

Yenidoğanda Solunum Fizyolojisi, Mekanik Ventilasyon Endikasyonları, Başlangıç Ayarları

Hasan Özkan

Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi , Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Anabilim Dalı Neonatoloji Bilim Dalı, Prof. Dr.

Başarılı bir ventilasyon için normal fizyolojinin, altta yatan hastalık fizyopatolojisinin, ventilatörün ve ventilatör modlarının özelliklerinin bilinmesi gerekir. Bu sunumda neonatal ventilasyonla ilgili yeterince deneyimi olmayan hekimlere kendi protokollerimiz çerçevesinde pratik bilgiler sağlamak amaçlanmıştır.

Ventilasyon, gaz akımının oluşması ile gerçekleşmektedir. Gaz akımını başlatan esas güç ise basınç farkıdır. Bu basınç farkı spontan solunum sırasında solunum kaslarının kasılması ile, pozitif basınçlı ventilasyonda (PPV) ise mekanik ventilatörle sağlanmaktadır. Uygulanan hava yolu basıncı (Paw), alveolar (Palv), intraplevral (Pip) ve atmosferik (Patm) basınçtan daha yüksek olduğu için gaz akımı başlamakta ve inspirasyon gerçekleşmektedir. Pozitif basınçlı ventilasyon sırasında akciğerlerin ekshalasyonu, spontan solunumda olduğu gibi pasif olarak gerçekleşmektedir.

Pozitif basınçlı ventilasyonda basınç kaynağı olarak sıkıştırılmış hava ve oksijen kullanılmaktadır. İnspire edilmesi istenen O₂ konsantrasyonu (FiO₂) ve sıkıştırılmış hava önceden karışarak ventilatöre girer. Ventilatör döngüsünün ekspiratuvar ucundaki bir akım rezistörü PEEP oluşmasını sağlarken, gaz ventilatör dolaşımında devamlı olarak akmaktadır. İnspirasyon sırasında ekspiratuvar kapak kapanır ve önceden ayarlanmış bir zaman (IT: inspiratory time) süresince dolaşımında basınç oluşturur. Belirlenen basınca ulaşma hızı sistem akımı tarafından belirlenmektedir.

Pozitif basınçla solutma sırasında, belli bir zamanda akciğerlere giren gaz hacmi inspirasyon tepe basıncı (PIP: Peak inspiratory pressure), inspirasyon zamanı (IT), kompliyans (C) ve direnç (R) tarafından belirlenmektedir. Kompliyans akciğerlerdeki hacim değişimi (ΔV) ile bu hacmi sağlamak için gerekli basınç değişimi (ΔP) arasındaki ilişkiyi tanımlayan genel bir terimdir. ($C = \Delta V / \Delta P$). Gaz molekülleri ve havayolu duvarları arasındaki sürtünmeye bağlı oluşan havayolu direnci ile akciğer ve göğüs duvarı dokuları arasındaki sürtünmeye bağlı oluşan visköz direnç, toplam sürtünme direncini oluşturur. Havayolu direnci toplam sürtünme direncinin %80'ini oluştururken bunun %50'si burundan kaynaklanır. Uygulanan pozitif basınç ile havayolu basıncı hızlı bir şekilde istenen PIP düzeyine yükselmektedir. Başlangıçta Palv, Patm'e eşittir ve Paw'den oldukça düşüktür ($PIP \gg \text{Palv}$). Gaz bu büyük giriş basıncı ile akciğerlere doğru akar ve akciğerdeki gaz volümü giderek artar. Akciğer hacmi ile doğrudan ilişkili olan Palv değerinin ($\text{Palv} = \text{Volüm} / \text{Kompliyans}$) zamanla yükselmesiyle, gaz akımını sağlayan giriş basıncı (PIP-Palv) ve buna bağlı olarak gaz akım hızı azalır, sonuçta $PIP = \text{Palv}$ olduğunda akım kesilir. Bu nedenle akciğerlere girebilecek maksimum gaz hacmi (Vmax) PIP ve C tarafından belirlenmektedir ($V_{\text{max}} = PIP \times C$).

Pozitif basınçlı inflasyon sırasında, havayolu basıncı hızla pik değerine yükselir ve bu platoda korunur. Bu sırada akciğerdeki gaz volümü (Vt) aşağıdaki ilişkiye göre zamanla yükselir.

$$V_t = V_{\text{max}} \times (1 - e^{-t/RC})$$

Bu denklemde e 2.7183 ile bir sabittir. Rezistansla kompliyansın çarpımı (RC) bir birim zamana sahiptir ve solunum sisteminin zaman sabiti (respiratory time constant -TRS) olarak tanımlanmaktadır. Kompliyans ve direncin bir ürünü olan TRS zaman birimi (saniye) olarak ölçülür. Akciğere akabilecek maksimum gaz volümünü (Vmax) PIP ve C belirlemektedir. $V_{\text{max}} = PIP \times C$ ve $TR_S = RC$ olduğundan, inspiratuvar süre bir zaman sabitine eşit iken ($IT = 1 \times TR_S$) akciğer, maksimum volümünün (Vmax) % 63'ü kadar şişecektir. Bu oran $IT = 2 \times TR_S$ olduğunda % 86'ya, $3 \times TR_S$ için % 95'e, $4 \times TR_S$ için % 98'e ve $5 \times TR_S$ için % 99'a ulaşacaktır.

Ventilatörün ekspiratuvar kapağı açıldığında, akciğerin ve göğüs duvarının elastik geriçekişmesi ile ortaya çıkan alveol ve hava yolu arasındaki basınç farkıyla gaz, bebeğin akciğerlerinden ventilatör dolaşımına geçer. Akciğerin sönmeye için gereken süre de elastik geriçekişmenin boyutuna (kompliyansın tersi) ve havayollarının direncine bağlıdır.

Pozitif Basınçlı Ventilatörlerin Denetimleri

Hastalığa ve hastalığın şiddetine göre uygun oksijenizasyon ve ventilasyonun sağlanabilmesi için mekanik ventilatörler üzerindeki denetimlerde ayarlamalar yapılmaktadır. Bunlar; FiO₂, PIP, akım hızı, PEEP, hız, IT, ET (expiratory time=ekspirasyon zamanı) ve IT:ET oranıdır. Dalga formu ve MAP ise FiO₂ ve hız dışındaki diğer parametrelerin değişimi ile dolaylı olarak belirlenmektedir. Gelişmiş ventilatörlerde tüm bu denetimler ve değişimler dijital olarak gösterilebilmektedir. Bu parametrelerin hastalığa göre başlangıç değerleri ve klinik sürece göre yapılması gereken değişimlerin en uygun nasıl olacağı konusu, mekanik ventilasyonun kullanıma girmesinden bugüne dek tartışılmıştır ve görüş farklılıkları halen sürmektedir.

Konvansiyonel ve senkronize ventilasyonda PaO₂'yi yükseltmek MAP'ı (Mean airway pressure) ve/veya FiO₂'yi yükseltmek ile mümkün olabilir. MAP bir solunum döngüsü boyunca hava yollarına uygulanan ortalama basıncı gösterir ve oksijenizasyonun asıl belirleyicisidir. MAP ventilatör üzerinde doğrudan ayarlanabilen bir parametre değildir. PIP, PEEP, IT, ET ve dalga formundaki değişimlerle belirlenmektedir. Basınç dalga formu, tam bir ventilatör döngüsü boyunca proksimal hava yollarına uygulanan basıncın zamana karşı grafiklendirilmesi ile elde edilir ve bu alanın tümü MAP'ı oluşturmaktadır. MAP'ı ve dolayısıyla oksijenizasyonu artırmak için PIP, PEEP, IT ya da IT:ET oranı, solunum hızı ve akım hızını arttırmak gerekmektedir. MAP mikrobilgisayar sistemli ventilatörlerde dijital olarak sürekli izlenebileceği gibi şu formülle de hesaplanabilmektedir. $MAP = [(IT \times PIP) + (ET \times PEEP)] / (IT + ET)$

Parankimal akciğer hastalıklarından hiçbiri homojen değildir. Şiddetli şekilde az ventile olan akciğer ünitelerinin yanında, görece olarak normal akciğer birimleri de bulunmaktadır. Ancak hepsi birbirlerine bağlı olduklarından, mekanik ventilasyon sırasında tümü aynı havayolu basınçlarına maruz kalmaktadırlar. Göreceli olarak normal akciğer üniteleri daha düşük bir havayolu direncine ve yüksek kompliyansa sahip olduklarından, MAP'daki artışlar ile aşırı gerilmeye maruz kalabilirler. Aşırı gerilme riski MAP, IT arttırılarak

arttırıldığında en fazla, PIP arttırıldığında daha az ve PEEP arttırıldığında en az olmaktadır.

Pozitif basınçlı ventilasyon sırasında ventilasyonun en iyi göstergesi PaCO₂'dir. PaCO₂ CO₂ oluşum hızının alveoler ventilasyona (AV) bölünmesine eşittir. AV ise anatomik ve fizyolojik ölü boşluğun (DV) tidal volümden(TV) çıkarılıp solunum hızı (RR) ile çarpımıyla belirlenmektedir [AV=(TV-DV)xRR]. PaCO₂, RR veya TV yükselirse düşer ve RR veya TV düşerse yükselir. Basınç sınırlı bir ventilatörde, sabit bir inspiratuar sürede TV, akciğer kompliansı, PIP ve PEEP ile belirlenir. Özetlemek gerekirse PaCO₂; RR yükseltilerek, PIP yükseltilerek veya PEEP düşürülerek azaltılabilirken, RR düşürülerek, PIP düşürülerek veya PEEP yükseltilerek yükseltilebilir.

Pozitif Basınçlı Ventilasyon Endikasyonları

Respiratuar yetmezlik varsa ve diğer yöntemlerle düzeltilememişse mekanik ventilasyon uygulanır

Respiratuar yetmezliğin klinik ve laboratuvar bulguları:

1. Klinik Kriterler

- a. Retraksiyon
- b. İnleme
- c. Solunum hızı > 60/dk
- d. Santral siyanoz
- e. İnatçı apne
- f. Azalmış aktivite

2. Laboratuvar Kriterleri

- a. PaCO₂ > 60 mmHg
- b. FiO₂=1 iken PaO₂ < 50 mmHg yada SO₂ < %80
- c. pH < 7,25

Yukarıdaki kriterlerden 2 veya daha fazlası respiratuar yetmezlik göstergesidir. Ancak çok küçük prematürelde retraksiyonlar çok belirgin olduğunda da mekanik ventilasyon endikasyonu konulabilir.

Konvansiyonel Ve Senkronize Ventilasyon Protokolü

RDS nedeniyle surfaktan tedavisi uygulanmış tüm bebeklere son dozu takiben aşağıdaki protokole uygun olarak PTV (A/C) veya IPPV modunda mekanik ventilasyon başlanır.

PTV (A/C) :

- PEEP : 3 cmH₂O,
- PIP : yeterli göğüs ekspansiyonu ve ventilasyonu sağlanan değerde
 - 1000 g ve altındakilerde : 14 cmH₂O
 - 1000-2000 g arasındakilerde : 15-20 cmH₂O
 - 2000 g ve üzerindekiilerde : 20-25 cmH₂O
- FiO₂ : kan gazları ve pulse oksimetre izlemine göre (%21 - 100)
- Akım hızı : 6-8 L/dk
- IT : 0.3-0.4 saniye ET: genellikle 0.6 sn ile başlanır
- Back up rate : spontan solunum hızından 20/dk daha az olacak şekilde (IPPV de yok)
- Başlangıçta bebek bir dakika süreyle izlenip spontan solunum sayısı, IT ve ET belirlenmeye çalışılır. Ayrıca göğüs hareketleri ve dinleme bulgularına göre senkronizasyonun sağlanmasına çalışılarak IT, ET ve back up rate belirlenir)
- Trigger duyarlılığı : maksimumda (IPPV de yok)
- Bu parametrelerle mekanik ventilasyona başlandıktan sonra göğüs hareketlerine ve solunum seslerine göre ventilasyon yetersizse birkaç solunumda bir PIP 1 cmH₂O arttırılır, pulse oksimetrede SO₂ < %88 ise yada siyanoz varsa her dakikada FiO₂ %5 arttırılır.
- Uygun parametreler belirlendikten sonra 20. dakikada ve daha sonra 4-6 saat aralarla arteryel kan örnekleri ile kan gazları takip edilir.
- FiO₂, kan gazlarının sonucu beklenmeden pulse oksimetrede oksijen saturasyonu %88-95 arasında olduğu sürece her defasında %5 olmak üzere hızla azaltılır.
- Yirminci dakikada alınan dahil olmak üzere kan gazları normal sınırlar içinde geldiğinde (PaO₂: 50-80 mmHg, PaCO₂: 35-50 mmHg, pH: 7.25-7.40), öncelikle her defasında 2 cmH₂O olmak üzere PIP azaltılır ve back up rate yeniden düzenlenir.
- pH >7.25 olduğu sürece PaCO₂ 55 mmHg olana dek kan gazları normal sınırlar içinde kabul edilir ve PIP azaltılır.
- Mekanik ventilasyon süresince alınan kan gazlarında respiratuar alkaloz (PaCO₂ <35 mmHg, pH > 7.40) saptandığında, PIP 2 cmH₂O azaltılarak 40 dakika sonra yeniden kan gazları değerlendirilir, alkaloz sürüyorsa parametre değişimi tekrarlanır.
- Respiratuar asidoz (PaCO₂ <60 mmHg, pH >7.25) varlığında ise aynı yöntemle, PIP 2 cmH₂O arttırılır ve 40 dakika sonra yeniden kan gazları değerlendirilir (Bu sırada tüpün yeri, tıkanıklığı ve ventilatöre ait sorunlar hızla gözden geçirilir. Bunların yokluğunda surfaktanın tekrar dozunun gerekliliği, ek akciğer patolojileri, PDA yada intrakraniyal patolojiler yönünden bebek değerlendirilir)
- PIP değeri, doğum ağırlığı < 1000 g olan bebeklerde 12 cmH₂O, 1000-1500 g olan bebeklerde 16 cmH₂O düzeylerine inildiğinde A/C' (IPPV) den SIMV (IMV) moduna geçilir.

SIMV /IMV

- PEEP, Akım hızı, Trigger duyarlılığı ve IT değişmeyecek (A/C'deki başlangıç değerleri)
- PIP, FiO₂ : A/C'deki son değerler
- Solunum hızı : 40/dk
- Bu parametrelerle mekanik ventilasyona başlandıktan sonra 4-6 saat aralarla arteryel kan gazları izlenmeye devam edilir

- Alınan kan gazları normal sınırlar içinde geldiğinde, PIP ve IT sabit bırakılırken, ET uzatılmasıyla (sırayla 2, 3, 5, 7, 10,) hız giderek azaltılır.
- Kan gazlarında respiratuvar alkaloz ($\text{PaCO}_2 < 35$ mmHg, $\text{pH} > 7.40$) saptandığında, hız bir sonraki değere azaltılarak (ET uzatılarak) 40 dakika sonra yeniden kan gazları değerlendirilir, alkaloz sürüyorsa parametre değişimi tekrarlanır.
- Respiratuvar asidoz ($\text{PaCO}_2 < 60$ mmHg, $\text{pH} > 7.25$) varlığında ise aynı yöntemle, hız bir önceki değere arttırılır (ET kısaltılır) ve 40 dakika sonra yeniden kan gazları değerlendirilir (Bu sırada tüpün yeri, tıkanıklığı ve ventilatöre ait sorunlar hızla gözden geçirilir, ayrıca spontan solunumun yokluğu yada yetersizliği, ek akciğer patolojileri, PDA varlığı yada intrakraniyal patolojiler yönünden bebek değerlendirilir)
- ET 3 sn olduğunda hastaya 4 mg/kg/gün aminofilin 3 dozda başlanır (ekstübasyondan yaklaşık 24 saat önce başlanır. Özellikle 1000 gram altı bebeklerde ve postnatal yaş yedi günden küçükse etkili bir yaklaşımdır.).
- Endotrakeal entübasyon süresi 1 haftayı geçen yada daha kısa sürse bile değişik nedenlerle 3 yada daha fazla kez endotrakeal tüp değişimi yapılan bebeklere planlanan ekstübasyondan yaklaşık 24 saat önce olmak üzere 0.25 mg/kg/doz deksametazon 12 saat arayla başlanır ve ekstübasyondan sonra 2 doz daha devam edilir(Steroidlerin uzun dönem yan etkileri akılda tutulmalıdır).
- ET 10 saniyeye uzatıldığında kan gazları normal sınırlar içinde ve bebekte solunum distressi bulguları yoksa ekstübe edilerek nazal CPAP uygulamasına geçilir.
- Extübasyondan yarım saat sonra kan gazları kontrol edilir, 2-6 saat sonra akciğer grafisi çekilir.