

Noninvaziv Mekanik Ventilasyon ve Monitörizasyon

İskender Kara

Konya Numune Hastanesi, Genel Yoğun Bakım Ünitesi, Konya

GİRİŞ

Noninvaziv mekanik ventilasyon (NİV) acil servislerden yataklı servislere, yoğun bakım ünitelerinden, palyatif ünitelere ve evde uygulamalara kadar çok geniş bir yelpazede kullanılan bir destek tedavi yöntemidir. Hem hipoksemik hem de hiperkapnik solunum yetmezliği olan hastaların tedavisin de tercih edilebilir. NİV gereken hastalarda optimal desteği sağlayabilmek için personelin bilgi düzeyi, becerileri ve teknik imkanlar kadar monitörizasyon kabiliyeti de çok önemlidir. Kesintisiz olarak dikkatli bir şekilde yapılan monitörizasyonla hastanın kliniğinde meydana gelen iyileşme ve kötüleşmelerin erken tespit edilip müdahale edilmesine imkan sağlamaktadır.

Hastanın klinik durumunun takibi, hangi ventilasyon metodu ile destekleneceği, ventilatör desteğinin nasıl yönlendirileceği ve hasta ventilatör etkileşimi takibinin yanı sıra gaz değişimi, uyku ve evde uygulanan mekanik ventilasyonun takibi gibi ana başlıklar önem arz eder. NİV uygulamalarının monitörizasyonunda dikkat edilmesi gereken temel başlıklar **Tablo 1**'de özetlenmiştir.

1. Klinik Bulguların Yatak Başı Mönitorizasyonu

NİV hastaları özellikle başarısızlığın en çok görüldüğü tedavinin ilk birkaç saati başta olmak üzere tüm süreç boyunca yatak başı klinik olarak takip edilmelidir. Böylece gerektiğinde derhal endotrakeal entübasyona geçilmesi mümkün olabilir. Hastanın bulunduğu konum kadar tedaviyi uygulayan personel sayısı, eğitimi ve deneyimi de önemlidir. NİV tedavilerini optimize etmek için izlenmesi gereken parametreler ile ilgili çok fazla çalışma mevcut olmasına rağmen, yüksek teknolojinin sağladığı imkanlar, asla iyi bir klinik gözlemin yerini tutamaz (1,2).

Tablo 1. Noninvaziv mekanik ventilasyon ve monitörizasyonu.**1. Klinik bulguların yatak başı monitörizasyonu****a. Subjektif bulguların takibi**

- i. Hasta anksiyetesi
- ii. Bilinç düzeyi
- iii. Deliryum-ajitasyon
- iv. Sedasyon-analjezi
- v. Hasta konforu ve pozisyonu
- vi. Dispne
- vii. Arayüz toleransı

b. Fizyolojik yanıtların takibi

- i. Solunum sayısı
- ii. Solunum çabası, aksesuar solunum kaslarının kullanımı
- iii. Kalp hızı ve sürekli kalp ritmi
- iv. Kan basıncı

c. Komplikasyonların takibi**2. Mekanik ventilatör monitörizasyonu**

- a. Hava kaçağı
- b. Hasta ventilatör uyumu
- c. Akım ve basınç dalgalarının takibi
- d. Solunum iş yükü
- e. Ekspiratuvar tidal volüm, RSBI
- f. CO₂ rebreathing
- g. Alarmlar

3. Gaz değişim monitörizasyonu

- a. Oksijenizasyon monitörizasyonu
 - i. Sürekli pulse oksimetre,
 - ii. Arter kan gazı
- b. Ventilasyonun monitörizasyonu
 - i. Arter kan gazı
 - ii. Kapiller kan gazı
 - iii. Venöz kan gazı
 - iv. Kapnografi/kapnometri
 - v. Transkütanöz CO₂ ölçümü

4. Uyku monitörizasyonu**5. Ev uygulamalarının monitörizasyonu**

a. Subjektif bulguların takibi: Hastalar başlangıçta hem nefes darlığı hem de yapılan işlemler nedeniyle endişeli olabilirler. NİV kararı verildiğinde, başlangıç yaklaşımı kullanılacak ekipmanı hastaya göstermek ve arayüzü takmak olmalıdır. Hastalar yapılacak işlemler hakkında bilgilendirilmeli tedaviyi kabulleri ve uyumları sağlanmalıdır.

Adaptasyon için arayüz veya hava akışı ile ilgili rahatsızlıklar sürekli sorumlu ve herhangi bir rahatsızlık ya da korkuyu bildirmeleri istenmelidir. Hastalar klinisyen tarafından motive edilmeli ve ventilatör ile koordinasyon talimatı verilmelidir. Bu dönemde profesyonel destek adaptasyon sürecini hızlandırır, daha başarılı sonuçların alınmasında yardımcı olur (3-5).

NİV tedavisi solunum yetmezliğinin çok çeşitli etiyojilerinde kullanılabilir, fakat bilinç düzeyi düşük ve havayolu bütünlüğü olmayan hastalarda kullanılmaz (6). Aksine bazı çalışmalar hiperkapnik komada bu tedavinin başarıyla uygulanabileceğini bildirmektedir. Örneğin KOAH alevlenmesinde bilinç değişikliği bulunan hastalarda acil endotraheal entübasyon erişimi sağlanarak yakın monitorizasyon şartı ile NİV denenebilir (7). Tedaviye cevap veren hastalarda bilinç iyileşmesi bir saat içinde meydana gelir. Havayolu bütünlüğü, aspirasyon riski, öksürük yeteneği ve sekresyon klirensi tüm süreç boyunca takip edilmelidir. Bilinç düzeyinin takibi için Glaskow Koma Skoru kullanılması yardımcı olabilir (4,6,8).

Nörolojik muayeneler ile deliryum takibi bir diğer önemli noktadır. Entübe olmayan kritik hastalarda %50 civarında deliryum bildirilmekte olup artmış morbidite ve mortaliteyle ilişkilidir (9). Bu durumda uygun sedasyon seçenekleri göz önünde bulundurulmalıdır. NİV sırasında sedasyon ve analjezi maksatlı sıklıkla benzodiazepin ve opiatlar tercih edilir. Sedasyon ve analjezi, NİV intoleransını önlemede rol oynasa da aşırı dozlar potansiyel olarak tehlikelidir. Hipoventilasyon ve hava yolu kontrolünün kaybı açısından yakın takip gerekir (4,10).

NİV uygulamalarında tercih edilen yöntem hastaya en az rahatsızlık vermemelidir. NİV iyi tolere edilmezse belirlenen hedeflere ulaşılamaz. Hasta konforunun monitörizasyonu hedeflere ulaşıp ulaşılmadığının belirlenmesinde anahtardır (5). Hasta konforunda yetersizlik NİV başarısızlığında bağımsız risk faktörüdür (11). Yatak başı gözlem ve iletişimle kolayca değerlendirilebileceği gibi Görsel Analog Skala (VAS) gibi çeşitli ölçeklerde kullanılabilir (5,12). Ayrıca, hastanın doğru pozisyonunu korumak hasta konforunda ve tedavinin etkinliğinde önemlidir. Özellikle intraabdominal basıncı yüksek olan veya obez hastalarda süpün ve yarı oturur pozisyon tercih edilmelidir. Dispne varlığında genelde oturma pozisyonunu tercih edilir. Subjektif bir nefes alma rahatsızlığı deneyimi olan dispnenin ölçümü, NİV tedavisine yanıtın değerlendirilmesinde önemlidir. Dispne çoğu zaman artmış solunum işi (WOB) ile ilişkilidir. Başarılı bir NİV uygulamasıyla bir iki saat içinde azalır ve genelde nörolojik iyileşme eşlik eder (3,12,13). Hasta konforunu ve NİV tahammülsüzlüğünü etkileyen sebeplerden biride arayüzle ilgili sorunlardır. Uygun arayüz seçimi, hava kaçağı ve asenkronizasyonu azaltarak NİV başarısında rol oynar. Monitörizasyonda maske-cilt arasındaki uyum, rahatlık hissi ve hava kaçak miktarı gözlemlenir. Eğer kullanımda problem yaşıyorsa maskenin büyüklüğü, maske türü, maske bağları kontrol edilmelidir. Maskenin aşırı baskısı rahatsızlık hissi ve cilt hasarına yol açarken, zayıf bir baskıda hava kaçağına

sebeplendir. Klinik uygulamada farklı arayüzler kullanılarak toleransın artırılması iyi bir strateji olabilir (4,14,15).

b. Fizyolojik yanıtların takibi: Solunum sayısının artması, oksijen gereksinimi ve solunum yetersizliğinin en erken bir bulgusudur ve klinik ciddiyet ile paraleldir. Yardımcı solunum kaslarının kullanılması, burun kanadı solunumu, interkostal ve supraklaviküler çekilmeler ve abdominal paradoks solunum, solunum yetersizliğinin önemli fizik muayene bulgularıdır. Bu anlamda NİV hastalarında solunum paterni monitörizasyonu faydalıdır. Normalde PaCO₂'de meydana gelen artış sonucu hastanın dakika ventilasyonu artar ve bu etki hipoksemi varlığında daha belirgindir (16). Solunum sayısı tıpkı kalp atımı gibi sürekli olarak izlenmelidir. NİV uygulamasında bir saat içinde solunum sayısı ve kalp atım hızında düşüş başarı işaretidir, ancak bu durum her zaman görülmeyebilir. Bununla birlikte başarılı uygulamada, ventilatör le senkronize solunum olur ve aksesuar solunum kaslarının kullanımı azalır. Takipte bu iyileşme belirtilerinin olmaması kötü yanıtı gösterir ve gerekli tedbirler alınmalıdır (1,2,5).

Vital bulguların takibi için hasta başında muhakkak çok parametrelili bir monitör bulunmalıdır. Çeşitli aritmiler (bradikardi, ventriküler taşikardi vb) NİV ile ilişkili olabilir, ama çoğunlukla altta yatan kardiyak problem ile ilgilidir (6). Bu nedenle bu hastalar sürekli olarak elektrokardiyografi ile takip edilmelidir. Stabil hastalarda noninvaziv olarak kan basıncı ölçümü yapılabilir. Fakat hemodinamik instabilite varsa invaziv ölçüm yapılmalıdır. Beraberinde hipoksemi, solunumsal asidoz gibi durumlar da varsa takipte santral kateter ve idrar sondası gibi ekstra girişimlerde gerekli olabilir. Hemodinamik instabilitenin NİV başarısızlığında rol oynadığı unutulmamalıdır (17).

c. Komplikasyonların takibi: NİV sırasında abdominal distansiyon, aspirasyon, burunda yaralanma, cilt nekrozu, aritmi, pnömotoraks, CO₂ retansiyonu, sekresyon birikimi gibi komplikasyonlar olabilir (6). Gelişebilecek komplikasyonların iyi bilinip yakın takip edilmesi, hem riski azaltır hem de gecikmeden gerekli tedbirlerin alınmasında yardımcı olabilir.

2. Ventilatör Monitörizasyonu

NİV tasarımı yarı açık bir sistem olduğu için kaçak oluşmasına müsaittir. Bu kaçaklar arayüzün etrafından kasıtsız kaçaklar olabileceği gibi ekspirasyon portu ile sağlanan kasıtlı kaçaklar şeklinde de olabilir. NİV ventilatörlerin bu kaçakları tanıma ve tolere edebilme özellikleri olmalıdır. Fakat aşırı kaçakların ventilatörün kompanseman kapasitesini aşabileceği unutulmamalıdır (18). İnspiryum sırasında ulaşılan havayolu basıncı 20 cmH₂O'dan fazla olursa hava kaçak miktarında belirgin artış olur. Kabul edilebilir hava kaçığı %20'ler civarındadır (19). NİV sırasında kaçık miktarı objektif olarak sayısal ölçülmelidir. Yeni nesil cihazlar gelişmiş algoritmalar kullanarak kaçık miktarlarını her nefes için hesaplayabilir fakat bunlarında yanlış tahmin ihtimali bulunmaktadır (12).

NİV hastalarında etkin bir destek için ön koşullardan biriside hasta-ventilatör uyumu takibidir (20). Entübe hastalarda asenkroni şiddeti ve insidansında, ventilasyon ayarları ve solunum sistemi mekaniği önemliyen NİV de ek faktörler olarak hava kaçağı ve arayüz rol oynar. Genel olarak 0.4 L/saniye bir sızıntı iyi tolere edilir (14). Yapılan bir çalışmada, akut solunum yetmezliği tanısı ile NİV yapılan hastalarda %43 oranında ciddi asenkroni tespit edilmiştir (21). Hekim klinik olarak ventilatörün tetiklemesi ile göğüs ve abdominal genişleme arasındaki uyuma ve dispne varlığına bakarak kolayca fikir edinilebilir. Bu etkileşimde hastanın spontan solunum çabaları ve ventilatörde ayarlanan parametrelerin uyumu söz konusudur ve ventilatörün hastanın spontan solunumunu gerçekten destekleyip desteklemediği yakından izlenmelidir. NİV ventilatörleri volüm, akış ve basınç dalga formlarını ekranda görsel hale getirme imkanını verirler. Böylece asenkroni izlemi yatak başında ventilatör ekranındaki dalga formlarından yapılabilir. Ventilatörün desteklediği hasta çabaları ekranda aşağıya sapmalar şeklinde görülebilir. Öte yandan yetersiz ve boşa harcanan solunum çabaları ekrandan izlenebilir (1,14,20). Mekanik ventilatörde asenkroni indeksi hesaplanarak da uyumsuzluk hakkında fikir sahibi olunabilir. Asenkroni indeksi $> \%10$ olursa uyumsuzluğun şiddetli olduğundan bahsedilebilir (14,22). Yapılan bir çalışmada, NİV sırasında asenkroni indeksi $< \%10$ olan hastalarda konforun daha yüksek olduğu bildirilmektedir. Ancak asenkroni indeksi $> \%10$ olması ile entübasyon hızı, yoğun bakım yatış süresi veya mortalite arasında hiçbir ilişki olmadığı belirtilmektedir (21,23).

NİV ana hedeflerinden biri, hastanın solunum işini en aza indirmektir. Bunun kesin tahmini için özofagiyal balon yerleştirilmesi gerekir. Fakat artmış solunum işi saptamak indirekt olarak paradoksik karın hareketleri, aksesuar kas kullanımı, taşikardi, artmış solunum sayısı gibi klinik bulguları izlemek le de mümkün olabilir (8,11).

NİV takibinde diğer önemli bir nokta ekspiratuvar tidal volümdür ve hedef genelde 7-8 mL/kg olarak belirtilmektedir. Ancak ventilatör izlemelerine güvenmek yanıltıcı olabilir (5,19). Ayrıca, NİV başarısının takibinde RSBI kullanılabilir. Yapılan bir çalışmada NİV başarısızlığını tahmin etmek için RSBI kullanılmıştır. RSBI < 105 hastalarda %31, RSBI > 105 ise %55 entübasyon ihtiyacı oluşmuştur (24).

NİV uygulaması sırasında CO₂ rebreathing önemli bir durumdur, CO₂ eliminasyonu azalır ve solunum işi artar. İnspiratuvar CO₂ fraksiyonunun ölçülmesi teknik olarak zor olduğu için günlük pratikte sık kullanılmaz. Genelde tek hortumlu devre veya fazla ölü boşluk oluşturan arayüz kullanımından kaynaklanır. NİV arayüzleri CO₂ rebreathing üzerine farklı davranırlar. Yüz maskesinin ek ölü boşluk alanı küçük olduğu için etkisi azdır. Fakat helmet ventilasyonda daha fazla görülebilir (4,19).

Ventilatörlerde alarmlar akış, basınç veya hacim esasına dayanır. Ventilatörde takip edilebilen tüm parametreler için güvenli aralıklar belirlenip alarmlar ayarlanmalıdır (19).

3. Gaz Değişimi Monitorizasyonu

a. Oksijenizasyon monitörizasyonu: Arteriyel oksijenizasyon takibinde en sık kullanılan yöntem sürekli pulse oksimetre ile yatak başında yapılan ölçümdür. En sık parmaktan ölçüm yapılmakla birlikte kulak problemleri daha hızlı cevap verir ve vazokonstriksiyondan en az etkilenir (16). Pulseoksimetri, solunum tıbbında vazgeçilmez bir izleme metodudur, çünkü arteriyel oksijenizasyon hakkında gerçek zamanlı, sürekli ve noninvaziv bilgi sağlar (25). Özellikle NİV tedavisinin erken dönemlerinde pulse oksimetre faydalıdır, ancak kan gazı takibi gerekliliğini ortadan kaldırmaz. Sürekli olarak pulse oksimetre kullanımı ile SpO_2 %90 civarlarında tutulmaya çalışılır. Hiperkapnik solunum yetmezliğine sebep olabilecek KOAH gibi faktörlerin varlığında SpO_2 hedefi %88-92 arasında olmalıdır (12). Akut ortamda hastalar pulse oksimetre ile sürekli takip edilirken aralıklı olarak kan gazı alınır. Amaç, kademeli olabilecek iyileşmeyi beklerken yeterli oksijenizasyon sağlamaktır. Kronik hastalarda düzelme günlük ventilatör kullanım süresine bağlı olarak haftalarca sürebilir. Bu hastalarda ventilatör sürekli iyileşmeyi muhtemel hale getirinceye kadar daha az sıklıkla arteriyel kan gazı alınabilir (5). Pulse oksimetrenin basitlik, kısa kurulum süresi ve kısa sürede yanıt verme avantajları yanı sıra hareket ve perfüzyona duyarlılık gibi dezavantajları vardır. Ayrıca, oksijen takviyesi olan hastalarda hipovekilasyonun saptanması için güvenilmezdir (26).

Arter kan gazları NİV tedavisine başlamada ve aynı zamanda ihtiyacın devam edip etmediğini tespit etmede temel oluşturur (6). Böylece entübasyon ihtiyacı değerlendirilebilir. Klinik araştırmalarda arteriyel kan gazı sıklığı hastanın durumu ve klinisyenin NİV deneyimine bağlı olarak büyük farklılıklar gösterir (20). NİV izlemesinin ilk saatlerinde tedaviye cevap arteriyel kan gazları ve klinik duruma göre yapılabilir. NİV başlangıcında ve sonrasında bir-dört saatte arteriyel kan gazı alınabilir. Ayrıca, ventilatör ayarı veya FiO_2 'de herhangi bir değişiklikten bir saat sonra alınabilir (17,27). Daha sık örnekleme gereken ve entübasyon ihtiyacı olabilecek hastalar için yoğun bakım gözlemi uygundur (20). Ölçümünün sık yapıldığı dönemlerde hastanın rahatsızlığını, ağrısını azaltmak ve uyku kalitesini bozmamak için kalıcı bir arteriyel hat düşünülmemelidir. Arteriyel kan gazı ile PaO_2 ilave olarak pH, $PaCO_2$, HCO_3^- gibi parametrelerde takip edilebilir. Aynı zamanda PO_2 ve inspire edilen oksijen fraksiyonu (P/F) arasındaki ilişkiye bakılarak değerlendirme yapılabilir (3,28). Bazal arteriyel kan gazlarına göre oksijenizasyonun düzelme derecesi en iyi olarak P/F değeri ile gösterilebilir ve bu değer NİV başarısının öngördürücülerinden biridir (1).

b. Ventilasyonun monitörizasyonu: Tarihsel olarak solunum pompası fizik muayene ile değerlendirilirken günümüzde $PaCO_2$ ölçümü solunum yetmezliği teşhis ve tedavisinin ayrılmaz bir parçasıdır (29). $PaCO_2$ değerleri, alveolar ventilasyonun değerlendirilmesi için en önemli parametredir (30). Karbondiyoksit izleminde arter kan gazı, kapiller kan gazı, venöz kan gazı, kapnografi/kapnometri ve transkütanöz ölçüm gibi çeşitli yöntemler kullanılabilir. Arteriyel ve kapiller kan gazında doğruluk oranı

daha yüksek ve ekstra parametrelerin de bakılmasına izin vermektedir. Kapnografi/kapnometri ve transkütanöz ölçümlerde noninvaziv olma, uyku kalitesini bozmama ve sürekli ölçüm imkanı gibi üstünlüklere sahiptir. Karbondiyoksit düzeyini takipte farklı teknikler rekabetçi değil, aksine tamamlayıcıdır. Spesifik klinik senaryolarda farklı teknikleri kombine etmek mantıklıdır (29).

NİV sırasında alveolar ventilasyon yeterliliğinin değerlendirilmesi için CO_2 düzeyi esastır ve arteriyel kan gazı örneklenmesi altın standarttır. Bu yöntem uzmanlık gerektiren, acı verici ve komplikasyon riski taşıyan bir işlemdir (12,26,29,31). Yoğun bakım ünitelerinde arteriyel hat bulunduğu için örnekleme daha kolay olabilmektedir. Hipovenilasyon en sık hiperkapni nedeni olup, hayati derecede önemli solunumsal asidoza neden olabilir (12). Hiperkapni şiddetine göre değişen pH değerleri NİV başarısını takipte önemli bir parametredir. Bazal arteriyel kan gazları ile NİV başarısı arasında ilişki olmadığını belirten bazı çalışmaların aksine KOAH hastalarında bazal pH düşüklüğü NİV başarısızlığı için bir risk faktörü olduğu bildirilmiştir (1). Oksijenizasyonun değerlendirilmesinde olduğu gibi NİV başlangıcında ve sonrasındaki ilk bir-dört saatte arter kan gazı alınarak $PaCO_2$ değerlendirilebilir. Ventilatör ayarlarının değişikliklerinden bir saat sonra işlem tekrarlanabilir (17,27).

İlk kez 1960'larda tanımlanan kapiller kan gazı, kronik pulmoner hastalığı olan hastalarda da arteriyel $PaCO_2$ değerleri ile yüksek korelasyon gösterir. Basit ve daha az invaziv bir alternatif olan kapiller kan gazı şiddetli şok haric, arteriyel CO_2 'yi doğru olarak yansıtmaktadır (29,30). Bir meta-analize göre kulak memesi örnekleme parmak ucuna göre daha doğrudur (32). Periferik venöz kan gazı analizi de, arter kan gazına alternatif olarak sunulmaktadır. Bununla birlikte, kronik obstrüktif akciğer hastalığı olan hastaların bir meta-analizinde arter ve ven arasında pH ve HCO_3 değerleri yüksek oranda benzer bulunurken PaO_2 ve $PaCO_2$ değerleri farklılık göstermiştir (33). $PaCO_2$ farkı 5mmHg civarlarında iken acil serviste başvuran hastalarda bu sınır 20 mmHg kadar olabilir. Bu nedenle venöz kan gazının arter kan gazlarına vekil olarak kullanılması önerilmez (29).

Ekshalasyondaki CO_2 noninvaziv ölçümü olan endtidal CO_2 monitörizasyonu kullanışlı bir başka yöntemdir ve ameliyathane rutinde bulunur (30,34). İnvaziv mekanik ventilasyonda tercih edilir. Fakat teknolojinin gelişmesiyle entübe olmayan hastalarda da kullanılmaktadır(34). Endtidal ölçüm noninvazivdir ve sürekli ölçüm imkanı verir. Ancak arteriyel ve kapiller CO_2 tahmininde düşük hassasiyeti vardır. Ayrıca, maske sızıntısı nedeniyle ölçümler doğru olmayabilir (30). NİV hastalarında kullanımı sınırlıdır ve trend takibi için kullanılabilirler (12). Kapnografi ile solunum hızı, solunum durması, hava yolu obstrüksiyonu ve ölü boşluk ventilasyonu gibi konularda bilgi elde edilebilir. Ventilatörün kaçak kompanzasyon miktarının fazla olması da ventilasyonu bozarak endtidal CO_2 düzeylerinde azalmaya neden olabilir (19). Kapnografide; mainstream, sidestream ve mikrostream yöntemlerle ölçüm yapılabilir. Mainstream analizör ekshale

CO₂ derhal örneklenir ve gerçek zamanlı bilgi sağlanır. Analizörün ağırlığı hastanın ventilatör borularına dayanıp rahatsızlık verebilir. Buna ek olarak sadece entübe edilen hastalarda kullanılabilir. Sidestream analizör ise hafiftir ve entübe olmayan hastalarda da kullanılabilir. Su ile tıkanma, otomatik tetikleme ve birkaç milisaniyelik gecikmeli ölçüm gibi dezavantajları vardır. Mikrostream prosedüründe ölçüm için düşük örnek akış hızı (50 mL/dakika) yeterlidir ve NİV sırasında CO₂ izlemi için kullanımı mevcuttur (19,29,34,35). Endtidal CO₂ ölçümünde ölü boşluk havası dışarı çıktıktan sonra ekspirasyonun son %20'sindeki CO₂ ölçülür. İdeal monitör hem sayısal hem de grafik dalga formunda görüntüler sağlar. Endtidal CO₂ değerleri normal kişilerde arteriyel değerden yaklaşık 5 mmHg daha düşük iken, akciğer hastalarında ventilasyon perfüzyon oranında bozulmaya paralel olarak 10 mmHg daha büyük farklara çıkarak güvenilirliğini azaltır. Endtidal CO₂ takibi trend eğilimleri belirlemek için değerli olabilir. Trend takibi pulse oksimetre ile kombine edilerek arteriyel kan gazlarının gerekliliği azaltılır. Uygun bir şekilde kullanıldığında klinisyen ve hemşirelere hasta değerlendirmesinde değerli bilgiler sağlar (16,29,34,35).

Bir diğer önemli yol transkütanöz ölçüm metodudur. İnsan cilt yüzeyinden CO₂ ölçümü ilk olarak 1960 yılında Severinghaus tarafından tanımlanmıştır (36). Metodoloji, son 20 yıl boyunca sürekli geliştirilerek kullanıma hazır sensörler, daha düşük sensör sıcaklığı, daha küçük sensör boyutu, daha az sıklıkta sensör değişimi ve kalibrasyon, arteriyelleşme süresinin kısılması gibi gelişmeler kaydedilerek kullanım kolaylaşmıştır (37,38). Bu yöntem arteriyel CO₂ değerinin kesintisiz noninvaziv bir tahmini sağlar ve artık klinik uygulamada rutin olarak kullanılmaktadır. Kullanılan sensörün sıcaklığı ile transkütanöz CO₂ değerleri arteriyel değerden daha yüksektir. Yakın bir okuma sağlamak için transkütanöz değeri düzeltmede ortak uygulamalar kullanılmaktadır. NİV monitörizasyonda transkütanöz cihazlar çeşitli durumlarda endtidal CO₂ analizine tercih edilirler (37). Solunum yetmezliği olan ve entübe olmayan hastalarda yapılan bir çalışmada transkütanöz ile arteriyel CO₂ basıncı arasında iyi bir korelasyon bulunmuş ve zaman içinde takiplerde de korelasyonda istikrar devam etmiştir. Aynı zamanda bu hastalarda endtidal CO₂'ye göre daha olumlu sonuçlar elde edilmiştir (38). Başka bir çalışmada akut hiperkapnik solunum yetmezliği olan ve NİV yapılan hastalarda transkütanöz CO₂ bakılmış ve hesaplanan HCO₃⁻ ile transkütanöz pH tahmin edilmiştir. Arteriyel pH ile karşılaştırıldığında sonucun değerli olduğu ve NİV hastalarında arteriyel kan gazı örnekleme umut verici bir alternatif olmuştur (39). Hiperkapnik solunum yetmezliği nedeniyle NİV yapılan hastalarda pek çok çalışma transkütanöz CO₂ ölçümünün doğruluğunu bildirmiştir. Arter kan gazına göre yaklaşık 4-7 mmHg bir fark bildirilmektedir (40-42). Bu yöntem NİV sırasında gece boyunca CO₂ izlemek için kullanılabilir (31). Başka bir çalışmada hiperkapnik solunum yetmezliği olan hastaların gece takibinde kapiller kan gazı ve transkütanöz CO₂ arasında uyum olduğu tespit edilmiş ve gece meydana gelen dalgalanmaların sürekli takibi için önerilmişti (30). Çalışmalar bu yöntemin yoğun bakım ünitelerinde de güvenle kullanılabileceğini bildirmektedir (38).

Tüm bu çalışmaların aksine transkütanöz monitörizasyonda bazı çelişkilerde bulunmaktadır. Bu yöntem geriatride, akut solunum yetmezliğinde, ALS hastalarında ve şiddetli obezitede olumlu sonuç verirken acil servisler, ameliyathane ve yoğun bakım üniteleri için daha kötü sonuçlar bildirilmiştir (31). Transkütanöz CO₂ ölçümü hemodinamisi stabil olan hastalarda değerlidir. Yoğun bakımlarda bu hastaların azlığı nedeniyle kullanımları sınırlıdır (16). Fakat prospektif klinik bir çalışmada septik şoklu hastalarda dahi transkütan ve arteriyel CO₂ değerleri arasında korelasyon gösterilmiştir (43). Transkütanöz CO₂ ölçümü cilt perfüzyonu, deri sıcaklığı ve cilt ödemi gibi klinik durumlardan etkilenir (37). Bununla birlikte bazı çalışmalar hem vazopressörlerin hem de vazodilatatörlerin kullanımının önemli bir etkisi olmadığını göstermiştir. Benzer şekilde cilt pigmentasyonu ile ilgili de çelişkili sonuçlar vardır (43). Bazı yazarlar ciddi hiperkapnik hastalarda transkütanöz ölçümler ile arteriyel CO₂ arasında daha büyük farklar olduğu için kullanımını önermemektedir (44). NİV sırasında transkütanöz ölçümler arter örneklemesinin yerini almaya da sürekli ölçüm ile trend hakkında bilgi verir. Böylece değişen klinik senaryoların (vücut pozisyonu, maske uyumu, sedasyon vb.) sebep olduğu ani PaCO₂ değişiklikleri kolayca fark edilebilir (29).

4. Uyku Monitörizasyonu

Kronik uyku bozuklukları ve yorgunluk gibi durumlar solunum yetmezliğinde sık görülür. NİV başarısı uyku kalitesi üzerindeki etkisiyle değerlendirilebilir (20). Yatak başı gözlem ve hasta iletişimiyle kolayca değerlendirilebilir. Bazı araştırmacılar polisomnografi sonrasında NİV başlamasını desteklerken, birçok klinisyen pragmatik nedenlerle doğrudan NİV başlatmaktadır (5). Hem polisomnografik veriler hem de klinik çalışmalar, mekanik ventilasyon hastalarında uyku kalitesinin düşük olduğunu göstermiştir (12). NİV sırasında hastaların uyku kalitesi ile ilgili veriler eksik olsa da, maske uyumsuzlukları, hava kaçakları gibi nedenlerle uyku kalitesinin çok iyi olmayacağı söylenebilir (45). Uyku esnasında solunum mekaniği değişir. CO₂ düzeyi gece boyunca dalgalandığı için tek bir noktada rastgele kan örneği alınması, solunum yetmezliğinde aşırı veya yetersiz tahminlere neden olabilir. Kan örneği alımı, kişiyi uyandırıp en azından solunum modelini bozabilir, teorik olarak PaCO₂ düşük tahmin edilebilir (30). Arter kan gazı altın standart olsa da uyku merkezlerinde veya hastaların evlerinde uygulama imkanı zordur. Ayrıca, arter kan gazı gerekli olmasına rağmen sınırlı bilgi verir. Örneğin, gündüz alınan arter kan gazı nokturnal hipoventilasyonun zayıf öngördürücüsüdür. Benzer şekilde kolay uygulanabilen nokturnal pulse oksimetre nokturnal hipoventilasyonu hafife alabilir (31). Bu durumda pulse oksimetre ve transkütanöz CO₂ kombinasyonu önerilebilir (29).

NİV tedavisi uyku kalitesini artırabilir ancak hasta-ventilatör asenkronileri uyku yapısını etkileyebilir. Hastaneden taburcu olduktan sonra havalandırma kalitesinde olası değişiklikler zayıf bir şekilde bilinmektedir. Yapılan bir çalışmada, nöromüsküler hastalığı olan hastalarda evde yapılan polisomnografide hastanede yapılanaya göre hava kaça-

ğı ve hasta ventilatör uyumsuzluğunun daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Sonuçta evde polisomnografi uygulamaları ile NİV ayarlarının iyileştirilebilmesi mümkün olabilir (46,47). Fakat NİV'de düzenli EEG izlemenin yararlı olduğuna dair herhangi bir kanıt yoktur (20).

5. Ev Uygulamalarının Monitörizasyonu

Evde kullanılan NİV etkinliğini, konforunu ve yan etkilerini izlemek için, hastalar deneyimi olan bir hemşire tarafından ziyaret edilmelidir. Stabil hastalarda, yılda bir-iki ziyaret genellikle yeterlidir. Ancak ALS hastaları ve çocuklar daha sık ziyarete ihtiyaç duyabilir. Ayrıca, hastaların poliklinik ziyaret etme fırsatı olmalıdır. Özellikle, sürekli NİV alan hastalar yeterli uzmanlığa sahip bir merkeze gece gündüz erişebilir durumda olmalıdır. Ayrıca, ventilatörü temin eden firmanın sürekli teknik desteği diğer önemli bir noktadır (26). NİV hastalarının ev takiplerinde pulse oksimetre, ventilatör verileri ve transkütanöz CO₂ monitörizasyonu tercih edilebilir (38,39).

Evde NİV hastalarını değerlendirmek için hastalar hem gündüz hem gece boyunca dinlenmede veya aktiviteler sırasında takip edilmesi gerekir. NİV ihtiyacının devam edip etmediğini belirlemek için gözlem sadece ventilasyonda değil spontan solunum sırasında da yapılmalıdır. Altta yatan hastalığa bağlı olarak yılda en az iki-dört defa bu gözlem yapılmalıdır(26).

Sonuç

NİV sırasında yakın monitörizasyon ve sürekli bakım tedavi başarısının anahtarıdır. Anlatılan bütün başlıklar koordineli bir şekilde eğitilmiş bir ekip tarafından bir protokol olarak uygulandığında başarı oranı artacaktır. NİV monitörizasyona göre tatmin edici bir düzelme sağlandığında veya tersine başarısızlık belirtileri olduğunda tedavi durdurulmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Ozyilmaz E, Ugurlu AO and Nava S. Timing of noninvasive ventilation failure: causes, risk factors, and potential remedies. *BMC PulmonaryMedicine* 2014;14:19.
2. Elliott MW, Confalonieri M, Nava S. Where to perform noninvasive ventilation? *Eur Respir J* 2002;19:1159-66.
3. BTS Standards of Care Committee. Non-invasive ventilation in acute respiratory failure. *Thorax* 2002;57(3):192-211.
4. Bello G, De Pascale G, and Antonelli M. Review. Noninvasive ventilation: practical advice. *Curr Opin Crit Care* 2013;19:1-8.
5. Mehta S and Hill NS. NoninvasiveVentilation. *Am J Respir Crit Care Med* 2001; 163:540-77.
6. Singh G, Pitoyo CW. Non-invasiveVentilation in Acute Respiratory Failure. *Acta Medica Indonesiana – The Indonesian Journal of Internal Medicine* 2014;46:1.

7. Diaz GG, Alcaraz AC, Talavera JC et al. Noninvasive positive-pressure ventilation to treat hypercapnic coma secondary to respiratory failure. *Chest* 2005;127: 952-60.
8. Nava S, Hill N. Non-invasive ventilation in acute respiratory failure. *Lancet* 2009; 374: 250-9.
9. Ely EW, Shintani A, Truman B et al. Delirium as a predictor of mortality in mechanically ventilated patients in the intensive care unit. *JAMA* 2004; 291:1753-62.
10. Devlin JW, Nava S, Fong JJ, et al. Survey of sedation practices during noninvasive positive-pressure ventilation to treat acute respiratory failure. *Crit Care Med* 2007;35:2298-302.
11. Demoule A, Girou E, Richard JC et al. Benefits and risks of success or failure of noninvasive ventilation. *Intensive Care Med* 2006; 32:1756-65.
12. Kondılı E, Xirouchaki N, Georgopoulos D. Monitoring during acute non-invasive ventilation. Inbook: *Non-invasive Ventilation and Weaning: Principles and Practice*, pp.97-106.
13. Shiber JR, Santana J. Dyspnea. *MedClin North Am* 2006;90(3):453-79.
14. Mas A, Masip J. Review. Noninvasive ventilation in acute respiratory failure. *International Journal of COPD* 2014;9: 837-52.
15. Kwok H, McCormack J, Cece R et al. Controlled trial of oronasal versus nasal mask ventilation in the treatment of acute respiratory failure. *Crit Care Med* 2003; 31:468-73.
16. Karakurt S. Yoğun Bakım Ünitesinde Solunumsal Monitörizasyon. *Yoğun Bakım Dergisi* 2002;2(1):5-15.
17. *International Consensus Conferences in Intensive Care Medicine: noninvasive positive pressure ventilation in acute respiratory failure. Am J Respir Crit Care Med* 2001;163:283-91.
18. Borel JC, Sabil A, Janssens JP et al. Intentional leaks in industrial masks have a significant impact on efficacy of bilevel noninvasive ventilation: a bench test study. *Chest* 2009;135: 669-77.
19. Esquinas AM. *Noninvasive Mechanical Ventilation. Theory, Equipment, and Clinical Applications. Second Edition.* 2016;163-229.
20. Gay P. Management and monitoring of noninvasive mechanical ventilation. *Eurasian journal of pulmonology.* 2002;4(2);275-77.
21. Vignaux L, Vargas F, Roeseler J, et al. Patient-ventilator asynchrony during non-invasive ventilation for acute respiratory failure: a multicenter study. *Int Care Med* 2009; 35:840-6.
22. Branson RD, Blakeman TC, and Robinson BRH. Asynchrony and Dyspnea. *Respir Care* 2013;58: 6.
23. M DeWit M, Miller KB, Green DA, et al. Ineffective triggering predicts increased duration of mechanical ventilation. *Crit Care Med* 2009;37(10):2740-45.
24. Hess DR. Noninvasive Ventilation for Acute Respiratory Failure. *Respir Care* 2013;58(6):950-69.
25. Tusman G, Bohm SH, Sipmann FS. Advanced Uses of Pulse Oximetry for Monitoring Mechanically Ventilated Patients. *Anesth Analg* 2017;124:62-71.
26. Kampelmacher MJ. Non-invasive home mechanical ventilation: qualification, initiation, and monitoring. *Pneumonol Alergol Pol* 2012; 80(5): 482-88.
27. Hill NS. Where Should Noninvasive Ventilation Be Delivered? *Respir Care* 2009;54(1):62-9.
28. Keenan SP, Sinuff T, Burns KE, et al. Clinical practice guidelines for the use of noninvasive positive-pressure ventilation and noninvasive continuous positive airway pressure in the acute care setting. *CMAJ.* 2011;183(3):195-214.

29. Huttmann SE, Windisch W, and Storre JH. Techniques for the Measurement and Monitoring of Carbondioxide in the Blood. *Ann Am Thorac Soc* 2014;11(4):645-652.
30. Stieglitz S, Matthes S, Priegnitz C, et al. Comparison of Transcutaneous and Capillary Measurement of PCO₂ in Hypercapnic Subjects. *Respir Care* 2016;61(1): 98-105.
31. Aarrestad S, Tollefsen E, Kleiven AL, et al. Validity of transcutaneous PCO₂ in monitoring chronic hypoventilation treated with non-invasive ventilation. *Res Medicine* 2016;112:112-8.
32. Zavorsky GS, Cao J, Mayo NE, et al. Arterial versus capillary blood gases: a meta-analysis. *Respir Physiol Neurobiol* 2007;155(3):268-79.
33. Lim BL, Kelly AM. A meta-analysis on the utility of peripheral venous blood gas analyses in exacerbations of chronic obstructive pulmonary disease in the emergency department. *Eur J Emerg Med* 2010;17:246-48.
34. John RE. End-Tidal Carbon Dioxide Monitoring. *Critical care nurse* 2003;23(4):83-8.
35. Ahrens T, Sona C. Capnography Application in Acute and Critical Care. *AACN Clinical Issues* 2003;14(2):123-32.
36. Severinghaus JW. Methods of measurement of blood and gas carbon dioxide during anaesthesia. *Anesthesiology* 1960;21:717-26.
37. Eberhard P. Review Article. The Design, Use, and Results of Transcutaneous Carbon Dioxide Analysis: Current and Future Directions. *Anesth Analg* 2007; 105(6):48-52.
38. Lermuzeaux M, Meric H, Sauneuf B, et al. Superiority of transcutaneous CO₂ over end-tidal CO₂ measurement for monitoring respiratory failure in nonintubated patients: A pilot study. *Journal of Critical Care* 2016;31:150-6.
39. Van Oppen JD, Daniel PS, and Sovani MP. What is the potential role of transcutaneous carbon dioxide in guiding acute noninvasive ventilation? *Respir Care* 2015; 60(4): 484-491.
40. Cox M, Kemp R, Anwar S, et al. Non-invasive monitoring of CO₂ levels in patients using NIV for AECOPD. *Thorax* 2006;61:363-4.
41. Nicolini A, Ferrari MB. Evaluation of a transcutaneous carbon dioxide monitor in patients with acute respiratory failure. *Ann Thorac Med* 2011;6:217-20.
42. Storre JH, Steurer B, Kabitz HJ, et al. Transcutaneous PCO₂ monitoring during initiation of non-invasive ventilation. *Chest* 2007;132:1810-6.
43. Bendjelid K, Schütz N, Stotz M, et al. Transcutaneous PCO₂ monitoring in critically ill adults: Clinical evaluation of a new sensor. *Crit Care Med* 2005; 33: 2203-6.
44. Ruiz Y, Farrero E, Cordoba A, et al. Transcutaneous carbon dioxide monitoring in subjects with acute respiratory failure and severe hypercapnia. *Respir Care* 2016;61(4): 428-433.
45. Gonzalez MM, Parreira VF, Rodenstein DO. Non-invasive ventilation and sleep. *Sleep Med Rev* 2002; 6:29-44.
46. Crescimanno G, Canino M, Marrone O. A synchronies and sleep disruption in neuromuscular patients under home noninvasive ventilation. *Res Med* 2012; 106: 1478-85.
47. Crescimanno G, Greco F, Marrone O. Monitoring noninvasive ventilation in neuromuscular patients: feasibility of an attended home polysomnography and reliability of sleep diaries. *Sleep Medicine* 2014;15:336-41.