

Pediyatrik Akciğer Hastalıklarında Pulmoner Rehabilitasyon

Ahmet Utuş¹

Özet

Yenidoğan dönemi, solunum sisteminin yapısal ve fonksiyonel açıdan en hızlı değişim gösterdiği ve çevresel etkilere en duyarlı olduğu yaşam evresidir. Bu dönemde özellikle prematürel, düşük doğum ağırlığı, perinatal komplikasyonlar ve enfeksiyonlar gibi faktörler, pulmoner morbidite ve mortalite riskini belirgin şekilde artırmaktadır. Respiratuar Distres Sendromu, bronkopulmoner displazi, transient takipne, mekoryum aspirasyon sendromu ve yenidoğan pnömonisi, neonatal yoğun bakım ünitelerinde en sık karşılaşılan solunumsal sorunlar arasında yer almaktadır. Güncel neonatoloji pratiğinde, bu problemlerin yönetimi yalnızca ventilasyon ve farmakolojik tedavilerle sınırlı kalmamakta; pulmoner rehabilitasyon yaklaşımları giderek daha önemli bir rol üstlenmektedir.

Bu kitap bölümü, yenidoğanın pulmoner sistem gelişimini embriyolojik dönemden başlayarak doğum sonrası adaptasyon süreçleriyle birlikte ele almakta; yenidoğana özgü anatomik ve fizyolojik özellikleri, sık görülen pulmoner patolojileri ve neonatal yoğun bakım uygulamalarını kapsamlı biçimde irdelemektedir. Bölümde ayrıca non-invaziv ve invaziv solunum destek yöntemleri, sürfaktan tedavisi, ventilatör ilişkili akciğer hasarının önlenmesi, akciğer hacmini artıran stratejiler ve sekresyon yönetimine yönelik fizyoterapötik yaklaşımlar güncel literatür ışığında sunulmaktadır. Yenidoğanlara uyarlanmış nazik göğüs fizyoterapisi teknikleri, pozisyonlama, solunum paterni optimizasyonu ve minimal handling ilkeleri, pulmoner rehabilitasyonun temel bileşenleri olarak vurgulanmaktadır.

Ayrıca aile merkezli bakım yaklaşımı, taburculuk sonrası ev programları ve ebeveyn eğitiminin uzun dönem solunum sağlığı üzerindeki etkileri ayrıntılı olarak ele alınmaktadır. Sonuç olarak bu bölüm, neonatal pulmoner rehabilitasyonun kanıta dayalı uygulamalarını bütüncül bir bakış açısıyla ele alan, klinisyenler, fizyoterapistler ve sağlık profesyonelleri için güncel ve kapsamlı bir başvuru kaynağı niteliği taşımaktadır.

1 Öğretim Görevlisi, İnönü Üniversitesi Sağlık bilimleri Fakültesi, Ahmet.utus@inonu.edu.tr, 0000-0002-6613-8235

GİRİŞ

Neonatal dönem, solunum sisteminin yapısal ve fonksiyonel olarak en hızlı değişim gösterdiği yaşam evresidir. Bu süreçte akciğerlerin yeterli gaz değişimini sağlayabilmesi, hem embriyolojik gelişimin tamamlanma düzeyine hem de doğum sonrası adaptasyon mekanizmalarının etkinliğine bağlıdır. Prematürelilik, düşük doğum ağırlığı, perinatal komplikasyonlar ve enfeksiyonlar gibi faktörler, yenidoğanın pulmoner sistemini kırılgan hale getirerek solunum morbiditesini artırmaktadır. Neonatal yoğun bakım uygulamalarındaki gelişmelere rağmen Respiratuar Distres Sendromu (RDS), Bronkopulmoner Displazi (BPD), Transient Takipne (TTN), Mekonyum Aspirasyon Sendromu ve pnömoni gibi pulmoner problemler, yenidoğan morbidite ve mortalitesinin önemli nedenleri arasında yer almaktadır.

Pulmoner rehabilitasyon, yalnızca yetişkin veya pediatrik dönemle sınırlı bir uygulama alanı olmayıp, son yıllarda yenidoğanların solunumsal desteğinde de kritik bir disiplin olarak kabul edilmektedir. Yenidoğanlara uyarlanmış pozisyonlama, göğüs mobilizasyonu, sekresyon yönetimi, non-invaziv solunum desteği ve aile merkezli bakım yaklaşımlarının klinik sonuçları iyileştirdiği çok sayıda çalışmayla gösterilmiştir. Bu yaklaşımlar; akciğer hacminin korunması, alveoler stabilitenin artırılması, solunum iş yükünün azaltılması ve komplikasyonların önlenmesi açısından önemlidir. Ayrıca neonatal dönemde fizyoterapi ve solunum rehabilitasyonunun dikkatli, nazik ve gelişimsel olarak uygun tekniklerle uygulanması gerektiği vurgulanmaktadır.

Yenidoğanlarda pulmoner sistem gelişimi, sık karşılaşılan solunum patolojileri, yoğun bakım uygulamaları, solunum destek yöntemleri, fizyoterapötik değerlendirme ve tedavi yaklaşımlarını kapsamlı şekilde ele almaktadır. Bölümün amacı; klinisyenlere, fizyoterapistlere, akademisyenlere ve sağlık profesyonellerine neonatal solunum sistemini bütüncül bir yaklaşımla sunmak, kanıta dayalı uygulamalar doğrultusunda güncel tedavi stratejilerini paylaşmak ve aile merkezli bakımın önemini vurgulamaktır.

1. Embriyolojik Pulmoner Sistem Gelişimi

Solunum sistemi embriyolojik olarak ön bağırsaktan gelişir ve yaklaşık gestasyonun 4. haftasında larengeal oluğun farklılaşması ile başlar. Bu dönemden itibaren akciğer dokusu, hava yolu ağacı ve alveoler yapıların gelişimi fetal büyüme boyunca devam eder ve doğumdan sonra da özellikle alveolerizasyon süreci çocukluk dönemine kadar sürer. Pulmoner sistemin doğru gelişimi, doğum sonrası solunum fonksiyonları ve yenidoğan

sağkalımı açısından kritik öneme sahiptir. Bu nedenle embriyolojik akciğer gelişiminin anlaşılması, pediatrik pulmonoloji ve pulmoner rehabilitasyon uygulamalarında temel bir bilimsel alt yapı sağlar.

1.1. Solunum Sisteminin Embriyolojik Kökeni

Embriyolojik solunum sistemi, endoderm ve mezoderm kökenlidir. Trakea ve bronşların epitel yapısı endodermden türemişken, kıkırdak, düz kas ve bağ dokusu komponentleri splanknik mezodermden gelişir. Gestasyonun 4. haftasında ön bağırsak ventral duvarından laringotrakeal divertikülün oluşması solunum ağacının başlangıcı olarak kabul edilir. Son yıllarda yapılan gelişimsel biyoloji alışmaları, FGF10, BMP4 ve SHH gibi sinyal yolaklarının tomurcuklanma ve dallanma sürecinde kritik rol oynadığını göstermektedir [1, 2].

1.2. Bronkopulmoner Tomurcuklanma Evreleri

Laringotrakeal tüpün distalinden bronkopulmoner tomurcuklar oluşur ve bu yapılar daha sonra sağda üç, solda iki primer bronşa ayrılır. Dallanma morfogenezinin matematiksel ve genetik olarak oldukça düzenli bir süreç olduğu bilinmekte olup, özellikle FGF10 eksikliği veya reseptör disfonksiyonu gibi durumların pulmoner hipoplaziye yol açtığı bildirilmektedir[3]. Güncel görüntüleme modelleri, bu dönemde epitel ve mezoderm arasındaki etkileşimin akciğer gelişiminde belirleyici olduğunu doğrulamıştır.

1.3. Dönemlere Göre Akciğer Gelişimi

Embriyolojik ve fetal akciğer gelişimi klasik olarak beş dönemde incelenir:

- **Pseudoglandüler dönem (5–17. hafta):** Bu evrede iletim hava yolları terminal bronşiyollere kadar oluşur ancak gaz değişimi yapacak yapılar henüz mevcut değildir. Yapısal organizasyonun büyük bölümünün bu dönemde şekillendiği ve intrauterin hipoksinin bu süreçte bronşiyal dallanmayı olumsuz etkilediği gösterilmiştir [4].

- **Kanaliküler dönem (16–25. hafta):** Respiratuvar bronşiyoller, ince duvarlı kanallar ve ilk kapiller ilişkiler bu dönemde oluşur. Sürfaktan sentezi başlamakla birlikte henüz yeterli değildir. Bu nedenle 24. haftadan önce doğan bebeklerde ciddi respiratuvar distres görölme olasılığı yüksektir.

- **Sakküler dönem (24–38. hafta):** Terminal keseciklerin sayısı artar, kapiller aę genişler ve tip I pneumositler farklılaşır. Tip II pneumositlerden sürfaktan üretimi hızlanır. Klinik olarak prematürelikte sürfaktan eksikliğinin doğrudan bu dönemdeki gelişim yetersizliği ile ilişkili olduğu kabul edilir [5].

• **Alveoler dönem (36. hafta – 8 yaş):** Doğumda yaklaşık 20–50 milyon alveol bulunurken, alveolerizasyon yaşamın ilk yıllarında hızla sürer ve toplam alveol sayısı 8 yaş civarında 300 milyona ulaşır. Son çalışmalar alveoler gelişimin adölesana kadar devam edebildiğini de göstermiştir [6].

TABLO 1: Embriyolojik Akciğer Gelişim Dönemleri

Dönem	Gestasyon Haftası	Ana Özellikler	Klinik Önemi
Embriyonik	0-5 hafta	Larengeal oluk oluşumu, tomurcuklanma	Konjenital anomalilerin kritik dönemi
Pseudoglandüler	5-17 hafta	Terminal bronşiyol oluşumu, glandüler görünüm	Gaz değişimi yok, yaşama uyumsuz
Kanaliküler	16-25 hafta	İlk kapiller-hava yolu ilişkileri, sürfaktan başlangıcı	<24 hafta: ciddi RDS riski (%90)
Sakküler	24-38 hafta	Terminal kesecikler, tip I-II pneumositler, sürfaktan ↑	Prematürite: sürfaktan eksikliği sendromu
Alveoler	36 hafta - 8 yaş	20 milyon→300 milyon alveol, septal incelməsi	Gelişim adölesana kadar sürebilir

Tablo 1’de görüldüğü üzere, kanaliküler dönemin sonu (24. hafta) kritik bir eşik oluşturur; bu haftadan önce doğan bebeklerde sürfaktan yetersizliği nedeniyle ciddi respiratuar distres görülme olasılığı %90’ın üzerindedir. Alveoler dönemde ise alveol sayısı doğumdan 8 yaşına kadar 15 kat artarak 300 milyona ulaşır; bu süreç bazı bireylerde adölesana kadar devam edebilmektedir [4].

1.4. Sürfaktan Gelişimi ve Fonksiyonunun Önemi

Sürfaktan, tip II alveoler hücreler tarafından üretilen fosfolipid ve proteinlerden oluşan yüzey aktif bir maddedir. Alveollerin yüzey gerilimini azaltır, kollapsı engeller ve gaz değişimini optimize eder. Sürfaktan üretimi 20. haftada başlamakla birlikte 34. haftadan sonra fonksiyonel düzeye ulaşır. Son 10 yılda yapılan moleküler çalışmalar, SP-B ve SP-C proteinlerinin eksikliğinin ağır respiratory distress sendromunun temel nedenlerinden biri olduğunu göstermiştir[7]. Sürfaktan yetersizliği prematüre bebeklerde mortalite ve morbiditenin en önemli belirleyicilerinden biri olmaya devam etmektedir.

1.5. Prematürelikte Akciğer Gelişim Bozuklukları

Prematüre doğum, özellikle 28. gebelik haftasından önce gerçekteştiğinde, hem yapısal hem fonksiyonel pulmoner gelişim önemli ölçüde etkilenir. Yetersiz alveolerizasyon, kapiller ağı gelişiminin tamamlanamaması ve sürfaktan eksikliği prematüre solunum yetmezliğinin temel mekanizmalarıdır. Modern yoğun bakım uygulamaları sağkalımı artırsa da bronkopulmoner displazi (BPD) gelişme riski halen yüksektir. Yenidoğan fizyoterapisi ve pulmoner rehabilitasyon yaklaşımları, bu riskli popülasyonda akciğer gelişimini destekleyici müdahaleler olarak giderek daha fazla önem kazanmıştır [8].

1.6. Embriyolojik Anomaliler ve Klinik Sonuçları

Embriyolojik süreçlerdeki bozukluklar ciddi anatomik ve fonksiyonel sorunlara yol açabilir. Trakeoözofageal fistül, pulmoner hipoplazi, konjenital kistik adenomatoid malformasyon ve diyafragma hernisi bu anomalilerin en sık görülenleridir. Pulmoner hipoplazi, alveol ve damar gelişiminin yetersiz kalması nedeniyle doğum sonrası ciddi solunum yetmezliği ile seyreder ve çoğu olguda pulmoner rehabilitasyon ve solunum desteğinin uzun süreli uygulanması gerekir. Fetüs MR çalışmaları, bu anomalilerin prenatal dönemde daha etkili tanımlanmasını olanaklı hale getirmiştir [9].

2. Yenidoğanın Pulmoner Sistem Özellikleri

Yenidoğan döneminde akciğer, solunum kasları, göğüs duvarı ve hava yolları anatomik ve fizyolojik olarak yetişkinlerden belirgin biçimde farklıdır. Bu farklılıklar, yenidoğanın solunum iş yükünü, gaz değişimi kapasitesini ve pulmoner patolojilere yatkınlığını doğrudan etkiler. Özellikle prematür bebeklerde bu özellikler daha da belirgindir ve klinik yönetimi büyük ölçüde şekillendirir. Pulmoner rehabilitasyon uygulamalarının doğru planlanabilmesi için bu fizyolojik temellerin iyi anlaşılması gereklidir.

2.1. Anatomik ve Fizyolojik Farklılıklar

Yenidoğan akciğerleri, doğumda nispeten düşük volüme ve az sayıda alveole sahiptir. Doğumda ortalama 20–50 milyon alveol bulunurken, bu sayı çocukluk döneminde artarak 300 milyona ulaşır [10]. Akciğer dokusunun elastik lifleri henüz tam gelişmediğinden, akciğer kompliyansı düşüktür. Fonksiyonel rezidüel kapasite (FRC), görece küçük olup gaz değişimi rezervini sınırlar. Bu nedenle yenidoğanlar hipoksemiye karşı daha duyarlıdır.

Fizyolojik olarak yenidoğanlarda metabolik hız yüksektir ve oksijen tüketimi yetişkinlere göre yaklaşık iki kat fazladır. Bu durumun sonucu

olarak oksijen gereksinimi artar ve solunum sistemi daha yüksek bir iş yüküne sahiptir [11].

Yenidoğan ve yetişkin akciğerleri arasındaki anatomik ve fizyolojik farklılıklar, yenidoğanın solunum yetmezliğine yatkınlığını açıklamaktadır (Tablo 2). Bu farklılıklar pulmoner rehabilitasyon stratejilerinin planlanmasında rehber niteliği taşır.

TABLO 2: Yenidoğan vs Yetişkin Pulmoner Sistem

Parametre	Yenidoğan	Yetişkin	Klinik Sonuç
Alveol sayısı (doğumda)	20-50 milyon	300 milyon	Düşük gaz değişim rezervi
O ₂ tüketimi	6-8 mL/kg/dk	3-4 mL/kg/dk	2x yüksek metabolik talep [11]
FRC	30 mL/kg	35-40 mL/kg	Hızlı desatürasyon riski
Diyafragma Tip I lif %	25-30%	55-60%	Kolay yorulma, apne eğilimi [12]
Göğüs duvarı kompliyansı	Yüksek (yumuşak)	Düşük (rijid)	Atelektazi eğilimi ↑
Hava yolu direnci	15x daha yüksek	Referans	Küçük ödem: büyük etki (Poiseuille)
Solunum sayısı (dk)	30-60	12-20	Yüksek iş yükü

Tablo 2’de özetlenen bu farklılıklar, yenidoğanın neden minimal patolojilerde bile ciddi solunum yetmezliği geliştirebileceğini açıklamaktadır. Özellikle düşük tip I kas lif oranı (%25-30 vs %55-60) nedeniyle diyafragma kolay yorulur ve bu durum prematürelerde ventilatör bağımlılığını artırır [12]. Ayrıca hava yolu direncinin yetişkinlere göre 15 kat daha yüksek olması, küçük bir mukozal ödem veya sekresyon artışının bile dramatik klinik sonuçlar doğurmasına yol açar.

2.2. Göğüs Duvarı ve Solunum Mekanikliği

Yenidoğanın göğüs duvarı nispeten yumuşak, uyumlu (compliant) ve yapısal olarak daha yatay kaburgalara sahiptir. Yüksek göğüs duvarı kompliyansı, alveoler kollaps eğilimini artıran önemli bir risk faktörüdür. Ayrıca kostaların yatay yerleşimi nedeniyle inspirasyonda göğüs hacmi sınırlı şekilde artar. Bu mekanikler nedeniyle yenidoğan çoğunlukla diyafragma ağırlıklı solunum paterni kullanır[4].

Göğüs duvarı ve akciğer arasındaki uyumsuzluk (thoracic-lung compliance mismatch) prematürelerde daha belirgindir ve atelektazi gelişimine zemin

hazırlar. Bu durum NICU'da pozisyonlama, CPAP ve solunum fizyoterapisi stratejilerini önemli kılar.

2.3. Yenidoğanda Solunum Kaslarının Özellikleri

Diyafragma ve interkostal kaslar yenidoğanlarda düşük oksidatif kapasiteye ve düşük tip I lif oranına sahiptir. Diyaframın tip I kas lif oranı %25–30 iken yetişkinlerde bu oran %55–60'a ulaşır[12]. Bu nedenle yenidoğan solunum kasları kolay yorulur ve solunum yetmezliği gelişimi hızlanabilir. Prematüre bebeklerde bu oran daha da düşüktür, bu da ventilatör bağımlılığını ve respiratuar distres riskini artırır.

2.4. Hava Yolu Direnci ve Dinamiği

Yenidoğanların hava yolları dar çaplıdır ve küçük bir ödem ya da sekresyon artışı bile hava yolu direncini dramatik biçimde artırabilir. Poiseuille yasasına göre hava yolu yarıçapındaki %50'lik bir azalma, rezistansı 16 kat artırır. Bu nedenle yenidoğanlarda bronşiolit, TTN ve RDS gibi durumlar hızla solunum sıkıntısına dönüşebilir. Son çalışmalarda hava yolu stabilitesinin özellikle surfaktan düzeyi ve hava yolu kıkırdak yapısının olgunluğu ile ilişkili olduğu bildirilmektedir [13].

2.5. Alveol Yapısı ve Solunum Kapasitesi

Doğumda alveoller henüz tam olgun değildir; duvarları kalındır ve elastik lif ağı sınırlıdır. Kapiller membranın incilmesi ve alveol sayısının artması doğumdan sonraki yıllara yayılır. Yenidoğanda alveol-yüzey alanı düşük olduğundan oksijen difüzyon kapasitesi yetişkinlere göre sınırlıdır. Bu nedenle minimal ventilatuar bozulmalar bile hipoksemi ile sonuçlanabilir. Prematürelerde alveoler gelişim daha da yetersizdir ve özellikle BPD'ye zemin hazırlayan “basit alveolerizasyon” olarak tanımlanan anormal yapılaşma görülebilir [14].

2.6. Termoregülasyon ve Solunum İlişkisi

Yenidoğanlar, geniş vücut yüzey alanı ve düşük kahverengi yağ dokusu nedeniyle ısı kaybına oldukça duyarlıdır. Termoregülasyonun bozulması, oksijen tüketimini artırarak respiratuar yükü daha da yükseltir. Hipotermi, spontan solunum paternini bozarak apne ve bradikardi ataklarına yol açabilir [15]. Bu nedenle uygun termal nötral ortam sağlanması, yenidoğanın solunum stabilitesi açısından klinik bir gerekliliktir ve pulmoner rehabilitasyon yaklaşımlarının ayrılmaz bir parçasıdır.

3. Yenidoğanda Sık Görülen Pulmoner Problemler

Yenidoğan döneminde pulmoner sistemin anatomik ve fizyolojik olgunlaşmamış yapısı, solunum problemlerine yatkınlığı artırır. Prematürel, perinatal asfiksi, mekonyum aspirasyonu, enfeksiyonlar ve gelişimsel anomaliler bu sorunların ortaya çıkmasında önemli etkenlerdir. Neonatal solunum problemleri, yenidoğan yoğun bakımında en sık karşılaşılan morbidite nedenlerindendir ve erken tanı ile uygun yönetim, mortaliteyi belirgin şekilde azaltmaktadır. Bu bölümde yenidoğanlarda sık görülen başlıca pulmoner problemler, etiyoloji, klinik özellikler ve güncel literatür ışığında ele alınmaktadır.

3.1. Transient Takipne (TTN)

Transient takipne, özellikle sezaryenle doğan term ve geç preterm bebeklerde görülen, genellikle 24–72 saat içinde düzelen hızlı solunum tablosudur. Etiyoloji temelde fetal akciğer sıvısının gecikmiş rezorpsiyonuna dayanır. TTN'nin patofizyolojisinde, sodyum kanallarının (ENaC) yetersiz aktivasyonu ile sıvı geri emiliminde bozulma olduğu gösterilmiştir [16]. Klinik olarak taşipne, hafif çekilmeler ve oksijen gereksinimi ile seyreder. Son yıllarda HFNC ve CPAP'in hafif destek yöntemleri olarak TTN'de etkinliği gösterilmiştir [17].

3.2. Respiratuar Distres Sendromu (RDS)

RDS, özellikle 34 haftadan küçük prematürelde görülen ve tip II alveoler hücrelerdeki sürfaktan eksikliğine bağlı gelişen ciddi bir solunum yetmezliği sendromudur. Sürfaktan yetersizliği alveollerin kollapsına, düşük kompliyans ve şiddetli hipoksemiye yol açar. Prenatal steroid uygulamasının RDS insidansını anlamlı şekilde azalttığı son metaanalizlerde gösterilmiştir [18]. Sürfaktan replasman tedavisi, günümüzde RDS yönetiminin temel basamaklarından biri olmaya devam etmektedir. Non-invaziv ventilasyon yöntemlerinin erken başlanması, ventilatör ilişkili akciğer hasarını azaltmada kritik rol oynamaktadır [19].

3.3. Mekonyum Aspirasyon Sendromu (MAS)

MAS, özellikle term veya postterm bebeklerde mekonyumlu amniyon sıvısının aspirasyonu sonucu gelişen inflamasyon, hava yolu obstrüksiyonu ve kimyasal pnömoni tablosudur. Mekonyumun yüzey aktif maddeyi inaktive ettiği ve alveoler makrofaj aktivasyonunu artırarak inflamasyonu tetiklediği bilinmektedir [20]. Klinik seyir hafiften ağır solunum yetmezliğine kadar değişkenlik gösterir. Son yıllarda yapılan çalışmalar, doğumda agresif

entübasyon ve aspirasyon uygulamalarının artık önerilmediğini, bunun yerine pozitif basınç ventilasyonunun daha güvenli olduğunu ortaya koymuştur [21].

3.4. Persistan Pulmoner Hipertansiyon (PPHN)

PPHN, fetal dönemdeki yüksek pulmoner damar direncinin doğumdan sonra düşmemesi ile karakterize, yaşamı tehdit eden bir durumdur. Oksijenlenme bozukluğu, siyanotik ataklar ve ciddi hipoksemi ile seyreder. Patofizyolojide pulmoner vasküler yatakta NO eksikliği ve vasküler kas tonusunda artış önemli rol oynar. İnhal nitrik oksit tedavisi, PPHN yönetiminde son yirmi yıldır devrim yaratmış olup güncel rehberler tarafından ilk basamak tedavi olarak önerilmektedir [22].

3.5. Prematüriteye Bağlı Akciğer Problemleri

Prematüre bebekler yapısal, fonksiyonel ve immünolojik açıdan olgunlaşmamış akciğer dokusuna sahiptir. Sürfaktan eksikliği, yetersiz alveolerizasyon, düşük elastikiyet ve zayıf solunum kasları prematürelkte solunum problemlerinin temelini oluşturur. Son yıllarda düşük tidal volümlü ventilasyon, minimal handling, erken CPAP ve kafein tedavisinin prematüre akciğer sağkalımını olumlu etkilediği gösterilmiştir [23].

3.6. Bronkopulmoner Displazi (BPD)

BPD, prematüre bebeklerde uzun süreli oksijen ve ventilasyon desteğine bağlı gelişen kronik akciğer hastalığıdır. Güncel “yeni tip BPD” tanımı, alveoler gelişimin duraksadığı, geniş ama sayıca az alveollerin ve azalmış kapiller ağın bulunduğu yapısal bir bozukluğu ifade eder [24]. BPD, uzun vadede gelişimsel, kardiyopulmoner ve nörolojik sorunlara yol açabilir. Pulmoner rehabilitasyon yaklaşımları, solunum kas eğitimi, pozisyon yönetimi ve sekresyon kontrolünü içeren önemli tamamlayıcı tedavilerdir.

3.7. Yenidoğan Pnömonisi

Yenidoğan pnömonisi intrauterin, perinatal veya postnatal dönemde gelişebilir. Etiyoloji sıklıkla bakteriyel enfeksiyonlara dayanır ve özellikle grup B streptokok ile Ureaplasma türleri önemli patojenlerdir. Klinik olarak taşipne, apne, hipoksemi ve beslenme güçlükleri görülür. Son yıllarda yapılan çalışmalarda, pnömoninin erken CPAP kullanımıyla daha iyi tolere edildiği ve akciğer kompliyansının korunabildiği gösterilmiştir [25].

3.8. Hava Kaçağı Sendromları (Pnömotoraks, Pnömomediastinum)

Hava kaçağı sendromları, özellikle mekanik ventilasyon altında olan veya eşlik eden akciğer hastalığı bulunan yenidoğanlarda görülmektedir. Alveol rüptürüne bağlı hava interstisyuma ve plevral boşluklara geçer. Klinik ciddiyet pnömotoraksın hacmine ve basıncına bağlıdır. Güncel literatür, minimal invaziv göğüs tüpü ve iğne aspirasyon tekniklerinin seçilmiş vakalarda etkin olduğunu göstermektedir [26].

4. Yenidoğan Yoğun Bakım Ünitesinde Görülen Solunum Problemleri ve Uygun Tedaviler

Yenidoğan yoğun bakım ünitesi (NICU), solunumsal problemleri olan term ve prematüre bebeklerin izlem ve tedavisinde kritik bir rol oynar. Yenidoğan akciğerlerinin yapısal ve fonksiyonel olarak olgunlaşmamış olması nedeniyle bu bebekler hipoksemi, atelektazi, hava yolu obstrüksiyonu ve ventilasyon-perfüzyon dengesizliği gibi komplikasyonlara son derece yatkındır. Güncel literatür, erken tanı, minimal invaziv ventilasyon stratejileri ve fizyoterapötik yaklaşımların mortalite ve morbiditeyi önemli ölçüde azalttığını göstermektedir.

4.1. Solunum Distresinin Klinik Bulguları

Solunum distresi, NICU'ya kabul edilen bebeklerde en sık görülen klinik tablolardan biridir. Taşipne, burun kanadı solunumu, interkostal ve subkostal çekilmeler, ekspiryumda inilti (grunting) ve siyanoz başlıca bulgulardır. Son 10 yılda yapılan çalışmalar, erken distresin ciddiyetini değerlendirmek için Silverman-Andersen Skoru ve Downes Skoru gibi klinik ölçeklerin yüksek güvenilirlik gösterdiğini bildirmiştir[27]. Erken tanı, oksijen ihtiyacının azaltılması ve ventilatör ilişkili komplikasyonların önlenmesi açısından önemlidir.

4.2. NICU'da Solunum Destek Stratejileri

Güncel neonatoloji pratiği, invaziv ventilasyonun mümkün olduğunca geç kullanıldığı, non-invaziv stratejilerin ön planda olduğu bir yönetim modeline doğru evrilmiştir. Erken CPAP uygulaması, özellikle prematüre bebeklerde atelektazi gelişimini azaltmakta ve RDS'nin ağırlaşmasını önlemektedir [28]. HFNC, son yıllarda oldukça yaygınlaşmış olup hafif-orta düzey respiratuar distres yönetiminde başarılı sonuçlar göstermektedir.

Ventilasyon sırasında düşük tidal volüm ve düşük basınç stratejileri, akciğer hasarını (VILI) azaltmak için önerilmektedir. "Gentle ventilation" kavramı, güncel tedavi yaklaşımlarının merkezinde yer almaktadır[29].

4.3. Sürfaktan Tedavisi

Sürfaktan, özellikle prematüre bebeklerde RDS tedavisinin temel bileşenidir. Son literatürde, sürfaktanın minimal invaziv tekniklerle (MIST veya LISA yöntemi) verilmesinin entübasyon ihtiyacını ve ventilatör destek süresini azalttığı gösterilmiştir [30]. Bu teknikler, ventilatör ilişkili akciğer hasarını önleyerek kronik akciğer hastalığı (BPD) riskini de azaltmaktadır. Sürfaktan replasmanı çoğunlukla ilk saatlerde uygulanmakla birlikte, klinik kötüleşme olduğunda tekrar doz gerekebilir.

4.4. Ventilatör İlişkili Akciğer Hasarı (VILI)

VILI, yenidoğanlarda uzun süre mekanik ventilasyona bağlı gelişen yapısal ve fonksiyonel akciğer hasarıdır. Aşırı distansiyon (volüt travma), tekrarlayan açılma-kapanma (atektot travma) ve inflamasyon (biyotravma) VILP'nin temel mekanizmalarıdır. Güncel çalışmalarda düşük tidal volüm (4–6 mL/kg), optimal PEEP düzeyi ve kısa ventilasyon süresinin VILP'yi önemli ölçüde azalttığı bildirilmiştir [31]. Bu nedenle ventilasyon tedavisinin fizyoterapi ve minimal handling yaklaşımı ile desteklenmesi gereklidir.

4.5. Non-invaziv ve İnvaziv Mekanik Ventilasyon Yönetimi

Non-invaziv ventilasyon:

- CPAP, NIPPV ve HFNC güncel ilk basamak yaklaşımlardır.
- Spontan solunumu destekler, entübasyon ihtiyacını azaltır.
- RDS, TTN ve hafif MAS olgularında başarı oranı yüksektir.

İnvaziv ventilasyon: Gerekli olduğunda düşük tidal volüm ve akciğeri koruyucu stratejilerle başlatılmalıdır. Yüksek frekanslı osilatuar ventilasyon (HFOV), ağır RDS veya PPHN'de tercih edilebilmektedir. Son metaanalizler, NIPPV'nin CPAP'a göre daha düşük entübasyon oranı sağladığını göstermiştir [17].

4.6. Solunum Fizyoterapisinin Yenidoğan Yoğun Bakımdaki Yeri

NICU'da solunum fizyoterapisi, sekresyon yönetimi, atelektazi önleme, pozisyonlama ve solunum kas aktivasyonunu destekleme amacıyla uygulanmaktadır. Modern fizyoterapi yaklaşımı, minimal invaziv, yumuşak tekniklerin kullanılmasını önerir. Vibrasyon, pozisyonlama, göğüs genişletme manevraları ve kontrollü sekresyon mobilizasyonu güvenli yöntemler arasında yer alır [32]. Fizyoterapi, özellikle BPD gelişimini önleme stratejilerinin önemli bir parçası haline gelmiştir.

4.7. NICU'da Komplikasyonların Önlenmesi

NICU'da en sık karşılaşılan pulmoner komplikasyonlar arasında ateletazi, hava kaçağı sendromları, sekresyon birikimi ve oksijen toksisitesi yer alır. Optimal nemlendirilmiş oksijen kullanımı, uygun pozisyonlama, sık değerlendirme ve sekresyon kontrolü bu komplikasyonların önlenmesinde kritik öneme sahiptir. Güncel rehberler, oksijen saturasyon hedefinin prematürelerde %90–95 arasında tutulmasını önermektedir [33]. Ayrıca minimal handling ve termal stabilite sağlanması, hem solunum iş yükünü azaltır hem de fizyolojik stabiliteyi destekler.

5. Respiratuar Destek Yöntemleri

Yenidoğanlarda respiratuar destek yöntemleri, solunum yetmezliğinin patofizyolojisine, klinik bulgularına ve altta yatan hastalığa göre basamaklı bir yaklaşımla uygulanır. Prematüre akciğerinin hassasiyeti göz önünde bulundurularak ventilasyon ve oksijen tedavisinde minimal invaziv, akciğeri koruyucu stratejiler ön plana çıkmıştır. Son yıllarda yapılan çalışmalar, yenidoğan yoğun bakımında oksijenlenme, ventilasyon, sürfaktan fonksiyonu ve alveoler stabiliteyi optimize eden tekniklerin mortalite ve morbiditeyi anlamlı şekilde azalttığını ortaya koymaktadır.

5.1. Oksijen Tedavisi ve Modaliteleri

Oksijen tedavisi, neonatal solunum desteğinin temel bileşenidir; ancak aşırı oksijen uygulaması preterm retinopatisi ve oksijen toksisitesine yol açabileceği için dikkatle yönetilmelidir. Güncel rehberler, prematüre bebeklerde hedef SpO₂ aralığının %90–95 arasında tutulmasını önermektedir [33]. Oksijen; nazal kanül, oksijen başlığı (hood), CPAP veya mekanik ventilasyon aracılığıyla verilebilir. Son 10 yılda, düşük akım nazal oksijenin kronik akciğer hastalığı gelişimini azalttığı gösterilmiştir [34].

5.2. Nazal CPAP

Nazal sürekli pozitif hava yolu basıncı (CPAP), özellikle RDS, TTN ve hafif MAS gibi durumlarda ilk basamak non-invaziv destek yöntemidir. CPAP, alveoler kollapsı engelleyerek fonksiyonel rezidüel kapasiteyi artırır ve oksijenlenmeyi iyileştirir. Prematürelerde erken CPAP kullanımının entübasyon oranlarını düşürdüğü ve BPD gelişimini azalttığı bildirilmektedir[35]. Nazal prong veya maskeler aracılığıyla uygulanır ve basınç genellikle 5–8 cmH₂O aralığında ayarlanır.

5.3. HFNC (High Flow Nasal Cannula)

Yüksek akımlı nazal kanül (HFNC), son yıllarda yaygınlaşmış bir destek yöntemidir ve 2–8 L/dk aralığında ısıtılmış, nemlendirilmiş oksijen-hava karışımı sağlar. HFNC'nin hafif-orta respiratuar distresli bebeklerde CPAP'a alternatif olabileceği ve rahatlık, tolerans açısından üstünlük sağladığı gösterilmiştir [36]. HFNC, anatomik ölü boşluğun yıkanmasını ve düşük düzeyde pozitif basınç oluşturarak solunum iş yükünün azalmasını sağlar. Randomize kontrollü çalışmalar, HFNC'nin özellikle geç preterm ve term bebeklerde etkili olduğunu bildirmiştir.

5.4. Non-invaziv Mekanik Ventilasyon (BiPAP / NIPPV)

Non-invaziv pozitif basınçlı ventilasyon (NIPPV), CPAP'ın aksine inspiryumda ek pozitif basınç desteği sağlayarak tidal volümü artırır ve apne epizodlarını azaltır. Prematürelde NIPPV'nin CPAP'a kıyasla daha düşük entübasyon oranı sağladığı son metaanalizlerde gösterilmiştir [17]. BPD riski yüksek bebeklerde, solunum kas yetmezliğini azaltmak ve alveoler ventilasyon düzeyini iyileştirmek için tercih edilmektedir.

5.5. İnce Tüp Endotrakeal Ventilasyon (ETT)

İnvaziv mekanik ventilasyon, non-invaziv yöntemlerin yetersiz kaldığı ağır solunum yetmezliği durumlarında uygulanır. Güncel yaklaşımlar, akciğeri koruyucu ventilasyon stratejilerini hedeflemektedir: düşük tidal volüm (4–6 mL/kg), düşük inspiratuar basınçlar ve optimal PEEP kullanımı. Prematüre akciğerinde aşırı distansiyon (volütravma) ve tekrarlayan açılma-kapanma döngüleri (atelektotravma), VILI'nin ana mekanizmaları olarak tanımlanmıştır [37]. Bu nedenle ventilatör ayarları sık izlenmeli ve mümkün olan en kısa sürede non-invaziv desteğe geçiş yapılmalıdır.

5.6. Yüksek Frekanslı Ventilasyon

Yüksek frekanslı osilatuar ventilasyon (HFOV), yüksek frekans ve düşük tidal volümlerle ventilasyon sağlayarak akciğerin aşırı distansiyonunu engeller. Alveolleri sürekli açık tutarak oksijenlenmeyi artırır ve PPHN, ciddi RDS, hava kaçağı sendromları gibi ağır patolojilerde kullanılmaktadır. HFOV'un özellikle akciğer kompliyansı düşük bebeklerde oksijenlenme üzerinde belirgin avantaj sağladığı gösterilmiştir [38].

5.7. Ekstrakorporeal Membran Oksijenizasyonu (ECMO)

ECMO, konvansiyonel ventilasyon ve farmakolojik tedavilere yanıt vermeyen ağır solunum yetmezliğinde kullanılan ileri yaşam desteği

yöntemidir. PPHN, ağır MAS, sepsis ve konjenital diyafragma hernisi ECMO endikasyonları arasındadır. Güncel veriler, ECMO uygulanan yenidoğanlarda sağkalım oranlarının %70'in üzerinde olduğunu bildirmektedir [39]. Ancak ECMO; kanama, enfeksiyon ve nörolojik komplikasyon riskleri nedeniyle dikkatle seçilmiş olgularda uygulanmalıdır.

Yenidoğan solunum desteği, basamaklı bir yaklaşım gerektirir. Tablo 3, güncel modalitelerin endikasyonları, avantajları ve sınırlılıklarını karşılaştırmalı olarak sunmaktadır. Modalite seçimi, hastanın gestasyon yaşı, hastalık şiddeti ve kliniğin teknik olanaklarına göre bireyselleştirilmelidir.

TABLO 3: Respiratuar Destek Modaliteleri - Karşılaştırma

Modalite	Basınç Desteği	Primer Endikasyonlar	Başlıca Avantajlar	Önemli Dezavantajlar	Kanıt Seviyesi
Nazal Kanül (LF)	Yok	Stabil bebeklerde hafif O ₂ desteği	Non-invaziv, rahat tolere edilir	Basınç desteği yok, FRC artışı yok	B
HFNC	2-4 cmH ₂ O	Hafif-orta distres, ekstübasyon sonrası	İyi tolere, nazal travma □ [36]	CPAP'tan daha az etkin	A
nCPAP	5-8 cmH ₂ O	RDS, TTN, apne, ekstübasyon	FRC artışı, entübasyon □ %40 [28, 35]	Nazal travma, aerofaji riski	A
NIPPV	8-20 cmH ₂ O (PIP)	CPAP yetersizliği, apne	CPAP'tan daha düşük entübasyon [17]	Senkronizasyon zorluğu	A
İnvaziv MV	Ayarlanabilir	Ağır yetmezlik, CPAP başarısızlığı	Tam ventilatör kontrol	VILI riski, trakeal travma [31]	A
HFOV	8-15 cmH ₂ O MAP	Ağır RDS, PPHN, hava kaçağı	Minimal volüt travma, oksijenlenme ↑ [38]	Teknik uzmanlık gerekir, hemodinamik etki	B
ECMO	N/A	Refrakter PPHN, MAS, CDH	Sağkalım %70-75 [39]	Kanama, enfeksiyon, nörolojik risk	B

Tablo 3'ün gösterdiği gibi, güncel literatür non-invaziv yöntemlerin erken ve agresif kullanımını desteklemektedir. Cochrane derlemesi, erken nCPAP uygulamasının entübasyon ihtiyacını %40 oranında azalttığını göstermiştir [28]. NIPPV ise CPAP'a göre daha düşük entübasyon oranı sağlamakta ve özellikle apne epizodları yüksek olan prematürelde tercih edilmektedir [17]. İnvaziv ventilasyona geçiş kararı, 'akciğeri koruyucu ventilasyon' prensipleriyle (düşük tidal volüm 4-6 mL/kg, optimal PEEP) verilmelidir [31].

6. Yenidoğanın Pulmoner Değerlendirmeleri

Yenidoğanın pulmoner değerlendirmesi, solunum problemlerinin erken tanımlanması, tedavinin yönlendirilmesi ve pulmoner rehabilitasyonun planlanması açısından kritik öneme sahiptir. Yenidoğan akciğerinin anatomik ve fizyolojik olarak olgunlaşmamış olması, değerlendirme yöntemlerinin yetişkinlerden farklı, daha hassas ve klinik duruma göre uyarlanmasını gerektirir. Modern neonatoloji pratiğinde fiziksel değerlendirme, izlem parametreleri, görüntüleme ve gelişmiş fizyolojik ölçümler bir arada kullanılmaktadır.

6.1. Fiziksel Değerlendirme: Görü, Palpasyon, Perküsyon, Oskültasyon

Fiziksel muayene, yenidoğanın solunum fonksiyonunun değerlendirilmesinde ilk ve en temel basamaktır. Görsel değerlendirmede taşipne, retraksiyonlar, nazal flaring, paradoksal solunum ve siyanoz gibi bulgular incelenir. Palpasyon, göğüs simetrisi ve hava akımının değerlendirilmesine katkı sağlar. Yenidoğanlarda perküsyon sınırlı bilgi verse de hipersonorite veya matite gibi bulgular pnömotoraks ya da atelektazi hakkında fikir verebilir. Oskültasyon ise solunum seslerinin kalitesi, kreptasyon, raller ve wheezing gibi bulgularla patolojiye yönlendirir. Son literatürde, neonatologlar tarafından yapılan standardize fizik muayenenin tanısal doğruluğunun oldukça yüksek olduğu bildirilmiştir [40].

6.2. Vital Bulgular ve Solunum Paterni Analizi

Yenidoğan değerlendirmesinde solunum sayısı, kalp hızı, oksijen satürasyonu ve vücut ısısı temel vital parametrelerdir. Normal solunum sayısı dakikada 30–60 arasındadır; bu değerlerin üzerindeki artış respiratuar distresin erken göstergesidir. Solunum paterni analizi, apne epizodları, düzensiz solunum ve grunting gibi bulguların tanımlanmasını sağlar. Prematürelerde apne-insidansının yüksek olması nedeniyle sürekli monitörizasyon gereklidir. Pulse oksimetre kullanımı, güncel rehberlere göre NICU'da izlem standartlarının ayrılmaz bir parçasıdır [41].

6.3. Kan Gazları ve Laboratuvar Değerlendirmeleri

Arteriyel, kapiller ya da venöz kan gazı analizi; oksijenlenme, ventilasyon ve asit-baz dengesi hakkında kritik bilgiler sunar. pH düşüklüğü, hiperkapni veya hipoksemi klinik kötüleşmenin önemli göstergeleridir. Özellikle RDS, sepsis ve pulmoner hipertansiyon gibi durumlarda kan gazı izlemi tedavi yönetimini doğrudan etkiler. Laktat düzeyi, doku perfüzyonunun bir

biyobelirteci olarak değer kazanmıştır. Son 10 yıldaki çalışmalar, kan gazı trendlerinin tekil değerlere göre daha prognostik olduğunu göstermiştir [42].

6.4. Akciğer Grafisi ve Görüntüleme

Akciğer grafisi yenidoğanda en sık kullanılan görüntüleme yöntemidir. RDS, TTN, MAS, pnömoni, pnömotoraks ve BPD gibi birçok durumun tanısında değerli bilgiler sunar. Ultrason ise son yıllarda yenidoğan akciğer değerlendirmesinde yükselen bir teknoloji haline gelmiştir. Lung ultrasound (LUS), atelektazi, pleural effüzyon, interstisyel sendromlar ve pnömotoraksın hassas tanısında yüksek doğruluk göstermektedir [27]. Literatür, LUS'un radyografiye kıyasla daha hızlı, güvenli ve iyonize radyasyonsuz oluşu nedeniyle NICU'da yaygınlaşması gerektiğini vurgulamaktadır.

6.5. Sürfaktan Fonksiyon Değerlendirmeleri

Sürfaktan eksikliği prematüre bebeklerde solunum yetmezliğinin temel nedenlerinden biridir. Doğrudan sürfaktan fonksiyonunu ölçmek klinik pratikte zor olsa da, sürfaktan yetersizliği genellikle klinik tablo ve görüntüleme bulgularıyla değerlendirilir. Son yıllarda amniyon sıvısı ve trakeal aspirat örneklerinde sürfaktan protein düzeylerinin analizi üzerine yapılan çalışmalar, bu yöntemlerin gelecekte rutin kullanım alanı bulabileceğini göstermektedir [43].

6.6. Pulmoner Fonksiyon Testlerinin Pediyatrik Versiyonları

Klasik spirometri yenidoğanlarda uygulanabilir olmasa da, yenidoğan için uyarlanmış pasif solunum mekanik ölçümleri ve tidal solunum analizi kullanılabilmektedir. Tidal solunum volüm eğrileri, direnç ve kompliyans ölçümleri, özellikle prematürelerde akciğer gelişiminin izlenmesinde değerlidir. Multiple-breath washout (MBW) tekniği ile fonksiyonel rezidüel kapasite ve gaz dağılım homojenliği değerlendirilebilmektedir [44]. Bu testler özellikle BPD'nin derecesinin belirlenmesinde yararlıdır.

6.7. Fizyoterapik Değerlendirme Parametreleri

Pulmoner rehabilitasyon planlamasında fizyoterapistin yaptığı değerlendirme büyük önem taşır. Sekresyon miktarı ve viskozitesi, göğüs kafesi hareketlerinin simetrisi, solunum kas aktivasyonu ve postür analizi fizyoterapik değerlendirmenin temel bileşenleridir. Fizyoterapistler ayrıca pozisyonlama yanıtını, solunum paterni değişikliklerini ve müdahaleye verilen fizyolojik tepkileri kaydeder. Güncel literatür, fizyoterapi değerlendirmesinin özellikle BPD ve RDS'li bebeklerde klinik sonuçları iyileştirdiğini göstermektedir [45].

7. Akciğer Hacmini Artıran Yöntemler

Yenidoğanın akciğer hacmini artırmaya yönelik müdahaleler, özellikle prematüre bebeklerde fonksiyonel rezidüel kapasitenin (FRC) düşük olması ve alveoler instabilitenin artmış olması nedeniyle klinik açıdan büyük önem taşır. Akciğer hacminin korunması ve artırılması, oksijenlenmeyi iyileştirir, atelektaziye azaltır ve ventilatör ilişkili akciğer hasarını (VILI) önler. Bu bölümde akciğer hacmini optimize eden başlıca fizyoterapötik ve solunum destek yöntemleri, güncel bilimsel veriler eşliğinde ele alınmaktadır.

7.1. Pozisyonlama ile Akciğer Volüm Optimizasyonu

Pozisyonlama, yenidoğanın akciğer hacmini artırmada en temel ve en güvenli yöntemlerden biridir. Prone (yüzüstü) pozisyonun özellikle prematürelere oksijenlenmeyi artırdığı, dorsal bölgelerdeki atelektaziye azalttığı ve diyafram hareketlerini optimize ettiği bildirilmiştir [46]. Lateral pozisyonlama ise unilateral patolojilerde özellikle tercih edilir. Güncel çalışmalar, prone pozisyonunun CPAP veya HFNC ile birlikte uygulandığında FRC üzerinde daha belirgin iyileşme sağladığını göstermektedir [47]. Bununla birlikte pozisyonlama sırasında termal stabilite ve monitörizasyonun dikkatle korunması gerekmektedir.

7.2. Nazal CPAP ve Volüm Artışı

Nazal CPAP, alveollerin açık kalmasını sağlayarak FRC'yi artıran etkili bir non-invaziv destek yöntemidir. CPAP, PEEP benzeri bir basınç oluşturarak ekspiryum sonunda alveoler kollapsı engeller ve volüm stabilizasyonu sağlar. Prematüre bebeklerde erken CPAP uygulamasının entübasyon ihtiyacını azalttığı ve daha iyi alveoler gelişim sağladığı literatür tarafından doğrulanmıştır [28]. Ayrıca CPAP'ın, özellikle RDS ve TTN olgularında torasik genişlemeyi artırarak solunum kaslarının iş yükünü azalttığı bildirilmiştir.

7.3. Sustained Inflation Teknikleri

Sustained Inflation (SI), doğumdan hemen sonra akciğerlerin hızlı bir şekilde genişletilmesini sağlayan kısa süreli yüksek basınç uygulamasıdır. Amaç, sıvı dolu alveollerin hava ile yer değiştirmesini kolaylaştırmak ve stabil bir FRC oluşturmaktır. Ancak son yıllarda yapılan geniş ölçekli randomize kontrollü çalışmalar, SI'nın rutin kullanımının önerilmediğini; özellikle prematürelere beyin kanaması riskini artırabileceğini göstermiştir [48]. Bu nedenle SI yalnızca seçilmiş olgularda ve deneyimli klinisyenler tarafından dikkatle uygulanmalıdır.

7.4. İncentive Benzeri Yenidoğan Uyarlanmış Yöntemler

Yenidoğanlarda klasik “incentive spirometri” uygulanamasa da, benzer mekanizmaları kullanan pasif volüm artırıcı teknikler vardır. Nazofarengeal basınç desteği, kontrollü göğüs genişletme manevraları ve solunum paterni fasilitasyonu gibi yöntemler, alveoler ventilasyonun iyileştirilmesine katkı sağlar. Prematürelerde yapılan çalışmalar, yumuşak fizyoterapi manevralarının torasik hareketliliği artırarak tidal volümü iyileştirdiğini göstermektedir [49].

7.5. Göğüs Fizyoterapi Teknikleri (Gently Chest Expansion Maneuvers)

Göğüs fizyoterapisi, özellikle volüm kaybı riskinin yüksek olduğu bebeklerde akciğer genişlemesini destekleyici bir rol oynar. Yumuşak manuel göğüs genişletme teknikleri, diyafram hareketlerini kolaylaştırır ve torasik kompliansı artırır. Güncel literatür, yenidoğanlarda agresif perküsyon ve vibrasyon tekniklerinden kaçınılması gerektiğini, bunun yerine nazik mobilizasyon ve postüral drenaj uygulamalarının daha güvenli olduğunu vurgulamaktadır [50]. Bu yöntemler, özellikle sekresyon birikimi ve atelektazi gelişme riski olan olgularda önerilmektedir.

7.6. Early Mobility / Minimal Handling Yaklaşımları

Minimal handling yaklaşımı, solunum stabilitesinin korunması için gereksiz manipülasyonlardan kaçınmayı hedefler. Bununla birlikte, uygun aralıklarla yapılan nazik mobilizasyon ve pozisyon değişikliklerinin akciğer volümünü artırdığı ve oksijenlenmeyi iyileştirdiği gösterilmiştir. Erken mobilizasyon, kas tonusunu düzenler, diyafram aktivitesini destekler ve uzun süreli yatmaya bağlı volüm kaybını önler [51]. Prematürelerde aşırı manipülasyon hipoksemi ve bradikardiye yol açabileceği için uygulamalar kontrollü olmalıdır.

8. Sekresyonu Temizleyen Yöntemler

Yenidoğanlar, özellikle prematüre bebekler, solunum yollarında sekresyon birikimine yatkındır. Bunun nedeni immatür siliyer fonksiyon, düşük öksürük etkinliği, dar hava yolları ve yoğun bakım koşullarında nemlendirilmiş hava kullanımının sınırlı olmasıdır. Sekresyonların etkili şekilde temizlenememesi; atelektazi, hipoksemi, artmış solunum işi ve enfeksiyon riskine yol açabileceği için uygun ve güvenli temizleme yöntemleri pulmoner rehabilitasyonun önemli bir bileşenidir. Bu bölümde manuel teknikler, mekanik yardımcılar, solunum paterni optimizasyonu ve farmakolojik yaklaşımlar literatür eşliğinde ele alınmaktadır.

8.1. Manuel Teknikler

Yumuşak Perküsyon

Yenidoğanlarda agresif perküsyon önerilmemekte olup, düşük amplitüdü ve ritmik dokunuşlarla uygulanan yumuşak perküsyon sekresyon mobilizasyonuna yardımcı olabilir. Literatür, nazik perküsyonun sekresyonu gevşetmede etkili olduğunu ancak aşırı güç uygulanmasının intrakraniyal basıncı artırma ve vital instabilite riskini artırabileceğini belirtmektedir[32].

Vibrasyon

Elle yapılan yumuşak vibrasyon teknikleri, ekspiratuar fazda toraksa hafif titreşim verilmesiyle sekresyonların büyük hava yollarına yönlendirilmesini sağlar. 2020 sonrası yayınlar, vibrasyonun prematürelde kalp hızı ve oksijen saturasyonu üzerinde anlamlı bir olumsuz etkisi olmadığını göstermektedir [52].

Pozisyonel Drenaj

Yer çekimi etkisinden yararlanarak sekresyonların daha geniş hava yollarına taşınmasını hedefler. Ancak yenidoğanlarda baş aşağı Trendelenburg pozisyonunun intrakraniyal basıncı artırabileceği için tercih edilmemesi önerilmektedir. Güncel rehberler, hafif eğimli pozisyonlamaların daha güvenli olduğunu bildirmiştir [52].

8.2. Mekanik Yardımcılar

MI-E (Mechanical Insufflation-Exsufflation)

MI-E cihazları, özellikle ağır nöromusküler hastalığı olan çocuklarda etkili olsa da yenidoğanlarda çok sınırlı kullanım alanı vardır. 2019 sonrası çalışmalar, seçilmiş olgularda düşük basınçlarla uygulandığında sekresyon temizliğinde yarar sağladığını bildirmiş ancak rutin kullanım önerilmemektedir [53].

Nazal Aspirasyon

Yenidoğanlarda en sık kullanılan mekanik yöntemlerden biridir. Burun tıkanıklığı, hava yolu direncini dramatik artırabileceği için nazal aspirasyon oksijenlenmeyi iyileştirir. Tek kullanımlık aspirasyon uçları ve nazik negatif basınç uygulanması önerilir. Aşırı aspirasyonun mukozal irritasyona yol açabileceği için uygulama sıklığı sınırlı olmalıdır [54].

Yüksek Frekanslı Göğüs Duvarı Osilasyonu (HFWO)

HFWO, daha büyük çocuklarda sekresyon mobilizasyonunda etkili bir yöntemdir; ancak yenidoğanlarda veri kısıtlıdır. 2 yaş üstü çocuklarda

etkinliği kanıtlanmış olsa da, prematürelerde göğüs duvarı uyumluluğu nedeniyle önerilmemektedir [55].

8.3. Solunum Paterni Optimizasyonu

Sekresyon temizliğinde etkili bir solunum paterni ile ekspiratuar hava akımının artırılması önemlidir. Yenidoğanlarda aktif öksürük manevraları uygulanamaz; bu nedenle solunum paterni optimizasyonu pasif yöntemlerle desteklenir.

- Diyafram hareketinin fasilitasyonu
- Ekspiratuar fazda hafif göğüs sıkıştırma
- Solunum hızını yavaşlatıcı sakinleştirme girişimleri

Bu yöntemlerin tidal volümü iyileştirdiği ve sekresyon mobilizasyonunu artırdığı bildirilmektedir [56].

8.4. Sekresyonu Azaltmaya Yönelik Farmakolojik Yaklaşımlar

Nebülize salin, sekresyonların hidrate edilmesini sağlar ve özellikle viskoz sekresyonlarda yararlı olabilir. Hipertonik salin, bronşiolitli bebeklerde yarar göstermiş olsa da prematürelerde dikkatle kullanılmalıdır. Mukolitik ajanların (örn. N-asetilsistein) yenidoğanlarda etkinliği sınırlıdır ve irritasyon riski vardır [57]. Farmakolojik ajanlar yalnızca klinik gereklilik durumlarında ve dikkatli izlemle uygulanmalıdır.

8.5. Sekresyon Yönetiminde Güvenlik ve Kontrendikasyonlar

Yenidoğanda sekresyon temizleme uygulamalarının temel güvenlik ilkeleri:

- Hemodinamik instabilite varsa manuel tekniklerden kaçınılmalı
- Baş aşağı pozisyonlardan kaçınılmalı
- Oksijen saturasyonu sürekli izlenmeli
- Apne eğilimi olan bebeklerde manipülasyon sınırlı yapılmalı
- Özellikle IVH riski yüksek prematürelerde sert manevralardan uzak durulmalı

Son yıllarda yapılan çalışmalar, nazik ve bireyselleştirilmiş yaklaşımların sekresyon yönetiminde en güvenilir strateji olduğunu vurgulamaktadır [58].

9. Aile Eğitimi ve Ev Programları

Yenidoğan döneminde solunum problemlerinin yönetimi yalnızca hastane içi uygulamalarla sınırlı kalmamakta; taburculuk sonrası aile eğitimi ve ev programları, uzun dönem akciğer sağlığının korunması açısından kritik bir rol oynamaktadır. Özellikle prematüre bebekler, bronkopulmoner displazi (BPD) gelişenler ve kronik solunum desteği gerektiren olgular taburculuk sonrası dönemde yoğun aile desteğine ihtiyaç duyar. Ailelerin solunum egzersizleri, pozisyonlama, evde oksijen cihazlarının güvenli kullanımı ve sekresyon yönetimi konularında eğitilmesi; yeniden hastaneye yatış oranlarını azaltmakta ve yaşam kalitesini artırmaktadır [59]. Bu bölümde aile eğitiminin temel içerikleri ve ev programlarının yapısal bileşenleri güncel literatür ışığında ele alınmaktadır.

9.1. Solunum Egzersizleri

Yenidoğanlarda aktif solunum egzersizleri uygulanamasa da ailelere ritmik solunum paterni oluşturmayı destekleyen pasif egzersizler öğretilir. Diyafram hareketini kolaylaştıran hafif abdominal temas, göğüs duvarının doğal hareketini izlemeyi teşvik eden sakinleştirici teknikler ve uyku-uyanıklık döngüsünün düzenlenmesi solunum iş yükünü azaltır. BPD’li bebeklerde düzenli solunum destek rutinlerinin oksijenlenmeyi iyileştirdiği ve dispneyi azalttığı bildirilmiştir [60].

9.2. Pozisyonlama Eğitimi

Ailelerin doğru pozisyonlama tekniklerini bilmesi, sekresyon yönetimi ve akciğer volüm optimizasyonu için byknem taşır. Prone pozisyon, yalnızca gözetim altında uygulanmalı; ani bebeklm sendromu (SIDS) riski nedeniyle uyku sırasındanerilmemelidir. Supin pozisyonun uyku için tercih edilmesi gerektiği Amerikan Pediatri Akademisi tarafından güçlü şekildenerilmektedir [61]. Lateral ve semi-upright pozisyonlar ise reflüsü olan veya solunum sıkıntısı yaşayan bebeklerde yardımcı olabilir. Ailelere pozisyon değişimlerinin ne sıklıkta yapılacağı ve bebeğin tepkilerinin nasıl izleneceğiğretilmelidir.

9.3. Sekresyon Yönetimi Eğitimi

Ev ortamında sekresyon yönetimi,zelliklest solunum yolu enfeksiyonu riskinin yüksek olduğu kiş aylarında kritiknemdedir. Ailelere aşağıdaki konularğretilir:

- Burun tıkanıklığı olduğuunda nazal aspirasyonun nazik şekilde uygulanması

- Nemlendiricilerin doğru kullanımı
- Beslenme öncesi ve sonrası pozisyonlama
- Solunum sıkıntısının erken belirtileri (çekilmeler, hızlı solunum, huzursuzluk)

2020 sonrası çalışmalar, aile eğitimine sekresyon yönetimi modülünün eklenmesinin acil başvurularını azalttığını göstermiştir [62].

9.4. Evde Oksijen ve Cihaz Kullanım Eğitimi

BPD'li veya PPHN sonrası taburcu edilen bebekler çoğu zaman evde oksijen desteğine ihtiyaç duyar. Bu nedenle ailelerin oksijen cihazı, pulse oksimetre ve nemlendirici sistemleri doğru kullanmayı öğrenmesi gereklidir. Eğitimde cihaz temizliği, oksijen güvenliği, saturasyon hedef aralıkları ve acil durumlarda izlenecek adımlar yer almalıdır. Evde oksijen tedavisi alan bebeklerin ailelerine yönelik yapılan çalışmalar, kapsamlı eğitim programlarının yeniden hastaneye yatış oranını anlamlı ölçüde düşürdüğünü bildirmiştir [63].

9.5. Ailelerin Psikososyal Destek İhtiyacı

Yenidoğan yoğun bakım süreci aileler için psikolojik olarak yük oluşturur. Taburculuk sonrası dönemde kaygı, yetersizlik hissi ve tükenmişlik sık görülen durumlardır. Psikososyal destek, aile eğitim programlarının ayrılmaz bir bileşeni haline gelmiştir. Son literatür, aile merkezli bakım modellerinin hem klinik sonuçları hem de ebeveynlerin kendine güven düzeyini iyileştirdiğini göstermektedir [64].

9.6. Ev Programlarının Yapılandırılması

Ev programları bebeğin klinik durumuna göre şu bileşenlerden oluşturulur:

- Günlük solunum değerlendirme rutini
- Pozisyonlama planı
- Sekresyon yönetimi rehberi
- Aktiviteler ve uyanklık–uyku döngüsü düzeni
- Beslenme sonrası solunum kontrolü
- Ne zaman sağlık kuruluşuna başvurulacağına yönelik uyarı işaretleri

Ev programlarının düzenli takibi tele-sağlık modelleri ile birleştirildiğinde bakım kalitesinin arttığı bildirilmektedir [65].

10. Klinik Vaka Örnekleri

Yenidoğan döneminde solunumsal problemlerin değerlendirilmesi ve yönetilmesi, klinik bulguların dinamik doğası nedeniyle deneyim gerektirir. Klinik vakalar, pulmoner rehabilitasyon süreçlerinin anlaşılmasını kolaylaştıran değerli öğretim araçlarıdır. Aşağıda yenidoğan yoğun bakımda sık karşılaşılan üç farklı solunum problemi üzerinden klinik senaryolar ve güncel yaklaşımlar ele alınmaktadır.

10.1. Vaka 1: Respiratuar Distres Sendromlu (RDS) Preterm Bebek

Olgu: 29 haftalık gestasyon yaşında, 1200 gram doğan bir preterm bebek doğum sonrası ilk dakikalarda taşipne, burun kanadı solunumu ve inleme (grunting) ile yoğun bakıma kabul edilir. Akciğer grafisinde retikülogranüler görünüm ve “ground glass” opasiteler izlenir.

Değerlendirme: Silverman-Andersen skoru 6 olarak belirlenmiştir. Pulse oksimetre ile SpO₂ %86 civarındadır. Kan gazında pH 7.25, PaCO₂ 58 mmHg bulunmuştur.

Yönetim:

- Erken nazal CPAP 6 cmH₂O ile başlatılmıştır.
- İlk 2 saat içinde LISA yöntemiyle sürfaktan verilmiştir.
- Göğüs fizyoterapisi yalnızca pozisyonlama ve nazik göğüs mobilizasyonu ile sınırlı tutulmuştur.

Literatür, LISA'nın entübasyon ihtiyacını azaltarak BPD gelişimini azalttığını göstermekte, özellikle 30 hafta altı prematürelerde erken kullanım önerilmektedir [66].

Klinik Sonuç: 24 saat içinde oksijen gereksinimi azalmış, CPAP 5 cmH₂O'ya düşürülmüş ve 3. gün HFNC'ye geçiş sağlanmıştır. Bebek stabil seyretnmiştir.

10.2. Vaka 2: Bronkopulmoner Displazili (BPD) Kronik Seyirli İnfant

Olgu: 32 haftalık doğan ve uzun süre mekanik ventilasyon alan bir bebek, 36. haftada oksijen bağımlılığı devam ettiği için BPD tanısı alır. Taburculuk öncesi değerlendirmede interkostal çekilmeler, inleme ve zayıf diyafram hareketleri gözlenir.

Değerlendirme: Solunum paterni düzensizdir; tidal solunum analizi düşük volüm ve hızlı solunum paterni göstermektedir. Aile, evde oksijen tedavisini kullanma konusunda kaygılıdır.

Yönetim:

- Evde oksijen tedavisi için eğitim verilmiştir (hedef SpO₂ %92–95).
- Fizyoterapi programı: pozisyonlama eğitimi, nazik göğüs mobilizasyonu, sekresyon yönetimi.
- Haftalık tele-sağlık görüşmeleri planlanmıştır.
- Beslenme sırasında aspirasyon riskini azaltmak için semi-upright pozisyon önerilmiştir.

Güncel çalışmalar, evde oksijen tedavisi ve aile eğitiminin Readmission oranlarını azalttığını göstermektedir [63].

Klinik Sonuç: Ev programına uyumun yüksek olduğu bebekte 2 ay içinde oksijen gereksinimi giderek azalmış ve 44. hafta postmenstrüel yaşta oksijen kesilmiştir.

10.3. Vaka 3: Pnömonisi Olan Term Yenidoğan

Olgu: 39 haftalık, 3400 gram doğan bir term bebek doğumdan 12 saat sonra taşipne, hipoksemi ve beslenme güçlüğü ile başvurur. Akciğer grafisinde perihiler infiltrasyonlar gözlenir. Kan kültüründe Grup B streptokok pozitif bulunmuştur.

Değerlendirme: Solunum sayısı 76/dk, SpO₂ %88'dir. Kan gazında laktat yüksek bulunmuştur. Auskültasyonda bilateral ince ralleri mevcuttur.

Yönetim:

- HFNC 6 L/dk ile başlanmıştır.
- Ampirik antibiyotik tedavisi başlatılmıştır.
- Sekresyon yönetimi için nazal aspirasyon ve pozisyonlama kullanılmıştır.
- Vibrasyon veya agresif perküsyon uygulanmamıştır (akut enfeksiyon döneminde önerilmez).
- Beslenme oral olarak tolere edilemediği için NG tüp ile beslenme başlanmıştır.

2020 sonrası yayınlar HFNC'nin yenidoğan pnömonisinde oksijenlenmeyi iyileştirmede CPAP'a yakın etkinlik gösterdiğini belirtmektedir[67].

Klinik Sonuç: 72 saat sonunda solunum hızı 50/dk'ya dūřmūř, oksijen gereksinimi azalmıř ve bebek 6. gūnde tamamen stabilize olmuřtur.

SONUÇ

Yenidoėan dōneminde pulmoner problemlerin yōnetimi, multidisipliner yaklařımların eř zamanlı uygulanmasını gerektiren karmařık bir sūretir. Embriyolojik geliřimden bařlayarak doėum sonrası adaptasyon mekanizmalarının anlařılması, bu sūrete gōrūlen solunum sorunlarının kōkenine inmede temel bir ereve sunmaktadır. Prematūre bebeklerde gōrūlen RDS ve BPD gibi kronik akciėer hastalıkları ile term bebeklerde gōzlenen pnōmoni, mekonyum aspirasyon veya persistan pulmoner hipertansiyon gibi klinik tablolar, spesifik deėerlendirme ve tedavi protokolleri gerektirmektedir. Bu nedenle pulmoner rehabilitasyon uygulamaları, yenidoėan saėlıėında yalnızca destekleyici deėil, tedavi edici ve koruyucu bir unsur haline gelmiřtir.

Pulmoner rehabilitasyonun yenidoğanlara uyarlanmış biçimi; nazik manuel teknikler, pozisyonlama stratejileri, solunum paterni optimizasyonu, sekresyon yōnetimi ve non-invaziv solunum desteğinin etkin bir şekilde kullanımı ūzerine kuruludur. Klinik uygulamalar, bu yōntemlerin oksijenlenmeyi artırdığı, akciğer hacmini stabilize ettiği, ventilatōr ilişkili komplikasyonları azalttığı ve genel iyileşme sūrecini hızlandırdığını gōstermektedir. Aynı zamanda aile eğitimi ve ev programlarının taburculuk sonrası dōnemde solunum stabilitesinin korunmasında kilit rol oynadığı ortaya konmuştur. Ailelerin bakım sūrecine aktif katılımı, yeniden hastaneye yatış oranlarını azaltmakta ve uzun dōnem akciğer sağlığını desteklemektedir.

Sonuç olarak, yenidoėan dōnemi için hazırlanmıř kanıta dayalı pulmoner rehabilitasyon yaklařımları, klinik sonuçları iyileřtiren, komplikasyonları azaltan ve yařam kalitesini artıran etkili stratejiler sunmaktadır. Bu kitap bōlūmū, gūncel literatūre ve klinik uygulamaların harmanlanmasıyla oluřturulmuř kapsamlı bir rehber niteliėindedir. Neonatal saėlıėın geliřtirilmesine yōnelik yenilikçi tekniklerin ve aile merkezli bakım modellerinin ūnūmūzdeki yıllarda daha da ūnem kazanacaėı ūngōrūlmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yenidoėan, pulmoner rehabilitasyon, solunum fizyoterapisi, prematūre, bronkopulmoner displazi, solunum desteėi, neonatal yoėun bakım.

Kaynaklar

1. Baguma-Nibasheka M, Kablar B. Mechanics of lung development. In: Roles of Skeletal Muscle in Organ Development. Springer; 2023. p.131–150.
2. Danopoulos S, et al. FGF18 promotes human lung branching morphogenesis through regulating mesenchymal progenitor cells. *Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol.* 2023;324(4):L433–L444.
3. Lv YQ, et al. FGF10 and lipofibroblasts in lung homeostasis and disease: insights gained from adipocytes. *Front Cell Dev Biol.* 2021;9:645400.
4. Schittny JC. Alveolar development. In: *The Lung*. Elsevier; 2025. p.13–27.
5. Halliday HL, Speer CP. Sharing Progress in Neonatology: Oxygen and Surfactant, Optimal Ventilation, Pulmonary Hypertension, Diagnostic Procedures, and Definition of BPD. *Neonatology.* 2021;118(2):207–210.
6. Li C, Guan T. Pulmonary function and physical performance in adolescent e-cigarette users: a review. *Front Public Health.* 2025;13:1703712.
7. Singh J, et al. Surfactant protein disorders in childhood interstitial lung disease. *Eur J Pediatr.* 2021;180(9):2711–2721.
8. Dankhara N, et al. Bronchopulmonary dysplasia: pathogenesis and pathophysiology. *J Clin Med.* 2023;12(13):4207.
9. Sintim-Damoa A, Cohen HL. Fetal imaging of congenital lung lesions with postnatal correlation. *Pediatr Radiol.* 2022;52(10):1921–1934.
10. Yaremenko AV, et al. Association of fetal lung development disorders with adult diseases. *J Pers Med.* 2024;14(4):368.
11. Joseph V, Bairam A, Carroll JL. Control of breathing during sleep and wakefulness in the fetus, newborn, and child. In: *Pediatric Sleep Medicine*. Springer; 2021. p.19–31.
12. Dassios T, Verveniotti A, Dimitriou G. Respiratory muscle function in the newborn. *Pediatr Res.* 2022;91(4):795–803.
13. Kollisch-Singule M, et al. Mechanical ventilation in pediatric and neonatal patients. *Front Physiol.* 2022;12:805620.
14. Fan Z, Laishuan W, Yahui Z. Mitochondria as the central regulator of cell death in bronchopulmonary dysplasia. *Front Physiol.* 2025;16:1685526.
15. Dixon KL, et al. Neonatal thermoregulation: a golden hour protocol update. *Adv Neonatal Care.* 2021;21(4):280–288.
16. Powell WT, Liptzin DR. Physiology and Pathophysiology of the Lungs in the Fetus, Newborn, and Young Child. In: *The Lungs at the Extremes of Environment and Age*. Springer; 2025. p.109–126.
17. Ramaswamy VV, Devi R, Kumar G. Non-invasive ventilation in neonates: a literature review. *Front Pediatr.* 2023;11:1248836.

18. Stock S, Thomson A, Papworth S. Antenatal corticosteroids to reduce neonatal morbidity and mortality. *BJOG*. 2022;129(8).
19. Carnielli V, et al. European consensus guidelines on the management of respiratory distress syndrome: 2022 update. *Neonatology*. 2023;120(1):3–23.
20. Osman A, et al. Meconium aspiration syndrome: a comprehensive review. *J Perinatol*. 2023;43(10):1211–1221.
21. Luo S, et al. Risk factors for meconium aspiration syndrome in newborns: a meta-analysis. *Pediatr Med*. 2023;6.
22. Ivy D, et al. Challenges of neonatal and pediatric pulmonary hypertension. *Eur Respir J*. 2024;64(4).
23. Di Filippo P, et al. Lifelong lung sequelae of prematurity. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;19(9):5273.
24. Salimi U, et al. Postnatal sepsis and bronchopulmonary dysplasia in premature infants. *Am J Respir Cell Mol Biol*. 2022;66(2):137–145.
25. Alriyami A, Kiger JR, Hooven TA. Ventilator-associated pneumonia in NICU. *NeoReviews*. 2022;23(7):e448–e461.
26. Kastein K, Coe K. Management of air leaks in the newborn. *Adv Neonatal Care*. 2023;23(2):160–166.
27. Raimondi F, et al. Lung ultrasound score in neonatal RDS. *Pediatrics*. 2021;147(4):e2020030528.
28. Subramaniam P, Ho JJ, Davis PG. Early CPAP for preterm infants. *Cochrane Database Syst Rev*. 2021;10.
29. Keszler M. Novel ventilation strategies to reduce pulmonary outcomes. *Clin Perinatol*. 2022;49(1):219–242.
30. Diggikar S, et al. Surfactant therapy: which infant, when, what dose, and which route? *Semin Fetal Neonatal Med*. 2024.
31. Kalikkot Thekkevedu R, et al. Ventilation-induced lung injury in neonates. *J Clin Med*. 2022;11(3):557.
32. Igual Blasco A, et al. Effects of chest physiotherapy in preterm infants with RDS. *Healthcare*. 2023;12.
33. Bhurawala H. Optimal oxygen levels for preterm infant resuscitation. *JAMA Pediatr*. 2024;178(12):1377.
34. Mamidi RR, McEvoy CT. Oxygen in the neonatal ICU: current perspectives. *Front Pediatr*. 2024;12:1371710.
35. Sweet DG, et al. European consensus guidelines on RDS. *Neonatology*. 2023;120(1):3–23.
36. Zhao X, Qin Q, Zhang X. HFNC vs CPAP in young children. *Front Pediatr*. 2021;9:759297.

37. Angurana SK, Sudeep K, Prasad S. Ventilator-induced lung injury in children. *J Pediatr Crit Care*. 2023;10(3):107–114.
38. Ackermann BW, et al. High-frequency ventilation in neonates. *Pediatr Res*. 2023;93(7):1810–1818.
39. Procopiuc L, et al. Severe neonatal respiratory failure outcomes. *Pediatr Crit Care Med*. 2025;26(11):e1351–e1359.
40. Dolby L, Campbell D. *Physical Examination of the Newborn*. Wiley; 2025.
41. Fuerch JH, et al. Respiratory function monitoring during neonatal resuscitation. *Resuscitation Plus*. 2022;12:100327.
42. Haris M, et al. Neonatal blood gases and outcomes. *Pak-Euro J Med Life Sci*. 2024;7(Suppl 2):S331–S336.
43. Ng EH, Shah V. Guidelines for surfactant replacement therapy. *Paediatr Child Health*. 2021;26(1):35–41.
44. Bhakta NR, et al. Race and ethnicity in pulmonary function test interpretation. *Am J Respir Crit Care Med*. 2023;207(8):978–995.
45. Almahmoud A, et al. Comprehensive care strategies for hypoplastic lung disease. *J Med Life Sci*. 2025.
46. Loi B, et al. Respiratory and haemodynamic effects of pronation in neonates. *EClinicalMedicine*. 2023;55.
47. Wu HL, et al. Prone position with CPAP in preventing extubation failure. *Respir Care*. 2023;68(2):241–246.
48. Foglia EE, et al. Sustained inflation vs IPPV for preterm infants at birth. *J Pediatr*. 2021;239:150–154.e1.
49. Shkurka E, et al. Chest physiotherapy for mechanically ventilated children. *J Pediatr Intensive Care*. 2024;13(2):109–118.
50. Rodríguez-Roza P, et al. Respiratory physiotherapy in preterm neonates. 2025.
51. Morris H, et al. Early progressive mobility in severe BPD. *J Perinatol*. 2024.
52. Heneidy WE, et al. Chest physical therapy for pneumonia in preterm neonates. *Delta Univ Sci J*. 2025;8(1):204–210.
53. Sanad R, et al. Effect of cough assist device in pneumonic children. *Bull Fac Phys Ther*. 2021;26(1):31.
54. Alvo A, Villarroel G, Sedano C. Neonatal nasal obstruction. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2021;278(10):3605–3611.
55. Raywood E, et al. Airway clearance quality in cystic fibrosis. *J Cyst Fibros*. 2023;22(2):344–351.
56. Kaltsogianni O, Dassios T, Greenough A. Neonatal respiratory support strategies. *Front Pediatr*. 2023;11:1212074.
57. Tiddens HA, et al. Effect of inhaled hypertonic saline in cystic fibrosis. *Lancet Respir Med*. 2022;10(7):669–678.

58. Simoes EA, et al. Efficacy of nirsevimab against RSV. *Lancet Child Adolesc Health*. 2023;7(3):180–189.
59. Franck LS, et al. Neonatal outcomes in family-integrated care. *BMC Pediatr*. 2022;22:674.
60. Jensen EA, et al. Corticosteroid therapy outcomes in extremely preterm infants. *JAMA Netw Open*. 2023;6(5):e2312277.
- 61.
62. Moon RY, et al. Sleep-related infant death recommendations. *Pediatrics*. 2022;150(1).
63. High MS, et al. Parent education programs for children with invasive ventilation. *J Pediatr Nurs*. 2022;66:160–170.
64. Fitzgerald DA. Home oxygen in BPD infants: weaning challenges. *Paediatr Respir Rev*. 2023;47:11–15.
65. Ginsberg KH, et al. Psychosocial support in NICU parents. *J Pediatr*. 2023;259:113456.
66. Façal AVB, et al. Telehealth for chronic pulmonary disease in children. *Rev Paul Pediatr*. 2023;42:e2024111.
67. Härtel C, et al. Less invasive surfactant administration for preterm infants. *Neonatology*. 2024;121(5):584–595.
68. Hodgson KA, et al. Nasal high-flow therapy during neonatal intubation. *N Engl J Med*. 2022;386(17):1627–1637.

