

## AKCİĞERLERDE GAZ DAĞILIMI

Mustafa ERELEL\*

Ventilasyon ve gaz dağılımının incelenmesi ve anlaşılması bazı kavramların bilinmesi ile mümkündür. Bu tanımlamaların konu başında bilinmesi konunun anlaşılmasını kolaylaştıracaktır.

### Alveoler gaz:

Alveollerden ekspiryum ile çıkarılan gazdır. Bu gaz karışımının kompozisyonunu alveollerin ventilasyon/perfüzyon dengesi, akciğerlerin eşit olmayan davranışı belirler.

### Alveoler ventilasyon:

Eğer akciğerler tek üniform sistem olarak kabul edilirse alveoler ventilasyon soluk hacminden anatomik ölü boşluk çıkarıldığı zaman elde edilen değer dakika solunum sayısı ile çarpımdır. Birçok durumda efektif alveoler ventilasyonun göstergesi olarak arteriyel PCO<sub>2</sub> görülmektedir.

### İnert gaz dağılımı:

Diffüzyona uğramayan gazdır. Alınan hacim aynen çıkarılır(1).

## VENTİLASYON

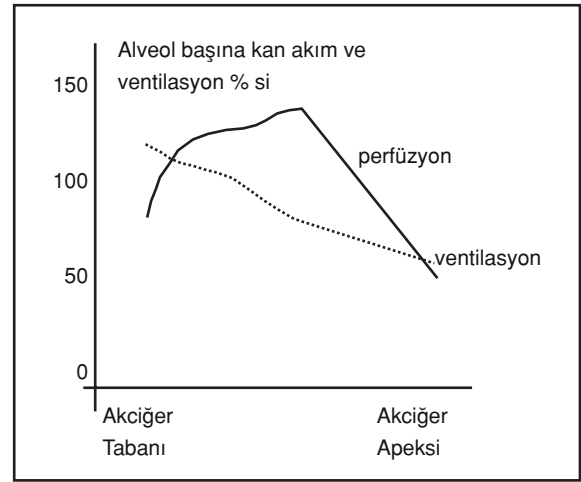
Ağız veya burun boşluğu ile alveollerin proksimali arasında gaz iletimine ventilasyon denir. Atmosfer havası ile alveollerin proksimali arasında basınç farkı yaratılmasına dayanan aktif bir olaydır. Alveoller seviyesinde, temel olarak gazların difüzyonuna dayanan ventilasyon ise pasif olarak gazların parsiyel basınç farkına dayalı olarak meydana gelir.

Ventilasyonun ilk bölümü gaz değişimine neden olmaz buna anatomik ölü boşluk denir. Yaklaşık 150 mL lik bir hacmi oluşturur. Ancak gaz değişimine katılma-yan alveollerin sayısının artması ile bu hacim artabilir. İnspiryumda ağız ve burun boşluklarından alınan havanın alveollere iletilmesi sırasında alveollere giren ilk gaz volümü bu ölü boşluktaki gazdır. Bu gazın içeriğini de ekspiryumda alveolleri terk eden gaz içeriği oluşturur. Akciğer hastalıklarında ölü boşluğun hacimsel değişimi inspiyumda ilk giren hava miktarını değiştirir. Hastalığın şiddetine ve akciğerde dağılımına bağlı olarak bu oran

\* İstanbul Üniversitesi İstanbul Tıp Fakültesi Göğüs Hastalıkları Anabilim Dalı, İSTANBUL

değişir.

Sağlıklı akciğerde bile ventilasyonun eşit olmadığı bölgeler bulunmaktadır. Bu ventilasyonun bölgesel farklılığından kaynaklanmaktadır. Akciğerlerde bölgesel gaz dağılımında yer çekiminin etkisi bulunmaktadır. Bu dağılım farklılığı akciğerlerin apeksi ve bazali arasında bulunmaktadır. Dağılım farklılığı absölu akciğer hacmine, tidal volüm hacmine ve akıma bağlı olarak değişmektedir (Şekil 1).



Şekil 1: Sakin solunumda ventilasyon-perfüzyon dağılımı

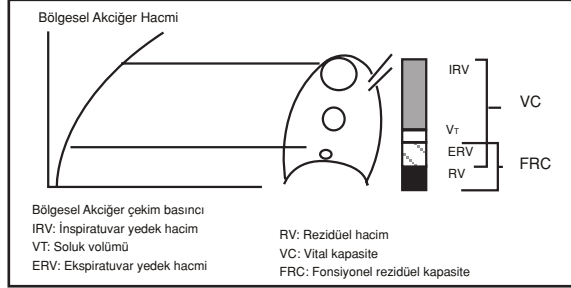
## VENTİLASYONUN DAĞILIMI

Sağlıklı ayakta duran bir kişi de intraplevral basınç apekte bazale göre daha negatiftir. Bunun en önemli muhtemel nedeni akciğerlerin hilustan itibaren asılı durması ve akciğerlerin ağırlığıdır. Bazallerde yer çekimine bağlı olarak daha fazla ağırlık meydana gelmekte ve daha az intraplevral basınç oluşurken apekte tersi etki ile daha düşük, daha negatif intraplevral basınca ulaşılır. Basınç farkı yaklaşık olarak 0,25 cmH<sub>2</sub>O/cm dir. Tepe ile taban arasında yaklaşık olarak 7,5 cmH<sub>2</sub>O'luk intraplevral basınç farkı meydana gelir. Dolayısıyla akciğerlerin bazal alveolleri apikallerine göre daha fazla solunuma katılır. Statik basınç/hacim eğrisinin şekli de bu havalanma farkına katkıda bulunur.

Ekspiryum sonrasında total akciğer kapasitesinin %40'ı akciğerlerde kalır. Bu kalan hacmin dağılımı bölgesel basınç farklılığına göre olmaktadır.

İnspiryumda intraplevral basıncın daha negatif olması nedeniyle, bazallerde transpulmoner basınç değişikliği apekten daha fazla olmaktadır. Ekspiryum sonunda akciğer apeksindeki alveoller bazaldeki alveollerden daha fazla hacme ve daha az kompliyansa sahiptir

(Şekil 2a). Bundan dolayı akciğerlerin bazal alveollerine apekslerdekinden daha fazla inspiriyum gaz karışımı girmektedir.

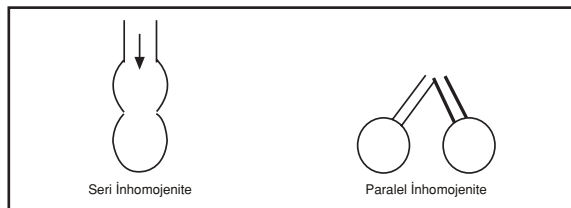


Şekil 2a: Fonksiyonel rezidüel kapasite seviyesinde bölgesel ventilasyonun dağılımı

Ekspiryum sonunda bazaldeki alveoller en küçük hacimlerine inerken, apekteki alveollerler yüksek intraplevral negatif basınç nedeniyle ekspiryum sonunda akciğer bazallerindekine göre daha fazla gaz içerir. İnspiriyum sonunda ise alveol basınç gaz değişimi bazallerde apekteki alveollere göre daha fazla olur. Kısaca gaz değişimi en fazla orta ve alt alanlarda gerçekleşir.

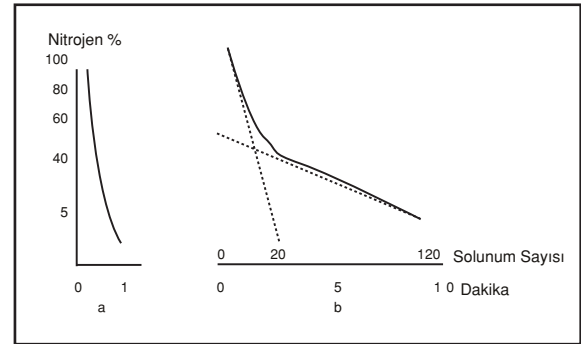
Daha yüksek akım hızlarında yer çekimine bağlı olarak oluşan dağılım farklılığı daha az olur. Akciğer apeksine yakın olan alveoller daha fazla gergin olurken bu alveoller ait bronşlarda daha az direnç meydana getirir. Solunum kaslarındaki farklı davranışlarda hızlı akımlarda inhomojenitenin azalmasında sorumlu olmaktadır. Yardımcı solunum kaslarının aktif hale gelmesi ise intraplevral basıncı daha da negatifleştirerek akciğer apeksindeki alveolleri daha gergin hale getirir.

Akciğerde ventilasyonun eşit olmamasının bir başka nedeni difüzyonun eşit olmamasıdır. Seri bağlı alveollerin olduğu bir üniteye difüzyon eşit değilse distaldeki alveoller proksimaldekilere göre daha az ventile olurlar. Buna seri inhomojenite denir. Eğer alveoller paralel hava yolları ile ventile oluyorsa akımın zorlandığı yani direncin fazla olduğu yerde ventilasyon dağılımı daha az olur. Buna paralel inhomojenite de-nir(Şekil 2b)(1,2,3,4).



Şekil 2b: Bölgesel ventilasyon dağılımı. Akciğerlerde homojen olmayan dağılım periyodik yapılan

tidal solunum veya tek tidal solunum ekspiryumu ile saptanabilir. Her iki teknikte de kişi saf oksijen soluduktan sonra çıkarttığı nitrojen miktarı saptanır. Daha sonra geliştirilen çok soluk yönteminde %21 oksijen ve %79 argon kullanılmaktadır. Tek soluk yönteminde rezidüel hacimden total akciğer kapasitesine kadar solunmuş olan inert gazın saptanması esastır. Çok soluk tekniğinde ise sağlıklı erişkinde yaklaşık 7 dakika süre ile saf oksijen solunması sonrasında end tidal nitrojen miktarının %2.5 dan daha az olduğu gösterilmiştir. Tüm gazların karışımı soluk alma şekline, fonksiyonel rezidüel kapasitede washout oranına bağlıdır. Gazların karışımı normal ve mükemmelse her solukta nitrojen konsantrasyonu aynı oranda düşer. Normalde kurvilineer olan eğim çocuklarda doğrusal şekilde iken akciğer hastalıklarında daha belirgin hale gelir(Şekil 2,3).



Şekil 3: Tidal Solunum Sonrası Akciğerle Nitrojen Konsantrasyonu: Belli konsantrasyonda nitrojen içeren gaz karışımı inhalasyonundan sonra her solukta çıkan havadaki nitrojen konsantrasyonu düşer ve stabil olur (a). Ancak farklı alveol boşalma zamanı olduğunda (KOA) nitrojen konsantrasyonu düşüşü daha az ve denge durumuna ulaşma zamanı daha uzundur (b).

Alveollerde farklı boşalma paternleri vardır. Solunum sistemi her solukta kalan nitrojen konsantrasyonuna göre farklı boşalma zamanları gösteren veya boşalamayan bölümler bulunur. Gerçekte ve hasta akciğerde boşalma zamanları farklı üniteler anatomik bölgelerle korele değildir.

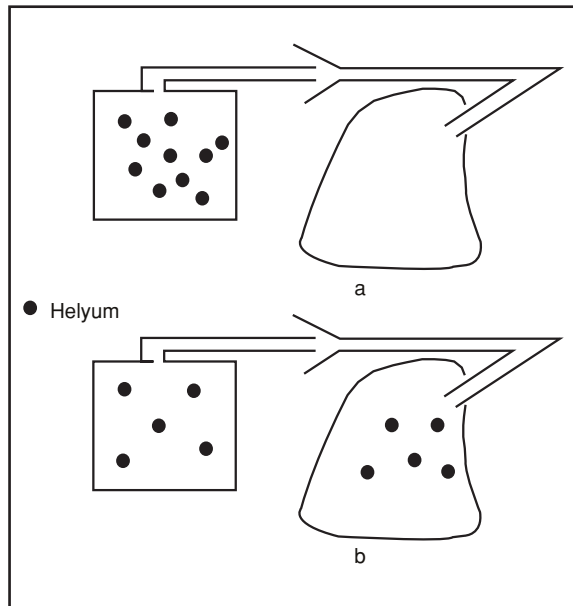
Normal koşullarda da olan inhomojenitenin anlaşılması ve akciğer hastalıklarının fizyolojisine göre gaz dağılımının incelenmesi konunun anlaşılmasını kolaylaştıracaktır.

Normalde solunum fonksiyonları belli koşulların sağlaması durumunda yapılır. Bu standartlara BTPS (vücut ısısı, basınç altında ve su buharı ile satüre olmuş) denir. Bu şartların sağlanması durumunda her hacimde belli sayıda molekül bulunmaktadır. Akciğer

hacimlerinden direk olarak çıkarılmayan ve akciğerlerde kalan kısım (RV) farklı yöntemlerle ölçülür.

Rezidüel volüm ölçümü:

1-Kapalı devre helyum eşitlenmesinde kapalı devre sistem kullanılır, hastanın çıkardığı CO<sub>2</sub> sistem tarafından absorbe edilir. Helyum kullanılması nedeni çok az miktarda absorbe olması ve oldukça soluble olmasıdır. Sisteme konsantrasyonu bilinen miktarda helyum gönderilir. Hastanın sistemden defalarca soluması ile normalde ventilasyona dolaylı olarak giren hacimlerde helyum birikmeye başlar. Gaz karışımındaki yüzdesi bilinen gaza göre sonradan elde edilen karışımdaki helyum yüzdesine göre hacimler hesap edilebilir(Şekil 4a-b).



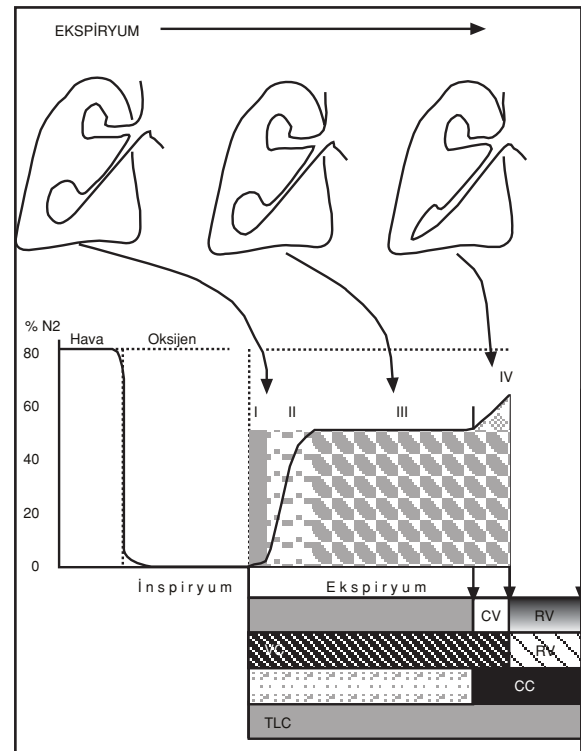
Şekil 4a: Kapalı devre helyum eşitlenmesi: Konsantrasyonu belli gazın solunması(a) ve eşitlenmesi(b)

2-Tek soluk He dilüsyon yöntemi ise sıklıkla tek soluk difüzyon kapasitesinin ölçülmesi sırasında kullanılan bir yöntemdir. Kişi burada rezidüel volüme kadar nefesini verir ve bilinen oranda He içeren gaz karışımından derin bir soluk alır. İlk ekspiryum havasındaki He yüzdesine göre akciğer hacimleri ölçülebilir. 3-Açık devre nitrojen yıkanma yönteminde %100 oksijen solunmasına bağlı olarak nitrojenin atılmasına dayalıdır. Kişi istirahatte rezidüel volüme kadar solunum yapar. Her solukta çıkardığı nitrojen miktarı devamlı olarak ölçülür. Çıkarılan nitrojen miktarına bağlı olarak tipik bir eğri elde edilir. Yaklaşık 7 dakika boyunca oksijen solunarak çıkarılan havadaki nitrojen yüzdesi saptanır. Burada analizörün standardı ve kalibrasyonu çok önemlidir. Çıkarılan hacim çıkarılan konsantrasyonlarla

çarpılarak akciğer hacimleri ölçülür. Bu nitrojenin temizlenmesi için gereken süre veya alveoler nitrojen konsantrasyonunun %1.5 ve altına düşmesi için gerekli sürenin artması eşit olmayan ventilasyon dağılımının göstergesidir. Ancak istirahat soluk hacmi ve sayısı artışı eşit olmayan ventilasyonu olanda testi normal çıkarabilir. Normal sağlıklı kişilerde nitrojen atılımı yaklaşık 3-4 dakikada sağlanmaktadır. Daha uzun süre eşit olmayan dağılımın göstergesidir. Göğüs kafesi deformitesine bağlı restriktif akciğer hastalıklarında eşit olmayan ventilasyon değerleri elde edilebilir.

4-Tek soluk oksijen testi (Single breath nitrogen elimination=SBN<sub>2</sub>=Fowler testi):

Maksimal ekspiryumdan sonra total akciğer kapasitesine kadar %100 Oksijen solunur. Beklemeksizin rezidüel hacime kadar soluk verilir. Çıkarılan nitrojen sürekli olarak kaydedilir. Nitrojen konsantrasyonundaki değişikliğe bağlı olarak meydana gelen değişimler sonucu tipik eğri ortaya çıkmaktadır. Bu eğrinin 4 ayrı fazı bulunmaktadır (Şekil 5).



Şekil 5: Tek soluk oksijen testi

Faz 1: İlk çıkarılan bölümdür. %100 oksijen solunmasının son dönemindeki gazdır. Dolayısıyla tamamen oksijen ile doludur. Nitrojen konsantrasyonu sıfırdır. Ölü boşluk solunumunu yansıtır.

Faz 2: Dik çıkışlı eğrinin başlangıcı ile platoya eriştiği bölge arasında kalan dilimdir. Faz 1'de çıkarılmayan ölü boşluk solunumu ile boşalmaya başlayan alveoller

yansıtır. Bunlar kolay boşalabilen alveollerdir. Faz 3: Yatay izlenen plato çizen bölgedir. Bu bölgede alveollerden gelen gaz karışımı bulunmaktadır. Normal kişilerde alveoller eş zamanlı olarak boşalmaya başladığından bu bölge ölçüm değerleri hemen hemen sabittir. Bu eğrinin eğimi  $1,5\%N_2/500mL$  den daha azdır. Bu bölgenin eğimini artması eşit olmayan ventilasyonun göstergesidir. Eğim artışı alveol boşalma zamanlarının farklılığından kaynaklanır. Alveol boşalma zaman farklılığı ise bronş obstrüksiyonu veya bronş dinamiğinin bozulmasının göstergesidir. Bu eğrinin son bölümünde kötü ventile olmuş alveoller boşalır. Faz IV: Faz III platosundan sonra görülen dik çıkıştır. Rezidüel volüme yakın bir noktadır. Bu fazın başlangıcında bazal alveollerde kapanma meydana gelir (Closing volume, CV). %100 oksijen solunması sırasında ölü boşlukta bulunan nitrojen konsantrasyonu yüksek olan gaz ilk olarak üst lob ve zonlardaki alveollere girer. Bu üst bölge alveollerinin nitrojen konsantrasyonu fazlalığını da açıklar. Bu fazda çıkarılan gazlar üst alveollerini yansıtır. Bu gaz faz IV deki ani çıkışa neden olur(3,5,6,7,8).

Testin kabul edilebilirlik kriterleri:

1. Alınan ve çıkarılan VC %5 veya 200 mL sınırları içinde olmalıdır.
2. Test sırasındaki VC değeri, öncesinde ölçülen VC değerinin en fazla 200mL. dışında olmalı
3. Ekspiryum akım hızı 0,3-0,5 L/s. arasında olmalı
4. Nitrojen eğrisi çok az kardiyak pulsasyonu göstermelidir. Nitrojen konsantrasyonunun vital kapasitenin 750 ile 1250 mL arasındaki değişim miktarı önemlidir. Oksijen solunmasından sonra yapılan ekspiryum ile çıkarılan yaklaşık 750 mL lik hacim(faz I ve II ye karşılık gelir. Normalde genç erişkinlerde nitrojen konsantrasyonundaki değişim %1,5'in altındadır. Bu değer sağlıklı erişkinlerde %3'e yaklaşmaktadır. Eşit olmayan ventilasyonda %10'un üstüne çıkabilmektedir.

Tam ekspiryumdan sonra yer çekiminden dolayı akciğerlerin apeksinde bazallerden daha fazla RV kalmaktadır. Testte oksijenin solunması ile ölü boşlukta bulunan nitrojenden zengin gaz karışımı apekteki alveollere gider. Daha sonra oksijenden zengin gaz içeriği bazal alveollere gider. Böylece akciğerlerdeki gaz dağılım farklılığı ortaya çıkar.

Ekspiryumda bazal akciğerlerin ağırlığı ve yer çekimine bağlı olarak alveollerin bronşlarında daralma ve kapanma meydana gelir. Ekspiryumda çıkarılan hava açık olan apikal bölge alveollerinden gelir. Bu tam olarak faz IV 'ün başladığı yerdir. Kapanış volümün de başlangıcıdır. Normal sağlıklı genç erişkinlerde bu yaklaşık olarak VC'nin %80-90 'ında başlamaktadır. Kapanma kapasitesi (CC) ise aynı grup kişilerde TLC 'nin %30'u kadardır.

Kapanma volümünde artma:

1. Restriktif akciğer hastalığında FRC yüksek ve havayolu obstrüksiyonu var ise,
2. Sigara içen veya diğer nedenlere bağlı erken obstrüktif akciğer hastalığında,
3. Konjestif kalp yetmezliğinde genişlemiş damarların bronşları kollabe etmesi nedeni ile(9) CV artar. Bazı ciddi obstrüktif akciğer hastalığında ventilasyonun tam eşitsizlik durumunda faz III den IV e geçiş düşük eğim derecesi ile olur(9).

Bu test diğer eser gazlarla(xenon, argon,helyum) da yapılabilir. Hastalıkların erken dönemde tanınabilmesi amacı ile kullanılması amaçlanmıştır.

5-Vücut pletismografisinde ise kişinin etrafındaki basının göğüs kafesindeki hacimsel değişmeye bağlı olarak değişmesi ve bunun kaydedilmesi esasına dayanır. Yukarıdaki yöntemlerle vücut pletismografisinin yaptığı ölçümler yaklaşık olarak aynıdır. Gazlı yöntemlerle bronş ağacı ile iştirakli olmayan hava hapis alanları ölçülemez iken pletismografi ile bu hava hapis alanları da ölçülebilmektedir. Bazı durumlarda ağız içi basıncı alveoler basıncın altındaki değerle gösterebilmektedir. Bu durumda pletismografi ile yapılan ölçümler olduğundan yüksek çıkabilmektedir.

Akciğer volümleri P-A grafide A-P çapın ölçülmesi ile saptanabilir. Değişik formüller vardır. Ancak sonuçlar belli koşullarda ve spesifik hacimlerle uyumlu çıkmaktadır.

#### EŞİT OLMAYAN VENTİLASYONUN ÖLÇÜLMESİ

Alveollere gaz dağılımından esas sorumlu olan transpulmoner basınç ösofagus balonu ile ölçülebilmektedir.

Kapalı devre helyum, açık devre nitrojen testleri ile sağlıklı kimselerde tatminkar sonuçlar alınmaktadır. Havayolu obstrüksiyonu olduğunda eşitleme zamanı gerektiğinden daha uzun sürer. Bu özellikle kapalı devre testlerde önemlidir. Test mutlaka gaz düzeylerinde eşitlik sağlanan kadar devam edilmelidir.

#### KAYNAKLAR

1. Shapiro BA, Physiology of respiration. In: Clinical application of blood gases. 5th ed. Illinois, Mosby 1994;(2)13-24.
2. Gibson GJ. Test of gas exchange function. In: Clinical tests of respiratory function. 2nd ed. Oxford; Alden 1996;(3)58-65,85-89.
3. Gibson GJ. Airway diseases. In: Clinical tests

## MERELEL

- of respiratory function. 2nd ed. Oxford, Alden 1996:(10)151-155.
4. Gibson GJ. Neuromuscular diseases. In: Clinical tests of respiratory function. 2nd ed. Oxford, Alden 1996:(14)267-271.
  5. Bates DV. Basic pulmonary physiology. In: Respiratory function in diseases 3rd. ed. Philadelphia, Saunders 1989:(2)23-39,53.
  6. Bates DV. Altered physiologic states and associated syndromes. In: Respiratory function in diseases
  7. Bates DV. Normal pulmonary function. In: Respiratory function in diseases 3rd ed. Philadelphia, Saunders 1989:(5)113-117.
  8. Bates DV. Effects of smoking and environmental pollutants. In: Respiratory function in diseases 3rd ed. Philadelphia. Saunders 1989:(6)159-161.
  9. Ruppel GL. Gas distribution tests. In: Manual of pulmonary function testing. 7th ed. Missouri 1998; 83-87.

3rd ed. Philadelphia, Saunders 1989:(4)83-89.