

SAV (self adjusting ventilation)

SAV (self adjusting ventilation) modu; Biyovent mekanik ventilatöründe kullanılabilen hastanın solunum eforuna ve mekaniklerine (rezistans ve kompliyans) göre değişiklik gösteren adaptif moddur.

Bu modda hastanın dakika ventilasyonu garanti edilir. Dakika ventilasyonu; ideal vücut ağırlığına (IBW) göre dakikada 0.1 L olacak şekilde hesaplanır [1]. İdeal vücut ağırlığı ise Devine formülü ile hesap edilir. Erkeklerde; $IBW(kg) = 50.0 + 2.3 \times ((boy(in)) - 60 in)$ veya $IBW(kg) = 50 + 2.3 \times ((Boy(cm))/2.54) - 60$, kadınlarda $IBW(kg) = 45.5 + 2.3 \times ((boy(in)) - 60 in)$ veya $IBW(kg) = 45.5 + 2.3 \times ((Boy(cm))/2.54) - 60$ formülleri ile hesaplanır [2]. Örneğin 180 cm boyunda ki bir ekreğin ideal vücut ağırlığı 75 kg'dır. Dakika ventilasyonu hesaplandığında ise 7,5 l/dak (0.1 x 75) çıkar. Bu çeken değer mekanik ventilatörde '%100' olarak ekranda görülür. Bir diğer tabir ile hastanın solunum desteği %100 ayarlandığında hastanın ideal kilosuna orantılı olarak dakikada 0.1 lt (ideal kilo x 0.1 lt x 1.00) dakika ventilasyon garanti edilir. Başlangıç solunum desteği ayarlama sırasında; eğer hasta komada değilse %10, ateşi varsa 37 °C den yüksek her bir derece vücut sıcaklığı için %10, deniz seviyesinden her 2000 feet (609,6 metre) yükseklik için %5, metabolik asidoz durumunda da %20 oranlarında solunum desteğinin artırılması önerilir(3). Eğer hasta obstriktif akciğer hastalıkları nedeni ile mekanik ventilatör desteği alıyorsa başlangıç solunum desteği %10 azaltılarak ayarlanması önerilir. Solunum desteğinin devamı sırasında hasta için dakika ventilasyon miktarı, hastanın solunum genel durumu ve solunum sistemi değerlendirilmeden sonra, kan gazı değerleride göz önünde bulundurularak (özellikle pCO₂, pO₂, pH değerlerine göre) klinisyen tarafından belirlenmelidir. Başlangıç ve idame için yukarıda belirtilen ayarlamalar klinisyene yardımcı olmak için verilmiştir. Kullanıcı dakika ventilasyon değerlerinin istemediği sınırlar dışına çıkmasına karşın alarm ekranından, dakika ventilasyon alarmı alt ve üst limitlerini ayarlamalıdır. Ayarların belirlenmesi mekanik ventilatör destek tedavisi açısından bilgilidir, SAV modu eğitimi almış klinisyenler tarafından yapılmalıdır.

Hastanın dakika ventilasyon miktarı belirlendikten sonra SAV modunda hedefimiz hastanın solunum iş yükünü minimuma indirmektir. Hastanın solunum iş yükünün minimuma indirmek için Otis denkleminde yararlanılır. Otis denklemi; $f = (1 + 2a \cdot R \cdot C_e \cdot (dakika\ ventilasyon - f \cdot V_d) / (V_d))^{-0.5} - 1/a \cdot R \cdot C_e$ (4). Bu denklemde 'f' bir dakikadaki soluk sayısını, 'R' hava yolu direncini, 'C' akciğerlerin kompliyansını, 'V_d' ise ölü boşluğu temsil eder. Ölü boşluk 2.2 cc/kg (ideal vücut ağırlığına göre) kabul edilir (3,5). "a" ise akım dalga paternine göre değişen solunum sabitini ifade eder. "a" değeri sinüzoidal akış paterni için $2\pi/60$ ' dir. Mekanik ventilatör hastanın R ve C değerlerini hesap etmek için mod seçildikten sonra ilk üç solukta sabit değerleri ile hastayı solutur. İlk üç test soluğundan sonra R ve C değerlerini hesap eder. R ve C değerinin çarpımı ile zaman sabiti elde edilir. Daha sonra Otis formülü ile bir dakika için ideal soluk sayısını hesaplar ve daha sonra mekanik ventilatör bir dakika içerisinde bu hesaplanan soluk sayısına ulaşmaya çalışır. SAV modunda Otis denklemini elde edilen sonuç soluktan soluğa tekrar hesaplanır. Hedef dakika ventilasyon değeri, soluk sayısına bölünerek hastanın her bir soluk için tidal hacmi (V_t) belirlenir (V_t=dakika ventilasyon/soluk sayısı). Bu şekilde hastanın solunum iş yükü minimumda tutulmaya çalışılır.

Otis Denklemine Göre Optimum Soluk Sayısı	
Zaman Sabiti (RxC) saniye	Soluk Hızı
>=4.7	6
4,65-3,3	7
3,25-2,4	8
2,35-1,8	9
1,75-1,35	10
1,3-1,05	11
1,0-0,8	12
0,75-0,65	13
0,6-0,48	14
0,47-0,37	15
0,36-0,28	16
0,27-0,21	17
0,2-0,16	18
0,15-0,11	19
0,1-0,07	20
0,06-0,05	21

Dakika soluk sayısı belirlendikten sonra soluk sıklısları (inpirasyon için gereken zaman ile expirasyon için gereken zamanın toplamı) belirlenir. Inspiryum; hasta eforu varsa, solunum tetikleme aktif ve tabikide hastanın eforu tetiklemeye yetecek kadar ise hasta tarafından başlatılır. Eğer hasta inspiyumu başlatamıyor ise inspiyumu mekanik ventilatör tarafından başlatılır. Hasta hedeflenen soluk sayısına ulaşamıyor ise mekanik ventilatör SIMV (synchronize intermittent mandatory ventilation) gibi çalışır. Daha açık bir ifade ile; inspiyumu mekanik ventilatörün başlattığı, volüm hedefli, basınç kontrollü, zaman döngülü solunum desteği hastaya sağlanır. Eğer hasta kendi eforu ile inspiyumu tetikleyebiliyorsa o zaman; inspiyumu hastanın başlattığı, volüm hedefli, basınç kontrollü, akım döngülü solunum desteği hastaya sağlanmış olur. Yukarıdaki ifadelerden anlaşılacağı üzere SAV modunda tüm soluklar volüm hedefli, basınç kontrollüdür.

- Spontan soluk sayısı < hedef solunum hızı ise; SIMV soluk sayısı artırılır
- Spontan soluk sayısı > hedef solunum hızı ise; SIMV soluk sayısı azaltılır
- Spontan soluk sayısı = hedef solunum hızı ise; SIMV soluk sayısı değiştirilmez

SAV modunda hedeflenen tidal hacim ; dakika ventilasyon/hedeflenen soluk sayısı (Otis formulu ile elde edilen ideal soluk sayısı) formülü ile hesap edilir. Hedeflenen tidal volüm hastaya basınç kontrolü ile verilmeye çalışılır.

- Mevcut V_t < hedeflenen V_t ise; inspiratuar basınç artırılır
- Mevcut V_t > hedeflenen V_t ise; inspiratuar basınç azaltılır
- Mevcut V_t = hedeflenen V_t ise; inspiratuar basınç değiştirilmez.

Her soluktan soluğa hesaplamalar yapılarak hedeflenen soluk sayısı, hedeflenen V_t ve gerekli inspiratuar basınç (Pinspiyumu) yeniden belirlenir.

SAV yazımızdan da anlaşılacağı üzere bir dual moddur. Klinisyenin SAV modunda PEEP (pozitif end ekspiratuar basınç), fiO_2 (fraksiyone oksijen yüzdesi) ve dakika ventilasyon destek oranını ayarlaması yeterlidir. Hastanın oksijenizasyonu düzeltmek için; PEEP ve fiO_2 değerlerini ayarlarken

hastanın mevcut durumunda göz önünde bulundurarak, ARDS network protokolünden yararlanarak yapmasını öneririz (6). Dakika ventilasyon ayarlandıktan sonra klinisyenin konvensiyonel modlarda bulunan V_t , soluk sayısı, Pinspiyum, inspiyum zamanı (Ti), inspiyum expiryum oranı (I/E), hava akış hızı değerlerini ayarlamasına gerek yoktur. Dual mod olan SAV bu değerleri yapay zekası ile hesaplayarak kendi belirler. Buda kullanıcıya büyük bir konfor sağlar. Fakat bu değerlerin klinisyenin istediği hedeflerin dışına çıkmaması için, klinisyen alarm ekranından ayarlamaları dikkatlice yapmalıdır.

Akciğer Koruyucu Ventilasyon Kuralları (SAV'da Güvenli Ventilasyon Aralıkları)

SAV modunda Otis formülünden elde edilen soluk sayısı ve tidal hacim çeşitli sebeplerden ötürü güvenli aralıkta olmayabilir. Yada hastanın takibi sırasında devrede gelişebilecek bir kaçak veya oluşabilecek bir tıkaçın ölçüm ve hesaplamaları bozma ihtimali her zaman göz önünde bulundurulmalıdır. Fazla miktarda verilen tidal hacim akciğerlerde aşırı şişmeye veya yetersiz miktarda verilen tidal hacim yetersiz alveolar ventilasyona sebep olabilir. Yine fazla sayıda hedeflenen soluk sayısı hastaya expirasyon için yeterli süre tanımadan 'oto-PEEP' gelişimine veya düşük sayıda hedeflenen soluk sayısı hipoventilasyona neden olabilir. SAV modunda hastayı güvende tutmak için soluk sayısı ve tidal hacim değerlerindeki kapsayan güvenli ventilasyon aralıkları belirlenmiştir.

Yüksek Basınç Limiti: Kullanıcı SAV modunun kontrol ekranından yüksek basınç limitini (Pmax) değerini ayarlayabilir. SAV modunda güvenlik için Pmax değerinin doğru ayarlanması büyük önem arz etmektedir. Hasta için ayarlanan dakika ventilasyon veya hesap edilen soluk sayısı, tidal haciminde anormal değerler hedeflense dahi SAV modu üst basınç limitini aşmayacak şekilde tasarlanmıştır. Bu sayede yüksek basınçlı solunumundan kaynaklı yan etkilerden hasta korunmuş olacaktır.

Yüksek basınç limiti dolaylı yoldan yüksek hacim limitinde belirler. Hedeflenen tidal hacim için gereken inspiratuar basınç, kullanıcı tarafından ayarlanan yüksek basınç limitinden yüksek ise hedeflenen tidal hacime ulaşmadan inspiyum sonlanabilir. Burada bir başka değişken olan inspiratuar sürede tidal hacime ulaşmada önemlidir. Yüksek basınç limiti (Pmax) 'nin gereğinden düşük ayarlanması hastanın gerekli tidal hacme ulaşmamasına neden olabilir.

Hastanın solunum basıncı; SAV modu tarafından yüksek basınç limitini geçmeyecek şekilde tutulur. Kullanıcı ayrıca alarm ayar ekranından; solunum basınç değerinin kendi belirlediği limit dışına çıkması durumunda, kendisinin uyarılmasını sağlayabilir. Bu sayede kullanıcı hasta için gereken solunum basıncının yüksek basınç limitine (Pmax) çıkmadan önce kendisinin uyarılmasını sağlayabilir.

Alt Basınç Limiti: SAV modunda hastaya gerekli tidal hacmi verebilmek için gerekli minimum basınç seviyesi değerini temsil eder. Alt basınç limiti 'PEEP + 3 mbar' değeri kadardır. Bu değer SAV modunda sabittir. Hasta yoğun bakımda iyileştikçe hedef tidal hacmi sağlamak için gerekli basınç değeri düşecektir. Inspiratuar basınç 'PEEP+3 mbar' değerine kadar gerektiğinde düşebilecektir. Fakat tidal hacmi garanti etmek için PEEP ile inspiratuar basınç arasında ki fark 3 mbar'lık değerden düşük olmayacaktır.

Yüksek Tidal Hacim Limiti: Yüksek hacim limiti hastaya verilebilecek maksimum tidal hacmi belirler. Hastaya; tidal hacim hedefine ulaşmak için gereken inspiratuar basınç, yüksek basınç limitinden yüksek ise, yüksek tidal hacim limitine ulaşmadanda inspiratuar siklus sonlanabilir. Bu durumda inspiyumda tidal hacmin diğer belirleyicisinde inspiratuar zamandır. SAV modunda yüksek

basınç limitinin yeterli olduğu durumda, hastaya ideal ağırlığa göre her bir kilogram vücut ağırlığı için maksimum 20mL olacak şekilde tidal hacim verilebilir (yüksek tidal hacim limiti ≤ 20 mL/Kg, ideal vücut ağırlığına göre).

Düşük Tidal Hacim Limiti: Düşük tidal hacim limiti hastaya verilecek minimum tidal hacmi belirler. SAV modunda hastaya ideal ağırlığa göre her bir kilogram vücut ağırlığı için minimum 4 mL olacak şekilde tidal hacim verilebilir (düşük tidal hacim limiti ≥ 4 mL/Kg, ideal vücut ağırlığına göre) (6).

Hastanın tidal hacmi SAV modu tarafından yüksek ve düşük tidal hacim limitlerinde tutulur. Kullanıcı ayrıca alarm ayar ekranından; tidal hacmin kendi belirlediği limitler dışında çıkması durumunda, kendisinin uyarılmasını sağlayabilir. Bu sayede kullanıcı hastanın tidal hacminin yüksek ve düşük hacim limitlerine ulaşmadan kendisinin uyarılmasını sağlayabilir.

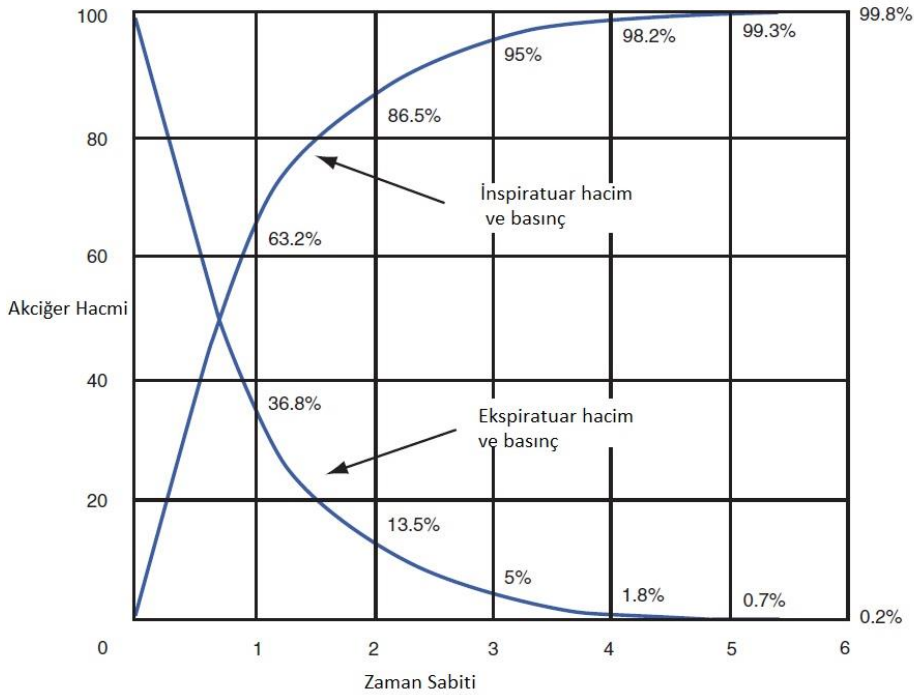
Yüksek Soluk Sayısı Limiti: Yüksek soluk sayısı limiti ile hastanın dakikada maksimum zorunlu soluk sayısı veya destekleneceği maksimum soluk sayısı belirlenir. SAV modunda dakika ventilasyon oranı ayarlandıktan sonra Otis denklemi ile hedeflenen soluk sayısı ve tidal hacim belirlenir. Kısacası soluk hedeflenen soluk sayısı ile tidal hacmin çarpımı dakika ventilasyonu verir. Ancak hastanın takiplerinde hastanın soluk sayısı 'Otis denklemi' ile hedeflenen soluk sayısının üzerinde olabilir. Bu durumda hastaya hesaplanan tidal volum yine de verilecektir. Bu durum hastada dakika ventilasyonun yüksek olmasına yol açacaktır. Bu durumda kullanıcı alarm ekranından üst soluk sayısını limitini belirleyerek kendisine uyarı vermesini sağlayabilir. Ayrıca solunum cihazında teknik olarak destekleyebileceği maksimum üst soluk sayısı limitinde içerir. Hastanın dakikada maksimum zorunlu soluk sayısı veya desteklenecek maksimum soluk sayısı; dakika ventilasyon/düşük tidal hacim formülü ile hesaplanır. Bu formül ile çıkan sonuçların normalden çok farklı olabilme ihtimaline karşı yüksek soluk limiti SAV modunda kullanılmaktadır. Birinci limitasyonumuz '35x%dakika ventilasyon/100' dir. Burada IBW değeri %100 ayarlanan hastanın alabileceği maksimum zorunlu soluk sayısı veya desteklenecek maksimum soluk sayısı 35'dir (6). İkinci limitasyonumuz ise hastanın alabileceği maksimum zorunlu soluk sayısı veya desteklenecek maksimum soluk sayısı dakikada 60'dır. Bu iki limitasyon değerinden hangisi daha düşükse; hastanın alabileceği maksimum zorunlu soluk sayısı veya desteklenecek maksimum soluk sayısını sınırlamak için o sayı kullanılır.

Düşük Soluk Sayısı Limiti: Düşük soluk sayısı limiti ile hastanın dakikada minimum zorunlu soluk sayısı veya destekleneceği minimum soluk sayısı belirlenir. Bu değer sabit olarak 5/dakika olarak belirlenmiştir. Bu değer hesaplanırken inspiryum ve expiryum zamanlarının maksimum süreleri hesaba katılmıştır.

Hastanın soluk sayısı SAV modu tarafından yüksek ve düşük soluk sayısı limitlerinde tutulur. Kullanıcı ayrıca alarm ayar ekranından; soluk sayısının kendi belirlediği limitler dışında çıkması durumunda, kendisinin uyarılmasını sağlayabilir. Bu sayede kullanıcı hastanın soluk sayısı yüksek ve düşük soluk sayısı limitlerine ulaşmadan kendisinin uyarılmasını sağlayabilir.

Inspirasyon Süresi (Ti): SAV modunda Otis denkleminden hedef soluk sayısı elde edildikten sonra soluk siklusları belirlenir. Daha sonra soluk siklusu I/E oranı zaman döngülü zorunlu soluklarda $\frac{1}{2}$ olacak şekilde hedeflenir. Spontan soluklarda ise inspiryum akım döngülü olarak hasta tarafından belirlenir. Hem zorunlu soluklarda hemde spontan solukların desteği sırasında Ti için alt ve üst limitler belirlenmiştir.

Akciğerlerin dolması ve boşalması için gereken süreler önceden tahmin edilebilir. Bunun için akciğerlerin rezistif ve elastik değerlerinin bilinmesi gerekir. Zaman sabiti akciğerlerin rezistans ve kompliyans (kompliyans=1/elastisite) değerlerinin çarpımı ile elde edilir. Çarpım sonucu çıkan sonuca '1 zaman sabiti' denir. SAV modunda rezistans ve kompliyans değerleri mekanik ventilatör tarafından dinamik olarak ölçülür.



Şekil-1 (7)

Şekil-1'de akciğerler hacminin zaman sabiti ile dolma ve boşalma oranları verilmiştir (7). Akciğerlerin %95'nin dolması için inspiyumun 3 zaman sabiti kadar sürmesi gerekir. Fakat hastanın takipneye girmesi durumunda hastanın akciğerlerinin en az %63.2'sini doldurmasını garanti etmek için T_i süresi en az bir zaman sabiti veya 0.5 saniye (hangisi daha uzun ise o değer seçilir) olacak şekilde limitlendirilmiştir. Kısacası SAV modunda T_i süresi bir zaman sabitinden veya 0.5 saniyeden (hangisi daha uzun ise o değer seçilir) kısa olamaz. Bu durum hem zorunlu hemde spontan soluklar için geçerlidir.

T_i maksimum süresi ise 2 saniye olarak belirlenmiştir.

Ekspirasyon Süresi (T_e): Şekil-1'den anlaşılacağı üzere akciğerlerin %95'nin boşalması için 3 zaman sabiti, %98'nin boşalması için 4 zaman sabiti, %99'nun boşalması için 5 zaman sabiti süresinin geçmesi gerekir. Hastalarda oto-PEEP gelişmemesi için zaman sabitleri göz önüne alınarak ekspirasyon sürelerinin belirlenmesi gerekir (7). SAV modunda ise akciğerlerin en az %86.5 ni boşalmasına izin vermek için ekspirasyon zamanı (T_e) en az '2 zaman sabiti veya 0.5 saniyeden (hangisi daha uzun ise o değer seçilir) uzun olacak şekilde limitlendirilmiştir. Kısacası SAV modunda T_e süresi 2 soluk sabitinden veya 0.5 saniyeden (hangisi daha uzun ise o değer seçilir) kısa olamaz. Bu durum hem zorunlu hemde spontan soluklar için geçerlidir.

Te maksimum süresi ise 10 saniye olarak belirlenmiştir. Ti maksimum süresi (2sn) ve Te maksimum süresi (10sn) SAV modunda toplam oluşabilecek en uzun siklus süresini (12 sn) belirler. En uzun siklus süresi 12 saniye olduğu için bir dakikada en az 5 siklus olması gerekir. Bu değerde SAV modunda düşük soluk sayısı limitini (5/dk) belirler.

SAV modu zorunlu soluklarda I/E oranını $\frac{1}{2}$ olacak şekilde hedefler. Bu hedeflemeyi yukarıda belirtilen Ti ve Te limitleri dahilinde yapar. Ancak spontan solukları desteklerken hastanın özgürce soluk almasına izin verir. Ti maksimum, Ti minimum, Te maksimum, Te minimum limitleri dahilinde hastanı özgürce soluk almasına izin verir. Bu şekilde hastanın konforu ve mekanik ventilyatör uyumu artar. Spontan soluklara destek verirken I/E oranını sabitlemez veya sabitlemeye çalışmaz. Spontan soluklarda hem inspiyum tetiklemesi hemde ekspiyum tetiklemesi hasta tarafından kontrol edilir. Kullanıcı alarm ekranından I/E oranını alt ve üst limitlerini belirleyerek kendisine haber verilmesini sağlayabilir.

Akciğer Koruyucu Ventilasyon Hedefleri (SAV'da Güvenli Ventilasyon Aralıkları)	
Hedef Basınç Değeri	PEEP+3 mbar =< Hedef basınç değeri <= Pmax
Tidal Hacim Güvenlik Aralığı	4 ml/IBW=< Tidal Hacim =< 20 ml/IBW
Yüksek Soluk Sayısı Limiti(/dk)	=< 35%dakika ventilasyon/dk veya 60/dk (daha düşük olan değer limit için kabul edilir)
Düşük Soluk Sayısı Limiti(/dk)	düşük soluk sayısı limiti = 5/dk
Ti minimum	1 RC sabiti veya 0.5 sn =< Ti minimum
Ti maksimum	2 saniye
Te minimum	2 RC sabiti veya 0.5 sn =< Te minimum
Te maksimum	10 saniye
Dakika Ventilasyon%	%50=<dakika ventilasyon%=<%350

Kaynaklar:

- 1- J.M. Cairo. Initial Ventilator Settings. PILBEAM'S Mechanical Ventilation Physiological and Clinical Applications. 5 th edition. St. Louis, Missouri: Mosby, Inc., an affiliate of Elsevier Inc: 2012, 85-102
- 2- Devine BJ. Gentamicin therapy. Drug Intell Clin Pharm 1974;8:650-5.
- 3- Radford EP, Ferris BG Jr, Driete BC: Clinical use of a nomogram to estimate proper ventilation during artificial respirations, N Engl J Med 21:877, 1954
- 4- OTIS AB, FENN WO, RAHN H. Mechanics of breathing in man. J Appl Physiol. 1950 May;2(11):592-607.
- 5- J.M. Cairo. Initial Patient Assessment. PILBEAM'S Mechanical Ventilation Physiological and Clinical Applications. 5 th edition. St. Louis, Missouri: Mosby, Inc., an affiliate of Elsevier Inc: 2012, 124-137
- 6- <http://www.ardsnet.org/>
- 7- J.M. Cairo. Basic Terms and Concepts of Mechanical Ventilation. PILBEAM'S Mechanical Ventilation Physiological and Clinical Applications. 5 th edition. St. Louis, Missouri: Mosby, Inc., an affiliate of Elsevier Inc: 2012, 2-15