

11. Yoğun Bakımda Pulmoner Rehabilitasyon

Doç. Dr. Esra PEHLİVAN

SBÜ, Hamidiye Sağlık Bilimleri Fakültesi, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü, İstanbul

ÖZET

Yoğun bakım ünitelerinde pulmoner rehabilitasyon (PR), hastaların fonksiyonel kapasitelerini koruyarak, komplikasyon riskini azaltır ve iyileşme sürecini hızlandırır. Uzun süreli immobilizasyon, kas gücü kaybı, eklem disfonksiyonları, trombüs-emboli riski ve pulmoner ateletazi gibi komplikasyonlara yol açar. PR, erken mobilizasyon, akciğer volüm artırıcı teknikler, solunum kas egzersizleri ve göğüs hijyen uygulamaları ile bu sorunların önlenmesine katkı sağlar. Yoğun bakım hastalarında PR öncesinde kapsamlı bir değerlendirme yapılır. Kas kuvveti ölçümü, el kavrama kuvveti gibi testler; ventilatuar durum ve mobilite seviyesi değerlendirilir. PR uygulamalarına başlamadan önce ve özellikle egzersizler sırasında hastanın hemodinamik stabilitesi sürekli izlenmeli, uygulamalara başlanma ve ara verme kararının verilmesinde, bu değerlerin güven aralıkları dikkate alınmalıdır.

Yoğun bakımda uygulanan PR yöntemlerinin seçiminde, hastanın bilinç ve egzersize katılım durumu belirleyicidir. Genel olarak yapılan uygulamalar, göğüs hijyenini sağlama ve kas-iskelet sistemini koruyucu yaklaşımlar olarak değerlendirilebilir. Göğüs hijyeninin sağlanmasında, manuel hiperinflasyon, perküsyon ve vibrasyon, pozitif ekspiratuar basınç, yüksek frekanslı göğüs ossilasyon yelekleri gibi yöntemler kullanılmaktadır. Pozisyonlama, eklem hareket açıklığı egzersizleri, aerobik egzersizler, periferik kas kuvvet egzersizleri, nöromusküler elektrik stimülasyonu ve solunum kas eğitimleri, kontraktürlerin önlenmesi, kas gücünün ve aerobik kapasitenin korunması amacıyla uygulanır. Erken mobilizasyon, trombo-emboli riskini azaltırken, fiziksel fonksiyonları geliştirir ve yoğun bakımda kalış süresini kısaltır.

Yoğun bakımda yatmakta olan her hasta, hemodinamik stabilite kriterlerini sağlaması halinde, PR için değerlendirilmeli ve programa alınmalıdır. Bu bölümde, yoğun bakım hastalarında PR kapsamında yapılan değerlendirmeler ve uygulama detayları verilmiştir.

GİRİŞ

Son yıllarda geliştirilen modern medikal tedavilerin ve rehabilitasyon stratejilerinin yoğun bakım üniteleri (YBÜ)'de kullanımının yaygınlaşması nedeniyle, yoğun bakımda kalış süreleri kısalmış ve taburcu edilebilen hasta sayıları artmıştır. Diğer taraftan, özellikle mekanik ventilasyon (MV) desteği alan hastalarda,

YBÜ'ye yeniden interne edilme olasılığı ve mortalite riskinin hala yüksek olduğu bilinmektedir. Bunun temel nedenleri fonksiyonel engelliliğin devam ediyor oluşu, kas gücü kaybı, post-travmatik stres bozukluğu, kognitif yetersizlikler, kritik hastalık myopatisi veya yoğun bakımda kazanılmış kas zayıflığı gibi ısrarcı nörofizyolojik durumlardır.

Pulmoner rehabilitasyon (PR), erken mobilizasyon, akciğer volümlerini arttırma teknikleri, göğüs hijyen teknikleri ve egzersiz eğitimleri ile, yoğun bakımda ortaya çıkması muhtemel ikincil komplikasyonların önlenmesine yardımcı olur. Bu bölümde YBÜ'lerde PR'nin uygulanma gerekçesi ve uygulama teknikleri anlatılacaktır.

YOĞUN BAKIM ÜNİTESİNDE PULMONER REHABİLİTASYON İHTİYACI

Uzamış yatak istirahati, kas kuvvetinin azalmasına, iskelet kaslarında atrofi gelişimine, eklem disfonksiyonlarına, trombus-emboli riskinin ve insülin direncinin artmasına, yatak yarası oluşumuna, pulmoner ateletazi ve sekresyon retansiyonuna neden olur (1,2). Yoğun bakımda takip edilen hastalarda alta yatan kritik hastalıkla beraber, immobilizasyon komplikasyonları daha erken ortaya çıkabilmekte ve tablonun ağırlaşmasına neden olabilmektedir. Uzun yıllar YBÜ'de yatmakta olan kritik hastalara uygulanan egzersiz ve fiziksel aktivitelerin, kaslarda oksijen talebini arttıracak ve vital organlara giden kan akışında azalmaya neden olacağı, solunum desteği alan olgularda ventilatuar talep artışının akciğerler için bir risk teşkil edeceği, kan basıncı ve oksijen tüketiminin düşük tutularak kardiyak iş yükünün azaltılması gerektiği gibi konservatif bir paradigma kabul görmüştür (3). Fakat yapılan bilimsel çalışmalar bu paradigmanın yıkılışını ve erken mobilizasyonun ve fizyoterapinin önemini ortaya koymuştur (3).

İskelet ve solunum kas zayıflığı veya kaybı, yoğun bakım yatışından çok kısa bir süre sonra başlar ve hızla devam eder. Özellikle MV desteği uygulanan hastalarda diyafragma kas zayıflığı hızlı gelişir ve bu durum MV'den ayrılamama nedenlerinden biridir (4). Pulmoner rehabilitasyon kapsamında uygulanan periferik ve solunum kas eğitimleri ile, kas zayıflıklarının ortaya çıkışı önlenilmekte ve kas kuvvet artışı sağlanabilmektedir (5).

Vücutta venöz dönüş, özellikle alt ekstremitelerde kas kontraksiyonlarının ortaya çıkardığı kas pompası vasıtasıyla desteklenir. Uzun süreli yatak istirahatinde, aktif kas kontraksiyonu yapılmadığı durumlarda ise bu pompa etkisi ortadan kalkarak, dolaşım sekteye uğrar. Bunun sonucunda trombo-embolik olay yaşanma riski artar (6). Hareketsizliğe bağlı azalan periferik talep nedeniyle, kardiyopulmoner sistem fonksiyonları yavaşlar ve aerobik kapasite kayıpları gelişir (7). Yoğun bakımlarda uygulanan erken mobilizasyon protokolleri, bu olumsuz etkilerin önüne geçilmesine yardımcı olur (5).

YOĞUN BAKIM ÜNİTESİNDE PULMONER REHABİLİTASYON DEĞERLENDİRME PARAMETRELERİ

Yoğun bakım ünitesinde terapötik müdahaleler öncesinde, kapsamlı bir değerlendirme yapılmalıdır. Hastalık hikayesi, ventilatuar statü, hava yolu temizleme yeteneği ve mobilite statüsü, müdahalelerin seçiminde rol oynar (8).

Yoğun bakım hastalarının değerlendirilmesinde kullanılmak üzere geliştirilmiş test ve skorlamalar mevcuttur. Yoğun bakım yatışı öncesi, YBÜ yatış kararında ve yatış esnasında sık kullanılan fiziksel fonksiyonları değerlendirme skorlama ve yöntemleri Şekil 1'de şematize edilmiştir (9).

Yoğun bakımda kas kuvvetinin belirlenmesinde "Medical Research Council (MRC)" manuel kas kuvvet değerlendirmesi yapılabildiği gibi, el kavrama kuvveti ölçümü ve dijital kas kuvvet ölçüm cihazı ile periferik kas kuvvet ölçümü (Resim 1)'de kullanılan yöntemlerdendir (10). El kavrama kuvveti ile başarılı weaning arasında bir ilişki bulunduğu, MV'den ayırma kararının verilmesinde el kavrama kuvvetinin bir prediktör olarak kullanılabilmesinin ifade edildiği çalışmalar da mevcuttur (11).

YOĞUN BAKIMDA EGZERSİZE BAŞLAMA VE EGZERSİZİ SONLANDIRMA KRİTERLERİ

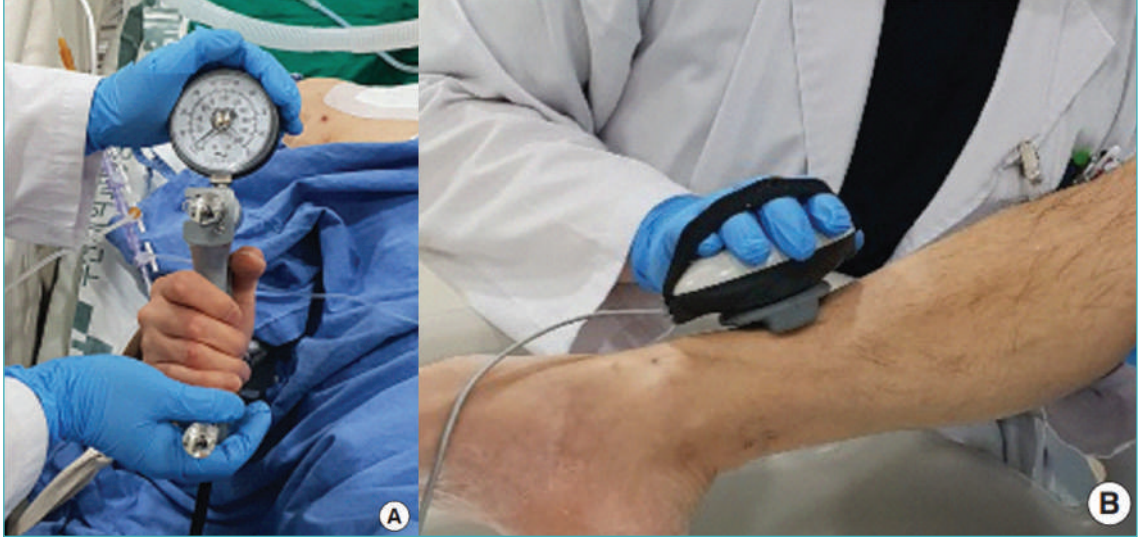
Yoğun bakımda yatmakta olan olgulara, PR ve fizyoterapi müdahalesinin güvenle yapılabilmesi için, hastanın hemodinamik olarak stabil olması gereklidir. Egzersiz seansı öncesinde kapsamlı bir değerlendirme yapılmalı ve egzersize başlama kriterlerinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmelidir. Egzersiz seansı boyunca da hemodinamik yanıtlar anlık takip edilerek, gerekli hallerde molalar verilmeli ya da seans sonlandırılmalıdır. Yoğun bakımda fizyoterapiye başlama ve durma kriterleri Tablo 1'de özetlenmiştir (12).

YOĞUN BAKIMDA FİZYOTERAPİ TEKNİKLERİ

Yoğun bakımda fizyoterapi, PR uygulamalarının temelini oluşturmaktadır. Uygulanan fizyoterapi teknikleri kas zayıflığının önlenmesi ve göğüs hijyeninin sağlanması olarak iki başlık altında toplanabilir. Uygulamaların seçiminde belirleyici olan, hastanın bilinç ve tolerasyon düzeyidir. Sedatize olgularda, hasta katılımı gerektirmeyen uygulamalar seçilirken, uyanık hastalarda tolerasyon düzeyine göre hasta katılımı optimal düzeyde tutularak uygulamalar gerçekleştirilir. Tablo 2'de YBÜ'de uygulanan fizyoterapi teknikleri özetlenmiştir (13).

Şekil 1. Yoğun bakım hastalarında fiziksel fonksiyonları değerlendirme parametreleri (1).

BPS: Behavioral Pain Scale (Davranışsal Ağrı Ölçeği), CAM-ICU: Confusion Assessment Method for the Intensive Care Unit (Yoğun Bakım Ünitesi Konfüzyon Değerlendirme Yöntemi), CPAx: Chelsea Critical Care Physical Assessment Tool (Chelsea Yoğun Bakım Fiziksel Değerlendirme Aracı), CPOT: Critical Care Pain Observation Tool (Yoğun Bakım Ağrı Gözlem Aracı), FSS ICU: Functional Status Scale for Intensive Care Unit (Yoğun Bakım Ünitesi Fonksiyonel Durum Ölçeği) ICDSC: Intensive Care Delirium Screening Checklist (Yoğun Bakım Deliryum Tarama Kontrol Listesi), IMS: ICU Mobility Scale (Yoğun Bakım Mobilite Skalası), GYA: Günlük yaşam aktiviteleri, Lawton IADL: Lawton Instrumental Activities of Daily Living (Lawton Aletsel Günlük Yaşam Aktiviteleri), MRC: Medical Research Council Scale (Tıbbi Araştırma Konseyi Kas Kuvveti Ölçeği), PFIT-s: Physical Function in ICU Test - scored (Yoğun Bakımda Fiziksel Fonksiyon Testi - puanlı), RASS: Richmond Agitation-Sedation Scale (Richmond Ajitasyon-Sedasyon Skalası, SAS: Sedation-Agitation Scale (Sedasyon-Ajitasyon Skalası).

Resim 1. A. El kavrama kuvveti ölçümü, B. Dijital dinanometre ile periferik kas kuvvet ölçümü (12).

Kas Zayıflığının Yönetimi

Yoğun bakımda periferik ve solunum kas zayıflığı, uzamış immobilizasyon ve MV desteği sebebiyle sık-

lıkla görülmektedir. Bu komplikasyonların oluşmasının engellenmesi için hasta en kısa süre içerisinde mobilize ve ambule edilmelidir. Hasta katılımı başlar başlamaz ise periferik ve solunum kas kuvvetlen-

Tablo 1. Yoğun bakımda fizyoterapiye başlama ve fizyoterapiyi sonlandırma kriterleri.

	Başlama Kriterleri	Sonlandırma Kriterleri
Kardiovasküler sistem stabilite kriterleri	KH: 60-130 atım/dakika SKB: 90-180 mmHg OAB: 60-100 mmHg	KH: < 60veya > 130 atım/dakika SKB: < 90veya > 180 mmHg OAB: < 60 veya 100 mmHg
Solunumsal kriterler	SF:5-40 soluk/dakika SaO ₂ : > 88 FiO ₂ : > 60 PEEP: < 10 cmH ₂ O Yapay hava yolu sabitlenmeli	SF: < 5 veya > 40 soluk/dakika SaO ₂ : < 88 Yapay hava yolunun sabitlenmemiş olması
Diğerleri	Sesli uyarana göz ile yanıt	Bilinç düzeyi değişikliği Aritmi Göğüs ağrısı Ventilatör uyumsuzluğu Hasta intoleransı ve tedaviyi reddetme Ateş 38'in üstündeyse (1 derece artış, 10 atım artış)

FiO₂: Alınan havanın oksijen yüzdesi, KB: Kan basıncı, KH: Kalp hızı, OAB: Ortalama arter basıncı (MAB), PEEP: Ekspirasyon sonu pozitif basıncı, SaO₂: Periferik oksijen saturasyonu, SF: Solunum frekansı, SKB: Sistolik arter basıncı.

Tablo 2. Yoğun bakımda uygulanan fizyoterapi teknikleri.

Kas Zayıflığı	Pasif-aktif asistif mobilizasyon Devamlı rotasyonel terapi Postür Aktif ekstremitte egzersizleri Periferik kas kuvvetlendirme Nöromusküler elektrik stimülasyonu Solunum kas eğitimi
Göğüs Hijyeni	Manuel hiperinflasyon Perküsyon-vibrasyon Mekanik in-ekssüflasyon Perküsyif ventilasyon Pozitif ekspiratuar basınç (PEP) cihazları

dirme eğitimlerine başlanmalı, egzersiz intoleransı görülen durumlarda Nöromusküler Elektrik Stimülasyonu (NMES) uygulamasının yapılması değerlendirilmelidir. Kas zayıflığının yönetiminde yapılması gerekenler, aşağıda sunulmuştur.

Mobilizasyon ve ambulasyon: Yoğun bakımda hemodinamik stabilite sağlanır sağlanmaz, hasta mobilize edilmeye başlanmalıdır. Mobilizasyon sedasyon altında olan hastalarda ve aktif mobilizasyonu tolere edemeyen olgularda fizyoterapist tarafından eklem hareket açıklığı egzersizleriyle ve pasif bisikletlerle gerçekleştirilebilir. Uyanık ve egzersiz katılımlı olan hastalarda ise aktif asistif eklem hareketleri, yatak içi dönmeler, köprü kurma gibi mobilizasyon uygulamaları, verilen destek progresif olarak azaltılarak uygulanır. Yoğun bakım ünitelerinde hastanın ger-

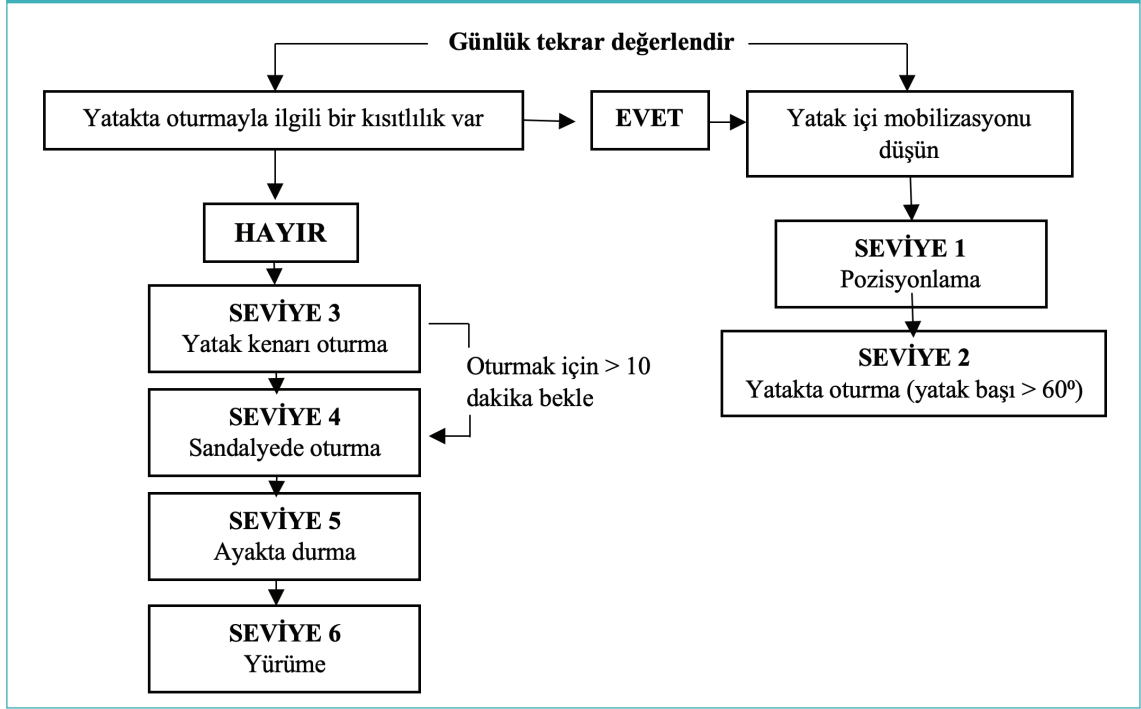
çekleştirebildiği aktivite çeşidine göre mobilizasyon seviyelerinin progresyonu Şekil 2'de şematize edilmiştir (14).

Yoğun bakım hastalarında erken mobilizasyonun güvenle gerçekleştirilebilmesi için geliştirilmiş olan protokoller mevcuttur. Bu protokollerde dikkate alınan temel faktör hastanın bilinç durumudur. Şekil 3 (15)'te mobilizasyon güvenliği için dikkat edilmesi gereken klinik özellikler, Şekil 4 (16)'te ise progresif bir mobilizasyon örneği verilmiştir.

Yoğun bakımda hastanın yatak içi ve kenarı mobilizasyon aşamaları tamamlandığında, bir sonraki aşamada yürümeye geçilmelidir. Yürüme şiddetinin ne olacağına, hastanın klinik durumuna göre karar verilmelidir. Yürüme kararının verilmesinde dikkate alınan parametreler Tablo 3'te verilmiştir (17). Bilinçli açık, kas kuvveti yeterli, vital bulguları stabil olan, denge problemi bulunmayan hastalar mümkün olan en kısa sürede ambule edilmelidir.

Pozisyonlama: Hareket etmek, fizyolojik bir ihtiyaçtır. Kaldı ki kritik hastalarda kullanılan ilaçlar ve uzamış immobilizasyon nedeniyle bu ihtiyaç daha hayati bir boyuta taşınır. Yoğun bakımlarda pozisyon değişikliği klasik olarak iki saat aralıklarla sağa ve sola yan, sırt üstü, yüzükoyun (prone), yüksek yatış, sandalyede oturma, destekli ve desteksiz ayakta duruş şeklinde uygulanır. Hastanın ayakta duruş pozisyonuna alınabilmesi için walkerlar, ayakta duruş standları veya tilt table gibi yardımcı gereç ve des-

Şekil 2. Yoğun bakımda mobilizasyon seviyeleri (14).

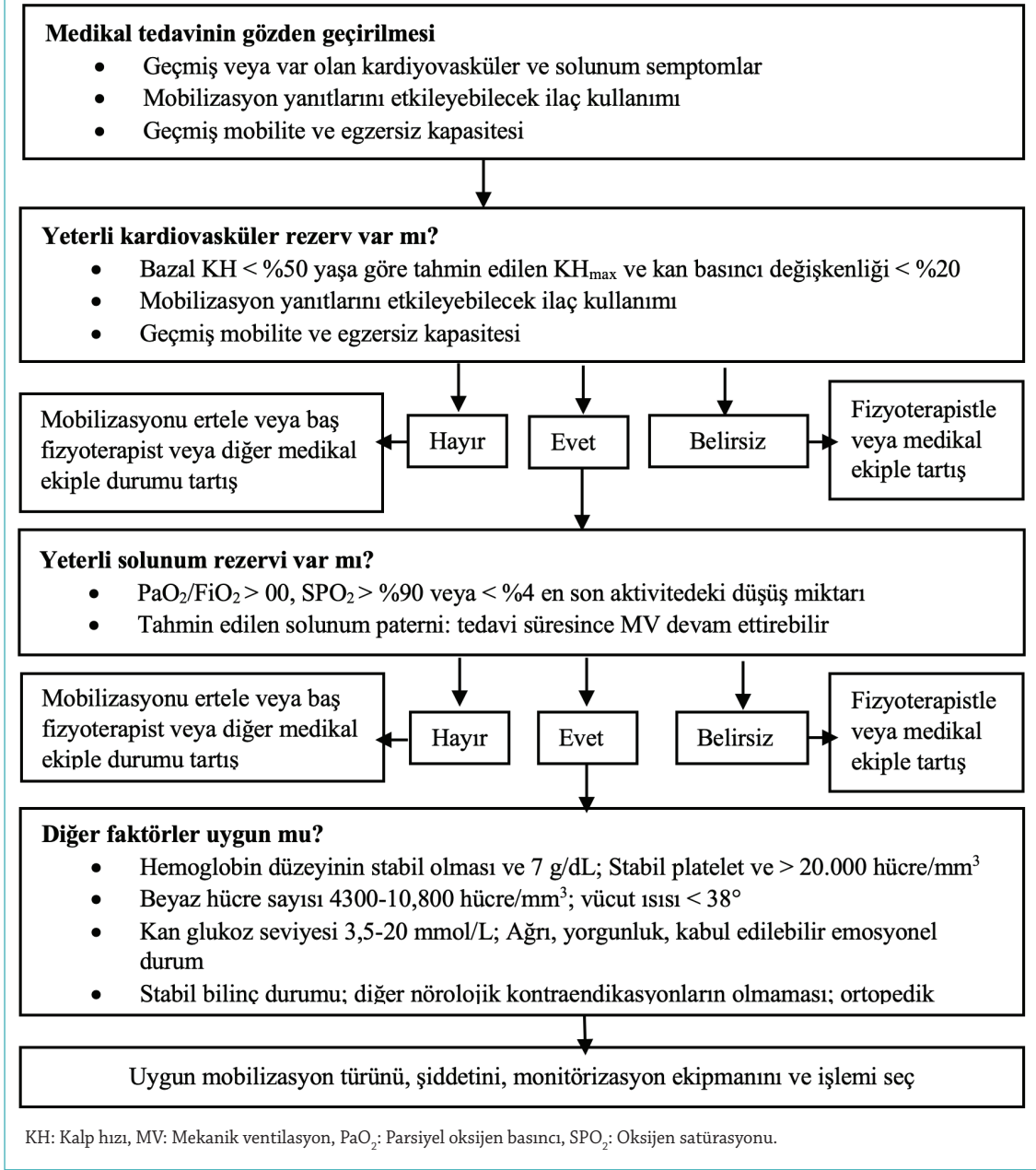


teker kullanılabilir. Hastaya uygulanan bu pozisyon değişikliklerinin basınç ülseri ve derin ven trombüsü gelişimi riskini azalttığı bildirilmektedir (18).

Prone pozisyonu genellikle akut respiratuar distres sendromunun geliştiği hastalara uygulanan ve mortalite oranlarını azalttığına dair verilerin bulunduğu bir pozisyonlama şeklidir (19). Prone pozisyonunda, yüzey alanı anteriora göre daha geniş olan posterior akciğer yüzeyi yukarıya getirilerek, ventilasyona katılan akciğer alanı artırılmış olmakta, ventilasyon-perfüzyon mismatch'i ve rezidüel akciğer kapasitesi azalmakta, akciğerler üzerine binen iç organ basısı ortadan kalkmaktadır (20). Prone pozisyonunun sayılan faydalarına rağmen dikkatli uygulanmaması halinde, brachial pleksus yaralanmasına (21), endotrakeal tüp obstrüksiyonuna ve bası yarası oluşumuna neden olduğunun bildirildiği olgular da bulunmaktadır (19).

Yoğun bakımda hasta pozisyonlanmasının yapılması, sağlık personelini fiziksel olarak zorlayan bir uygulamadır ve pozisyon değişikliği ortalama iki saat aralıklarla yapılır. Geliştirilen özel yataklar, longitudinal düzlem boyunca sürekli pozisyon değişikliğini mümkün kılar ve bu dönüş hareketi, ayarlanan sürelerde kesintisiz olarak gerçekleştirilebilir. Kinetik terapi veya lateral rotasyonel terapi olarak adlandırılan bu uygulama ile ateletaksi ve pnömoni gelişimi, endotrakeal entübasyon ve yoğun bakımda kalış süresini azaltmaktadır (22).

Eklem hareket açıklığı egzersizleri: Eklem hareket açıklığı (EHA) egzersizlerinin uygulanma amacı, eklemlerde gelişme potansiyeli yüksek olan kontraktür ve limitasyonların önüne geçilmesidir. Egzersizler pasif, aktif asistif veya aktif olarak gerçekleştirilebilir. Bu egzersizlerinin en yaygın uygulama biçimi fizyoterapist tarafından yapılan olmasının yanı sıra, yatak başı bisiklet kullanımı da bir seçenektir (Resim 2) (14). Bisiklete hasta ekstremitesi velkrolarla yerleştirilir ve cihazın hız ve süresi ayarlanarak hasta sedasyon altında olsa bile uygulama yapılabilir. Hasta katılımının başlamasıyla birlikte, cihaz aktif bisiklet çevirme eforuyla yüksüz veya direnç verilerek yüklü olarak da gerçekleştirilebilir. Bu durumda egzersiz hem eklem hareket açıklığını korumakta hem de aerobik hatta direnç eğitimi olarak da fayda sağlamaktadır. Yapılan üç kollu randomize kontrollü bir çalışmada pasif EHA egzersizi, pasif bisiklet egzersizi ile eş zamanlı quadriseps femorise elektrik stimülasyonu veya fonksiyonel elektrik stimülasyonu (FES) uygulanan üç grupta, sadece FES ile bisiklet uygulanan grupta kardiyak outputun arttığı ve üretilen kassal işin yeterli düzeyde olduğu tespit edilmiştir (23). Dolayısıyla pasif veya aktif asistif EHA veya bisiklet egzersizleri sırasında eş zamanlı elektrik stimülasyonu uygulamalarının hasta kliniği üzerine olumlu etkileri olabilir.

Şekil 3. Mobilizasyon güvenliği için dikkat edilmesi gereken klinik özellikler (15).

Periferik kas kuvvetlendirme egzersizleri: Yoğun bakımda yatmakta olan, özellikle sedasyon altındaki kritik hastalarda iskelet kas kuvvetlendirme eğitimleri, kas kuvvetini arttırmakta, fonksiyonelliği geliştirmekte, hastane kalış süresi ve hayatta kalım süresi üzerine olumlu etki etmektedir. Egzersizler serbest ağırlıklarla ve izokinetik bantlarla uygulanabilmektedir (Resim 3) (24). Uygulamalar sırasında hastanın hemodinamik parametreleri anlık olarak takip edilmeli ve intolerasyon veya yorgunluk bulgularının gelişmesi halinde mola verilmeli ya da seans sonlandırılmalıdır.

Nöromusküler elektrik stimülasyonu: Nöromusküler elektrik stimülasyonu, yoğun bakım nöromyopatinin önlenmesinde kullanılan yöntemlerdendir. Uygulanan stimülasyon, ventilatuar stres yaratmadan kasta elektriksel potansiyel oluşturur. Özellikle sedatize olan ve egzersiz intolerasyonu görülen olgularda uygulanması tavsiye edilmektedir. Erken egzersiz eğitimine ek olarak uygulanması halinde, kas atrofilerinin engellenmesinde etkili olduğuna dair çalışmalar mevcuttur (25). Yapılan bir meta-analizde, YBÜ yatışının erken döneminde uygulanmaya

Şekil 4. Yoğun bakımda progresif mobilizasyon örneği (16).

BURADAN BAŞLA	Kompleks, entübe, hemodinamik olarak anstabil ve stabil entübe olan veya olmayan hastalar		Entübe, entübe olmayan hemodinamik olarak stabil, kontraendikasyonları olmayan hastalar		
	SEVİYE 1	SEVİYE 2	SEVİYE 3	SEVİYE 4	SEVİYE 5
YBÜ yatışı sonrası 8 saat içerisinde mobilite başlangıcını değerlendirir. Değerlendirmeyi her 24 saatte tekrar et.	RASS-5 İla -3	RASS-3 ve yukarısı	RASS-1 ve yukarısı	RASS 0 ve yukarısı	RASS 0 ve yukarısı
Mobilite seviyesini belirlemek için aşağıdaki kriterleri dikkate al.	Hedef: klinik stabilite; pasif NEH	Hedef: dik oturma; kuvvet artılı ve yerçekimine karşı kolların hareketi	Hedef: Gövde kuvvetinin arttırılması, yerçekimine karşı bacak hareketleri ve ağırlık aktarımına hazırlık	Hedef: ayakta durma, ağırlık aktarımı ve sandalyeye transfer	Hedef: Ambulasyon mesafesinin arttırılması ve GYA başarısı
*PaO ₂ /FiO ₂ ≥250 *Peep<10 *O ₂ Sat≥%90 *SH 10-30 *Yeni başlangıçlı kardiyak ritmi veya iskemi olmaması *KH>60<120 *OAB>55<140 *SKB>90 <180 *Yeni veya artan vasopresör infüzyonu olmaması	AKTİVİTE: Yatak başı≥90 Pasif NEH 2 X gün DLRT/ Hasta kriterleri taşıyorsa pronasyona başlanır veya 2 saat aralıklarla dönme	Fzt konsültasyonu ET konsültasyonu AKTİVİTE: HOB≥30 Pasif/ Aktif NEH 3kez x gün 1. Yatak başı 45° x 15dk 2.Yatak başı 45°, bacakların bağımsız pozisyonlanması x 15dk 3.Yatak başı 65°, bacakların bağımsız pozisyonlanması x 15dk 4.Adım (3) & full sandalye modu x 20dk, 3kez x gün	Fzt: Günde 1 kez aktif rezistanslı kuvvetlendirme egzersizi ET konsültasyonu AKTİVİTE: Kendi kendine veya asiste 2 saat aralıklarla dönme 1.Yardımlı yatak kenarında oturma x 5dk 2.Progresif yatakta oturma pozisyonu 20dk, 3 x gün Veya Pivot veya sandalye pozisyonu 2 x gün	Fzt x günde 2kez, GYA için ET konsültasyonu	Fzt x günde 2 kez & ET x günde 1 kez
Hayır ↓ Evet ↓	Seviye 1 ile başla	Seviye 2 ile başla ve ilerlet	Seviye 3 aktiviteleri tolere edildiyse	Seviye 4 aktiviteleri tolere edildiyse	Daha az yardımlı daha fazla ambulasyon x 2 veya 3/gün

DLRT: Devamlı lateral rotasyon terapisi, ET: Ergoterapist, Fzt: Fizyoterapist, KH: Kalp hızı, OAB: Ortalama arterial basınç, RASS: Richmond ajitasyon sedasyon skalası, NEH: Normal eklem hareket açıklığı egzersizi, SKB: Sistolik kan basıncı.

Tablo 3. Yoğun bakımda yürüyüş kararının verilmesi için dikkate alınan klinik özellikler.

Glasgow koma skoru	> 8/15 (komutlara rahat uyabilir)
Kas kuvveti	MRC > 4/5
Vital bulgular	SpO ₂ > %90 Dinlenme kalp hızı < 100/dakika Yürüme kalp hızı yükselişi < 20 atım/dakika, MABP > 70 mmHg Yürüme sonrasında KB'nin 10mmHg'den fazla düşmemiş olması FiO ₂ < 0,4
Denge	Berg denge skoru > 3
Yorgunluk	Borg < 5/10
FiO ₂ : İnspire edilen havadaki oksijen yüzdesi, MABP: Ortalama arterial kan basıncı, MRC: Medical Research Council kas kuvveti derecelendirmesi.	

başlanan NMES'in, YBÜ'de kazanılmış kas zayıflığı gelişimini engellediği, yaşam kalitesini arttırdığı, MV uygulama süresini ve toplam hastane yatış süresini azalttığı rapor edilmiştir (26).

Literatürde, diyafragmanın transkutanöz elektrik stimülasyonu (TENS) ile ilgili çalışmalara da rastlanmaktadır. Weaning aşamasındaki hastaların

diyafragmasına günlük olarak uygulanan TENS'in etkinliğinin, kontrol grubuyla karşılaştırıldığı bir çalışmada, uygulamanın diyafragma disfonksiyonunu engellemediği ve inspiratuar kas kuvvet artışı sağlamadığı bildirilmiştir (27). Başka bir çalışmada ise uzamış MV'li hastalarda uygulandığında solunum kas kuvvetini arttırdığı sonucuna varılmıştır (28).

Resim 2. Yoğun bakımda yatak başı pasif bisiklet uygulaması (14).

Dolayısıyla TENS'in diyafragma üzerindeki etkinliği hali hazırda tartışmalı bir konudur ve daha fazla klinik çalışmaya ihtiyaç vardır.

Solunum kas eğitimi: Yoğun bakım hastalarında solunum kas zayıflığı, solunum kas kuvveti ile solunum sistemine binen yükün arasındaki dengesizliğe, kardiyovasküler yetersizliğe, MV'nin uzun süre kullanımını sonucu diyafragma kas kuvvetinin hızla kaybedilmesine bağlı olarak gelişebilir (29). Bu kaybın önüne geçilmesi için İspiratuar Kas Kuvvetlendirme Eğitimleri (İKE) uygulanmalıdır. Uygulama, MV sürecinde ve ekstübasyon sonrasında da yapılabilir. Diğer taraftan İKE uygulamaları, YBÜ pratiğinde standartlaşmış bir uygulama değildir (30). MV desteği alan ve yeni ekstübe edilmiş olgularda, İKE uygulama kararının verilmesi için dikkate alınan klinik özellikler Tablo 4'te özetlenmiştir (31).

İspiratuar kas eğitimi, standart İKE cihazları ile entübasyon tüpüne veya trakeostomi kanülüne (Resim 4) bir ara aparat yardımıyla monte edilebilmekte ve uygulama yapılabilmektedir. İspiratuar kas eğitimi egzersiz şiddeti, ağız basınç ölçümü yapılarak elde edilen maksimal inspiratuar basınç (MIP) değeri yüzdeleri biçiminde veya MV cihazı NIF değeri MIP olarak kullanılarak belirlenebilir. Ağız basınç

Resim 3. Yoğun bakımda elastik bantlarla egzersiz eğitimi örnekleri.

ölçümünün de yapılışı İKE egzersiz eğitim cihazının entübasyon tüpüne veya kanüle takılmasıyla benzer biçimdedir (31). Tavsiye edilen egzersiz protokolü yüksek şiddetli bir egzersiz için beş set, altı nefes, minimum MIPmax'ın %50'si yüklerde uygulanan protokoldür (31).

Hava Yolu Sekresyonlarının Yönetimi

Mukosiliar disfonksiyon, öksürük fonksiyonlarının azalması ve inspiratuar ve ekspiratuar kas zayıflığı, bronşial sekresyon retansiyonuna neden olmakta, nazokomial pnömoni riskini arttırmaktadır. Ek olarak, efektif olmayan öksürük ve sekresyon retansiyonu, weaning başarısızlığının oluşmasında önemli bir rol oynar. Öksürük kas kuvvetini gösteren peak öksürük ekspiratuar akış hızının yetersizliği, ekstübasyonun başarı ile yapılmasını engellemekte, yoğun bakımda kalış süresini uzatmakta, morbidite ve mortalite oranlarını arttırmaktadır. Göğüs fizyoterapisi bu komplikasyonların önlenmesini, ventilasyonun ve gaz değişiminin geliştirilmesini, hava yolu rezistansının ve solunum işinin azaltılmasını sağlar (8). Yoğun bakımlarda uygulanan göğüs hijyen teknikleri aşağıda özetlenmiştir.

Manuel hiperinflasyon: Manuel hiperinflasyon, basıncı ayarlanabilen bir ambu yardımıyla uygulanabilen, akciğerlerde reekspansiyon ve oluşturduğu

Tablo 4. İspiratuar kas eğitimi kararının verilmesinde dikkate alınan parametreler (31).

Ventilatöre Bağımlı Hasta	İnvaziv ventilatörden yeni ayrılmış hasta
<ul style="list-style-type: none"> Alert ve koopere PEEP \leq 10 cmH₂O FiO₂ < 0,60 SF < 25 Ventilatörün spontan solunum trigerini gerçekleştirebilen hasta 	<ul style="list-style-type: none"> Alert ve koopere Cihaz ağırlığını ağızına başarıyla yerleştirebilen veya trakeostomisi olan hasta FiO₂ < 0,60 SF < 25

FiO₂: İnspire edilen havadaki oksijen yüzdesi, PEEP: Ekspirasyon sonu pozitif basınç, SF: Solunum frekansı.

Resim 4. Trakeostomi kanülünden İKE uygulama örneği (31).



negatif basınçla da sekresyon drenajı sağlayan bir tekniktir (32). Uygulama protokolleri değişmekle birlikte, hemodinamik instabilite oluşturma riski dolayısıyla uygulanan basıncın maksimum 40 cmH20 olması gerektiği unutulmamalıdır (33). Bunun dışında intrakranial basınç artışı, pnömotoraks riski gibi durumlarda uygulanmamalıdır. Uygulamanın kardiyak out-put, kan basıncı ve kalp hızı üzerinde olumsuz etkilerinin olduğuna dair de çalışmalar mevcuttur (34).

Perküsyon ve vibrasyon: Göğüs kafesi perküsyonu, sekresyon bulunan akciğer alanının drenajının sağlanacağı pozisyona yerleştirilen hastanın, yine ilgili akciğer alanının üstüne el kubbeleştirilerek vurulması suretiyle yapılan bir manuel tekniktir. Uygulamanın amacı sekresyonun bulunduğu yerden kopartılarak, ana bronşlara hareket ettirilmesi ve atılımının sağlanmasıdır. Tekniğin uygulanmasının kontraendike olduğu durumlar Tablo 5'te verilmiştir. Vibrasyon, çoğunlukla perküsyonu tamamlayıcı bir teknik olarak kullanılır. Derin bir inspirasyon sonrası, ekspirasyon sırasında yine postural drenaj pozisyonunda ve sek-

Tablo 5. Göğüs perküsyonunun kontraendike olduğu durumlar.

- Kemik çıkıntıları üzerine,
- Kadınlarda göğüs dokusu üzerine,
- Fraktürler, spinal füzyon veya osteoporotik kemik üzerine,
- Tümöral alan üzerine,
- Pulmoner emboli varlığında,
- Hemoraja meyilli hastalara.

resyon yükü olan akciğer alanı üzerine elle veya cihaz yardımıyla titreşim verilerek uygulanır. Göğüs kafesine verilen vibrasyon etkisi ile sekresyon hareketinin artırılması ve atılmasına yardımcı olunur (35).

Vibrasyon etkisi oluşturan başka bir uygulama da göğüs ossilasyon yelekleridir (Resim 5A) (12). Yelek ciltle tam temas edecek biçimde hastaya giydirilmekte, temasın sağlanabilmesi için gerekli miktarda şişirilmekte ve sonrasında titreşim frekansı ayarlanmaktadır. Uygulamanın frekansı ve süresiyle ilişkili net bilgiler bulunmamaktadır. Yüksek frekanslı göğüs duvarı vibrasyonunun, mekanik ventilasyon desteği alan hastalarda uygulama frekanslarının etkinliğinin incelendiği bir çalışmada, günde iki kez 30 dakika uygulamanın, bir kez uygulamaya göre hava yollarında sürfaktan salınım miktarı, oksijenizasyon ve statik akciğer kompliyansını iyileştirme açısından avantajlı olduğu rapor edilmiştir (36).

Pozitif ekspiratuar basınç cihazlarının kullanımı: Pozitif ekspiratuar basınç (PEP) cihazları, ekspirasyon sonu yarattığı pozitif basınç dolayısıyla kollateral ventilasyonu arttırmakta, sekresyon tıkaçının distaline hava girişi mümkün olmakta ve sekresyon ana bronşlara doğru itilmektedir. Tekniğin ossilasyonlu ve ossilasyonsuz tipleri mevcuttur (37). Ossilasyon, PEP etkisinin yanı sıra oluşturduğu vibrasyon etki-

Resim 5. A. Göğüs duvarı ossilasyon uygulaması, B. Ossilatör PEP uygulaması(12).



siyle sekresyon hareketini daha da kolaylaştırmaktadır. Osilatör PEP cihazlarından biri olan acapellanın (Resim 5B) (12) akut respiratuar distress sendromu olan hastalardaki etkinliğinin gösterildiği bir olgu serisinde, uygulamanın akciğerlerin dinamik kompliansını arttırdığı ve hava yolu temizliğini sağladığı bildirilmiştir (38). Başka bir çalışmada da kardiyak cerrahi sonrası ossilatör PEP uygulanan hastaların ventilatuar parametreleri ve oksijenizasyonları üzerine olumlu etki yarattığı tespit edilmiştir (39).

Öksürük ve öksürük makinaları (In- Exsufflasyon): Öksürük yardımı ve invaziv olmayan mekanik ventilasyon, ekstübasyon sonrasında solunum yetmezliğinin gelişmesini önleyebilir (40). Öksürük kuvvetinin değerlendirilmesinde, tepe öksürük akımı olarak adlandırılan “Peak Cough Flow (PCF)” değeri dikkate alınır. PCF'nin farklı popülasyonlarda farklı değerlerinin varlığı (41), cihaz çeşitliliği, ölçüm sırasında üst hava yolunu bypass etmek için bir kanülün kullanımı (Resim 6) (42) ve hasta koordinasyonunu gerektirmesi (40) gibi handikapları olmakla birlikte, öksürük kuvveti hakkında bilgi edinebilmek için klinik pratikte kullanımı kolay ve erişilebilir bir ölçüm olarak tercih edilmektedir. İnvaziv mekanik ventilasyona bağlı hastaların, ekstübasyon kararının verilmesinde PCF önemli bir göstergedir (43).

Öksürük makinalarının, peak öksürük kuvvetinin 250L/dakikanın altında olan olgularda uygulanması tavsiye edilmektedir. Cihazın oluşturduğu negatif basınçla sekresyon, proksimale doğru hareket edebilmekte ve sekresyonun drenajı mümkün olmaktadır. Uygulama, maskeyle, trakeostomi kanülünden veya endotrakeal tüpten yapılabilir. Teknik, büllöz amfizem, şüpheli pnömotoraks, barotravma öyküsü veya pneumomediastinum varlığında kontraendikedir. Sekresyon retansiyonu fazla olan MV desteği alan hastalarda öksürük makinası kullanımının ekstübasyon süresi üzerine etkisinin incelendiği randomize kontrollü bir çalışmada, geleneksel bakımla kıyaslan-

dığında ventilatuardan ayrı geçirilen gün sayısının farklı olmadığı tespit edilmiştir (44). MV'li olgulara uygulanan öksürük makinası ve beraberinde göğüs duvarı kompresyonu uygulamasının etkisinin incelendiği başka bir çalışmada ise uygulamanın hemodinamik parametreler üzerine olumsuz bir etki ortaya çıkarmayarak, sekresyon temizliği sağladığı belirtilmiştir (45).

İntrapulmoner perküsif ventilasyon: İntrapulmoner perküsif ventilasyon (IPV), hava yollarında perküsif etki ortaya koyan ve oluşturduğu yüksek frekanslı ossilasyon sayesinde mukus hareketini ve temizliğini sağlayan cihazlardır (46). Bir retrospektif pilot çalışmada spontan solunumu olan kritik hastalarda, uygulamaya bağlı bir komplikasyon gelişmediği, kontrol grubuna göre istatistiksel olarak anlamlı olmasa da yoğun bakım kalış süresinin azaldığı rapor edilmiştir (47). Spontan solunumda olan ve MV'li hastalardaki mukus hareketlerinin incelendiği bir çalışmada da, spontan solunumda hareketin proksimale, MV'de distale doğru olduğu tespit edilmiştir (48).

AKCİĞER VOLÜMLERİNİN ARTTIRILMASI VE/VEYA KORUNMASI

Akciğer volümlerinin artırılması için temelde solunum egzersizleri ve insentif spirometre (İS) kullanımı gibi teknikler kullanılır (49). Yoğun bakım hastalarında asiste modda olmayan MV desteği alan olgularda solunum egzersizlerinin uygulanma endikasyonu yoktur. Diğer taraftan klinisyenler, MV desteği azaltılmaya başlanan ve bilinci açık hastalarda solunum egzersizlerini uygulamaktadırlar. Ekstübasyon sonrası ise solunum egzersizleri ve İS kullanımı aktif olarak başlamaktadır. Şiddetli solunum problemi yaşayan olgularda, postoperatif süreçte 30 gün boyunca İS uygulanmasının, maksimal inspiratuar hacimlerinde %16'lık bir artış sağladığı tespit edilmiştir (50). Başka bir çalışmada da YBÜ'de İS kullanımının oksijen saturasyonunu arttırdığı, özellikle erken mobilizasyonla birlikte İS uygulamasının daha fazla etkili olduğu bildirilmiştir (51).

SONUÇ

Yoğun bakımlarda immobilizasyon komplikasyonlarının önlenmesinde, göğüs hijyeninin korunması ve sağlanmasında, akciğer volümlerinin ve kas kuvvetinin korunmasında pulmoner rehabilitasyon ve fizyoterapi teknikleri hayati öneme sahiptir. Uygulamalar endikasyon ve kontraendikasyonlar bilinerek, güvenlik sınırları içerisinde yapılmalıdır.

Resim 6. PCF ölçümü (42).



KAYNAKLAR

1. Moga TD, Nistor-Cseppento CD, Bungau SG. *The Effects of the 'Catabolic Crisis' on Patients' Prolonged Immobility after COVID-19 Infection* 2022; 58(6).
2. Rokosh RS, Ranganath N, Yau P, Rockman C, Sadek M, Berland T, et al. *High Prevalence and Mortality Associated with Upper Extremity Deep Venous Thrombosis in Hospitalized Patients at a Tertiary Care Center. Annals of vascular surgery* 2020; 65: 55-65.
3. Kho ME, Connolly B. *From Strict Bedrest to Early Mobilization: A History of Physiotherapy in the Intensive Care Unit. Critical care clinics* 2023; 39(3): 479-502.
4. Piva S, Fagoni N, Latronico N. *Intensive care unit-acquired weakness: unanswered questions and targets for future research. F1000Research* 2019; 8.
5. García-Pérez-de-Sevilla G, Sánchez-Pinto B. *Effectiveness of physical exercise and neuromuscular electrical stimulation interventions for preventing and treating intensive care unit-acquired weakness: A systematic review of randomized controlled trials. Intensive & critical care nursing* 2023; 74: 103333.
6. Bahloul M, Regaieg K, Dlela M, et al. *Pulmonary embolism in intensive care units: More frequent or more Known? Prospective study of 75 cases. The clinical respiratory journal* 2019; 13(8): 513-20.
7. Van Aerde N, Meersseman P, Debaveye Y, et al. *Aerobic exercise capacity in long-term survivors of critical illness: secondary analysis of the post-EPaNIC follow-up study. 2021; 47(12): 1462-71.*
8. Manivel Arumugam MT, Baskaran C, Ramanathan PR, et al. *A practical Physiotherapy Approach in Intensive Care Unit. International Journal of Health Sciences & Research* 2019;9(4).
9. Parry SM, Huang M, Needham DM. *Evaluating physical functioning in critical care: considerations for clinical practice and research. Critical care* 2017; 21(1): 249.
10. Polastri M, Dell'Amore A, Reed RM, Pehlivan E. *Handgrip Strength in Lung Transplant Candidates and Recipients. Experimental and clinical transplantation : official journal of the Middle East Society for Organ Transplantation* 2023; 21(7): 547-55.
11. Idilbi N, Amun W. *Hand grip strength as a predictor for success in weaning from ventilation. The Israel Medical Association journal IMAJ* 2022; 25(12): 797-802.
12. Jang MH, Shin MJ, Shin YB. *Pulmonary and Physical Rehabilitation in Critically Ill Patients. Acute and critical care* 2019; 34(1): 1-13.
13. Edited By Claudio Donner NA, Roger S. Goldstein. *Pulmonary Rehabilitation. CRC Press. 2020.*
14. Eggmann S, Verra ML, Luder G, et al. *Effects of early, combined endurance and resistance training in mechanically ventilated, critically ill patients: a study protocol for a randomised controlled trial. Trials* 2016; 17: 403.
15. Miranda Rocha AR, Martinez BP, Maldaner da Silva VZ, Forgiarini Junior LA. *Early mobilization: Why, what for and how? Medicina intensiva* 2017; 41(7): 429-36.
16. Bassett RD, Vollman KM, Brandwene L, Murray T. *Integrating a multidisciplinary mobility programme into intensive care practice (IMMPTP): a multicentre collaborative. Intensive & critical care nursing* 2012;28(2):88-97.
17. Schweickert WD, Pohlman MC, Pohlman AS, et al. *Early physical and occupational therapy in mechanically ventilated, critically ill patients: a randomised controlled trial. Lancet* 2009;373(9678):1874-82.
18. Bourdin G, Barbier J, Burle JF, et al. *The feasibility of early physical activity in intensive care unit patients: a prospective observational one-center study. Respiratory care. 2010; 55(4): 400-7.*
19. Munshi L, Del Sorbo L, Adhikari NKJ, et al. *Prone Position for Acute Respiratory Distress Syndrome. A Systematic Review and Meta-Analysis. Annals of the American Thoracic Society* 2017; 14(Supplement_4): S280-s8.
20. Lai C, Monnet X, Teboul JL. *Hemodynamic Implications of Prone Positioning in Patients with ARDS. Critical care* 2023; 27(1): 98.
21. Mano T, Fujimura S. *Brachial Plexus Injury and Musculocutaneous Nerve Palsy During Prone Positioning in a Patient With COVID-19. Cureus* 2022; 14(5): e24931.
22. Wutzler S, Sturm K, Lustenberger T, et al. *Kinetic therapy in multiple trauma patients with severe thoracic trauma: a treatment option to reduce ventilator time and improve outcome. European journal of trauma and emergency surgery : official publication of the European Trauma Society* 2017; 43: 155-61.
23. Medrinal C, Combret Y, Prieur G, et al. *Comparison of exercise intensity during four early rehabilitation techniques in sedated and ventilated patients in ICU: a randomised crossover trial. Critical care* 2018; 22(1): 110.
24. Polastri M, Oldani S, Pisani L, Nava S. *Elastic Band Exercises for Patients with Intensive Care Unit-Acquired Weakness: A Case Report. Tanaffos* 2018; 17(2): 132-7.
25. Bao W, Yang J, Li M, et al. *Prevention of muscle atrophy in ICU patients without nerve injury by neuromuscular electrical stimulation: a randomized controlled study. BMC musculoskeletal disorders* 2022; 23(1): 780.
26. Liu M, Luo J, Zhou J, Zhu X. *Intervention effect of neuromuscular electrical stimulation on ICU acquired weakness: A meta-analysis. International journal of nursing sciences* 2020; 7(2): 228-37.
27. Medrinal C, Machefert M, Lamia B, et al. *Transcutaneous electrical diaphragmatic stimulation in mechanically ventilated patients: a randomised study. Critical care* 2023; 27: 338.
28. Hsin YF, Chen SH, Yu TJ, et al. *Effects of transcutaneous electrical diaphragmatic stimulation on respiratory function in patients with prolonged mechanical ventilation. Annals of thoracic medicine* 2022; 17(1): 14-20.
29. Jung B, Moury PH, Mahul M, et al. *Diaphragmatic dysfunction in patients with ICU-acquired weakness and its impact on extubation failure. Intensive care medicine* 2016; 42: 853-61.
30. Major ME, Sommers J, Horrevorts E, et al. *Inspiratory muscle training for mechanically ventilated patients in the intensive care unit: Obstacles and facilitators for implementation. A mixed method quality improvement study. Australian critical care : official journal of the Confederation of Australian Critical Care Nurses* 2024.

11. Yoğun Bakımda Pulmoner Rehabilitasyon

31. Bissett B, Leditschke IA, Green M, et al. Inspiratory muscle training for intensive care patients: A multidisciplinary practical guide for clinicians. *Australian critical care: official journal of the Confederation of Australian Critical Care Nurses* 2019; 32(3): 249-55.
32. Lockstone J, Love A, Chian K, et al. Benefits and risks of ventilator hyperinflation in mechanically ventilated intensive care patients: A systematic review and meta-analysis. *Australian critical care : official journal of the Confederation of Australian Critical Care Nurses* 2023; 36(6): 1150-8.
33. Choi JS, Jones AY. Effects of manual hyperinflation and suctioning in respiratory mechanics in mechanically ventilated patients with ventilator-associated pneumonia. *The Australian journal of physiotherapy* 2005; 51(1): 25-30.
34. Paulus F, Binnekade JM, Vroom MB, Schultz MJ. Benefits and risks of manual hyperinflation in intubated and mechanically ventilated intensive care unit patients: a systematic review. *Critical care* 2012; 16(4): R145.
35. Andrews J, Sathe NA, Krishnaswami S, McPheeters ML. Nonpharmacologic airway clearance techniques in hospitalized patients: a systematic review. *Respiratory care* 2013; 58: 2160-86.
36. Ge J, Ye Y, Tan Y, et al. High-frequency chest wall oscillation multiple times daily can better reduce the loss of pulmonary surfactant and improve lung compliance in mechanically ventilated patients. *Heart & lung : the journal of critical care* 2023; 61: 114-9.
37. Demchuk AM, Chatburn RL. Performance Characteristics of Positive Expiratory Pressure Devices. *Respiratory care* 2021; 66(3): 482-93.
38. Sharma P, Prem V, Jain S. Immediate Effects of Acapella((R)) on Dynamic Lung Compliance in Mechanically Ventilated Patients with Acute Respiratory Distress Syndrome: A Case Series. *Indian journal of critical care medicine : peer-reviewed, official publication of Indian Society of Critical Care Medicine* 2018; 22(2): 100-2.
39. Eremenko AA, Zyulyaeva TP, Alferova AP, et al. The use of oscillatory respiratory therapy with positive expiratory pressure (PEP-therapy) to restore the functional state of the lungs in patients after cardiac surgery. *Voprosy kurortologii, fizioterapii, i lechebnoi fizicheskoi kultury* 2023; 100(6): 21-30.
40. Duan J, Liu J, Xiao M, et al. Voluntary is better than involuntary cough peak flow for predicting re-intubation after scheduled extubation in cooperative subjects. *Respiratory care* 2014; 59(11): 1643-51.
41. Beuret P, Roux C, Auclair A, et al. Interest of an objective evaluation of cough during weaning from mechanical ventilation. *Intensive care medicine* 2009; 35(6): 1090-3.
42. Chan LY, Jones AY, Chung RC, Hung KN. Peak flow rate during induced cough: a predictor of successful decannulation of a tracheotomy tube in neurosurgical patients. *American journal of critical care : an official publication, American Association of Critical-Care Nurses* 2010; 19(3): 278-84.
43. Terzi N, Guerin C, Gonçalves MR. What's new in management and clearing of airway secretions in ICU patients? It is time to focus on cough augmentation. *Intensive care medicine* 2019; 45(6): 865-8.
44. Kubota S, Hashimoto H, Yoshikawa Y, et al. Effects of mechanical insufflation-exsufflation on ventilator-free days in intensive care unit subjects with sputum retention; a randomized clinical trial 2024; 19(5): e0302239.
45. Martínez-Alejos R, Martí JD, Li Bassi G, et al. Effects of Mechanical Insufflation-Exsufflation on Sputum Volume in Mechanically Ventilated Critically Ill Subjects. *Respiratory care*. 2021; 66(9): 1371-9.
46. Gutmark E, Anand V, Wheeler A, et al. Demonstration of mucus simulant clearance in a Bench-Model using acoustic Field-Integrated Intrapulmonary Percussive ventilation. *Journal of biomechanics* 2022; 144: 111305.
47. Hassan A, Milross M, Lai W, et al. Feasibility and safety of intrapulmonary percussive ventilation in spontaneously breathing, non-ventilated patients in critical care: A retrospective pilot study. *Journal of the Intensive Care Society*. 2021; 22(2): 111-9.
48. Fernandez-Restrepo L, Shaffer L, Amalakuhan B, et al. Effects of intrapulmonary percussive ventilation on airway mucus clearance: A bench model. *World journal of critical care medicine* 2017; 6(3): 164-71.
49. Eltorai AEM, Baird GL, Eltorai AS, et al. Effect of an Incentive Spirometer Patient Reminder After Coronary Artery Bypass Grafting: A Randomized Clinical Trial. *JAMA surgery*. 2019; 154(7): 579-88.
50. Toor H, Kashyap S, Yau A, et al. Efficacy of Incentive Spirometer in Increasing Maximum Inspiratory Volume in an Out-Patient Setting. *Cureus* 2021; 13(10): e18483.
51. Hazem MYASMI, Emad MI, Gomma AR. Effect of incentive spirometer on oxygen saturation in patient in intensive care unit. *International Journal of Recent Advances in Multidisciplinary Research* 2019; 6(3).