

## SOLUNUM FONKSİYON TESTLERİ

**Yrd.Doç.Dr.Funda Coşkun**  
**Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi**

Solunumla ilgili şikayeti olan hastalara solunum fonksiyon testleri (SFT) ilk uygulanması gereken yöntemdir. SFT, mevcut fonksiyon bozukluğu ve derecesini saptayarak, fonksiyon bozukluğundan sorumlu fizyopatolojik mekanizmaları aydınlatarak, ayırıcı tanıda, hastalık seyrinin takibinde, tedavi sonuçlarının değerlendirilmesinde rol oynar.

Solunum fonksiyonunun başlıca 4 komponenti vardır.

- 1- Ventilasyon,
- 2- Difüzyon,
- 3- Perfüzyon,
- 4- Solunum kontrolü.

Solunum sistemini tutan herhangi bir hastalık bu fonksiyonlardan bir veya birkaçını bozarak hastalık semptom ve bulgularına yol açar. SFT'leri, akciğer ve göğüs duvarının ventilasyon fonksiyonu ile ilgili testler, gaz değişimi ile ilgili testler ve solunum kontrolü testleri olmak üzere üçe ayrılır. Klinik uygulamada en yaygın olarak ventilasyon ve gaz değişimi ile ilgili testler kullanılır.

- |  |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"><li>- İzah edilemeyen nefes darlığı,</li><li>- Akciğer nedenli nefes darlığının kardiyak nedenli nefes darlığından ayırılması,</li><li>- Obstrüktif akciğer hastalığının, restriktif ve vasküler akciğer hastalıklarından ayrılması,</li><li>- Bronkodilatatöre cevabın saptanması ve değerlendirilmesi,</li><li>- Bronş hiperreaktivitesinin saptanması,</li><li>- Küçük hava yolu obstrüksiyonunun saptanması,</li><li>- Yukarı solunum yolu obstrüksiyonunun saptanması,</li><li>- Egzersize cevabın değerlendirilmesi,</li><li>- Tedaviye cevabın izlenmesi,</li><li>- Preoperatif risk faktörlerinin değerlendirilmesi,</li><li>- Akciğer yoğun bakım ünitelerinde hasta izlenmesi,</li><li>- İşgörmezlik değerlendirilmesi,</li><li>- Halk sağlığı açısından yapılan epidemiyolojik araştırmalar (sigara, hava kirliliği gibi)</li></ul> |
|--|

TABLO-1: Solunum fonksiyon testlerinin kullanıldığı durumlar (1).

Solunum fonksiyonlarını değerlendirmek üzere kullanılan testleri aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

1. Volum ve akım ölçümleri
  - a. Basit spirometre,
  - b. Akım-volum halkası
  - c. Pletismograf
2. Basınçlar
  - a. Ağız içi basınç ölçüm cihazları
  - b. Pletismograf
3. Direnç (basınç ve eşzamanlı akım)
  - a. Pletismograf
  - b. Diğer teknikler
4. Komplians (basınç ve eşzamanlı volum)
  - a. Pletismograf
5. Difüzyon ölçümü
6. Arter kan gazı ölçümü

## 7. Kardiyopulmoner egzersiz testleri

- Bisiklet
- Yürüme bandı

### 1. Volüm ve akım ölçümleri

#### a. Basit Spirometre

Spirometri yapılmadan kişi en az 24 saat önce sigara içmemeli, dört saat önce alkol almamalı, kısa etkili bronkodilatör ilaçları iki saat, uzun etkili bronkodilatör ilaçları 12 saat önceden kesmiş olmalıdır. En az iki saat aç kalmalı ve testten önce 30 dakika egzersizden kaçınılmalıdır. Hastanın yaşı, ismi doğru alınmalı. Kilo ve boyu hiçbir zaman hastaya sorulmamalı, ölçülmelidir. Boy özellikle önemlidir çünkü daha uzun boya sahip kişilerin akciğer volümleri daha yüksektir. Dik durması olanaksız olan veya kifoskolyozu olan hastalarda kollar açılıp ölçülüp 1.06 değerine bölünerek boy hesaplanabilir. Hasta tüm test boyunca oturur pozisyonda kalmalıdır.

#### Solunum Fonksiyon Testi Standardizasyonu

- Her hastaya en az üç test yaptırılmalı,
- Eğer sekiz kez tekrarlanmasına karşın kabul edilebilir bir sonuç elde edilemiyorsa test sonlandırılmalı,
- En iyi FVC ve FEV<sub>1</sub> arasındaki fark 150 mL'den az olmalı
- Vital kapasite (VC) için rahat durumda test üç kez tekrar edilmeli ve en iyi iki test %5'den az farklılığa sahip olmalıdır.
- Aynı şekilde zorlu manevra da üç kez tekrar edilmeli ve en iyi iki test arası fark %5'ten az veya 100 mL'den az olmalıdır.
- Ekpiryum süresi en az altı saniye olup plato bir saniye sürdürülmelidir.

“American Thoracic Society (ATS)”, FEV<sub>1</sub>+ FVC'nin en büyüğünü önerirken “European Respiratory Society (ERS)”, total akciğer kapasitesi (TLC) noktasında üst üste getirilen en iyi üç test içinden en iyi ikisini önermektedir. En iyi sonuçların alınması teknisyenlerin bu konuda tecrübeli ve iyi eğitim almış olmaları ile yakından ilişkilidir. Aynı zamanda kullanılan aletlerin ve solunum laboratuvarının belli aralıklarla kalite kontrolünden geçirilmesi gerekli standartların oluşturulmasında sürekliliğin sağlanması açısından büyük önem arz etmektedir.

Normal (prediksiyon) değerler: Solunum fonksiyonları yaşa, cinsiyete, vücut ölçülerine (boy, kilo) ve ırklara göre değişiklik göstermektedir. Erkeklerde solunum fonksiyonları aynı yaş ve boydaki kadınlara göre daha yüksek bulunmaktadır. Yine vücut ölçüleri ile solunum fonksiyonları arasında korelasyon vardır. Irklara göre de değişiklikler görülmektedir. Bu nedenle test öncesi hastanın yaşı, cinsiyeti, boyu ve kilosu belirlenip buna uygun prediksiyon değerleri saptanır ve test sırasında elde edilen değerler bu prediksiyon değerleri ile karşılaştırılarak yorumlanır. Ancak takipte hastaların kendi değerlerindeki değişimin izlenmesi daha önemlidir. Spirometre zorlu inspirasyon ve ekspirasyon sırasında dinamik akciğer volümlerinin ve kapasitelerinin zamanlı olarak ölçülmesidir. Sıkça kullanılan ölçümler; vital kapasite [zorlu (FVC) veya rahat durumda ölçülen (VC)], birinci saniyedeki zorlu ekspiratuar volüm (FEV<sub>1</sub>) ve bu iki volümün oranıdır (FEV<sub>1</sub>/FVC). Ek olarak küçük hava yollarını gösteren vital kapasitenin %50'sindeki maksimum ekspiratuar akım (FEF<sub>25-75</sub>), birinci saniyede zorlu inspiratuar volüm (FIV<sub>1</sub>) ve zorlu inspiratuar vital kapasite (FIVC) ölçümleri de yapılabilir (2).

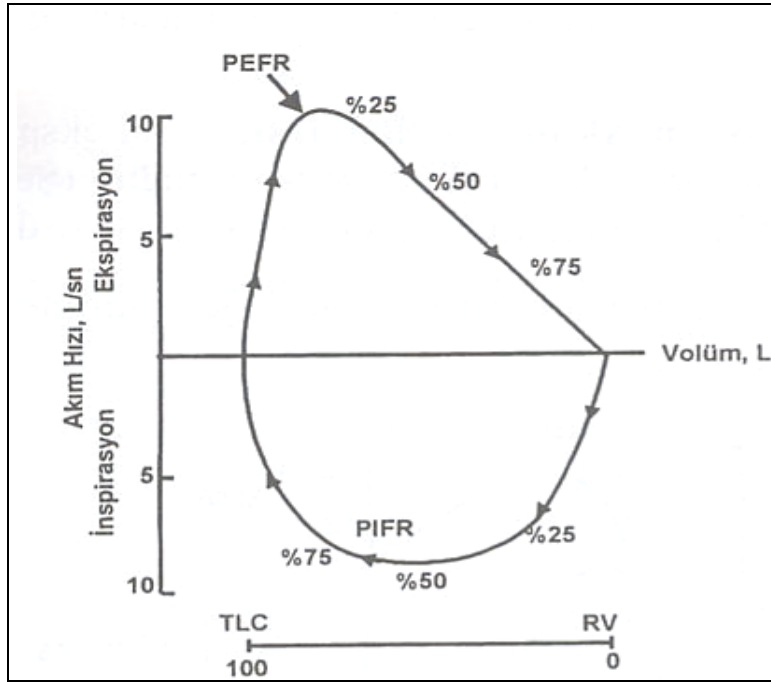
#### b. Akım Volüm Halkası

Zorlu ekspirasyon eğrisinin analizi ile ilgili parametrelerdir. Zorlu ekspirasyon eğrisi kişinin spirometre cihazına total akciğer seviyesine kadar hızlı ve zorlu solunmayı takiben yine hızlı ve zorlu ekspire edilerek elde edilir. Zorlu ekspirasyon eğrisinin analizinde; zorlu vital

kapasite (FVC), birinci saniye zorlu ekspirasyon volümü ( $FEV_1$ ), birinci saniye zorlu ekspirasyon volümünün zorlu vital kapasiteye oranı ( $FEV_1/FVC$ ) ve zorlu ekspirasyon ortası akım hızı ( $FEF_{25-75}$ ) değerlendirilir. FVC manevrasının başlangıcından itibaren belirli sürede çıkarılan gaz hacmidir. En sık birinci saniyedeki  $FEV_1$  kullanılmaktadır. Aslındaki akım parametresi olmakla birlikte hacim olarak bildirilir.  $FEV_1/FVC$  (Tiffeneau indeksi) daima hesaplanmalıdır. Bu oran sağlıklı gençlerde %80'in üzerindedir. Yaşlılıkta bu değer %65-75 olur. Maksimal ekspirasyon ortası akım hızı (MMFR,  $FEF_{25-75}$ ) zorlu ekspirasyon ile volümlerin %25 ila %75'inin atıldığı periyoddaki akım hızıdır. Orta ve küçük havayollarından gelen akımı yansıtır. Obstrüktif hastalıkların erken dönemlerinde bu parametre azalır. Bazan restriktif hastalıklarda da azalma gösterebilir.  $FEF_{75-85}$  volümlerin %75-85'inin atıldığı geç dönemdeki ortalama akım hızını yansıtır ancak diğer parametrelere ek bilgi sağlamadığından sık kullanılmamaktadır. Peak ekspiratuar akım (PEF) zorlu vital kapasite manevrası sırasında elde edilen maksimal hava akım hızıdır ve sağlıklı kişilerde santral havayollarının çapını ve ekspiratuar kasların aktivitesini yansıtır.  $FEV_1$  gibi efora bağımlıdır.

Akım volüm eğrisi

Zorlu ekspirasyonda x eksenine volüm, y eksenine akım hızı olmak üzere iki değişkenin aynı anda yazdırılması ile elde edilen eğridir.



ŞEKİL-1: Maksimum inspiriyum ve ekspiriyum akım-volüm eğrileri (1).

Bu eğri üzerinden değerlendirilen parametreler; ekspirasyon tepe akım hızı (PEFR), vital kapasitenin %75, %50, %25'indeki  $V_{max75}$ ,  $V_{max50}$ ,  $V_{max25}$  akım hızları ile inspirasyon eğrisi üzerindeki  $V_{max75}$ ,  $V_{max50}$  ve  $V_{max25}$ 'dir. PEFR'yi ölçen basit spirometrelere pik flowmetre denir(3).

Dinamik akciğer volümlerine ait klinik parametreler:

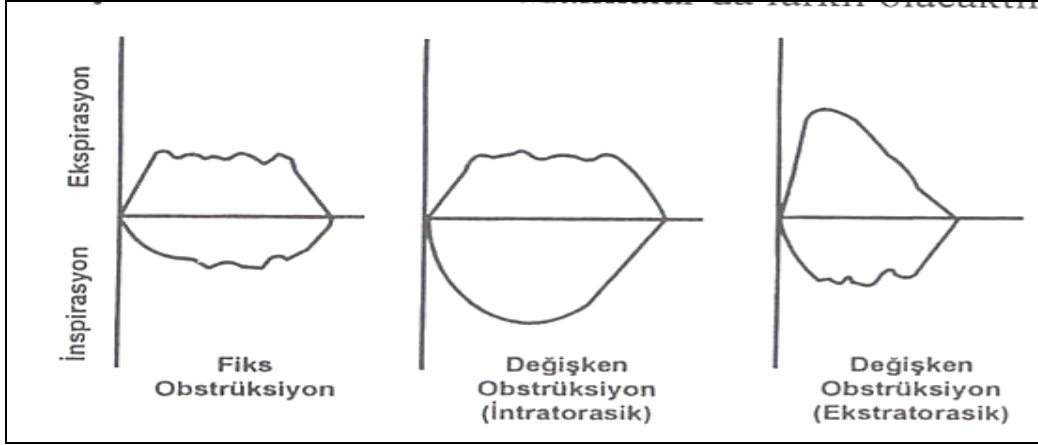
Normal: Normal ön sayım değerlerine göre normal volüm ve akım hızları görülür.

Ekspirasyon akım sınırlaması: Obstrüksiyonu gösterir. Zorlu ekspirasyon akım hızı azalmıştır.  $FEV_1$ ,  $FEV_1/FVC$  ve  $FEF_{25-75}$  azalır. Akım volüm eğrisinde ekspiriyumu gösteren tarafta  $V_{max50}$ 'nin azalması önemli bir parametredir.

Yukarı hava yolu obstrüksiyonu: Yukarı hava yollarındaki darlıkta nefes darlığı ve KOAH'a benzer muayene bulgularına neden olabilir. Yukarı hava yolu darlıklarını alt solunum yoluna bağlı darlıklardan ayırmada, darlığın lokalizasyonunu saptamada maksimum ekspirasyon

ve inspirasyon akım volüm eğrileri kullanılır. Üst hava yolu darlıklarında akım volüm eğrisinde 3 farklı tipte görüntü meydana gelir.

- a- Fiks obstrüksiyon,
  - b- Trakeanın intratorasik bölümünün fiks olmayan lezyonla obstrüksiyonu,
  - c- Trakeanın ekstratorasik bölümünün fiks olmayan lezyonla obstrüksiyonu.
- Şekilde, akım volüm eğrisindeki görüntüleri verilmiştir.



ŞEKİL-2: Yukarı solunum yolları obstrüksiyonlarında akım-volüm eğrileri (1).

Küçük hava yolu obstrüksiyonu: KOAH'taki erken değişiklikler daha çok küçük hava yollarında (çapı 2mm'nin altında) meydana gelir. Spirogramda FEF<sub>25-75</sub>, akım volüm eğrisinde Vmax50 ve Vmax25 küçük hava yollarındaki akım hızlarını gösterir. Küçük hava yolu hastalığında diğer değerler normal olsa bile bu parametreler düşük saptanır.

Pefmetre: Tepe akımı ölçümü, hastanın derin bir inspiryum sonrası hızlı bir ekspiryum yapması ile elde edilen en yüksek değerdir. Tepe akımı hava yolu obstrüksiyonunu yansıtır. Tepe akımı ölçümü aşağıdaki durumlarda kullanılır.

- Astım tanısı,
- Meslekle ilgili solunumsal semptomların değerlendirilmesi,
- Tedavi etkinliğinin takibi,
- Gelen krizleri haber verme,
- Hastanın hastalığının kontrolünde sorumluluğunu artırma,
- Yeni astım ilaçlarının günlük etkinliğinin değerlendirilmesi,
- Epidemiyolojik astım ve hava kirliliği çalışmaları.

Günlük PEF değişkenliği (%) :  $\text{Maksimum akım} - \text{Minimum akım} \times 100$   
formülü ile hesaplanır.% 20'nin üzeri patolojiktir.

### c. Pletismograf

Sabit ısıda basınç ve volüm arasındaki ilişkiye dayanır. Pletismografda akciğer volümleri torasik gaz volümü (Vtg) aracılığıyla ölçülür. Torasik gaz volümü herhangi bir seviyede veya zamanda ölçülen gaz volümüdür. Ölçüm yapılacak olan kişi kapısı kapatılmış odacıkta bir ağızlık aracılığıyla pnömotakografa bağlanır, önce normal soluk alıp verir. Daha sonra normal ekspirasyonun bitiminde bir valv (shutter) aracılığıyla sistem kapatılır ve kişinin bu kapalı sisteme karşı kısa kesik solumalar (panting) yapması istenir. Bu soluma aracılığıyla kişinin akciğerlerindeki hapsolmuş havanın (torasik gaz volümü) kompresyonu ve dekompresyonu

sağlanır. Daha sonra shutter açıldığında derin inspirasyon manevrası yaptırılarak TLC ölçülür. Hava akımı olmadığından, Boyle kanununa dayanarak volüm ve basınç değişikliklerinden hapsolmuş hava volümü hesaplanır. Genellikle normal ekspirasyonun bitiminde ölçüldüğü için doğrudan FRC hesaplanmış olur. Bu kanuna göre ısı sabit olduğunda volüm basınçla ters orantılı olarak değişir. Normal ekspirasyonun sonunda ağızlık kapatılır ve zorlu solunum yapılması istenir. Kapalı hava yoluna karşılık soluk alınmaya çalışılır. Ağız içi basınç, alveol basınca eşittir. Akciğer volümü artarken, kutu basıncı artar.

Boyle Kanununa göre;

Basınç X Volüm = sabittir. (sabit sıcaklıkta)

P1= Kutu insp. önceki basınç

P2= Kutu insp. sonraki basınç

V1= Kutu insp. önceki hacim

$\Delta V$ = Kutudaki hacim değişikliği

$P1 \cdot V1 = P2 \cdot \Delta V (V1-V2)$

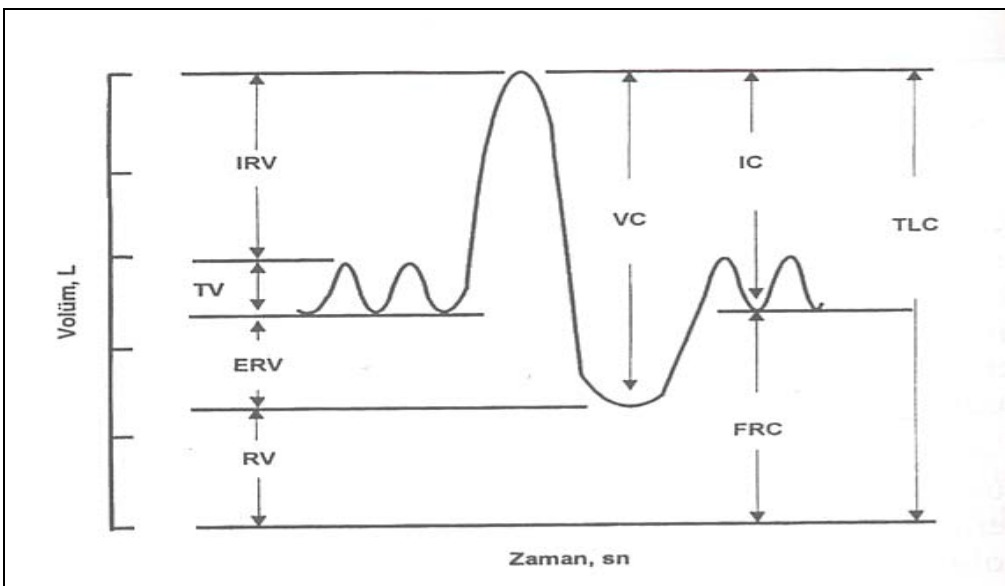
$V2 = FRC$

Volüm pletismografında volüm değişiklikleri pletismografa eklenmiş bir spirometre aracılığıyla ölçülür. Basınç pletismografında ise göğüs kafesinin kompresyon ve dekompresyonu sırasında oluşan basınç değişimleri pletismografin duvarında bulunan bir basınç transduseri aracılığıyla kaydedilir. Akım pletismografında ise bir pnömotakograf aracılığı ile akımlar ölçülür. Göğüs duvarının kompresyon ve dekompresyonu ile kabin içindeki hava pnömotakografa girer ve çıkar. Bu akım ölçülerek volüm entegrasyonunda kullanılır.

Total akciğer kapasitesi ve alt bölümlerinde artma amfizemde gözlenen bir bulgudur. Erken dönemde özellikle RV ve buna bağlı olarak FRC'de artma belirginken, havayolu obstrüksiyonunun ileri derecede olduğu olgularda TLC'de de artma gözlenir. Özellikle dev büllerin bulunduğu amfizemli hastalarda TLC artışı belirgindir. Yine bu olgularda RV/TLC oranında da artma vardır.

Statik akciğer volümleri total akciğer volümlerinin alt bölümleri olan volümler ve kapasitelerdir. Akciğer volümleri; Tidal veya solunum volümü (TV), inspirasyon yedek volümü (IRV), ekspirasyon yedek volümü (ERV) ve rezidüel volümünden (RV) oluşur.

İki veya daha fazla volümün kombinasyonu kapasiteleri oluşturur. Akciğer kapasiteleri; total akciğer kapasitesi (TLC), vital kapasite (VC), inspirasyon kapasitesi (IC) ve fonksiyonel rezidüel kapasite (FRC) dir.



ŞEKİL-3: Akciğer volüm ve kapasiteleri spiogramı (1).

Volümler ve kapasiteler spirometre ile ölçülebilir. Sadece RV ve RC ölçümleri spirometre ile yapılamaz. Bu parametreler, vücut pletismografi veya referans gazı olarak helyum veya azotun kullanıldığı gaz dilüsyon tekniklerine ihtiyaç vardır.

#### Gaz Dilüsyon Yöntemleri

- Açık devre nitrojen wash-out yöntemi:
- Kapalı devre Helyum dilüsyon yöntemi:

#### Açık devre nitrojen wash-out yöntemi

Hastaya birkaç dakika % 100 O<sub>2</sub> solutularak akciğerlerde bulunan nitrojenin dışarı atılması esasına dayanır. Ekspire edilen hava N<sub>2</sub> konsantrasyonu % 1'in altına ininceye kadar Douglas torbasında toplanır. Akciğer volümü ekspire edilen nitrojen volümünden, başlangıçtaki alveoler N<sub>2</sub> konsantrasyonunun % 80 olduğu kabul edilmek koşuluyla hesaplanır.

#### Kapalı devre Helyum dilüsyon yöntemi

Akciğer volümlerinin ölçülmesinde rutin uygulamada en sık kullanılan yöntemdir. İnert bir gaz olan helyumun bilinen volüm ve konsantrasyonda inhale ettirilmesinden sonra bu gazın her iki akciğere dengeli bir şekilde dağılması esasına dayanır. Bu amaçla % 10 He içeren gaz karışımı kişiye helyum konsantrasyonu stabil bir seviyeye düşene kadar ( 30 saniye süre ile %0.92'den fazla değişiklik olmamalı) inhale ettirilir. Testin sonundaki helyum konsantrasyonu kaydedilir.

Helyum Dilüsyon tekniği

$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot (V_1 + V_2)$$

C<sub>1</sub>=Helyumun tüpteki başlangıç konsantrasyonu

C<sub>2</sub>=Helyumun tüpteki son konsantrasyonu

V<sub>1</sub>= Tüp başlangıç hacmi

V<sub>2</sub>=FRC

RV= FRC - ERV

Volümler ve kapasitelerin normal değerleri, yaş, cinsiyet ve boya göre kişiden kişiye farklılık gösterir. Bu nedenle test sonuçları "normal ön sayım değerleri" ile karşılaştırılarak değerlendirilmeye alınır. Normal ön sayım değerleri; farklı yaş, cinsiyet ve boya bir grup normal insanın ortalaması alınarak hesaplanır. Test sonuçları normal ön sayım değerleri ile karşılaştırılarak değerlendirilir.

Statik akciğer volümlerine ait 3 klinik patern vardır.

- Normal,
- Restriktif,
- Overinflasyon.

Normal: Herhangi bir akciğer volümü için normal ön sayım değerinin %80 ile %120'si normal kabul edilir.

Restriksiyon: Akciğer volüm ve kapasiteleri normalin %80'nin altındadır. Restriktif akciğer hastalıklarında altın standarttır. Hafif, orta ve ağır olarak ayrılır.TLC ve RV azalmıştır.

VC'nin önsayım değerinin yüzdesi

%80<	normal
%65-80	hafif
%50-65	orta
%50>	ağır

Overinflasyon: RV,TLC ve RV/TLC'de artma görülür.

## 2. Basınçlar

**Maksimum inspiyum basıncı (MIP):** İnspiyum kas gücü direkt olarak kapalı bir hava yoluna karşı maksimum istemli inspiyum yapılırken ölçülür. MIP rezidüel volüme kadar zorlu ekspiyum yapıldıktan sonra yapılan maksimum inspiyum manevrası sırasında ölçülen maksimum negatif basınçtır. Tamamen kapalı hava yoluna karşı 20 saniye süre ile veya 10 nefes alacak şekilde soluduktan sonra ölçülen izometrik basınçtır. İnspiratuar kaslar solunumda büyük bir rol oynadıkları için MIP ölçümü kas fonksiyonlarını göstermekte oldukça kullanışlıdır. Genellikle MIP'nin 30 cmH<sub>2</sub>O'nun üzerinde olması MV'nin sonlandırılması zamanını iyi tahmin etmektedir.

MIP için normal değerler 120 cmH<sub>2</sub>O civarındadır. 80 cmH<sub>2</sub>O üzerinde olması ile klinik açıdan anlamlı hastalık dışlanabilir. MIP değerinin 30 cmH<sub>2</sub>O altında olması solunum yetersizliğinin belirtisidir. Mekanik ventilatöre bağlı hastalarda MIP ventilatörden ayırma zamanının gelmediğini değerlendirmede yararlı olmaktadır. Mekanik ventilatördeki hastalarda 30 cmH<sub>2</sub>O altındaki MIP değerleri ayırma sırasında başarısızlıkla sonuçlanacağını da göstergesidir (23-25).

**Maksimum ekspiratuar basınç (MEP):** TLC düzeyinde MEP ölçülür. Solunum yeteneğini belirlemede daha zayıf prediksyon gösterse de olguların öksürebilme yetenekleri konusunda bilgi vermektedir. Zayıf öksürük solunum kas gücü sınırının belirtisidir. Taşınabilir cihazlarla MEP ve/veya MIP ölçü yapılabilir. Fakat güvenilirlik açısından laboratuarda ölçümlerin yapılması daha doğrudur.

#### **Transdiafragmatik ölçümler**

Sniff PDI: İnspiratuar kas gücünü ölçmek için her ne kadar yaygın bir kullanım alanı olmasa da en hassas, istemli ve tekrarlanabilir testtir. Nazal yoldan mideye ve özafagusa balon katater yerleştirilerek yapılır. Hastaya kuvvetli bir burun çekme işlemi yaptırılarak basınçlar ölçülür. Transdiafragmatik basınç iki transducerin ucundan ölçülen basınç farkıdır.

Twitch PDI: Bu yöntemde de transdiafragmatik basınç ölçülmektedir. Aradaki fark ölçüm sırasında phrenic sinire magnetik stimulyasyon verilir. İnspiratuar kas gücünü ölçmede gold standart olarak bildirilmektedir. Aynı zamanda kompleks olguların açıklanmasında diğer testlerden çok daha kullanışlıdır.

### **3. Direnç**

Havayolu rezistansı (Raw) akımın her bir ünitesine karşı ağız (atmosferik basınç) ve alveol basıncı arasındaki farktır. Bu basınç farkı iletici havayollarında bulunan gaz moleküllerinin sürtünme etkisi sonucunda ortaya çıkar. Havayolu iletimi (Gaw) ise havayolundaki her bir ünite basınç düşmesine karşılık gelen akımdır ve Raw'ın resiprokudur. Spesifik iletim (sGaw) her bir litre akciğer volümüne denk gelen iletim, spesifik rezistans ise (sRaw) spesifik iletimin resiprokudur. Total pulmoner rezistans ise havayolu rezistansı ile doku rezistansının toplamından oluşur. Doku rezistansı total pulmoner rezistansın ortalama % 10'unu meydana getirir.

Pulmoner fibrozis ve interstisyel dokuda artışa neden olan durumlarda artabilirse de genellikle klinik önem taşımamaktadır. Havayolu rezistansı total pulmoner rezistansın en önemli kısmını oluşturur. Hava akımına karşı oluşan rezistansın büyük kısmı yukarı havayollarına aittir. Nazal solunum sırasında burun total havayolu rezistansının % 50'sini oluşturur. Ağızdan normal soluma yapıldığında ise ağız, farinks, larinks ve trakea total havayolu rezistansının % 20-30'unun oluştururken, egzersiz gibi dakika ventilasyonunun arttığı durumlarda bu oran % 50'ye çıkar. Geri kalan rezistansın büyük kısmı ise orta çaplı lob, segment ve subsegment bronşlarından (7. jenerasyona kadar) kaynaklanır.

Periferik havayollarının total havayolu rezistansına katkısı azdır. Havayolu rezistansı havayolunun çapını direkt olarak yansıtan bir parametredir. Havayolları parasempatik ve sempatik sinir sisteminin kontrolü altındadır. Vagal aktivite bronkomotor tonusu sağlamaktadır ve sirkadian ritme sahiptir. Havayolu kalibresini belirleyen bir diğer faktör ise komplianstır. İntratorasik havayollarını çevreleyen akciğer parankiminin elastik recoil gücü havayollarının açık kalmasını sağlayan bir faktördür. Akciğer volümü arttıkça akciğer elastik recoili de artar,

havayolu duvarına uygulanan traksiyon gücü de artarak havayollarının genişlemesine, dolayısıyla rezistansın azalmasına yol açar. Düşük akciğer volümlerinde ise transmural havayolu basıncı düşük, havayolu rezistansı yüksektir. Havayolu rezistansı (Raw) ve volüm arasında negatif, küvilinear bir korelasyon vardır. Buna karşılık havayolu iletimi (Gaw) ile volüm arasında pozitif korelasyon bulunur ve bu ilişki rezistanstan farklı olarak lineerdir. Havayolu kalibresini belirleyen en önemli faktör ise havayolu düz kasıdır.

Havayolu düz kasının mekanik özellikleri uzunluk-gerilim ve güç-hız ilişkileri ile tanımlanmıştır. Havayolu düz kasının uzunluk-gerilim özelliği iskelet kasına benzemekle birlikte aynı stimulus karşısında daha fazla kısalma yeteneğine sahiptir. İskelet kasından farklı olarak havayolu düz kası maksimum kısalma düzeyine daha geç ulaşır, ama kısalmanın % 90'ı 3 saniye içinde gerçekleşir. Havayolu rezistansı hava akım hızlarını belirleyen bir faktördür. Akciğerlerden içeri ve dışarı havanın akabilmesi için gerekli sürücü basınç sürtünme etkisine karşı koyabilecek düzeyde olmalıdır. Sürücü basınç hava akım hızı ve hava akımı paterninden etkilenir. Havayollarında akım laminer veya türbülant olabilir. Laminer akım düşük akım hızlarında oluşur, akım aksiyel yöndedir ve bronşun merkezine doğru artar. Bu tip akımda sürücü basınç ( $\Delta P$ ) (havayolunun başı ve sonu arasındaki basınç düşüşü) Poiseuille kanununa göre havayolunun uzunluğu ( $l$ ) ve çapı ( $r$ ) ile gazın viskozitesi ( $\eta$ ) tarafından belirlenir. Bu durumda sürücü basınç viskozite ve akım ( $V$ ) ile doğru, havayolu çapı ile ters orantılıdır. Türbülant akım ise yüksek akımlarda ortaya çıkar, bu durumda akım hem aksiyel, hem de radial yöndedir ve moleküllerin zigzag çizerek birbiriyle çarpışması sonucunda hızda değişme olur. Türbülant akımın hızı sürücü basınçla orantılı değildir. Türbülant akım normal koşullarda trakea ve ana bronşlarda meydana gelir. Türbülant akım laminer akıma göre daha fazla havayolu rezistansı yaratır.

Havayolu rezistansı 4 yolla ölçülür:

- 1) Vücut pletismografisi
- 2) Özofagus balon kateter metodu
- 3) Zorlu ossilasyon tekniği
- 4) Hava akımı kesilme (interrupter) tekniği (Rint)

Vücut pletismografisi insanda direkt olarak havayolu rezistansının ölçülebildiği tek methodur. Aynı zamanda akciğer volümlerinin ölçülmesi de mümkün olduğundan spesifik rezistans ve iletimin ölçülmesine de olanak tanır. Bu teknikte hastaya shutter açık olarak kısa kesik soluma yaptırılırken hava akımı direkt olarak pnömotakograf aracılığıyla ölçülür ve akım ile pletismograf basıncı arasında S biçiminde bir eğri elde edilir. Daha sonra normal ekspirasyonun sonunda shutter kapatılarak ağız basıncı/pletismograf basıncı oranı elde edilir. Özofagus balon kateter metodu total akciğer rezistansını ölçmek amacıyla kullanılır. Ölçüm komplians ölçümüne benzer. Tidal solunum sırasında akciğerin elastik recoil gücü (dinamik komplians, C<sub>dyn</sub>) ve akciğerin direnç özelliklerine (total akciğer rezistansı, RL) karşı koyacak bir plevra (ya da özofagus) basıncı oluşmaktadır. Ağızda simultane akım ve akciğer volümlerindeki değişmelerin ölçümü aracılığıyla özofagus basıncındaki değişme C<sub>dyn</sub> ve RL bölümlerine ayrılarak hesap yapılır. İnvaziv oluşu nedeniyle genellikle kullanılmamaktadır. Zorlu ossilasyon tekniğini pletismograf gibi 1950'lerde geliştirilmesine karşın klinik fizyoloji uygulamalarında yaygınlık kazanmamıştır. Dışarıdan ossilatör ve amplifikatör aracılığıyla uygulanan değişik frekanslardaki ses titreşimlerinin yarattığı mekanik değişiklikler yoluyla total havayolu rezistansı yanısıra akciğer ve göğüs duvarı doku rezistansını da içeren total respiratuar rezistansı ölçer. Havayolu obstrüksiyonu olanlarda tüm frekanslarda rezistans (R<sub>rs</sub>) normale göre yüksek, reaktans (X<sub>rs</sub>) ise düşüktür. Hava akımı kesilme (interrupter) tekniği (Rint) havayolu rezistansını ölçen en basit yöntemdir. Bu teknik spontan solunum sırasında havaakımının sistemin oklüzyonu ile kesilmesi, oklüzyondan hemen önce ölçülen akımın oklüzyondan sonra ölçülen ağız basıncı aracılığıyla yansıtılan alveoler basıncına oranlanması esasına dayanır. Diğer üç metoda göre duyarlılığı daha azdır ancak basitliği nedeniyle hasta başı test olarak kullanılabilir. Ayrıca ventilatöre bağlı hastalarda da solunum mekaniği analizleri bu yöntemle sağlıklı olarak yapılabilir.



Havayolu rezistansı ölçümünün endikasyonları şunlardır:

1)Obstrüktif akciğer hastalığı tanısı veya tanının kesinleştirilmesi: Obstrüktif hastalıkların erken evresinde akım hızları normal olduğu halde Raw artmış olabilir. Akut başlayan hafif dereceli bronkospazmda santral havayollarında daralma varsa bunu ortaya koyabilir. 2)Hiperreaktivitenin değerlendirilmesi: Özellikle sGaw bronkodilatör etkisinin veya egzersiz ya da kimyasal ajanlarla yapılan bronkoprovokasyonun değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Ancak spesifikliğı fazla değildir.

3)Obstrüktif hastalıkların ayırıcı tanısı: Bazı araştırıcılar Raw ölçümünü amfizem (normal inspiratuar rezistans, azalmış akciğer elastik recoili) ve kronik bronşiti (yüksek inspiratuar rezistans, normal elastik recoil) birbirinden ayırmak için kullanmışlardır. Yüksek ekspiratuar rezistans düşük inspiratuar rezistans ilerlemiş amfizem için tipiktir.

4)Akım kısıtlanmasının lokalizasyonunun saptanması: Rezistansın önemli bölümü büyük havayollarından kaynaklandığından büyük havayollarında etkilendiğı astım olgularında ya da yukarı havayollarında daralmaya neden olan durumlarda Raw artışının periferik havayolu hastalıklarından daha belirgin olacağı ileri sürülmüştür. Ancak büyük ve küçük havayolu obstrüksiyonunu ayırmada yeterince hassas bir parametre değildir.

5)Lokalize obstrüksiyonun değerlendirilmesi: Yukarı havayolları obstrüksiyonunda yapılan çalışmalar inspiratuar ve ekspiratuar Raw'ın arttığını göstermiştir. Karina hizasının altındaki lokalize daralmalarda hassasiyeti azalmaktadır. Yukarı havayolu obstrüksiyonunun değerlendirilmesinde akım volüm eğrilerinden daha hassas olabilir.

Büyük havayolları obstrüksiyonunda Raw artar, genellikle solunum işinde artma ve efor dispnesi ile birlikte dir. Astmada Raw normal değerlerin 3 katına kadar artabilir. Astmada havayolu düz kasındaki proliferasyon sonucunda düz kas kontraksiyonunun daha belirgin olmasının yanısıra kronik inflamasyon sonucu submukoza tabakasında kalınlaşma ve trakeobronşial mikrodolaşımdan plasma eksüdasyonu sonucunda adventisya tabakasında kalınlaşma stimulusa karşı aşırı cevabı doğurmakta, bunun sonucunda havayolu lümeninde belirgin daralma, Raw'da artma ve hava akım hızlarında azalma meydana gelmektedir. KOAH'ta da hastalığın şiddetiyle orantılı olarak Raw artar. Hava akım hızlarındaki azalmayla Raw artışı arasında kuvvetli negatif korelasyon vardır.

KOAH'ta Raw artışı periferik havayollarının inflamasyon ve fibrozis ile daralmasına ve akciğer elastisitesinde azalma nedeniyle destek dokusunu kaybeden havayollarının kollapsının kolaylaşmasına bağlanmıştır. Amfizemde elastik recoil gücünün azalması Raw'ı arttıran en önemli faktörken, kronik bronşitte havayollarında biriken sekresyonlar, ödem ve düz kas konstrikşiyonu Raw artışına neden olur. Amfizemin % 20'den fazla alan kapladığı olgularda Raw'ın arttığı ve hava akım hızlarının azaldığı bildirilmiştir. Zorlu ossilasyon tekniğıyle yapılan bir çalışmada 27 astmalı, 28 kronik bronşitli ve 20 amfizemli hastanın fonksiyonel özelliklerinin karşılaştırılmasında total respiratuar rezistansın (Rrs) her üç grupta da arttığı, reaktansın (Xrs) ise azaldığı, ancak bu değışikliklerin astmalı grupta çok daha belirgin olduğu saptanmıştır. Bu çalışmada gruplar arası ayırıcı tanıda zorlu ossilasyon parametrelerinin diğ er fonksiyonel parametrelerden daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

#### 4. Komplians

Solunum sisteminin ventilasyon fonksiyonu akciğerler ve göğüs duvarının elastik ve nonelastik davranışlarındaki değışiklikler sonucu bozular. Göğüs duvarı ve akciğerlerin ayrı ayrı veya birlikte elastik özelliklerinin en doğru değerlendirilmesi statik basınç volüm eğrilerinden elde edilen "statik kompliyans" ölçümü ile yapılmaktadır.

Statik basınç volüm eğrisi; maximum ekspirasyon sırasında transpulmoner basınç ile bu basınç sonucu ortaya çıkan akciğer volümlerinin hava akımı durduğu anda ölçülmesi ile saptanır. Böylece elde edilen eğri üzerinde birim basınç değışikliğı ile meydana gelen volüm değışikliğı statik kompliyans olarak tanımlanır. Kompliyans, vücut pletismografisi ile ölçülür.

Restriktif akciğer hastalıklarında olduğu gibi akciğer esnekliğinin arttığı hallerde basınç-volüm eğrisi aşağıya sola doğru yer değiştirir. Amfizemde olduğu gibi akciğer esnekliğinin azaldığı hallerde eğri yukarı ve sağa yer değiştirir. Restriktif akciğer hastalıklarında kompliyans düşük, amfizemde artmıştır.

Kompliyansın spontan solunumda ölçülmesi ile dinamik kompliyans elde edilir.

## 5. Difüzyon Ölçümü

Difüzyon alveolokapiller membranda O<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> geçişidir. Difüzyon alveoldeki gaz karışımının ve kanda erimiş halde bulunan gazların parsiyel basınçlarına bağlı olarak meydana gelir. Herhangi bir gazın alveolokapiller membranda 1mmHg'lik basınç farkı ile 1 dakikadaki geçiş hızına difüzyon kapasitesi denir. Akciğerlerin difüzyon kapasitesi CO veya O<sub>2</sub>'nin referans gaz olarak kullanılması ile ölçülür. Ancak en uygun gaz CO'dir. Karbonmonoksit difüzyon testi (DLCO); başlıca intersitisyel akciğer hastalıkları gibi alveolokapiller membran hastalıklarında ve amfizem, bül, pnömonektomide alveol kaybına bağlı olarak alveolokapiller membran alanının küçüldüğü durumlarda azalır. Alveolar hemoraji durumlarında artar. Ağır anemi, eritrosit sayısı ve hemoglobinin çok düşük olduğu durumlarda gazın yeterince alınamamasına bağlı difüzyon düşük çıkabilir. Bu hallerde test yapılmamalıdır.

Bir gazın alveolokapiller membranından geçiş hızı şu formülle hesaplanır.

$$V = \frac{A k \alpha (P_1 - P_2)}{h}$$

V: Bir gazın belli bir zamanda difüze olma hızı

A: Difüzyonun gerçekleşeceği yüzeyin alanı

k: Difüzyon sabitesi

$\alpha$ : Gazın çözünürlüğü

P<sub>1</sub>-P<sub>2</sub>: Difüzyonun gerçekleşeceği iki ortam arasındaki parsiyel basınç farkı

h: Membranın kalınlığı

CO alveol gazından eritrosit içine hızla girer. Hb'e olan affinitesi oksijenden 210 kat fazladır. CO ile Hb arasındaki sıkı bağlantıdan dolayı plazma parsiyel basıncında herhangi bir değişim olmadan yüksek miktarlarda CO Hb ile bağlanır. Bu nedenle CO'nun difüzyonunu sınırlayan tek şey alveolo-kapiller membrandır. Kapillere geçen CO, doğrudan hemoglobine bağlandığından, kişinin hemoglobin miktarı (Hb) test sonucunu etkilemektedir. Düşük eritrosit sayısı, daha düşük CO alımına neden olacaktır. Hb miktarına göre düzeltme yapılarak düşük olan DLCO kapasitesini düşük hemoglobin değerinden bağımsız hale getirilmektedir. Bu nedenle, sonucun Hb uyarlanmış haline bakılması gerekir (DLCO<sub>adj</sub>).

Difüzyon kapasitesi çeşitli yöntemlerle ölçülebilmeye karşın, en sık kullanılan yöntem, 10 saniye "tek nefes tutma" tekniğidir (single breath holding method). Tek nefes difüzyon kapasitesi klinik bir test olarak Ogilvie ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir(11). Test yapılan kişi önce rezidüel volüm düzeyine kadar nefesini boşaltdıktan sonra, sistemde bulunan gaz karışımından (%0.3 CO, %10 He, %21 O<sub>2</sub> ve geri kalanı N<sub>2</sub>) inhale eder. Bazı laboratuvarlarda CO ve He yanında normal oda havası eklenir. Böylece O<sub>2</sub> konsantrasyonu yaklaşık %18 olur, total akciğer kapasitesine kadar inspire eder ve bu düzeyde soluğunu 10 saniye tutar. Daha sonra da maksimum ekspirasyon yapar. CO içeren karışımın inspirasyondan sonra alveoldaki konsantrasyonu, kapiller kana geçmesi nedeniyle hızla düşer. Difüzyona uğrayan CO volümü inspire edilen gaz volümünün başlangıç ve bitiş CO konsantrasyonlarından hesaplanır. Gaz karışımında bulunan ve inert bir gaz olan helyum (He) akciğer volümlerinin hesaplanmasında kullanılır (12). Difüzyon kapasitesinin yüksek oluşu 10 saniyede süren tek inhalasyonda ne kadar çok CO'in geçtiğini gösterir. DLCO, gazın alveoldan, interstisyumdan kana geçebilirliğini; bu bölgede varolan hasarı veya abnormaliteyi gösterir.

Eğer restriksiyon varsa DLCO'daki düşüklük CO'nın kana geçişi azaldığından değil, inspire edilen CO volümü azaldığından ve dolayısıyla absorbe edilen CO miktarı azaldığındandır. Bu nedenle alveolar volüm (VA) difüzyon kapasitesi hesaplanırken dikkate alınmalıdır. DLCO/VA oranına bakılarak patoloji değerlendirilir ve bu oranın %80 veya daha fazlası normal olarak kabul edilir. Bu değer havalandırılan akciğer birimi başına düşen difüzyonu gösterir. Özetle, difüzyon kapasitesi için eğer tek bir parametreye bakılacak ise bu DLCOAdj/VA olmalıdır (13,14). Difüzyon kapasitesini etkileyen faktörler: sigara içimi, hemoglobin düzeyi, vücut pozisyonu ve egzersiz, inspirasyon ve ekspirasyon manevraları, yükseklik, oksijen konsantrasyonu, akciğer volümleri, diüurnal değişim, menstrüel siklus, alkol alımı, cinsiyet ve etnik durumdur (15, 16).

DLCO'nun azaldığı durumlar: Obstruktif akciğer hastalıkları (amfizem, kistik fibrozis), parankimal akciğer hastalıkları (interstisyel akciğer hastalıkları, sarkoidoz), sistemik hastalıkların akciğer tutulumu (SLE, progresif sistemik skleroz, mikst bağ dokusu hastalıkları, romatoid artrit, dermatomiyozit, inflamatuvar barsak hastalıkları), kardiyovasküler hastalıklar (akut miyokard infarktüsü, mitral stenoz, primer pulmoner hipertansiyon, pulmoner ödem, pulmoner tromboemboli), diğer (anemiler, kronik böbrek yetmezliği, kronik hemodiyaliz, akut ve kronik alkol kullanımı, sigara içimi, kokain kullanımı, BOOP) (17).

DLCO'nun arttığı durumlar: Polisitemi ile giden hastalıklar, alveolar hemorajiler (Goodpasture sendromu, Wegener granulomatozusu vb) ile pulmoner kan akımının arttığı durumlarda (sol-sağ intrakardiyak şantlar) DLCO beklenenden yüksek bulunur. Astımda ise difüzyon testi genelde normal bulunurken, ataklarda DLCO'da artış görülebilir (14).

## 6. Arteriyel Kan Gazı

Arter kan gazı (AKG), birçok hastalığın tanı ve izleminde kullanılan, oksijenasyon ve karbon dioksit (CO<sub>2</sub>) eliminasyonu ile ilgili önemli bilgiler sağlayan bir yöntemdir. Uygun koşullarda elde edilen arteriyel kanın pH, CO<sub>2</sub> ve O<sub>2</sub> değerleri bir cihaz yardımıyla direkt olarak ölçülürken, bikarbonat (HCO<sub>3</sub>) ve puls oksimetre ile ölçülen arteriyel oksijen saturasyonu (SpO<sub>2</sub>) bu ölçümlerden indirekt olarak hesaplanır. HCO<sub>3</sub> hesaplanması için pH ve CO<sub>2</sub> değerlerine, SpO<sub>2</sub> hesaplanması için pH ve O<sub>2</sub> değerlerine ihtiyaç vardır (18).

### AKG örnekleme

Arter kan gazı alınması için en uygun damar radyal arterdir. Radyal arterden ponksiyon yapılmadan önce Allen testi ile Ulnar arterin açık olup olmadığı test edilmelidir. Allen testinde el yumruk yapılarak yukarı kaldırılır ve 20 sn kadar bu şekilde tutulurken aynı anda da a. radialis ve a. ulnaris'e baskı uygulandığında el solmaya başlıyor, ve yumruk açılıp a. ulnaris'ten baskı kaldırıldığında el yeniden kızarıyorsa a. ulnaris'ten yeterli kollateral dolaşım oluyor demektir ve ponksiyona geçilebilir (19). Önce cilt iyotlu bir solüsyonla dezenfekte edilir. El bileği hafif ekstansiyonda iken radyal arterin pulsasyonu hissedilir. İnce uçlu ve heparinle yıkanmış bir enjektör ile damarın uzun eksenine 30°'lik açı yapacak şekilde artere girilir. Damara girildiğinde iğneden açık renkli arteriyel kan geldiği görülür. Enjektör yerinden oynatılmadan 1-2 mL kan aspire edilir. Enjektör çıkarıldıktan sonra ponksiyon yerine en az 5 dk. süreyle gazlı bez ile kompresyon uygulanması yeterlidir.

Alınan örnek en kısa sürede laboratuara ulaştırılmalı ve değerlendirilmelidir. Alınan enjektörün içerisinde fazla heparin kalması, hava olması kan gazı değerlerini değiştirebileceği için dikkatli olunmalıdır.

Arteriyel kan gazlarının doğru değerlendirilmesi tedavide yönlendirici olmaktadır. Arter kan gazları, kritik durumdaki hastaların ve solunum sistemi hastalıklarının tedavisinde gerekli olan bilgiyi sağlamaktadır.

İlk olarak kan gazının pH'sına bakılır. Hastada asidoz ya da alkaloz kararı verilir. Daha sonra, PaO<sub>2</sub> ve HCO<sub>3</sub> değerleri göz önüne alınarak, mevcut asidoz veya alkalozun solunumsal mı, metabolik kaynaklı mı olduğuna bakılır. Bir sonraki aşamada ise bu durumun akut ya da kronik olarak geliştiğine karar verilir. Normal AKG değerleri şu şekildedir.

pH= 7.36-7.44

PCO<sub>2</sub>= 36-44 mmHg

HCO<sub>3</sub>= 22-26 mEq/L

Asidoz: Ekstraselüler sıvı pH'sının düşmesine yol açan bir durumdur. Henderson-Hasselbalch eşitliğine (  $pH = 6.10 + \log ([HCO_3^-] \div [0.03 \times PCO_2])$ ) göre bu durum ekstraselüler (ya da plazma) bikarbonat konsantrasyonundaki düşmeye ya da PCO<sub>2</sub>'deki artışa bağlı olabilir.

Alkaloz: Ekstraselüler sıvı pH'sının artışına yol açan bir durumdur. Henderson-Hasselbalch eşitliğine göre bu durum ekstraselüler bikarbonat konsantrasyonundaki artışa ya da PCO<sub>2</sub>'deki düşmeye bağlı olabilir.

Solunumsal asidoz: Düşük pH ve yüksek PCO<sub>2</sub>

Solunumsal alkaloz: Yüksek pH ve düşük PCO<sub>2</sub>

Metabolik asidoz: Düşük pH ve düşük bikarbonat konsantrasyonu ile karakterizedir

Metabolik alkaloz: Yüksek pH ve yüksek bikarbonat konsantrasyonu ile karakterizedir.

*Solunumsal asit-baz bozuklukları*

Eğer PCO<sub>2</sub> anormal ve PCO<sub>2</sub> ve pH zıt yönlerde değişmişse primer olarak solunumsal bir asid-baz bozukluğu vardır.

Solunumsal asid-baz bozukluklarında akut ve kronik kompensasyon mekanizmaları devreye girer. Hücre tamponlanması dakikalar veya saatler içinde oluşur ve böbrek kompanzasyonu 3-5 günden önce tamamlanmaz. Sonuçta akut ve kronik bozukluklarda farklı yanıtlar ortaya çıkar (18).

Akut solunumsal asidozda plazma bikarbonat konsantrasyonu PCO<sub>2</sub>'deki her 10 mmHg artış için 1 mEq/L artar. Kronik solunumsal asidozda plazma bikarbonat konsantrasyonu PCO<sub>2</sub>'deki her 10 mmHg artış için 3.5 mEq/L artar. Serum HCO<sub>3</sub> düzeyinin 32'nin üzerinde olması genellikle olaya metabolik alkalozun eşlik ettiğini düşündürür. Serum HCO<sub>3</sub>'ün normalin altında olması ise olaya metabolik asidozun ilave olduğunu gösterir.

Akut solunumsal asidoza yol açan patolojiler, hava yolunun ani tıkanması, solunum merkezinin depresyonu, dolaşım kollapsı, nörojenik nedenler ve restriktif bozukluklar olarak sıralanabilir. Kronik solunumsal asidoza yol açan patolojiler ise kronik hava yolu tıkanması, solunum merkezi depresyonu, nörojenik sebepler ve restriktif bozukluklardır.

Akut solunumsal alkalozda plazma bikarbonat konsantrasyonu PCO<sub>2</sub>'deki her 10 mmHg düşme için 2 mEq/L düşer. Kronik solunumsal alkalozda plazma bikarbonat konsantrasyonu PCO<sub>2</sub>'deki her 10 mmHg düşme için 4 mEq/L düşer. Solunumsal alkalozu yol açan patolojiler santral sinir sistemi patolojileri, direkt solunum stimülasyonu yapan ilaçlar, sepsis, siroz, gebelik, akciğer kompliyansında azalma, anksiyete hiperventilasyon sendromu, akut pulmoner emboli, karbonmonoksit zehirlenmesi olarak sayılabilir(18).

*Metabolik asit-baz bozuklukları*

Eğer pH anormal ve pH ve PCO<sub>2</sub> aynı yönde değişmişse olay primer olarak metaboliktir. Solunumsal kompanzasyon plazma bikarbonat konsantrasyonundaki her 1 mEq/L düşme için PCO<sub>2</sub>'de 1.2 mmHg düşmeye yol açar (19). Bu yanıt ilk saat içinde başlar ve 12-24 saatte tamamlanır. Metabolik asidoza yol açan patolojilerde asidoz normal anyon açıklığı ve yüksek anyon açıklığı olabilir. Normal anyon açıklığı metabolik asidoz sebepleri içerisinde bikarbonat kaybı, distal renal tübüler asidoz ve tampon eksikliği sayılabilir. Yüksek anyon açıklığı metabolik asidoza ise laktik asidoz, diyabetik ketoasidoz, intoksikasyonlar (salisilat, metanol, etilen glikol) ve üremi sebep olarak sayılabilir. Metabolik alkalozu yol açan patolojiler arasında ekzojen bikarbonat verilmesi, gastrointestinal sistemden kaynaklanan kayıplar, hipokloremi, diüretik kullanımı, primer aldesteronizm, Cushing sendromu ve hipopotasemi bulunmaktadır.

## 7. Kardiyopulmoner Egzersiz Testleri

Dispnenin ayırıcı tanısı göğüs hastalıkları hekimleri tarafından günlük pratiğimizde oldukça sık karşılaşılan bir sorundur. Ulaşılabılır ve noninvaziv testlerden başlanarak yapılan

incelemelerde dispne nedeni ortaya konulabilir. Sınırlı sayıda vaka ise çözümsüz kalmaktadır. Bu nedenle ayırıcı tanıda kardiyopulmoner egzersiz testleri yapılması gerekmektedir. İstirahatte yapılan ölçümler kimi zaman patolojinin hangi sistemde olduğunu bize göstermez. KPET ise pulmoner, kardiyak ve kas sistemi hakkında objektif bir veri elde etmemizi sağlar.

**6 Dakika Yürüme Testi:** Pulmoner testler içinde en kolay uygulanan ve en yaygın kullanılan testtir. Bu test için özel bir ekipmana ihtiyaç yoktur. En az 30 metre uzunluğunda hastanın rahat yürüyebilmesi için normalde kullanılmayan bir koridor olması yeterlidir. Ölçüm sırasında kronometre kullanılabilir. 6 dakikanın tam olarak tutulduğundan emin olunmalıdır. Egzersiz sırasında oluşacak olan hipoksiyi gözlemek için pulseoksimetre kullanılabilir. Ama test standartında olması gerekmemektedir.

**Mekik Yürüme Testi:** Pulmoner egzersiz testleri içerisinde yapılması kolay olan ve fazla ekipman gerektirmeyen bir diğer testtir. Mekik Yürüme Testi pik  $VO_2$  tahmininde kullanılabilir. Hastanın, 10 metre ara ile konulmuş olan iki kuka arasında gittikçe artan bir hızla gidip gelmekinden oluşan bir testtir. Bu testin yapılabilmesi için belli aralarla uyarı veren bir ses CD'sine ve etrafında tur atılabilecek en az 10 metreyi belirleyen iki adet kukaya ihtiyaç vardır.

**Kardiyopulmoner Egzersiz Testi:** Pulmoner egzersiz testleri içerisinde en fazla veriyi sağlayan fakat aynı zamanda en çok ekipmana gereksinim duyulan test şeklindedir. Ergometreler ya da yürüme bandı ile test gerçekleştirilebilir. Ergometreler bisiklet, kol ve kürek ergometreleri olarak sayılabilir.

**Klinik Uygulama:**

**Kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOAH)**

KOAH'ta egzersiz kısıtlamasına neden olan en sık semptom dispnedir. KOAH olgularında solunum güçlüğünün olmasıyla ek karbondioksit üretimi olur ve düşük iş yükünde laktik asit düzeyinde belirgin artış gözlemlenir. Bütün bunların sonucu olarak egzersiz sürdürme kapasitesi oldukça düşüktür ve  $VO_2$  değeri düşük bulunur. Benzer yaş ve cinsiyet grubundaki bireylere göre, aynı iş yükünde harcanan oksijen tüketimi artmıştır. Bununla ilişkili olarak düşük iş hızlarında artmış laktik asit gözlemlenebilir. KOAH'ta kardiyopulmoner parametrelerde sıklıkla görülen değişiklikler birçok yayında saptanmıştır (20-22). KPET'de  $VO_{2pik}$  ve  $VE_{pik}$  azalır.  $VE_{pik}$  azalması mekanik kısıtlanma ile açıklanabilir. Solunum rezervi azalır.  $VE_{pik}/MVV$  artar.  $VE/VCO_2$  artar. Böylelikle ventilatuvar etkinlik azalır.  $P(A-a)O_2$  ve  $P(a-ET)CO_2$  artar.  $PaO_2$  ve  $PCO_2$  de değişken cevap alınır. Anaerobik eşik düşük iş yükünde iken gözlenir. KOAH olgularında egzersiz kapasitesinin azalması sonucunda nefes darlığı ve bacak ağrısı gelişir.

İleri KOAH olgularında kardiyak kısıtlanma egzersiz testinde saptanır. Şiddetli dinamik hiperinflasyon nedeniyle venöz dönüş azalır, sağ ventrikül preloadu azalır. İntratorasik basınç değişiklikleri nedeniyle sol ventrikül afterloadında artma görülür. KOAH'a bağlı olarak pulmoner arter basıncında ve pulmoner vasküler dirençte artma sağ ventrikül after load'ını artırır ve ejeksiyon fraksiyonunu azaltır.

**İntertisyel Akciğer Hastalığı (İAH)**

İAH'da egzersiz sırasında  $VO_{2pik}$ ,  $VE_{pik}$ , solunum rezervi azalır.  $VE_{pik}/MVV$  artar.  $VE/VCO_2$  artar Ventilatuvar etkinlik azalır.  $Vd/VT$  ve  $VT/IC$  artar. Solunum sıklığı  $> 60$  /dk üstüne çıkar.  $P(a-ET)CO_2$  artar,  $PaO_2$  azalır,  $P(A-a)O_2$  artar(21).

İAH'da artmış ölü boşluk ventilasyonu, uygunsuz ventilasyon, artmış santral dürtü ve mekanoreseptörlerin stimülasyonu ile artan ventilatuvar ihtiyaç ortaya çıkar ve buna bağlı olarak da egzersiz intoleransı gelişir. İAH'da egzersizde ventilatuvar kısıtlanmayı en iyi gösteren parametre solunum rezervindeki azalmadır. İAH'da mekanik kısıtlanma nedeniyle TV çok artırılmaz. Egzersiz sırasındaki ventilasyon artışı solunum hızındaki artışla sağlanır. Artan elastik recoil ve mekanoreseptörler hızlı ve yüzeysel solunuma neden olur. EELV ise genellikle fazla değişmez veya minimal değişir. İleri dereceli olgularda ise TV, IC'ye yaklaşır ( $>80\%$ ),  $VT/IC$  dispne şiddeti ile koreledir ve IC genellikle değişmez. İAH'da pulmoner kapiller yatakta

destrüksiyon, altta yatan akciğer hastalığının şiddeti ile orantılıdır. Egzersiz sırasında V/P dengesizliği, mikst venöz PO<sub>2</sub>'de azalma, difüzyon defekti ve egzersiz sırasında restrikte kapiller sahadan geçen eritrositlerin geçiş zamanındaki kısalma nedeniyle PO<sub>2</sub>'de belirgin azalma görülür. Aynı zamanda alveoloarteriyel oksijen gradyenti de artar. Oksijen pulse azalır.

Pulmoner vasküler defekt ve/veya sağ kalp disfonksiyonu ve/veya iskelet kas disfonksiyonuna bağlı olarak aneorobik eşikte azalma izlenir. Sistemik oksijen transportundaki bozulma sonucu bu olgularda laktik asidozis artar. Oksijen tüketimi / iş yükü oranı ise azalır (<10).

Vasküler yatak obliterasyonu, hipoksik vazokonstrüksiyon ve akciğer volümlerindeki azalmaya bağlı olarak PVR da artış, PAB da artış gözlenir. PVR nedeniyle egzersizde kardiyak output da beklenen artmalar izlenemez. IPF'de egzersiz sırasında görülen desatürasyon, sarkoidozdan ve skleroderma ve kriptojenik fibrozan alveolitten daha belirgindir. Sarkoidozisde diğerlerinden farklı olarak, miyokardın tutulmasına bağlı olarak uygunsuz kardiovasküler yanıt görülebilmektedir. Tutulumu bağlı olarak, solunum ve iskelet kas güçsüzlüğü egzersiz kısıtlanmasında önemlidir.

Pulmoner Vasküler Hastalıklarda KPET

Primer pulmoner hipertansiyon, Pulmoner emboli, Kronik tromboembolik hastalık ve Pulmoner vaskülitler pulmoner vasküler hastalıklar grubunu oluşturmaktadırlar. Ventilatuvar kısıtlanma, kardiovasküler yetmezlik, altta yatan vasküler patoloji, vasküler tutulumun genişliği, hastalık progresyonunun süreci, sağ kalbin fonksiyonel durumu (uygun CO sağlanması) gibi faktörler hastalığın şiddetini vetipini değiştirmektedir. Fیزیopatolojisine bakıldığında ventile olan alveollerde perfüzyon azlığı sonucunda V/Q oranı artar. Egzersiz sırasında ise ventilasyon belirgin artar. Bu durumda kötü perfüze olan bölgelerde asırı ventilasyon alveolar ölü bosluğu artırır, Vd/Vt oranında artışa neden olur. Oluşan hipoksemi özellikle egzersiz sırasında derinleşir ve kemoreseptörleri uyarır. Erken gelisen anaerobik esik nedeniyle artan laktat, hidrojen iyonu da ventilasyonu uyarır. Arteriyel hipoksemi sebepleri arasında azalan pulmoner kapiller yataktan egzersiz sırasında eritrositlerin geçiş zamanının kısalması, patent foramen ovaleden artan PVR nedeniyle sağ-sol şantın gelişmesi, kan akımının ve dolayısıyla oksijen sağlanımının azalmasına bağlı olarak ATP'nin aerobik rejenerasyonu bozulur, AT ve  $\Delta VO_2/WR$  azalması vardır. Anaerobik metabolizma devreye girer, erken metabolik asidozis gelisir. Kas kontraksiyonunda bozulma gelişir ve egzersizde yorgunluk ve dispneye neden olur. Bütün bu değişiklikler KPET ile ortaya konulabilir. fcrest 'de artma, maksimal egzersizde fc-VO<sub>2</sub> eğiminde keskinleşme, VO<sub>2</sub>/fc oranında azalma, VO<sub>2</sub>pik'de azalma, AT'da azalma, O<sub>2</sub> pulse'da azalma, PETCO<sub>2</sub>'de egzersiz sonuna doğru belirginleşen düşme, VD/VT artma, VE/VCO<sub>2</sub> yükselme ve P(a-ET)CO<sub>2</sub>'de dirençli pozitiflik KPET sırasında saptanabilecek olan değişikliklerdir. Ventilasyon artışı ile pulmoner kapiller yatağın kaybedilmesi V/Q anormalliklerine yol açar.

Yüksek V/Q anormalliği: Boşa giden ventilasyon: düzenli artan yüke karşı yapılan egzersizde VD/VT, artan ventilatuvar eşdeğerler, devamlı P(a-ET) CO<sub>2</sub>

Düşük V/Q anormalliği: Boşa giden perfüzyon: akciğerin hasta olmayan bölgelerinden kapiller geçiş zamanı azalması: Kardiyak debi arttıkça giderek büyüyen anormal P(A-a)O<sub>2</sub> farkı

Anormal bir kardiyovasküler yanıt belli bir kardiyak veya sistemik vasküler hastalık yoksa gaz değişimi anormallikleri ile birlikteyse pulmoner vasküler hastalık düşünülmelidir. Eforla artan arteriyel hipoksiye bağlı karotid kemoreseptör aktivitesi ventilasyon artışının başlıca nedenidir. Normal bir bireyde pulmoner kapiller yataktaki eritrositlerin geçiş süresi, istirahat sırasında ya da maksimal efor sırasında artan kardiyak debiye rağmen 350-400 milisaniye arasındadır. Pulmoner vaskular hastalıklarda oksijenin pulmoner difüzyon dengesi için gereken eritrosit geçiş süresi dinlenim sırasında azalmıştır. Bu durum egzersiz sırasında pulmoner kan akımının artmasıyla daha da azalarak kritik bir geçiş zamanının oluşmasına yol açar. Sonuç olarak desatüre eritrositler difüzyon dengesi için akciğerlerde yeterince zaman geçiremez. Bu patofizyolojik durum egzersizle kötüleşen arteriyel hipoksi ve düşük VO<sub>2</sub>'nin önde gelen nedenidir. Potansiyel patent foramen ovale ile sağdan sola şantın meydana gelmesi , pulmoner

vasküler direnç artışı nedeniyle gelişecek sağ kalp yetersizliği sağ atriyal basınç artışı yapar ve egzersiz sırasında sol atriyum basıncının aşılmasıyla sağdan sola şant oluşur.

**Kalp yetmezliğinde KPET**

Kalp yetmezliğinde egzersize kardiyak hızlanma cevabı sağlıklı olgulara göre daha hızlıdır. HR-VO<sub>2</sub> grafiği normale göre kalbin daha çabuk hızlanması nedeni ile daha diktir. Hastanın β-bloker, Ca<sup>++</sup> kanal blokeri kullanması, zeminde kardiyak blok olması durumunda ise kalp hızı egzersizde beklenen cevaba uygun bir artış gösteremez. Peak VO<sub>2</sub> CO düşüklüğüne ikincil olarak V/Q bozukluğu ve kan akımının az olması nedeni ile VO<sub>2</sub> düşüktür. Egzersiz boyunca özellikle AT'den itibaren O<sub>2</sub> pulse eğimi azalır. Egzersiz durduğunda recovery'nin başlangıcında O<sub>2</sub> pulse eğimi artar, çünkü egzersiz durunca afterload artar. Egzersize kardiyak outputta artış cevabı yetersizdir. Bu nedenle kaslara oksijen sunumu düşüktür. Kaslara yeterli oksijen gelmediği zaman egzersiz sırasında glikoliz için anaerobik yol daha erken kullanılmaya başlar böylelikle de kalp yetersizliği olgularında anaerobik eşiğe daha erken ulaşılır. KPET parametreleri değerlendirildiğinde Peak VO<sub>2</sub> ↓, O<sub>2</sub> pulse ↓ ancak egzersiz sonlanınca hızla artar, VE/VCO<sub>2</sub> eğiminde ↑, WR ↓, Peak VO<sub>2</sub>' ye yakın VO<sub>2</sub>/WR le ↓, AT' ye ulaşım erken, AT/ VO<sub>2</sub> ↓, VD/VT'de ↑, HRR ↓, BR = N, TV ↓, VE ↑, PETCO<sub>2</sub> PECO<sub>2</sub>/PETCO<sub>2</sub> ↓ saptanır.

**Preoperatif değerlendirmede KPET**

Preoperatif değerlendirmede amaç postoperatif komplikasyon saptanabilecek olguları önceden tahmin etmektir. Özellikle sınırda solunum fonksiyonları olan olgularda oldukça önemli bir tetkiktir. KPET sadece pulmoner değil kardiyopulmoner rezerv hakkında da bilgi verir. Egzersiz kapasitesi ile postop. komplikasyonlar arasında ters bir ilişki vardır. FEV<sub>1</sub> < beklenenin ≤ %50'si ise yapılıır. VO<sub>2</sub>max > beklenenin %75'i veya > 20 ml/kg/dk ise düşük risk; pnömonektomiye gidebilir. VO<sub>2</sub>max < beklenenin %40'ı veya < 10 ml/kg/dk ise yüksek risk; kesin inoperabldır. VO<sub>2</sub>max < 15 ml/kg/dk ancak hem FEV<sub>1</sub> hem de DLCO beklenenin %40'ından az ise yine kesin inoperabldır. Maksimal oksijen tüketimi (VO<sub>2</sub> max) postoperatif morbidite ve mortaliteyi belirlemede değerlidir. < 1 L/dk veya 20 ml/kg/dk'nın altındaysa artmış postoperatif akciğer komplikasyon riski vardır.

**Tedaviye yanıtın değerlendirmesinde KPET**

Bazı durumlarda ise KPET tedaviye yanıtın değerlendirilmesinde kullanılabilir. Özellikle egzersiz rehabilitasyonunda, bronkodilatör tedavi, nutrisyonel ve hormonal tedavi, oksijen tedavisi, kalp ve akciğer transplantasyonundan sonra KPET uygulanmaktadır. Egzersiz toleransını değerlendirmek için PeakVO<sub>2</sub>, Peak WR, dayanıklılığa; fizyolojik yanıt için laktat düzeyi, IC, VE, f, AT/VO<sub>2</sub>, SpO<sub>2</sub>, VE/CO<sub>2</sub> ve semptomlar içinse borg skalasına göre nefes darlığı değerlendirilebilir.

**Maluliyet değerlendirmesinde KPET**

Maluliyet son zamanlarda artan ekonomik sorunlar nedeniyle önemli bir sorun olma yolunda ilerlemektedir. Hayatlarının bir döneminde çalışan kişiler bedensel veya zihinsel özürlerinin iş nedeniyle kaynaklandığını ispata çalışmakta böylelikle yaşamlarının geri kalanını garanti altına almaya çalışmaktadırlar. Solunum sistemi hastalıkları ise maluliyet oranlarını hesaplama önemli bir yere sahiptir. Nefes darlığı şikayeti olan kişiler kimi zaman solunum fonksiyon testlerinde hekimi yanlış yönlendirebilmektedirler. Kimi zamansa gerçekten solunum sıkıntıları olmasına rağmen rutin kullanılan testlerle herhangi bir patoloji saptanmamaktadır. Bu her iki durum içinde objektif olarak değerlendirilebilecek bir test yöntemi olarak KPET kullanılmaktadır. KPET sonuçlarına göre kişilerde fonksiyonel kayıpların gerçekten var olup olmadığı ya da varsa ağırlık derecesi ve nedeni saptanabilmektedir.

## **KAYNAKLAR**

1. Tatlıcıoğlu T. Solunum fonksiyon testleri. Nonspesifik Göğüs Hastalıkları.

Özyardımcı N.(ed). UÜ Yayınevi. Bursa.1999: 159-186.

2. Umut S. Spirometrik hava yolu ölçüm kriterleri. TTD Okulu Kış Okulu Ders Notları
3. Yıldırım N. Spirometrik İnceleme, Akım-volüm Halkası. Akciğer Fonksiyon Testleri. 1996:23-51.
4. Saryal S.Solunum Mekaniği. Solunum 2: 112 - 125, 2000.
5. Altose MD. Pulmonary mechanics. In: Fishman AP, Elias JA, Fishman JA, Grippi MA, Kaiser LR, Senior RM, eds. Fishman's pulmonary diseases and disorders 3rd ed. NewYork, McGrawHill 1998;Vol 1,149-162.
6. Leff AR, Schumacker PT. Respiratory physiology. Basics and applications. Philadelphia WB Saunders, 1993
7. Yenel F. Akciğer Fonksiyon testlerinin gelişimi üzerine kısa gezinti. In Akciğer Fonksiyon Testleri (Ed. Yıldırım N) Turgut Yayıncılık 2004: 1-4.
8. Mutlu B. Spirometre Endikasyonları. In Akciğer Fonksiyon Testleri (Ed. Yıldırım N) Turgut Yayıncılık 2004: 25-35.
9. Demir T. Difüzyon Testi. In Akciğer Fonksiyon Testleri (Ed. Yıldırım N) Turgut Yayıncılık 2004: 146-153.
10. American Thoracic Society, Single breath carbon monoxide diffusing capacity (transfer factor) Recommendations for a Standard technique-1995 update. Am J Respir Crit Care Med 1995; 152: 2152-2198.
11. Ogilvie CM,A standartized breath holding Technique for the clinical measurement of the diffusing Capacity of the lung for carbon monoxide. J clin Invest 1957;36:1-17.
12. Cotes JE. Official statement of the European Respiratory Society. Eur Respir J 1993; 6 (suppl 16): 41-52.
13. Collard P, Wilputte JY, Aubert G, et al. The DLCO in obstruktif sleep apnea and obesity. Chest 1996; 110: 1189-1193.
14. Greening Ap, Hughes JM. Serial estimations of carbonmonoxide diffusing capacity in intrapulmonary haemorrhage. Clin Sci (London) 1981; 60: 507-512.
15. Crapo RO, Jensen RL; Wanger JS. Single breath carbonmonoxide diffusing capacity. Clin Chest Med 2001; 22: 637-649.
16. Neas LM, Schwartz J. The determinants of diffusing capacity in a national sample of US adults. Am J Respir Crit Care Med 1996; 153: 656-664.
17. Crapo RO, Foster RE. Carbon monoxide diffusing capacity. Clin Chest Med 1989 ;10: 187-198.
18. Saryal SB. Arter Kan Gazlarının Yorumlanması. In Temel Akciğer Sağlığı ve Hastalıkları Ders Kitabı ( ed. Arseven O)Nobel Kitapevi, 2011: 97-105.



19. Williams AJ. ABC of oxygen: assessing and interpreting arterial blood gases and acid-base balance. *BMJ* 1998;317:1213-1216.
20. Cooper CB, Storer TW. Exercise testing and interpretation: a practical approach. London: Cambridge University Press; 2001.
21. American Thoracic Society; American College of Chest Physicians. ATS/ACCP Statement on cardiopulmonary exercise testing. *Am J Respir Crit Care Med* 2003 ;167:211-277
22. Gallagher CG, Younes M. Breathing pattern during and after maximal exercise in patients with chronic obstructive lung disease, interstitial lung disease, and cardiac disease, and in normal subjects. *Am Rev Respir Dis* 1986;133:581–586.
23. Dakin J, Kourteli E, Winter R. Making sense of lung function tests. A hands-on guide. Arnold 2003: 61-7.
24. Gemiciođlu B. Solunumun kontrolü. In *Akciğer Fonksiyon Testleri* (Ed. Yıldırım N.) İstanbul 2004: 89-104.
25. Gürsel G. Mekanik Ventilasyon Sırasında Solunum Monitörizasyonu: II. *Tüberküloz ve Toraks Dergisi* 2003; 51(1): 100-106