



Solunum Mekaniklerinin Monitörizasyonu

Dr. Yalım DİKMEN

İstanbul Üniversitesi, Cerrahpaşa Tıp Fakültesi, Anesteziyoloji Anabilim Dalı

Monitörizasyon, hastalığın ve tedavi uygulamalarının neden olduğu fizyolojik değişiklerin izlenip değerlendirilmesi sürecidir. Mekanik ventilasyon solunum yetersizliklerinde hayat kurtarıcı olmakla birlikte, neden olduğu olumsuzluklar, özellikle ventilatör ile ilişkili akciğer hasarı, ventilasyon ve solunum mekaniklerinin yakından izlenmesini zorunlu kılmaktadır. Özellikle 1971 yılında pazara sunulan ve hem havayolu basıncı hem de akım sensörleri içeren Servo 900 ventilatörü ile hastaların ventilatörden ayrılmadan solunum mekaniklerinin izlenmesi sağlanmış¹ böylece monitörizasyon konusunda çok önemli bir adım atılmıştır. Daha sonra geliştirilen teknikler ile solunum mekaniklerine ait pek çok parametrenin eş zamanlı olarak izlenmesi mümkün olmuştur.

Hava yolu basınçlarının izlenmesi ve kaydedilmesi monitörizasyonun en basit halidir. Bu şekilde solunum sisteminin durumuna ait oldukça kıymetli bilgiler elde edilebilir. Hava yolu basınçları genellikle endotrakeal tüpün proksimalinden, solunum devresinin veya ventilatörün içinden ölçülür. Bu nedenle inspirasyon akımının hızı ve endotrakeal tüpün çapı basınçlar üzerinde önemli rol oynar. Inspirasyon akım hızı en yüksekken ölçülen hava yolu basıncı tepe hava yolu basıncı adını alır. Bu değer hava yollarının direncini ve solunum sisteminin elastik karşı koyuş basıncını gösterir. Bilindiği gibi akciğerler ve göğüs duvarı inspirasyon sırasında volüm artışına karşı elastik bir karşı koyuş gösterir; buna akciğer ve göğüs duvarının elastansları adı verilir. Inspirasyon sırasında akım 3 saniye civarında kesilerek ve bu esnada basınç ölçülerek hava yollarının, özellikle de endotrakeal tüpün direncinin ölçümleri üzerindeki etkisi ortadan kaldırılır. Bu şekilde ölçülen basınç plato basıncı adını alır. Plato basıncı inspirasyon sonunda alveolleri geren basınçtır. Plato basıncının izlenmesi ve sınırlandırılmasının, ARDS'de ventilatör ile ilişkili akciğer hasarından ve mortaliteden korunmak açısından önemli olduğu ortaya konmuştur².

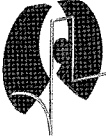
Solunum sistemi elastansı, mekanik ventilasyon sırasında izlenmesi gereken önemli bir parametredir. Bu parametre de dinamik ve statik koşullarda hesaplanabilir, eğer hesaplamada tepe inspirasyon basıncı kullanılırsa dinamik elastans, plato basıncı kullanılırsa statik elastanstaki bahsedilir:

dinamik elastans: (Ptepe-PEEP)/Vt

statik elastans: (Pplato-PEEP)/Vt

Klinikte bu parametrenin bir ifadesi de kompliyansdır ki, bu ifade elastansın tersini (1/elastans) ifade eder. Akciğerlerin şişmesi için hava yollarının akıma karşı oluşturdukları direnç ve akciğer ve göğüs duvarının elastik dirençlerinin yenilmesi gerekir. Mekanik ventilasyon sırasında izlenen en önemli parametre solunum sisteminin volüm-basınç ilişkileridir. Bu ilişki ilk kez Rahn ve arkadaşları³ ile Fenn'in⁴ yazıları ile ortaya konmuş ve daha sonra giderek üzerinde en çok durulan konulardan biri olmuştur. Bu yazarlar, volüm basınç ilişkisini sigmoid şekilli bir eğri olarak tanımlamışlardır. Düşük akciğer volümlerinde bu eğrinin eğimi az yani kompliyans düşüktür, akciğer hacmi belirli bir noktaya ulaştığında kompliyans hızla artar ve eğri dikleşir, akciğer hacimleri biraz daha arttığında ise, kompliyans tekrar azalır ve eğri düzleşir. Volüm basınç eğrisi olarak bilinen bu eğride kompliyansın aniden arttığı nokta alt infleksiyon noktası olarak adlandırılır ve bu nokta kapalı alveollerin açılmaya başladığı nokta olarak kabul edilir. Yüksek akciğer volümlerinde kompliyansın tekrar düştüğü nokta ise üst infleksiyon noktası olarak adlandırılır ve alveollerin aşırı gerilmeye başladığı nokta olarak kabul edilir (Şekil 1).

Ventilatörün ayarlanmasında alt ve üst infleksiyon noktalarının kullanılması ile uygulanan akciğer koruyucu ventilasyon stratejisinin ARDS hastalarında mortaliteyi azalttığı en az bir randomize çalışmada⁵ gösterilmiştir. Bu çalışmada⁵ ARDS hastalarından oluşan bir grupta ekspirasyon sonu basınç alt infleksiyon noktasının üstünde kalacak ve tidal volüm, hava yolu basıncı üst infleksiyon noktasınaşmayacak şekilde ayarlanmıştır. Volüm-basınç halkalarının elde edilmesinde en önemli problem, hava yolları direncinin hava yolu basıncı üzerindeki etkisinin ortadan kaldırılması için inspirasyon akımının yavaşlatılması gerekliliğidir. Bu halkaların elde edilmesi için klasik yöntem "süper şırınga" yöntemidir. Harf ve arkadaşları⁶ tarafından geliştirilen bu yöntemde 50-100 ml gaz volümleri, toplam akciğer hacmi 1000-2000 ml oluncaya kadar kademeli olarak enjekte edilir. Her enjeksiyonun sonunda basınç



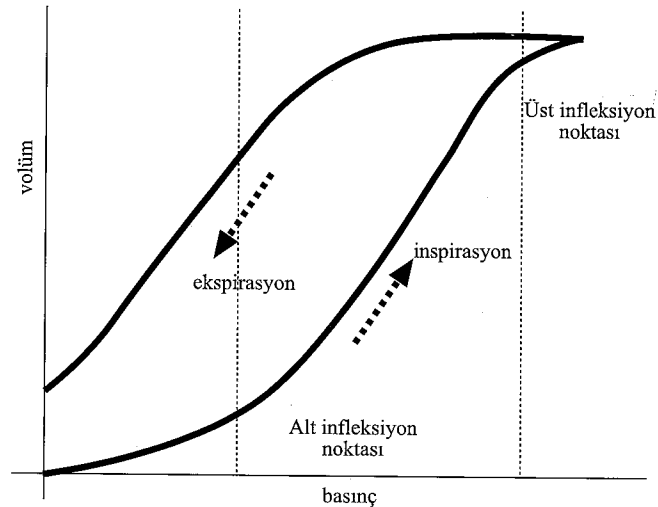
ölçülerek kaydedilir, hedeflenen volüme ulaşıldıktan sonra bu kez aynı kademelerle ekspirasyon yaptırılır ve bu kez ekspirasyon sırasında basınçlar kaydedilir. Her kademedeki eklenen veya çıkartılan hacim ve karşılık gelen basınç bir grafikte işaretlenerek inspirasyon ve ekspirasyon volüm basınç eğrilerinden oluşan bir volüm basınç halkası elde edilmiş olur. Bütün işlem 45-120 saniye arası sürer. Bu süre içinde, gaz değişimi devam ettiği için ekspirasyon sonundaki hacim hiçbir zaman inspirasyon başlangıcındaki hacme geri dönemez ve ondan düşük kalır; "histerezis" adı verilen bu fark özellikle ARDS gibi fonksiyonel rezidüel kapasitenin düştüğü durumlarda veya sepsis gibi oksijen tüketimi ve karbondioksit üretiminin arttığı durumlarda artar. Referans olarak kabul edilen bu yöntemin en önemli sakıncası hastanın uzunca bir süre ventilatörden ayrılmasının gerekliliğidir. Volüm basınç eğrilerinin hasta ventilatörden ayrılmadan çizilmesi için "çoklu oklüzyon tekniği" tanımlanmıştır^{7,8}. Bu yöntemde hasta ventilatörden ayrılmaz, volüm kontrollü her inspirasyonda rastlantısal farklı tidal volümler verilerek ve inspirasyon sonu 3 saniyelik duraklama yapılarak plato hava yolu basıncı kaydedilir. Tüm bu süreçte inspirasyon akımı sabit tutulur ve tidal volüm solunum frekansı artırılıp azaltılarak değiştirilir. Uygulanan tidal volümler ve ona karşılık gelen basınç değeri işaretlenerek volüm basınç eğrisi elde edilir. Bu uygulama için gerekli süre 15 dakika civarındadır ve uygulaması zordur.

Volüm basınç eğrisi elde etmek için en pratik yöntem "sabit düşük akım" yöntemidir. Bunun için sabit akım sağlayabilen ve volüm basınç eğrisini hesaplayıp gösterebilecek şekilde donatılmış bir ventilatör gerekir ki, günümüz yoğun bakım ventilatörlerinin çoğunda bu özellikler bulunmaktadır. Bu yöntemde hasta ventilatörden ayrılmaz, volüm kontrollü ventilasyonda inspirasyon akımı yavaşlatılır ve ventilatörün ekranında volüm basınç eğrisi izlenir. Lu ve arkadaşlarının çalışmasında⁹ 3 L/dk ve 9 L/dk inspirasyon akımlarıyla elde edilen eğrilerin diğer yöntemler ile elde edilenlere benzer olduğu gösterilmiştir. Bu çalışmada kullanılan ventilatör, volüm kontrollü moda, solunum frekansı 5 soluk/dakika, inspirasyon:ekspirasyon oranı 4:1 ve tidal volüm, 3 L/dk akım için 500 ml ve 9 L/dk akım için 1500 ml olacak şekilde ayarlanmıştır. Eğrilerden 9 L/dk ile elde edilen, süper şırınga ve çoklu oklüzyon teknikleri ile karşılaştırıldığında hava yolu rezistansı nedeniyle sağa kayma görülmüşse de, yazarlar bu farkın ihmal edilebileceğini kaydetmişlerdir. Tüm girişim 2 dakika sürmüş ve hastaların ventilatörden ayrılması gerekmemiştir. Bu yöntem ikinci bir çalışma ile de teyid edilmiştir¹⁰. Solunum sisteminin volüm basınç eğrilerinin çizdirilerek alt ve üst infleksiyon noktalarının belirlenmesi solunum mekaniklerinin monitörizasyonunda sıklıkla kullanılan ve pek çok yazar tarafından kullanılması önerilen bir yöntemdir¹¹.

Mekanik ventilasyon sırasında akciğerin volüm basınç özelliklerini dinamik olarak irdelemek amacıyla öne sürülen bir başka yöntem ise "stres indeks" metodudur¹². Bu yöntem statik ve statige yakın yöntemlerin aksine basınç zaman eğrisinin şeklinin dinamik olarak incelenmesine dayanır. Yazarlar akut akciğer hasarı olan 19 hastada, volüm kontrollü ventilasyonun sabit akımlı inflasyon döneminde basınç zaman eğrisinin aşağı doğru konkav bir şekli olduğunu ve bu hastalarda çizilen volüm basınç eğrisinin belirgin bir alt infleksiyon noktası içerdiğini; diğer taraftan yukarı doğru bir konkav şekil ise statik volüm basınç eğrisinde üst infleksiyon noktası ile birlikte olduğunu gözlemlemişlerdir¹³. Sabit akım altında, rezistanslar sabit ise ve akciğer hacmi artışı kompliyansı değiştirmez ise hava yolu basıncı zaman ile doğrusal olarak artar. Eğer kompliyans azalırsa eğri yukarı doğru konkav, eğer kompliyans artarsa eğri aşağı doğru konkav şekil alır¹². Bu gözlem daha sonra matematiksel olarak stres indeks adıyla formüle edilmiştir¹⁴:

$$P_{ao} = a \cdot t + c$$

Bu formülde P_{ao} , hava yolu basıncı; a , ölçeklendirme faktörü ve c , $t=0$ anındaki basınç değeridir. Katsayı b ise basınç zaman eğrisinin şeklini belirleyen boyutsuz bir rakamdır, böylece mekanik stres, ya da stres indeksi belirlenip değerlendirilebilir. Stres indeksin 1'e eşit olması eğrinin lineer olduğunu ve tidal inflasyon boyunca kompliyansın sabit kaldığını, indeksin 1'den küçük olması, eğrinin aşağı doğru konkav olduğunu, yani kompliyansın tidal volüm boyunca arttığını; bir başka deyişle kapalı alveollerin açıldığını (recruitment) gösterir. Stres indeksin 1'den büyük olması ise basınç zaman eğrisinin yukarı doğru konkav olduğunu, kompliyansın düştüğünü ya da alveollerin aşırı gerildiğini gösterir¹⁴ (Şekil 1).



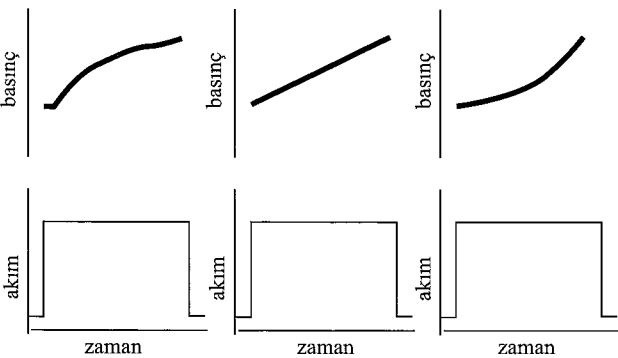
Şekil 1. Volüm basınç eğrisi, inspirasyon sabit yavaş akımlı inspirasyon sırasında alt ve üst infleksiyon noktaları görülebilir.



Farklı ARDS modellerinde mekanik ventilasyonun stres indeksi izlenerek ayarlanmasının ventilatör ile ilişkili akciğer hasarından korunmakta etkili olduğu farklı yazarlar tarafından ileri sürülmüştür^{15,16}. Solunum mekanikleri üzerinde önemli bir etkisi olan başka bir parametre de intransek (veya oto) pozitif ekspirasyon sonu hava yolu basıncıdır (otoPEEP). Özellikle ekspirasyon akımının kısıtlandığı kronik obstrüktif akciğer hastalığı veya ekspirasyon süresinin kısıtlandığı ters oranlı ventilasyon gibi durumlarda ortaya çıkan bu özellik, hastanın inspirasyon eforunun aşırı artmasına, veya alveollerin aşırı gerilmesi ve hemodinamik bozukluklara neden olabilir. Bu nedenle mekanik ventilasyon sırasında izlenmesi ve mümkünse ortadan kaldırılması gerekir. OtoPEEP mekanik ventilasyon sırasında ekspirasyon sonu duraklama manevrası ile ölçülür. Ventilasyon ekspirasyon sonunda duraklatıldığında, solunum sisteminin içindeki basınç ventilatör devresi ile eşitlenir ve basınç alıcıları ile ölçülebilir. Bu ölçümün sağlıklı olabilmesi için hastanın sakin ve düzenli bir solunumu olması gerekir, özellikle ekspirasyonda efor yapması ölçümlerin yanlış olmasına neden olacaktır.

OtoPEEP gelişiminin takibi açısından önemli bir diğer parametre akım zaman eğrileridir. Bu eğrinin izlenmesi sırasında ekspirasyon akımının sifıra çıkmadan yeni bir inspirasyon akımının başlaması hastada otoPEEP gelişebileceğini düşündürmelidir. Aynı şekilde akım zaman eğrisinin ekspirasyon akım şeklinin aşağı doğru konkav şekli akım kısıtlanmasını (ve olası bronkodilatör gereksinimini) akla getirmelidir.

Yeni yoğun bakım ventilatörlerinin pek çoğunda bulunan monitörlerde gerçek zamanlı, akım, basınç ve volüm eğrileri izlenebilmektedir. Bu eğrilerin değerlendirilmesi ile yalnız solunum mekanikleri ile ilgili değil hasta ventilatör senkronizasyonu ile ilgili de bilgi elde edilebilir¹⁷.



Şekil 2: Stres indeksi Volüm kontrollü ventilasyonun sabit akımlı inflasyon döneminde basınç zaman eğrisinin şekli. İlk şekilde stres indeksi < 1 (devam eden recruitment); ortadaki şekilde stres indeksi = 1 (sabit komplyans) ve son şekilde stres indeksi > 1 (alveollerin aşırı gerilmesi)

KAYNAKLAR

- 1- Ingelstedt S, Jonson B, Nordström L, Olsson SG (1972) A servo-controlled ventilator measuring expired minute volume, airway flow and pressure. *Acta Anaesthesiol Scand; Suppl 47: 7-27.*
- 2- Eichacker PQ, Gerstenberger EP, Banks SM, et al (2002) Meta-analysis of acute lung injury and acute respiratory distress syndrome trials testing low tidal volumes. *Am J Respir Crit Care Med. 166: 1510-1514.*
- 3- Rahn H, Otis A, Chadwick L, Fenn W (1946) The pressure-volume diagram of the thorax and lung. *Am J Physiol. 146: 1565-1570.*
- 4- Fenn W (1951) Mechanics of respiration. *Am J Med. 10: 77-91.*
- 5- Amato MB, Barbas CS, Medeiros DM, et al (1998) Effect of a protective-ventilation strategy on mortality in the acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med. 338: 347-354.*
- 6- Jonson B (2005) Elastic pressure-volume curves in acute lung injury and acute respiratory distress syndrome. *Intensive Care Med. 31: 205-212.*
- 7- Jonson B, Beydon L, Brauer K, et al (1993) Mechanics of respiratory system in healthy anesthetized humans with emphasis on viscoelastic properties. *J Appl Physiol. 75: 132-140.*
- 8- Levy P, Similowski T, Corbeil C, et al (1989) A method for studying the static volume-pressure curves of the respiratory system during mechanical ventilation. *J Crit Care. 4: 83-89.*
- 9- Lu Q, Vieira S, Richecoeur J, et al (1999) A simple automated method for measuring pressure-volume curve during mechanical ventilation. *Am J Respir Crit Care Med. 159: 275-282.*
- 10- Rodriguez L, Marquer B, Mardrus P, et al (1999) A new simple method to perform pressure-volume curves obtained under quasi-static conditions during mechanical ventilation. *Intens Care Med. 25: 173-179.*
- 11- Lu Q, Rouby JJ (2000) Measurement of pressure-volume curves in patients on mechanical ventilation: methods and significance. *Crit Care. 4: 91-100.*
- 12- Ranieri VM, Zhang H, Mascia L, et al (2000) Pressure-time curve predicts minimally injurious ventilatory strategy in an isolated rat lung model. *Anesthesiology. 93: 1320-1328.*
- 13- Ranieri VM, Giuliani R, Fiore T, et al (1994) Volume-pressure curve of the respiratory system predicts effects of PEEP in ARDS: "occlusion" versus "constant flow" technique. *Am J Respir Crit Care Med 149: 19-27.*
- 14- Terragni PP, Rosboch GL, Lisi A, Viale AG, Ranieri VM (2003) How respiratory system mechanics may help in minimising ventilator-induced lung injury in ARDS patients. *Eur Respir J. 22: Suppl. 42, 15s-21s.*
- 15- Nakane M, Imai Y, Kajikawa O, et al (2002) Stress index strategy: analysis of dynamic airway opening pressure-time curve may be a useful tool to protect rabbits from VILI. *Am J Respir Crit Care Med; 165: A680.*
- 16- Grasso S, Terragni P, Mascia L, et al (2002) Dynamic airway pressure/time curve (stress index) in experimental ARDS. *Intensive Care Med. 28: A727.*
- 17- Durbin CG (2005) Applied respiratory physiology: Use of ventilatory waveforms and mechanics in the management of critically ill patients. *Respir Care; 50: 287-293.*