

İşlevsel Solunum Testleri

Nevit Dilmen 2002

Solunum; dış ortamdaki oksijenin oksidasyon zincirinde kullanılmak üzere akciğerler ve sistemik dolaşım yoluyla hücreye ulaştırılıp, ortaya çıkan karbondioksitin aynı yolla uzaklaştırılması işlevidir. Solunumun gerçekleşmesi için santral sinir sistemi, respiratuar sistem ve kardiovasküler sistemin koordineli olarak çalışması gerekmektedir. Solunum fonksiyon testleri, solunumsal işlevlerin değerlendirilmesinde önemli bilgiler sağlayan laboratuvar incelemeler topluluğudur. Pulmoner işlevleri üç yönden incelemek olasıdır: Perfüzyon, difüzyon ve ventilasyon. Perfüzyon yönü pulmoner damar yatağında kan akışını inceler. Difüzyon alveolokapiller membran üzerinden oksijen ve karbondioksit geçişini inceler. Ventilasyon ise alveoler alan ve dış ortam arasındaki hava akışını inceler. Solunum fonksiyon testleri gözden kaçma olasılığı bulunan durumların tespiti, difüzyon, restriksiyon ve obstrüksiyon derecelerine bakarak olası tanıların ekarte edilmesi, ayırıcı tanı listesinin daraltılması amacıyla kullanılabilir. Solunum fonksiyon testleri çoğu kez hastalığın erken döneminde henüz semptomlar ve fizik muayene bulguları gelişmemişken, sorunun türünü belirlemede bize yardımcı olmaktadır. Solunum fonksiyon testleri mevcut fonksiyon bozukluğunu, nicelendirip, nitelendirerek hekimin hastalığın seyrini doğru bir şekilde takibi, uygun tedavinin önerilmesi ve tedavi sonuçlarının objektif değerlendirebilmesini sağlar. Hekimlerin anamnez ve fizik muayene yöntemleri ile doğru tanıya varmaları her zaman olası değildir. Solunum fonksiyon testi talep eden hekimlerden testin sonucunu öngörmeleri istendiğinde obstrüktif paterni olan hastaların %83'ünde, normal veya restriktif paterni olan hastaların %50 sinde doğru tahminde bulunabildikleri saptanmıştır. Solunumsal fonksiyonlar, radyografik olarak benzer bulgular gösteren hastalar arasında farklılık gösterebilir.

Solunum fonksiyon testlerinin bir çok spesifik kullanım alanı bulunmaktadır. Kardiopulmoner hastalıkların erken tanısı, dispnenin ayırıcı tanısı, hastalık progresyonunun izlenmesi, tanısal ve girişimsel prosedürler için risk faktörlerinin belirlenmesi bunlardan bir kaçıdır.

Solunum fonksiyon testlerinin kullanım alanları

- Açıklanamayan nefes darlığında hastalık varlık/yokluk ve niteliğinin saptanması
- Mevcut hastalığın respiratuar etkilerini saptamada
- Akciğerde obstrüktif veya restriktif tip patolojiyi ayırma
- Küçük hava yolu obstrüksiyonunun saptanması

- Medikal ve cerrahi tedaviye yanıtın takibi
- Bronş hiperreaktivitesinin saptanması
- Preoperatif risk faktörlerinin değerlendirilmesi
- Yoğun bakım ünitelerinde hasta izlenmesi
- Pulmoner nedenli dispneyi kardiyak ve merkezi sinir sistem kökenliden ayırmada.

Akciğerlerin ana fonksiyonu yeterli ventilasyon ve gaz değişimini sağlamaktır. Pulmoner dolaşımın ana görevi ise karbondioksit'ten zengin kanı alveollere ulaştırmak ve oksijenlenmiş kanı dokulara gitmek üzere sol atriuma ulaştırmaktır.

Solunum inspirasyon ve ekspirasyon adlı iki fazdan oluşmaktadır.

İnspirasyon aktif bir eylemdir. Solunum kasları kasıldığı zaman toraks ve içindeki akciğer genişler. Kaslar kontrakte olduğu zaman alveoler basınç atmosfer basıncının altına iner. Bu havanın trakea, bronşlar ve bronşioler yolu ile alveollere ulaşmasını sağlar. İnspirasyon sırasında dış interkostal kaslar, parasternal interkartilaj kaslar ve diafragma asıl, sternokleidomastoid ve üç skalen kas (ant.mid.post.) yardımcı rol oynar.

Sessiz ekspirasyon ise pasif bir eylemdir. Solunum sırasında akciğer dokusu elastik özellik gösterir. İnspiratuar kasılma gücü son bulduğu zaman toraks ve akciğerler dinlenme konumuna geri döner. Akciğerlerin elastik geri dönüşü alveol basıncını yükseltir ve havanın dışarı çıkmasını sağlar. Aktif ekspirasyonda ise iç interkostaller, rectus abdominis, batında iç, dış oblikler ve transvers kas katkıda bulunur.

Solunum fonksiyon testleri obstrüktif, restriktif veya her iki tip solunum disfonksiyonun varlığı ve şiddeti ve türü konusunda bize önemli bilgiler sağlar. İnfiltratif akciğer hastalıklarında bazen restriksiyon (total akciğer kapasitesinde düşüş) ve obstrüksiyon (zorlu ekspiratuar hacim 1/ zorlu vital kapasitede düşüş) birlikte görülebilir. Böyle bir durum akciğer parenkiminin küçük hava yolları ile birlikte tutulduğu durumlarda veya restriktif bir hastalığın amfizem gibi obstrüktif bir hastalık ile birlikte aynı hastada bulunduğu durumlarda izlenebilir.

Hava yollarında direnç artışı ile kendini gösteren bir ventilasyon bozukluğu obstrüktif olarak adlandırılır.

Göğüs duvarı hareket kısıtlılığı veya akciğer komplians problemi nedeniyle oluşan disfonksiyonlara

ise restriktif adı verilir. Sentripetal yönde etkili akciğer dokusu elastik kompliansı normalde sentrifugal yönde etkili olan toraks duvarı kompliansı ile dengelenmektedir. Restriktif paternin anlamı akciğer volümlerinin beklenenden küçük olmasıdır. Tanı için kullanılan primer kriter total akciğer kapasitesidir. Bazı zorunlu durumlarda ise vital kapasite kullanılmak durumunda kalınabilir, ancak vital kapasitenin obstrüktif patolojilerden etkilenebildiğinin unutulmaması gereklidir. Hastaların takibinde ise vital kapasite total akciğer kapasitesinden daha yararlıdır. Örneğin kanser nedeniyle kemoterapi veya radyoterapi uygulanan hastalarda akciğerdeki fibrotik değişiklikler solunum fonksiyon testleri ile takip edilmektedir.

Solunum disfonksiyonu hem hava yolunda direnç artışı hem hareket kısıtlamasına bağlı ise kombine veya mikst tip disfonksiyondan bahsedilir.

Solunum fonksiyon testleri ile akciğerlerin statik ve dinamik volümleri tesbit edilir. Pratik olarak solunum sisteminin elastik özellikleri statik akciğer volümleri, elastik olmayan özellikleri ise akımlar ve dinamik akciğer volümleri ile ölçülür.

Solunum fonksiyon testlerinden hangilerinin gerçekleştirileceği hastanın durumu ile ilgilidir. Havayolu patolojisi düşünülen hastalarda dinamik testler ve akım ölçümleri yeterlidir. Akciğer parenkim tutulumu düşünülen hastalarda ise dinamik testler, volüm ve geçirgenlik parametreleri incelenmelidir. Konjestif kalp yetmezliği gibi özel bir kaç durumda ise sadece volüm ölçümleri yeterli olabilir.

Tetik:	Obstrüksiyon	Restriksiyon
Zorlu vital kapasite	Normal veya Düşük	Düşük
Zorlu ekspiratuvar hacim 1	Düşük	Normal veya Düşük
FEV1/FVC	Düşük	Normal
FEF 25-75	Düşük	Normal

Tablo 1 Obstrüktif ve restriktif tip paternlerde solunum fonksiyon test değişiklikleri

Zorlu ekspiratuvar hacim 1 azalmışsa bu büyük olasılıkla obstrüktif bir bozukluktur. Ancak restriktif bozukluklarda da azalabilir. Bu durumda zorlu ekspiratuvar hacim 1/ zorlu vital kapasite azalmışsa veya total akciğer kapasitesi artmışsa, obstrüktif bir sürecin göstergesidir. Zorlu ekspiratuvar akım 25-75 genellikle zorlu ekspiratuvar hacim 1 ile aynı paralelde değişir. Fakat erken havayolu obstrüksiyonunu ortaya koymada zorlu ekspiratuvar hacim 1'den daha duyarlıdır. Zorlu ekspiratuvar hacim 1 normalken zorlu ekspiratuvar akım 25-75'in azalması hafif obstrüksiyonu gösterir. Akciğer karbon monoksit difüzyon kapasitesi / alveoler hacim, amfizem, akciğer rezeksiyonu, multipl

pulmoner emboli, anemi, gebelik, idyopatik pulmoner fibrozis, sarkoidozis ve diğer interstisyel fibrozise yol açan hastalıklarda azalır.

Solunum fonksiyon testleri yerine getirdiği işleve göre üç kategoriye ayrılır.

1. **Havayolu akım ölçümleri:** İnspiryum veya ekspiriyum akımının tamamı veya bir bölümü zaman hız ve volüm açısından değerlendirilir. Hastadan maksimum şiddette akım istendiğinde tetkiklere zorlu veya forse adı verilir. Farmasötik veya uyarıcı ajanlar kullanılarak hava yolunda dilatasyon ve spasm yanıtları değerlendirilir.
2. **Akciğer volüm ve kapasite ölçümleri:** Değişik manevralar kullanılarak akciğerin farklı kompartmanlarındaki hava içeriği ölçülür. Ölçümler hacimlerdeki artış veya azalma hakkında bize bilgiler sağlar. Bu ölçümler ayrıca obstrüktif süreçlerin restriktif süreçlerden ayırt edilmesinde bize yardımcı olur.
3. **Gaz değişim ölçümü (Difüzyon kapasitesi):** Alveolokapiller membran üzerinden gaz değişim oranlarının hesaplanmasına yardımcı olurlar. Bu değerler interstisyel hastalıklar veya fibroz tanısında yardımcı olduğu gibi anemi gibi durumlarda değişiklik gösterebilir.

Beklenen değerler

Doğumdan itibaren adolesan çağa kadar zorlu vital kapasite , zorlu ekspiratuar hacim 1 artış gösterirken, otuzlu yaşlardan sonra zorlu ekspiratuar hacim 1 değerleri azalmaktadır. Erkeklerde benzer yaş ve boydaki kadınlara göre daha yüksek değerler beklenmektedir. Yine boy ve kilo ile solunum fonksiyonları arasında korelasyon vardır. Bu nedenle işlevsel solunum testleri öncesi hastanın etnik kökeni, yaşı, cinsiyeti, boyu ve kilosu belirlenir, uygun beklenen değerler saptanır, ölçülen değerler regresyon hesaplaması yolu ile elde edilen beklenen değer ile karşılaştırılır ve hastanın ırk, yaş, cins, boy ve kilosu için hesaplanmış beklenen değer yüzdesi olarak ifade edilir. Genelleme yapmak gerekirse çoğu ölçüm için %70-80'in üzerinde bir değer normal olarak kabul edilebilir.

Akciğer Hacim ve Kapasiteleri

Normal ve zorlu solunum hareketleri sırasında akciğerlere giren çıkan ve akciğerlerde kalan hava

bir takım bölüm veya kompartmanlara ayrılabilir. Tek bölümden oluşan ölçümler akciğer hacimleri, iki veya daha fazla hacim toplamından oluşan ölçümler akciğer kapasiteleri olarak ifade edilir. Zaman parametresinin dikkate alındığı hacim ve kapasiteler dinamik olarak adlandırılır.

A-Akciğer Volümleri (Hacimler)

1- Solunum Volümü

İstirahat halinde normal inspirasyonla akciğerlere giren hava hacmidir. Kadınlarda biraz daha az olmak üzere normal erişkinlerde 500 ml veya vücut yüzeyinin metrekaresi başına 200-220 ml kadardır. Soluk hacmi, respiratuar volüm ve tidal volüm eşdeğer terimlerdir.

2- İspiratuar Yedek Hacim

Normal bir inspirasyonu takiben sonra yapılan güçlü bir inspirasyonla akciğerlere giren hava miktarıdır. Normalde total akciğer kapasitesinin %45-50 sini oluşturur. 2000-3100 ml kadardır . (İspiratuar reserve volum, IRV).

3- Ekspiratuar Yedek Hacim

Normal bir ekspirasyondan sonra yapılan maksimum bir ekspirasyonla atılan hava miktarıdır. Normalde total akciğer kapasitesinin % 20 sini oluşturur. 1100-1200 ml Kadardır . (Ekspiratuar reserve volum, ERV)..

4- Rezidüel hacim

Maksimum bir ekspirasyondan sonra akciğerlerde kalan hava volümüdür. Normalde total akciğer kapasitesinin %22-30 unu oluşturur. Normal değerleri yaş, cinsiyet ve boy ile orantılı olarak 1200-1500ml arasında değişir.

İspiratuar Yedek Hacim (IRV)	İspiratuar Kapasite (IC)	Vital Kapasite (VC)	Total Akciğer Kapasitesi (TLC)
Tidal Hacim (VT)			
Ekspiratuar Yedek Hacim (ERV)	Fonksiyonel Rezidüel Kapasite (FRC)		
Rezidüel Hacim (RV)		Rezidüel Hacim (RV)	

Şekil 1 Hacim ve kapasiteler

Rezidüel hacim değeri, restriktif ve obstrüktif işlevsel solunum problemleri arasında ayırım yapılmasına yardımcı olabilir. Bu değer maksimum ekspirasyondan sonra akciğerde kalan hacmi yansıtır. Akciğer doğumdan sonra hiç bir zaman tamamen boşalmadığından rezidüel hacim, ekspirasyon rezerve volümünün fonksiyonel rezidüel kapasiteden çıkartılması ile elde edilir.

Rezidüel hacim referansın $> \%125$ olması maksimum ekspirasyona rağmen akciğerler içinde büyük

miktarda hava kaldığını (hava hapsi, hava tuzağı, "air trap") gösterir. Rezidüel hacim ve fonksiyonel rezidüel kapasite her zaman olmasa bile çoğu kez birlikte yükselir. Rezidüel hacmin %75'in altına inmesi interstisyel fibroz gibi restriktif süreçleri gösterir. Bazen alveollerin büyük kısmını oklude eden süreçler rezidüel volümde azalmaya yol açabilir.

5- Alveoler Hacim

Alveoler hacim hesaplamasında inspiratuar hacim, rezidüel hacim ve anatomik ölü boşluklar hesaplanarak elde edilebilir, ancak sıklıkla He dilüsyon yöntemi ile hesaplanmaktadır. He yerine bazen Ne, Ar, ve metan kullanımı bildirilmiştir. Alveoler hacim hesaplamalarında anatomik ölü boşluk ve cihaz ölü boşluğu dikkate alındığından zayıf veya aşırı kilolu olgular ve çocuklarda bu durum dikkate alınmalıdır. Ayrıca solunum fonksiyon test cihazı bağlantılarında ölü boşluk değişecek şekilde oynama yapıldığı takdirde yeni ölü boşluk değeri hesaplamada kullanılmalıdır. Ciddi havayolu obstrüksiyonu olan hastalarda gazın alveollere ulaşımındaki problemler nedeniyle He dilüsyon yöntemi bazen yanıltıcı sonuçlar verebilmektedir. İnspiratuar havanın kuru olduğu durumda ölçümler ATPS (vucut sıcaklığı, standart basınç ve su buharı ile doymuş) şartlarda gerçekleşmediği için akciğer karbon monoksit difüzyon kapasitesi %3 oranında düşük çıkmaktadır. Alveoler hacim ile ilgi başka bir sorun ise literatürde yaş ve cinsiyet için normal değerlerine kolay ulaşamıyor olunması.

Mayo kliniğinden Douglas ve arkadaşları tarafından 2000 yılında yayınlanan idiyopatik pulmoner fibrozlu hastalarda sürviye yönelik yapılan çalışmada multivaryant analiz sonrası solunum fonksiyon testlerinden düşük akciğer karbon monoksit difüzyon kapasitesi ve düşük alveoler volüm değerlerinin kötü prognoz belirtileri olduğu saptandı.

B-Akciğer Kapasiteleri (Statik Volümler)

Zorlu ekspirasyon manevrası (spirometri) obstrüktif hastalıkların kantitatif değerlendirilmesinde kullanılır. Astma ve hava hapsi yapan hava yolu hastalıklarında düşer. Ağır hastalarda beraberinde volüm kaybı görülebilir.

1- Vital Kapasite (VC, VK)

Vital kapasite maksimum inspiryumdan sonra akciğerlerden hız ve zorlama kullanmaksızın çıkarılabilen maksimum hava hacmidir. Miktarı inspiratuar kapasite + ekspiratuar yedek hacim'e eşittir.(IK+ERV). Vital kapasite BTPS (vücut sıcaklığı, standart basınç ve su buharı ile doymuş) şartlarda Litre olarak ifade edilir. Maksimum inhalasyon ve maksimum ekshalasyon arasında kalan hava hacmine eskiden yavaş vital kapasite denilirdi. Hastanın acele ettirilmediği bu tetkik, günümüzde ise bazı merkezlerde zorlu vital kapasiteden ayrılması için relakse vital kapasite olarak adlandırılır. Vital kapasite inspirasyon yedek volümü, ekspirasyon yedek volümü ve solunum volümünün toplamından ibarettir. Normalde total akciğer kapasitesinin %75-80 ini oluşturur. 3-5 litre arasında değişir. Bazı hastalarda vital kapasite zorlu vital kapasiteden daha doğru bir ölçüm sonucu verir. Hava yolu obstrüksiyonu olan olgularda ve yaşlı hastalarda zorlu vital kapasite değeri vital kapasite değerinden 1 litre kadar daha düşük olabilir. Değerler yaş, boy, cinsiyet ve etnik yapı ile değişiklik gösterir. Örneğin 30 yaşın üzerinde vital kapasite düşmeye başlar ve erkekte kadınlara göre daha fazladır. Bu yüzden mutlak değer yerine beklenen değer'in %'si olarak ifade edilir. Değerin %80'in altına inmesi patolojik olarak kabul edilir. Vital kapasite restriktif ve obstrüktif süreçlerde beklenen değer'in altına inebilir. Ayrıca solunum merkezi depresyonu, nöromusküler hastalıklar, toraks duvar hareketlerinin kısıtlanması (skleroderma), plevral effüzyon, pnömotoraks, gebelik, asit, kifoskolyoz ve bazı kitleler değer'in düşmesine sebep olabilir. Hastanın yeterince efor sarfetmemiş olması düşük çıkmasının olası nedenleri arasındadır.

2- Total Akciğer Kapasitesi

Total akciğer kapasitesi derin inspirasyon sonrası akciğerin içerdiği gaz hacminin bir göstergesidir. Vital kapasite + rezidüel hacim 'e eşittir. Çoğu kişi için beklenen değer 5400- 6000 ml kadardır. İşlevsel solunum testlerinde restriktif patern total akciğer kapasitesinin beklenen değer'in %80'inin altına inmesi ile karakterizedir. Total akciğer hacminin düşmesi genellikle vital kapasite, rezidüel hacim, ve işlevsel rezidüel hacim'de paralel düşme, ve rezidüel hacimde paradoksal artış ile seyreder.

3- Inspiratuar Kapasite

Normal bir ekspirasyondan sonra yapılan maksimum derinlikte bir inspirasyon ile akciğerlere giren hava miktarıdır. Solunum volümü ile inspirasyon yedek volümünün toplamından oluşur. 2500- 3600 ml dir.

4- Fonksiyonel Rezidüel Kapasite

Fonksiyonel rezidüel kapasite veya torasik hava hacimi normal ekspirasyon sonrasında akciğerlerde kalan hava miktarıdır. Rezidüel hacim ve ekspiratuar yedek hacim toplamından oluşur. (RV+ERV) 2300-2500 ml dir.

C-Dinamik Hacimler

Dinamik hacimler hava akışını ölçen aletlerle (flowmeter) ya da spirometrede zaman veya akıma yönelik çizilen eğrilerden hesaplanır. Ne kadar Litre cinsinden birimler ile ifade edilse de gerçekte akıma karşı direnç göstergeleridir.

1- Zorlu Vital Kapasite (FVC, WC, ZVK)

Maksimum inspiyumdan sonra maksimum zorlama ile yaptırılan bir ekspirasyondan elde edilen hava volümüne zorlu vital kapasite değeri adı verilmektedir. BTPS (vucut sıcaklığı, standart basınç ve su buharı ile doymuş) şartlarda Litre cinsinden ifade edilir.

Zorlu ekspirasyon manevrası (spirometri) obstrüktif hastalıkların kantitatif değerlendirilmesinde kullanılır. Astma ve hava hapsi yapan hava yolu hastalıklarında düşer. Ağır hastalarda beraberinde volüm kaybı görülebilir.

2- Zamansal Zorlu Ekspiratuar Hacim (FEVt)

Zorlu vital kapasite ölçümü sırasında tanımlanan zaman periodu içerisinde (t) çıkarılan hacim. BTPS (vucut sıcaklığı, standart basınç ve su buharı ile doymuş) şartlarda Litre cinsinden ifade edilir. Zamansal başlangıç noktasının "back extrapolation" yöntemi ile belirlenmesi ve zaman aralıklarının hesaplanması için bilgisayar yardımcı olmaktadır. 1, 2 ve 3. saniyelerde ölçülebilir. Normalde vital kapasitenin %75-83 ü 1. saniyede, %97 si ilk 3 saniyede dışarı atılır. En geç 6 saniye içinde vital kapasitenin tamamı boşaltılması beklenir.

2- Zorlu Ekspirasyon 1. saniye hacmi (FEV1)

FEV1 zamansal zorlu ekspirasyon hacimleri arasında klinik ile en yakın korele olanıdır. Tam bir inspiryondan sonra yapılan zorlu bir ekspirasyon manevrası sırasında bir saniyede çıkarılan hava volümüdür. Sağlıklı bireylerde ilk saniyede vital kapasitenin yaklaşık %70-80'i çıkarılabilmektedir.

3- Zorlu ekspiratuar hacim 1 / Zorlu vital kapasite (FEV1/FVC)

Hastanın kendi vital kapasitesinin ne kadarını bir saniyede çıkardığını gösteren orandır. Normal değeri %75-80 arasında değişir. Zorlu ekspiratuar hacim 1 / zorlu vital kapasite hava akımı obstrüksiyonu şiddetinin belirlenmesinde önemlidir.

D- Akım ölçümleri

Zorlu ekspirasyon ortası akım hızı (FEF25-75)

Zorlu vital kapasite manevrasının ortasından (%25-%75 arasından) elde edilen akım. Maksimal mid-ekspiratuar hacim ve maksimum ekspiryum ortası akım değeri olarak da bilinir (mmEF). BTPS (vucut sıcaklığı, standart basınç ve su buharı ile doymuş) şartlarda litre/saniye olarak ifade edilir.

FEF 25-75 orta ve küçük hava yollarının göstergesi olarak kabul edilir. Diffüz obstrüktif akciğer hastalıklarında erken değişiklikler çapları 2 mm den küçük hava yollarında gelişmektedir. Ancak küçük hava yollarının total hava yolu direncine katkısı %20 den az olduğundan, bu hava yollarındaki belirgin direnç artışları bile rutin hava yolu direnç ölçümleri ile ortaya çıkarılamamaktadır. Zorlu ekspiratuar akım 25-75 ve mid- ekspiratuar akım volüm eğrisi, küçük hava yolları direnç artışlarında izlenen düşük hacimlerdeki akım hız değişimlerini göstermektedir. Obstrüktif hastalıkların erken döneminde daha FEV₁ değeri etkilenmeden azalabilmektedir. Zorlu ekspirasyon ortası akım hızı tekrarlanabilirliği düşük bir parametredir. Değeri kişinin gösterdiği efor, kooperasyon ve teknik nedenler ile değişir.

Maksimum Akım, Zirve Ekspiratuar Akım (PEF)

Maksimum inspiyumdan sonra maksimum zorlama ile yapılan ekspirasyonda en yüksek akım hızı 40-80ms'lik süre içinde ölçülür. BTPS (vucut sıcaklığı, standart basınç ve su buharı ile doymuş) şartlarda Litre/saniye olarak ifade edilir. National Asthma Education Program ölçümün 80 yerine 40ms'de yapılmasının %5-8 oranında daha yüksek akım hızları ile sonuçlandığını belirlemiştir. Maksimum akım ölçümündeki karışıklık nedeniyle ölçümün hassasiyeti düşüktür ve Amerikan Toraks Cemiyeti ölçümlerde %10 kadar yüksek bir hata payını kabul etmektedir.

E- Statik basınçlar

Solunum kaslarının ürettiği güç, zorlu inspiratuar veya ekspiratuar manevralar sırasında ağız içinde oluşan statik basınçların manometrik ölçülmesi ile belirlenebilmektedir. Ağız içi basınç değerlendirilmesi özellikle nöral ve musküler tutulumu bulunan hastalıklarda önem kazanmaktadır.

PiMaks

Maksimal inspirasyon sırasında ölçülen basınçtır. İspirasyon kaslarının durumu hakkında bilgi sağlar.(MIP)

PeMaks

Maksimal ekspirasyon sırasında ölçülen basınçtır. Ekspirasyon kaslarının durumu hakkında bilgi sağlar.(MEP)

Kasların ürettiği güç uzunlukları ile orantılı olduğundan maksimal inspiratuar basınç kasların en avantajlı konumda olduğu ekshalasyon sonrasında, maksimal ekspiratuar basınç ise tam bir inspirasyon sonrasında ölçülmektedir.

F- İşlevsel Eğriler

- ± Basınç – Hacim Eğrileri
- ± Hacim – Zaman Spirogramı
- ± Akım – Hacim Döngüleri

Hacim - Basınç

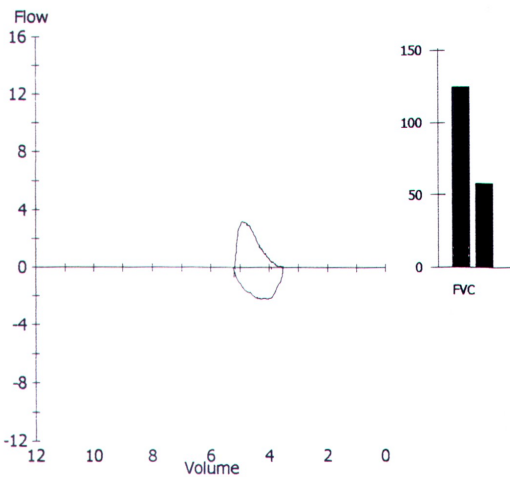
Basınç – hacim eğrileri yolu ile akciğer kompliyansının ölçümü diğer solunum fonksiyon testleri ile kararsız kaldığı durumlarda yardımcı olabilmektedir. Restriksiyon sonrası toraks veya akciğer normalden daha sert olup kompliyansı düşüktür. Böyle bir durumda volümde artış sağlanması için daha yüksek basınç gradiyenti gereklidir. Amfizematöz akciğer ise daha düşük bir basınç gradiyenti ile kolay genişlemektedir. Akciğer kompliyansında düşüş interstisyel akciğer hastalıklarında en erken bulgulardan biri olabilmektedir. Restriktif tipte solunum fonksiyon testi statik basınç-hacim eğrisinin sağa ve aşağı doğru kayması ile karakterizedir.

Fizyolojide Hacim/Basınç değişikliğine komplians adı verilir. Komplians grafiğinin biçimi solunumun niteliği, akciğer ve toraks duvarı elastik geridönüş özellikleri konusunda değerli bilgiler vermektedir. Toraks duvarı ve akciğer kompliansları ters yönde olduğundan izlenen komplians artı ve eksi değerlerin toplamı olarak yorumlanmalıdır.

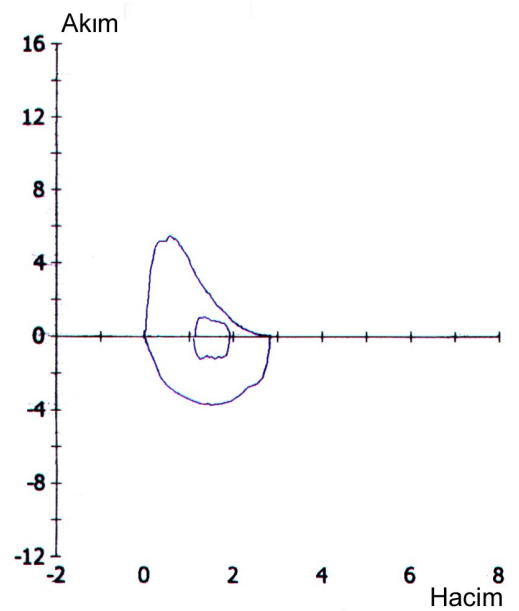
Akım – Hacim eğrileri

Manevraları spirometriye benzerdir ancak zorlu ekspirasyon sonuna zorlu inspiriyum eklenerek döngü tamamlanır. Sadece rakamlar değil aynı zamanda döngünün şekli de akciğer mekaniği hakkında değerli bilgiler sağlar. Akım dikey ekseninde Litre/saniye, hacim ise yatay yönde Litre cinsinden gösterilir. Akım ve hacim ölçekleri arasında ise 2/1 oranı mevcuttur. Örneğin 2L/saniye akımın grafi üzerindeki uzunluğu 1L hacime eşittir. (İtssos0) Akım-Volüm eğrilerinde standart olarak ekshalasyon akımları yukarı doğru, ekshalasyon hacimleri ise sağa doğru çizilir.

İnspirasyon simetrik iken, ekspiratuar akım başlangıçta hızla zirve yapıp daha sonra azalmaktadır. Zirve öncesi akımı belirleyen asıl güçler; ekspirasyon kasları, büyük hava yollarının rezistansı ve solunum merkezidir. Eğrinin ikinci bölümünde belirleyici güçler ise distal hava yolları direnci ve akciğerin elastik recoil özelliğidir. Akım hacim döngü eğrileri restriktif süreçlerde şekil olarak normal eğrilere benzemekle birlikte daha küçüktürler. Obstrüktif hastalıklarda ise hava yolu tutulum bölgesinde yükseklik ve akım hızı azalır. Hava akım eğrilerinden hesaplanarak elde edilebilen bazı değerler şunlardır: zorlu vital kapasite, zorlu ekspiratuar hacim 1, zorlu ekspiratuar akım 25-75.



Şekil 2 Restriktif tipte akım-volüm örneği



Şekil 3 Distal hava yolu patolojisinin eşlik ettiği restriktif akım-volüm patern örneği

Hacim - zaman spirogramları

Hacim-zaman spirogramlarından hesaplanabilen değerler, Zorlu vital kapasite (N: beklenen değerinin %70-80'i) ve Zorlu ekspiratuar hacim 1 (N: zorlu vital kapasitenin %80-85'i) dir.

Prosedürler

Spirometre

Normal ve zorlu solunum hareketleri sırasında akciğerlere giren ve çıkan havanın hacim ve akımı genel olarak spirometre olarak adlandırılan cihazlar ile zaman türevi olarak ölçülerek tesbit edilir. Spirometreleri genel olarak iki türe ayırmak mümkündür. Volüm ölçüm tipi ve akış ölçüm tipi. Yıllarca Collins Stead-Wells adı ile bilinen çan tipi volüm spirometreler yaygın olarak kullanıldı. Çan ağırlığı dengelenmiş şekilde su dolu bir kap içerisinde inspiriyum ve ekspiriyuma yanıt olarak yukarı ve aşağı hareket ederken, çan hareketleri, sabit hızda dönen bir silindir üzerinde traseler çizen kimograf adı verilen cihaz yolu ile kaydedilirdi.

Dışarıdan inspire edilen serbest havanın spirometre içine ekspire edildiği eski açık spirometri uygulamasının yerini günümüzde inspirasyon ve ekspirasyon'un spirometre içinden yapılan kapalı devre spirometreler almıştır. Zaman içerisinde volüm tipi cihazlar yerini tamamen akış ölçümüne dayanan elektronik cihazlara bırakmıştır. Bu cihazlar bir direnç elemanı üzerindeki basınç gradyentine dayanarak hız ve volüm ölçümlerini gerçekleştirirler.

Aşağıda kabaca tarif edilen prosedür zorlu vital kapasite , zorlu ekspiratuar hacim 1, zorlu ekspiratuar hacim 1/ zorlu vital kapasite ve zorlu ekspiratuar akım 25-75 için geçerlidir.

Hasta ayakta veya oturtularak ölçüm yapılır. Spirometreye bağlı bir ağızlık verilir ve burun bir mandal ile kapatılır. Hastadan derin inspiriyum yapıp, nefesini kısa bir süre tuttuktan sonra maksimum ekspirasyon ile duraksamaksızın tam olarak nefesini boşaltması istenir. Kısa dinlenme aralıklarından sonra aynı işlem iki kez daha tekrarlanır ve en az 3 başarılı trase elde edilir. En iyi iki trasenin birbirinden %5den daha fazla bir fark göstermemesi gerekir. Ölçümler yaklaşık 15-20 dakika içinde tamamlanır ve en iyi trase değerlendirmeye alınır.

Yukarıdaki hacim ve kapasitelerden rezidüel hacim, alveoler hacim, fonksiyonel rezidüel kapasite ve total akciğer kapasitesi spirometre ile ölçülemez, bunların ölçümü farklı donanımları

gerektirmektedir. Bunlar için sıklıkla kullanılan yöntemler gaz dilüsyonu ve vücut pletismografisidir.

Gaz dilüsyonu

Akciğerden dolaşıma geçmeyen, atmosferde yoğunluğu düşük, fizyolojik olarak inert bir gaz kullanılarak gerçekleştirilir. Genelde Helyum kullanılır. Gaz hava yollarının açık olduğu akciğer alanlarında dağılır. Gazın dağıldığı alan $c_1 \cdot v_1 = c_2 \cdot v_2$ denkleminde hesaplanabilir.

Vücut pletismografisi

Pilot kabinine benzeyen saydam pleksiglasdan yapılan kapalı bir sistemdir. Kapısı kapatılınca dışarı ile hava bağlantısı kesilir. Hasta içi kompartmanda bulunan hava miktarı basınç hacim değişimlerinden $p_1 \cdot v_1 = p_2 \cdot v_2$ denkleminde hesaplanır. Bu yöntemin avantajı hava yolları ile bağlantısı olmayan kapalı akciğer alanlarının volümünün hesaplanabilir olmasıdır.

Akciğer Total Karbon monoksit Geçirgenlik (Difüzyon) Kapasitesi

Fick prensibi ile difüzyon, herhangi bir maddenin yüksek konsantrasyonlu bölgeden düşük yoğunluklu bölgeye kısa mesafeli transferidir. Akciğer karbon monoksit difüzyon kapasitesi veya transfer faktörü, inspiyumdaki gazın alveolokapiller membran üzerinden kapiller yatağa geçişinin göstergesidir. 1 mmHg basınç farkı altında 1 dakikada alveollerden kana geçen gaz miktarına difüzyon kapasitesi denir. Bu gaz parsiyel basınçları ve difüzyon yüzeyinin natürü ile belirlenir. Akciğer karbon monoksit difüzyon kapasitesi akciğerde alveolokapiller membranın toplam yüzeyi düştüğü, alveolokapiller membranın kalınlaştığı, alveol ventilasyonun azaldığı durumlarda azalmaktadır. Alveolokapiller membran özelliklerinin yanısıra, pulmoner vasküler patolojilerden, kapiller yatak hacimi, perfüzyonu etkileyen diğer faktörlerden, hemoglobin konsantrasyonu, karbon monoksit düzeyi ve hemoglobin ilişkisinden etkilenen karmaşık bir süreçtir. Difüzyon kapasitesi tedavi etkisini ve prognozunu değerlendirmede değerli bir testtir.

Karbon monoksit difüzyon kapasitesi düşük bulunduğunda karbon monoksit difüzyon kapasitesinin alveoler volüme oranına bakılmalıdır. Oran normal sınırlarda ise karbon monoksit difüzyon kapasitesindeki düşüş restriksiyon ya da parenkimal değişikliklere bağlıdır. Oran azalmış ise düşüş obstrüksiyon ya da ölü boşluk artışına bağlıdır.

Testin mekanizması karbon monoksitin oksijene nazaran Hemoglobin'e 210 kat daha kuvvetli

bağlanması temeline dayanmaktadır. Kanda hemoglobin ve karbon monoksit oranları normal sınırlarda olduğu zaman testi etkileyen tek faktör karbon monoksitin alveolokapiller membrandan geçiş oranıdır. Hemoglobine bağlı değişikliklerin tespiti için hemoglobin için uyarlanmış karbon monoksit difüzyon kapasitesine bakılması gerekir.

Uygulama, Tek nefes tekniği

Amerikan Toraks Cemiyeti 1987 ve 1995 yıllarında yayınladığı tavsiye raporları ile tetkikin standardizasyonu ve farklılıkların azaltılmasını amaçlamıştır. Teknik gelişmeler sayesinde gaz konsantrasyonunun dinamik analizi olasıdır ancak klinik kullanım için henüz yeterli veri bulunmamaktadır.

Hasta maksimum inspiryum sonrası %10 Helyum, %0,3 karbon monoksit ve oda karışımı havası soluduktan sonra nefesini 10-12 saniye tutar ve ekspirasyon yapar. Ölü boşluk havası atıldıktan sonra geriye kalan ekspirattan 1 litre toplanır ve karbon monoksit oranı hesaplanır. Helyum inspire edilen gazın akciğer gazı ile dilüsyonunu verir ve böylece ilk alveolar karbon monoksit parsiyel basıncı saptanır. Alveol gazından kaybolan karbon monoksitin nefes tutma sırasındaki karbon monoksit parsiyel basıncı ile orantılı olduğu kabul edilirse difüzyon kapasitesi alveolar karbon monoksit parsiyel basıncının mmHg'si başına dakikada alınan karbon monoksit volümü olarak hesaplanır. Karbon monoksit ile hesaplanan difüzyon kapasitesi akciğer karbon monoksit difüzyon kapasitesi ile gösterilir.

Bugün laboratuarlarda en sık 10sn tek nefes tutma tekniği uygulanmaktadır. Hesaplama sırasında ise Oglive, Jones ve ESP tarafından önerilen yöntemler arasından klasik olarak adlandırılan Oglive yöntemi ve Jones yöntemleri daha sık kullanılmaktadır. ESP kullanımı ise yaygın değildir. Klasik yöntem daha kolay olmasına rağmen Jones yönteminin kullanımı daha hassas sonuçlar verdiği için önerilmektedir.

Akciğer total karbon monoksit difüzyon kapasitesi ölçüm sistemlerde bir gaz kaynağı bulunmaktadır. Bu kaynaklar sıkıştırılmış halde gazları içeren kapsüller, hava karıştırma torbası ve bağlantılardır. Ağzılığa yakın şekilde yerleştirilmiş ölçüm cihazları: pnömokimograf, pnömotakograf ve sürekli/statik gaz analiz duyargaçların Amerika ve Avrupa toraks cemiyetlerince belirlenmiş minimum standartlara uygun olması gerekmektedir.

Koşullar

Akciğer karbon monoksit difüzyon kapasitesi ölçümünün geçerli sayılması için aşağıdaki şartların gerçekleşmesi gerekmektedir. Uygun kalitede ekipman kullanımı, 4sn'den kısa sürede vital kapasitenin %90'ından fazlasının inhale edilmesi, 10sn lik nefes tutma süresinde hava kaçağı, Valsalva ve Müller izleniminin alınmaması, ekspirasyonun 4sn'den kısa sürede ölü boşluklar atıldıktan sonra yeterli örnek oluşturacak şekilde gerçekleşmesi.

Ölçümler 2 saat açlıktan sonra ve hasta en az 5 dakika oturarak dinlenmeden sonra yapılır. Nefes tutma sırasında Valsalva manevrası yapılması akciğer karbon monoksit difüzyon kapasitesini düşük, Müller manevrası yapılması ise yüksek çıkmasına sebep olur.

Akciğer karbon monoksit difüzyon kapasite değeri oturur pozisyonda ölçülmelidir. Ayakta ve yatar pozisyonda yapılan ölçümler geçersiz sonuçlar doğurabilir. Akciğer karbon monoksit difüzyon kapasitesi ayakta düşük ve yatar durumda yüksek çıkmaktadır.

Hastalar akciğer karbon monoksit difüzyon kapasitesi ölçümüne alınmadan önce ağır egzersiz ve yemek gibi pulmoner kapiller yatak hacmini etkileyen faktörlerden uzak tutulmalıdır.

Sağlıklı bir ölçüm için olgunun 24 saat öncesinden itibaren sigara içmemesi önerilmektedir. Alkol alımı ise en az 4 saat önceden sonlandırılmalıdır.

Geçersiz solunum fonksiyon testleri

Solunum fonksiyon testlerinde kalite en önemli kaygı kaynağıdır. İyi merkezlerde tetkikte varyasyona sebep olan bir nolu değişken hastanın etkin efor ve katılımıdır. Çoğu merkezde kullanılan cihazın standartlara uygun olduğu varsayılır. Ancak 1990'da yapılan bir çalışmada cihazların ancak %57'sinin standartlara uygun koşullarda bulunduğunu tespit edilmiştir.

Solunum fonksiyon testlerinin geçersiz sayılmasına sebep olan bazı faktörler şunlardır: Öksürük, glottis kapanması, erken terminasyon, kesintili veya değişken efor, hava sızıntısı, tıkalı bağlantı parçaları. Testin geçerli sayılması için gerekli olan başka bir koşul ise iyi bir solunum başlangıcıdır. Bunun için zirve ekspiratuar akıma ulaşma süresinin 120ms'den kısa olması gerekir.

Tekrarlanabilirlik:

Zorlu vital kapasite ve zorlu ekspiratuar hacim 1 ölçümlerinde birbirinin aynısı olan 3 tetkik elde edilmelidir. İzin verilen maksimum farklılık 0,2 Litre'dir. Fark saptandığı takdirde ve hasta koopere ise ölçüm 8 kez tekrarlanabilir.

Amerikan Thoraks Cemiyetinin "Standardization of Spirometry November 1994 Update" Amerikan Toraks Cemiyetinin yayınladığı ikinci ve son güncellemedir. Önerilerin büyük bir kısmında major bir değişiklik olmadığından Amerikan Toraks Cemiyeti -94 belgesinde yer almayan detaylar için daha kapsamlı kaleme alınan 87 yılındaki belge kullanılmalıdır. Güncellemede özellikle iyi spirometri sonuçları alımında prosedür ve teknisyenin önemi konusunda yeni anlayışlar yansıtılmıştır. Bunun yanısıra BTPS (vücut sıcaklığı, standart basınç ve su buharı ile doymuş), bulaşıcı hastalıkların spirometri ile bulaşmasını önleme ve kalite kontrol konusunda ilaveler yapılmıştır. Bu belge solunum fonksiyon testini uygulamasını gerçekleştirenlere yönelik tavsiyeler içerdiği gibi cihaz üreticilerine yönelik tavsiyeler de içermektedir.

Cihaz üreticilerine getirilen şartlardan biri FEV₁ gibi ölçümlerde gerekli olan sıfır noktası "zero point" veya "start-of-test time" hesaplanması için "back extrapolation" yönteminin kullanılmasıdır. Önerilen ancak şart koşulmayan özelliklerden biri ise cihazın teknisyene test'in yeterliliği hakkında bir takım bilgiler vermesidir.

80'li yılların sonlarında spirometri'de değişik sonuçlar elde etmenin cihazlara bağlı olduğu düşünülmekte idi. Ancak modern ve iyi kalibre edilmiş cihazlar ile bu sorun önemli ölçüde giderilmiştir. 1991 yılında Amerikan Toraks Cemiyetinin yayınladığı raporda (IATSOS3) geçen şu ibare dikkat çekicidir: "olgu içi varyasyonların en büyük sebebi spirometrinin uygunsuz uygulanmasıdır".

Spirometri bireyin inhalasyon veya ekshalasyon hız ve volümünün zaman eksenine göre ölçümüdür. Solunum fonksiyon testleri hastanın eğitimi, anlama gücü, koordinasyonu ve işbirliği ve aktif çaba göstermesini gerektiren tetkiklerdir. Sonuçlar hız, volüm, oran ve eğriler ile ifade edilmektedir. Spirometri sonuçları çeşitli durumlarda morbidite ve yaşam beklenti süreleri ile yakın korelasyon göstermektedir. Spirometri ayrıca solunum fonksiyon probleminin natürü, şiddeti ve tedaviye yanıtı konusunda değerli bilgiler vermektedir.

Amerikan Toraks Cemiyetinin kalite kontrolde ilk adım olarak gördüğü cihaz standardizasyonudur.

Amerikan Toraks Cemiyeti cihaz standartları konusunda önerilerde bulunmakta ancak kendisi cihaz testi ve onayı gerçekleştirmemektedir. Cihazların test edilmesi için bağımsız kaynakların kullanılmasını önermekle birlikte cihazların sahipleri tarafından rutin olarak kalite performansı açısından sınanmalarını önermektedir. Amerikan Toraks Cemiyeti bilgisayarlı cihazların yazılım ve donanımında yapılan her güncelleme sonrası kalite kontrol testlerini zorunlu kabul etmektedir.

Kalite kontrolünden geçmiş bir cihaz ile ölçüm aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır.

Olguya Yaptırılan Manevralar > Ölçüm süreci > Kabul edilebilirlik > Tekrarlanabilirlik > Referans Değerler ile Karşılaştırma > Klinik Değerlendirme ve Kalite Kontrolü (> teknisyene Feedback)

Elde edilen eğri kalite açısından incelenmelidir. Spirometri kalitesi, tekrarlanabilirliği ve kabul edilebilirliği hakkındaki bilgiler, kabul edilebilir ve hatalı eğri örnekleri Amerikan Toraks Cemiyeti dokümanında bulunabilir. Klinik değerlendirme spirometrinin standart bir parçası olarak görülmelidir.

Spirometri'de bazı kavramların tanımı üzerine "American College of Chest Physicians" (ACCP) ve Amerikan Toraks Cemiyeti ortak komisyonu tarafından uzlaşmaya varılmıştır. (atsos12) Buna göre hassasiyet hatası "accuracy error" ölçülen değer ve gerçek değer arasındaki sistematik fark olarak tanımlanır. Spirometri'de hassasiyet çevre faktörlerine duyarlılık, sistemin ve işlemcinin yanıt sıklığı ve doğruluğu, kalibrasyon ve hata düzeltme faktörlerin yeterliliğine bağlıdır. Presizyon ise sinyal/gürültü oranı ve çözünürlükle ilişkilidir. Presizyon hataları tekrarlanabilirliği (arka arkaya yapılan benzer ölçümler arasındaki fark'ı) doğrudan etkiler. Örneğin bir cihaz tüm ölçümleri 1 litre fazla okuyorsa hassasiyet hatası 1 litredir ancak ölçümler arasında fark olmadığından tekrarlanabilir sonuçlar alınmaktadır. Peak Ekspiratuar akım gibi bazı ölçümler için presizyon, hassasiyetten daha önemlidir.

Kapalı sistem ve açık sistem: Açık sistem olarak adlandırılan spirometri'de olgu spirometri ağızlığı takılmadan önce derin bir inspiryum yapar. Bu yöntemde hasta cihazdan soluk almadığından kontaminasyon potansiyeli daha düşüktür. Kapalı sistem olarak adlandırılan yöntemde ise hasta ilk inhalasyonunu cihazdan yapar. Kapalı sistemde hastanın çıkardığı CO₂ sistem içerisinde absorbe edilmeli ve yerine yeterli miktarda O₂ konulmalı. Bu sırada O₂ ve CO₂ miktarlarında bir dengesizlik olursa ölçüm hataları ile sonuçlanabilir. Her iki yöntemin artıları ve eksileri bulunmakta olup iki yöntem'de Amerikan Toraks Cemiyeti tarafından önerilmektedir. Örneğin Ekspiratuar Rezerv Volum, Tidal Volüm ve inspiryum akımları sadece kapalı devrede ölçülebilmektedir.

Amerikan Toraks Cemiyeti cihazları üç kategoriye ayırmaktadır. Tarama amaçlı, Monitorizasyon amaçlı ve Tanısal amaçlı. Diğer iki kategorideki cihazların hata payları yüksek olduğundan tanısal amaçlarla kullanılmaları sakıncalıdır.

Eğriler / Kayıtlar

Eğriler ve kayıtlar bir kaç açıdan gereklidir. Manevraların kalite kontrolü ve kabul edilemeyen manevraların elimine edilmesi. Sistem donanım ve yazılımlarındaki hataların giderilmesi. Bilgisayarın çıkardığı sonuçların hatalı olduğu durumlarda manuel olarak hesapların tekrar yapılması. Elde edilen sonuçların kalıcılaştırılması ve kanıtlanabilmesi.

Solunum fonksiyon testlerinde tüm ölçümler BTPS adı verilen ve normal Body Temperature 37°C , ambient Pressure, Saturated with water vapor (vucut sıcaklığı, standart basınç ve su buharı ile doymuş) şartlarda yapılır. BTPS (vucut sıcaklığı, standart basınç ve su buharı ile doymuş) şartlarında yapılmayan tetkiklerde ise uygun düzeltme yapılması zorunludur. Düzeltmenin uygun yapılmaması potansiyel hata kaynaklarından biridir. Değişik şartlarda yapılan ölçümlerde BTPS (vucut sıcaklığı, standart basınç ve su buharı ile doymuş) düzeltme faktörü %10'a kadar çıkabilmektedir. Buna rağmen Amerikan Toraks Cemiyeti bazı durumlarda ölçümlerin düzelmeye rağmen sağlıklı olmadığını belirtmektedir. Örneğin 17°C nin altında ve 40°C'in üstünde yapılan ölçümler hatalı sonuç vermektedir. Cihaz içi sıcaklığın değişmesi ve cihaz içinde su buharının birikmesi yine potansiyel hata kaynaklarıdır.

Solunum Fonksiyon testleri en az 1 yıl deneyimli bu konuda gerekli eğitimi görmüş teknisyenler tarafından göğüs hastalıkları uzmanı hekim gözetiminde gerçekleştirilir.

Akciğer Karbon Monoksit Difüzyon Kapasitesinde, tuzaklar, varyasyonlar ve hatalar

Anormal akciğer karbon monoksit difüzyon kapasitesi değeri alveolokapiller düzeydeki gaz transferinin bozulduğunu gösteren nonspesifik bir indikatördür; değişikliği pulmoner vasküler veya alveolar hastalığa ve diğer başka faktörlere bağlı olabilir.

Normal değeri yaklaşık olarak 25 ml/dk/mmHg'dır ancak normal değeri hastanın boyu, yaşı ve cinsiyetine göre değişiklik gösterir. Bu nedenle aşağıdaki formülden beklenen değer hesaplanır:

Erkeklerde akciğer karbon monoksit difüzyon kapasitesi = $0,0984(\text{boy}) - 0,177(\text{yaş}) + 19,93$

Kadınlarda akciğer karbon monoksit difüzyon kapasitesi = $0,1118(\text{boy}) - 0,177(\text{yaş}) + 7,72$

Milyonlarca alveolun karbon monoksit difüzyon kapasitesini tek bir değerde toplanması yöntemin doğasında bulunan bir sınırlamadır. Normal akciğerlerde bile akciğerin bazalı ve üst segmentleri arasında graviteye bağlı perfüzyon farklılıkları bulunmaktadır. Testin karmaşıklığından dolayı olgu içi ve olgular arası belirgin farklılıklar gözlenebilmektedir ancak farklı çalışmalar akciğer karbon monoksit difüzyon kapasitesinin akciğer hastalıklarının şiddeti ve kan gazları üzerindeki etkisi ile yakın korelasyon içerdiğini göstermiştir.

Akciğer karbon monoksit difüzyon kapasitesi akciğer fibrozu, skleroderma, pulmoner emboli, akciğer rezeksiyon sonrası, anemi, karbon monoksit kan değerlerinde artış durumlarında azalır. Polisitemi, soldan sağa şant, pulmoner kanama ve egzersiz sonrası artar.

Clausen ve meslektaşları akciğer karbon monoksit difüzyon kapasitesi için laboratuvararası %12.7 farklılık oranı bildirmiştir, zorlu vital kapasite için bu oran aynı çalışmada 3.4 olarak bildirilmiştir. Kangalee ve Abboud tek ve sağlıklı bir olgunun 13 yıl boyunca akciğer karbon monoksit difüzyon kapasitesi ölçümlerinde 42 ml karbon monoksit/dk/mmHg kadar bir farklılık izlenebileceğini bildirmiştir. Wanger ve Irvin beş bireyin 13 laboratuvarda yapılan ölçümlerinde %41'e varan farklılıklar bildirmiştir. Cotes ve arkadaşları ölçüm hatalarından dolayı %53-125 arasında farklılıklara rastlamanın olası olduğunu bildirmişlerdir.

Kronik sigara kullanımı akciğer karbon monoksit difüzyon kapasitesi üzerinde ciddi değişikliklere yol açabilir. Akut sigara kullanımı karboksihemoglobin oluşturarak geridönüşümlü bir akciğer karbon monoksit difüzyon kapasitesi değişikliğine sebep olur. Normal akciğer karbon monoksit difüzyon kapasitesi ölçümü kandaki karbon monoksit düzeyinin sıfır olduğu varsayımı ile gerçekleştirilir. Etanol kullanımı akciğer karbon monoksit difüzyon kapasitesinin %15 kadar düşük çıkmasına sebep olabilmekte.

Bir kaç yazar akciğer karbon monoksit difüzyon kapasitesinin gün içerisinde düşecek şekilde diurnal varyasyon gösterdiğini bildirmiştir. Menstruasyon ile birlikte akciğer karbon monoksit difüzyon kapasitesinin %13 kadar düştüğü bildirilmiştir. akciğer karbon monoksit difüzyon kapasitesinin kan hemoglobin düzeyi ile yakın ilişkisi vardır. Pek çok merkezde normal

hemoglobin'e sahip olmayan olgular için düzeltme kullanılmaktadır.

Kardiopulmoner egzersiz testi ise efor kısıtlılığının derecesi ve etiyojisinin aydınlatılmasına yardımcı olabilmektedir. PaO₂'deki azalma ve A-a gradiyentine artış dinlenme sırasında ölçülen değerlerden daha duyarlı sonuçlar vermektedir. Egzersiz sırasında kan gaz değerleri ve solunum fonksiyon testleri normal iken, kan oksijen saturasyonu egzersizde belirgin olarak düşebilmektedir. Hastaların çoğunda egzersiz intoleransının sebebi pulmoner iken detaylı araştırmalar kardiak, pulmoner vasküler, kasiskelet sistemi sorunlarını ortaya çıkarabilir.

Fizyolojik sürece duyarlılığı ile egzersiz testlerinin seri olarak tekrarlanması tedaviye yanıtın erken evrede değerlendirilmesini sağlayabilir.

Interstisyel akciğer hastalıklarında statik akciğer volümleri tipik olarak azalır. Çoğu kez vital kapasite, total akciğer kapasitesi ve zorlu rezidüel kapasiteden daha fazla düşüş gösterir. Zorlu vital kapasite fizyolojisini etkileyen majör iki sebep sigara kullanımı ve cinsiyet olarak belirtilmektedir.

Solunum fonksiyon testleri pek çok nedenle idiyopatik pulmoner fibrozda kullanılmaktadır. Bunlar arasında 1, tanının desteklenmesi, 2, hastalıklarda ağırlık derecesinin tespiti, 3, prognozun tanımlanması ve 4, hastalık seyrinin takibi, tedaviye yanıtın düzenlenmesi.

Bazı merkezlerde solunum fonksiyon testlerini interstisyel akciğer hastalıklarının ayırıcı tanısında kullanılmak amacı ile çalışmalar yürütülmüştür. Maalasef çeşitli hastalıkların bulguları arasında önemli oranlarda örtüşme bulunup klinik pratikte kullanılabilir yararlılıkta bir sonuç çıkarılamamıştır. Ayrıca çeşitli histolojik bulgular ile solunum fonksiyon testlerinin fizyolojik bulgularını karşılaştıran çalışmalarda herhangi bir sonuca varılamamıştır.

Solunum fonksiyon testlerinin basit ve bir çok yerde ulaşılabilir olması dolayısıyla immün baskılamaya yanıtın bu yolla saptanması denenmiştir. Ancak hastalığın hücrel şiddeti ile bir korelasyon kurulamamıştır. Solunum fonksiyon testleri ile sigara içimi ve fibrozisin şiddeti arasında anlamlı bir ilişki bulunmuştur.

İdiopatik pulmoner fibrozda düşük zorlu vital kapasite (<%60) ve düşük karbon monoksit difüzyon kapasitesi (%40), düşük sürvi ile ilişkilidir. Vital kapasite ve total akciğer kapasitesinde kombine bir düşüş, sistemik skleroz sürvisinde büyük bir azalma (%46) ile birlikte. Panos ve arkadaşları zorlu vital kapasitenin <%50, karbon monoksit difüzyon kapasitesinin %45'in altında olduğu vakalarda

yüksek pulmoner hipertansiyon riski bulunduğunu saptamıştır.

Çok az çalışmada fizyoloji ve yüksek çözünürlüklü bilgisayarlı tomografinin hastalık aktivitesini belirlemedeki yeri karşılaştırılmıştır. Wells çalışmasında yüksek çözünürlüklü bilgisayarlı tomografide buzlu cam görünümünün yüksek pozitif kestirim değerine sahip olduğunu saptamıştır.

Solunum fonksiyon testleri basitliği ve kolay yapılabilirliği, klinik pratikte tedaviye yanıtın belirlenmesinde ve hastalık progresyonunun izlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Kısaca

- 1. Solunum fonksiyon testleri tanıda yardımcı olmakla birlikte anomali paternleri non-spesifiktir.
- Hastalığın histolojik şiddeti hakkında bilgi vermekle birlikte, fibroz ve enflamasyon tanısında yardımcı olmamaktadır.
- Baz olarak yaptırılan solunum fonksiyon testleri, prognoz hakkında fikir verebilir.
- Seri olarak yaptırılan solunum fonksiyon testleri hastalığın ilerlemesi ve tedaviye yanıtın değerlendirilmesi konularında bilgi verebilir.
- Sağladıkları bilgi açısından Zorlu vital kapasite ve karbon monoksit difüzyon kapasitesi diğer testler arasında öne çıkan iki testtir.

Solunum işlev bozuklukları

Akciğer röntgenografik bulguları negatif olsa bile hastanın ilk başvurusunda çoğu kez patolojik bir solunum fonksiyon test sonucuna rastlamak mümkün.

Ventilasyon

Solunum işlevleri sistemik sklerozlu hastalarda ayrıntılı biçimde incelenmiştir. Sistemik sklerozda Restriktif patern ve pulmoner fibrotik değişiklikler ilk kez 1949 yılında Baldwin ve arkadaşları tarafından bildirildi. McCarthy ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada 34 hastanın üçte birinde normal fonksiyon, üçte birinde restriktif tipte, üçte birinde ise küçük hava yolu hastalığı saptandı. Diğer çalışmalarda benzer sonuçlar bildirildi.

Restriktif tipte bir bozukluk zorlu vital kapasite, total akciğer kapasitesi ve rezidüel volümde azalma olarak tarif edildiğinde restriktif tipte bozukluk oranı %30 - %60 arasında bildirilmiştir. En sık restriktif tipte patoloji izlense de sistemik skleroz hastaları küçük havayolu hastalığı, veya normal solunum fonksiyon testlerine sahip olabilirler. Sistemik skleroz hastalarında vital kapasite, zorlu ekspiratuar hacim 1, azalma gösterir

Sistemik sklerozda en kapsamlı solunum fonksiyon değerlendirilmesi Owens ve arkadaşları tarafından yapılmıştır. Çalışma grubu; bilinen başka akciğer hastalığı bulunmayan, sigara içmeyen 165 yaygın ve sınırlı skleroderma hastasından oluşmuştur. Hastaların 109'unda (%66) solunum fonksiyon testlerinde problem saptanmıştır. Problem hastaların %28'inde restriktif, hastaların %12'sinde obstrüktif olarak saptanmıştır. Obstrüktif problem yaygın tipte olguların (n=77) %8'inde, sınırlı tutulum gösteren hastaların (n=88) %16'sında saptanmıştır. Saptanan problemler çoğu kez orta şiddette değerlendirilmiştir. Problemlerin dağılımı ve sıklığı sınırlı ve yaygın tipte benzer olarak saptanmıştır.

Guttadiuria ve arkadaşları ortalama 4.25 yıl (5ay-20yıl) takip altında olan 45 hastayı değerlendirmiştir. Yaklaşık üçte biri sigara içiyordu. Tüm hastalarda solunum işlev problemleri saptanmıştır. Guttaduria çalışmasında en sık solunum fonksiyon test problemi olarak %92 ile rezidüel hacimde artış bildirilmiştir. Rezidüel hacimde artışlar dinamik havayolu kollapsı ve küçük havayolu hastalıklarını düşündürmektedir. Bu bulgunun küçük hava yollarında geçişin erken tıkanması ile bağlantılı olduğu tahmin edilmektedir. %30'unda restriktif tip problemler saptanırken,

%70'inde karbon monoksit difüzyon kapasitesi düşük bulundu. Hastaların %27'sinde büyük hava yolu tutulumunu düşündürecek şekilde zorlu ekspiratuvar hacim 1/ zorlu vital kapasite, beklenen değerlerin %75'inden düşük olarak saptanmıştır.

Sistemik skleroz hastalarında küçük havayolu hastalığı varlığı henüz bazıları için tartışmalı olsa da farklı kaynaklarda varlığı %13-25 arasında bildirilmiştir. Bazı kaynaklar D-penicillamine gibi drogların küçük havayolu hastalığı gelişimine katkıda bulunabileceğine dikkat çekmektedir. Pulmoner tutulumun diğer formları olmadan tek başına bronşiolit nadiren ağırdır.

Statik akciğer kompliansı akciğer mekaniğini en iyi gösteren ölçümlerden biri olmasına karşın çok az çalışmada kullanılmıştır. Scheja ve arkadaşları statik akciğer kompliansının karbon monoksit difüzyon kapasitesi ve vital kapasite ile ilişkili olduğunu saptamıştır. Bazı araştırmacılar statik akciğer kompliansı değerinin karbon monoksit difüzyon kapasitesinden daha duyarlı olduğunu bildirmiştir.

Difüzyon kapasitesi

Akciğer karbon monoksit difüzyon kapasitesi skleroderma hastalarında sıklıkla düşük bulunur. karbon monoksit difüzyon kapasitesi düşüklüğü akciğer fibrozu, pulmoner hipertansiyon veya her ikisinin bulgusu olabilir.

Owens ve arkadaşlarının çalışmasında hastaların 37'sinde (%22) karbon monoksit difüzyon kapasitesinde düşüş saptandı. Azalmış karbon monoksit difüzyon kapasitesi sistemik skleroz hastalarında sık izlenen alveol duvar kalınlaşması ve vasküler obliterasyon ile ilişkilidir. Azalmış karbon monoksit difüzyon kapasitesinin, sistemik skleroz hastalarında en erken bulgu veren solunum fonksiyon testi ve aynı zamanda en duyarlı test olduğu saptandı. Düşük karbon monoksit difüzyon kapasitesine sınırlı tipte daha sık rastlanır. karbon monoksit difüzyon kapasitesinin artması nadir görülse bile 6 hastada bildirilmiştir. Bu çalışmayı gerçekleştiren araştırmacılar hastalığın geç döneminde fibrozun yerleşmesi ile birlikte enflamatuvar komponentin azalması sonucu geçirgenlik artışının mümkün olabileceğini belirtmiştir.

Akciğer karbon monoksit difüzyon kapasitesi düşüş düzeyi genellikle restriktif süreç ile paralellik gösterir ancak hastaların %15'inde (%0-%30) diğer solunum fonksiyon testleri normal bulunduğu

halde akciğer karbon monoksit difüzyon kapasitesi düşük bulunur. Bu izole akciğer karbon monoksit difüzyon kapasitesi düşüklüğü sınırlı tipte biraz daha sık görülür. Bazı yazarlar bu sıklığı sınırlı tipte daha sık görülen pulmoner vasküler problemlere bağlamıştır. Akciğer karbon monoksit difüzyon kapasitesinde izole şekilde belirgin düşüklük (<%45) erken pulmoner hipertansiyon bulgusu olarak kabul edilmektedir. Pulmoner vaskülopatili hastalarda akciğer karbon monoksit difüzyon kapasitesinde düşüklük, pulmoner kapiller dolaşımında kan volümünün düşmesi ve kan-gaz bariyerinde ventilasyon/perfüzyon oranı değişikliklerine bağlanmıştır.

Bazı yazarlar akciğer karbon monoksit difüzyon kapasitesindeki düşüşün en erken ve en duyarlı pulmoner tutulum belirtisi olarak kabul edilmesini gerektiğini önermişlerdir. Bazı çalışmalarda ise bu bulgu sadece sınırlı sayıda hastada pozitifleşmiştir. Bazı araştırmacılar ise akciğerde elastik geri dönüş (elastik recoil) kuvvetinin azalmasını fibroz ve sistemik sklerozda en erken akciğer bulgusu olarak kabul etmek gerektiğini bildirmişlerdir. Bu görüşe göre elastik dokunun kaybı ve kollajen liflerinde artış akciğer kompliansında düşüşe sebep olmaktadır.

Solunum işlevlerinin doğal seyri

Sistemik sklerozda pulmoner tutulumun seyri değişken olabilmektedir, ancak çoğunlukla zorlu vital kapasitenin azalması ile birlikte olan ilerleyici bir gelişim izlenir. Schneider ve arkadaşları sistemik sklerozlu 38 hastayı ortalama 63 ay boyunca takip ettiler 38 hastanın 27sinde (%71) zorlu vital kapasitenin normal popülasyona göre 3 kat daha hızlı düşüşle seyrettiğini saptadılar. Başlangıçta zorlu vital kapasitesi normal ve patolojik olan hastaların takibinde fonksiyon düşüş hızında anlamlı bir fark saptanmadı. Akciğer karbon monoksit difüzyon kapasitesi takibi yapılabilen 28 hastada ise akciğer karbon monoksit difüzyon kapasitesi normal popülasyon ile orantılı bir düşüşle seyretti. Bu çalışma, zorlu vital kapasite ve akciğer karbon monoksit difüzyon kapasitesi başlangıç değerlerinin bize pulmoner hastalık prognozu ile ilgili fazla fikir vermediğini göstermiştir. Sigara içenlerde ise zorlu vital kapasite ve zorlu ekspiratuar hacim 1/ zorlu vital kapasite, sigara içmeyenlere göre daha hızlı bir şekilde düşmüştür.

Sistemik skleroz hastalığının doğal seyri değişken olmasına karşın sistemik skleroz hastalarında zorlu vital kapasitenin normal popülasyona göre 3 kat daha hızlı azaldığı saptanmıştır. Karbon monoksit difüzyon kapasitesi düşüş hızı normal popülasyona eşit bulunmuştur. Zorlu ekspiratuar hacim 1/ zorlu vital kapasite ve zorlu vital kapasite sigara içenlerde daha hızlı bir düşüş ile seyretmektedir. Zorlu vital kapasite ve karbon monoksit difüzyon kapasitesinin ilk ölçümlerinden

hastalık prognozu konusunda bir bilgi elde edilmesi olası olmamıştır.

Greenwald ve arkadaşları tarafından yapılan prospektif bir çalışmada sigara anamnezinden bağımsız olarak ortalama 3 yıl takip süresinde (1-9yıl) akciğer hacimleri ve difüzyon kapasitesindeki düşüşün beklenenin üstünde olduğu tespit edilmiştir. Basınç volüm indekslerinde (total akciğer kapasitesinin %90'ında statik rekoil ve komplians) akciğerde sertleşme bulgularına rastlanmıştır. Bu bulgular diffüz interstisyel akciğer hastalığı progresyonu ile uyumludur. Akciğer hacimlerinde normale nazaran daha hızlı bir düşüşe rağmen hastaların semptomlarında hissedilir bir değişiklik gerçekleşmedi. Bu bulgular skleroderma akciğer tutulumunun yavaş ilerleyici bir seyir izlediğini desteklemektedir.

Kan gazları

Solunum fonksiyon testleri normal bulunan sistemik sklerozlu hastaların arteriel kan gazları dinlenme ve egzersiz sırasında çoğu kez normaldir. Solunum fonksiyon testleri restriktif tipte olanlarda ise egzersiz ile kötüye giden bir kan gazları tablosu izlenebilir. Egzersiz sırasında sıklıkla alveoloarteriel oksijen gradientinde artış saptanır. Dinlenme ve egzersiz sırasında PaCO₂ normal veya düşüktür. Bu bulgular diğer interstisyel akciğer hastalıkları ile benzeşmektedir. Kanda karbon dioksit parsiyel basıncı dinlenme ve egzersiz sırasında, azalmış veya normal bulunmuştur.

Arroliga ve arkadaşları sigara kullanmayan 165 sistemik skleroz hastasından %37'sinin izole akciğer karbon monoksit difüzyon kapasitesi düşüklüğüne sahip olduğunu, 77 yaygın sistemik skleroz hastasında %37 normal solunum fonksiyon testi, %34 restriktif, %8 obstrüktif, %14 izole akciğer karbon monoksit difüzyon kapasitesi düşüklüğü, 88 sınırlı sistemik skleroz hastasında ise %28 normal, %23 restriktif, %16 obstrüktif, %23 izole akciğer karbon monoksit difüzyon kapasitesi düşüklüğü saptadı.

Dujic ve arkadaşları 6 hastada paradoksal akciğer karbon monoksit difüzyon kapasitesi yüksekliği bildirmiştir.