH INTERSTITIAL

- LUNG DISEASE (ILD): PRELIMINARY RESULTS. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, 29, 101288. <https://doi.org/10.1016/J.BJPT.2025.101288>
- Michalica, T., Březina, J., Polach, M., Born, D. P., Mališ, J., Svozil, Z., & Kociánová, E. (2024). Changes in Race Performance During the Underwater Phases of a 200 m Bi-Fins Race Simulation After Application of Respiratory Muscle Training—A Case Study in the Current World Record Holder. *Sports* 2024, Vol. 12, Page 306, 12(11), 306. <https://doi.org/10.3390/SPORTS12110306>
- Mota, J. C., Santos, M. R. dos, Sousa, L. R. de, Abdoral, P. R. G., Abdoral, L. S. R., & Miranda, C. J. C. de P. (2023). Inspiratory muscle training in people with chronic obstructive pulmonary disease (COPD): a systematic review. *Fisioterapia e Pesquisa*, 30, e21028823en. <https://doi.org/10.1590/1809-2950/E21028823EN>
- Neder, J. A., Andreoni, S., Lerario, M. C., & Nery, L. E. (1999). Reference values for lung function tests: II. Maximal respiratory pressures and voluntary ventilation. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 32(6), 719-727. <https://doi.org/10.1590/S0100-879X1999000600007>
- Park, K. H., Kim, R. B., Yang, J., Oh, J. H., Park, S. Y., Kim, D. G., Shin, J. Y., & Sung, J. J. (2016). Reference Range of Respiratory Muscle Strength and Its Clinical Application in Amyotrophic Lateral Sclerosis: A Single-Center Study. *Journal of Clinical Neurology*, 12(3), 361-367. <https://doi.org/10.3988/JCN.2016.12.3.361>
- Pitts, T., Bolser, D., Rosenbek, J., Troche, M., Okun, M. S., & Sapienza, C. (2009). Impact of Expiratory Muscle Strength Training on Voluntary Cough and Swallow Function in Parkinson Disease. *Chest*, 135(5), 1301-1308. <https://doi.org/10.1378/CHEST.08-1389>
- Rehder-Santos, P., Minatel, V., Milan-Mattos, J. C., Signini, É. D. F., De Abreu, R. M., Dato, C. C., & Catai, A. M. (2019). Critical inspiratory pressure – a new methodology for evaluating and training the inspiratory musculature for recreational cyclists: study protocol for a randomized controlled trial. *Trials* 2019 20:1, 20(1), 258-. <https://doi.org/10.1186/S13063-019-3353-0>
- Rondinel, T. Z., Bocchi, L., Cipriano, G., da Silva Chiappa, G. R., de Sousa Martins, G., Mateus, S. R. M., Cahalin, L. P., & Cipriano, G. F. B. (2024). Diaphragm thickness and mobility elicited by two different modalities of inspiratory muscle loading in heart failure

- participants: A randomized crossover study. *PLOS ONE*, 19(5), e0302735. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0302735>
- Rozek-Piechura, K., Kurzaj, M., Okrzymowska, P., Kucharski, W., Stodółka, J., & Maćkała, K. (2020). Influence of Inspiratory Muscle Training of Various Intensities on the Physical Performance of Long-Distance Runners. *Journal of Human Kinetics*, 75(1), 127-137. <https://doi.org/10.2478/HUKIN-2020-0031>
- Rozenberg, D., Al Kaabi, N., Camacho Perez, E., Nourouzpour, S., Lopez-Hernandez, L., McGillis, L., Goligher, E., Reid, W. D., Chow, C.-W., Ryan, C. M., Kumbhare, D., Huszti, E., Champagne, K., Raj, S., Mak, S., Santa Mina, D., Clarke, H., & Mittal, N. (2023). Evaluation and Management of Dyspnea in Hypermobility Ehlers-Danlos Syndrome and Generalized Hypermobility Spectrum Disorder: Protocol for a Pilot and Feasibility Randomized Controlled Trial. *JMIR research protocols*, 12(1), e44832. <https://doi.org/10.2196/44832>
- Sadek, Z., Salami, A., Joumaa, W. H., Awada, C., Ahmaidi, S., & Ramadan, W. (2018). Best mode of inspiratory muscle training in heart failure patients: a systematic review and meta-analysis. *European Journal of Preventive Cardiology*, 25(16), 1691-1701. <https://doi.org/10.1177/2047487318792315>
- Sanchez-Ramirez, D. C., Pol, M., Loewen, H., & Choukou, M. A. (2024). Effect of telemonitoring and telerehabilitation on physical activity, exercise capacity, health-related quality of life and healthcare use in patients with chronic lung diseases or COVID-19: A scoping review. *Journal of Telemedicine and Telecare*, 30(7), 1097-1115. <https://doi.org/10.1177/1357633X221122124;PAGE:STRING:ARTICLE/CHAPTER>
- Shei, R. J., Paris, H. L. R., Wilhite, D. P., Chapman, R. F., & Mickleborough, T. D. (2016). The role of inspiratory muscle training in the management of asthma and exercise-induced bronchoconstriction. *Taylor & Francis* RJ Shei, HLR Paris, DP Wilhite, RF Chapman, TD Mickleborough *The Physician and sportsmedicine*, 2016•Taylor & Francis, 44(4), 327-334. <https://doi.org/10.1080/00913847.2016.1176546>
- Souza, H., Rocha, T., Pessoa, M., Rattes, C., Brandão, D., Fregonezi, G., Campos, S., Aliverti, A., & Dornelas, A. (2014). Effects of Inspiratory Muscle Training in Elderly Women on Respiratory Muscle Strength, Diaphragm Thickness and Mobility. *The Journals*

- of Gerontology: Series A*, 69(12), 1545-1553.
<https://doi.org/10.1093/GERONA/GLU182>
- Su, J., Huang, W., & Yu, P. (2024). Effect of inspiratory muscle training in esophageal cancer patients receiving esophagectomy: A meta-analysis of randomized controlled trials. *PLOS ONE*, 19(7), e0307069. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0307069>
- Sullivan, G. M., & Feinn, R. (2012). Using Effect Size-or Why the P Value Is Not Enough. *Journal of graduate medical education*, 4(3), 279-282. <https://doi.org/10.4300/JGME-D-12-00156.1>
- Tosun, M. İ., Yılmaz, Y. A., Arıcı, İ. E., & Kaplan, A. (2024). Inspiratory Muscle Training and Its Potential Benefits on Athlete Performance. *International Journal of Religion*, 5(11), 2055-2063. <https://doi.org/10.61707/9ESAPH86>
- Tran, D., Munoz, P., Lau, E. M. T., Alison, J. A., Brown, M., Zheng, Y., Corkery, P., Wong, K., Lindstrom, S., Celermajer, D. S., Davis, G. M., & Cordina, R. (2021). Inspiratory Muscle Training Improves Inspiratory Muscle Strength and Functional Exercise Capacity in Pulmonary Arterial Hypertension and Chronic Thromboembolic Pulmonary Hypertension: A Pilot Randomised Controlled Study. *Heart, Lung and Circulation*, 30(3), 388-395. <https://doi.org/10.1016/J.HLC.2020.06.006>
- van Hollebeke, M., Poddighe, D., Gojevic, T., Clerckx, B., Muller, J., Hermans, G., Gosselink, R., & Langer, D. (2021). Measurement validity of an electronic training device to assess breathing characteristics during inspiratory muscle training in patients with weaning difficulties. *PLOS ONE*, 16(8), e0255431. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0255431>
- Van Kleef, E. S. B., Poddighe, D., Caleffi Pereira, M., Schuurbiers, M. L., Groothuis, J. T., Wijkstra, P. J., Voermans, N. C., Gosselink, R., Langer, D., & Doorduyn, J. (2024). Future Directions for Respiratory Muscle Training in Neuromuscular Disorders: A Scoping Review. *Respiration*, 103(10), 601-621. <https://doi.org/10.1159/000539726>
- Vázquez-Gandullo, E., Hidalgo-Molina, A., Montoro-Ballesteros, F., Morales-González, M., Muñoz-Ramírez, I., & Arnedillo-Muñoz, A. (2022). Inspiratory Muscle Training in Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD) as Part of a Respiratory Rehabilitation Program Implementation of Mechanical Devices: A Systematic Review. *International Journal of Environmental*

- Research and Public Health* 2022, Vol. 19, Page 5564, 19(9), 5564.
<https://doi.org/10.3390/IJERPH19095564>
- Verges, S., Lenherr, O., Haner, A. C., Schulz, C., & Spengler, C. M. (2007). Increased fatigue resistance of respiratory muscles during exercise after respiratory muscle endurance training. *https://doi.org/10.1152/ajpregu.00409.2006*, 292(3), 1246-1253. <https://doi.org/10.1152/AJPREGU.00409.2006>
- Vicente-Campos, D., Sanchez-Jorge, S., Chicharro, J. L., Becerro-de Bengoa-Vallejo, R., Rodriguez-Sanz, D., García, A. R., Rivoire, M., Benet, A., Boubekur, S., & Calvo-Lobo, C. (2022). POWERbreathe® Inspiratory Muscle Training in Amyotrophic Lateral Sclerosis. *Journal of Clinical Medicine* 2022, Vol. 11, Page 6655, 11(22), 6655. <https://doi.org/10.3390/JCM11226655>
- Vilaça, A. F., Pedrosa, B. C. de S., Amaral, T. C. N., Andrade, M. do A., Castro, C. M. M. B. de, & França, E. E. T. de. (2019). The effect of inspiratory muscle training on the quality of life, immune response, inspiratory and lower limb muscle strength of older adults: a randomized controlled trial. *Revista Brasileira de Geriatria e Gerontologia*, 22(6), e190157. <https://doi.org/10.1590/1981-22562019022.190157>
- Woszezenki, C. T., Heinzmann-Filho, J. P., Vendrusculo, F. M., Piva, T. C., Levices, I., & Donadio, M. V. F. (2017). Reference Values for Inspiratory Muscle Endurance in Healthy Children and Adolescents. *PLOS ONE*, 12(1), e0170696. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0170696>
- Zhang, S., Li, B., Meng, X., Zuo, H., & Hu, D. (2023). The Effects of Inspiratory Muscle Training (IMT) on Patients Undergoing Coronary Artery Bypass Graft (CABG) Surgery: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Reviews in Cardiovascular Medicine*, 24(1), 16. <https://doi.org/10.31083/J.RCM2401016/PDF>