

# Solunum Fonksiyon Testleri

Tuğba Şişmanlar

Solunum sistemi hastalıkları, çocukluk çağında hastane başvuruları ile hastaneye yatışların önemli bir kısmını oluşturur ve çocukluk döneminin önemli morbidite ile mortalite nedenlerindendir. Erişkinlerde olduğu gibi çocuklarda da solunum fonksiyon testleri (SFT), akciğer fonksiyonlarındaki bozukluğu ve bozukluğun derecesini belirlemek, hastalık ve tedaviye yanıtı değerlendirmek ve cerrahi girişimlerde riski belirlemek için kullanılan objektif testlerdir.

Geçmiş yıllarda, okul öncesi çocuklarda (2-6 yaş) etkili solunum manevralarının gerçekleştirilememesi nedeniyle spirometrik ölçümlerin yapılamadığı belirtilmekteydi. Ancak günümüzde bu yaş grubu çocuklarda da spirometrik testler, geliştirilen spirometre cihazları ve testlerde uygulanan tekrar edilebilirlik ve kabul edilebilirlik değerleriyle gelişmiş laboratuvarlarda bu konuda eğitimli personel tarafından uygulanabilmektedir. Çocuklarda SFT endikasyonları **Tablo 1**'de gösterilmiştir.

Solunum fonksiyon testleri test performansını etkileyecek akut hastalık, nedeni bilinmeyen hemoptizi, pnömotoraks, yakın zamanda geçirilmiş abdominal, torakal veya göz cerrahisi, miyokard enfarktüsü, anstabil anjina ve torasik anevrizma varlığında yapılmamalıdır (1).

Testler, elle kullanılan veya elektronik aletlerle yapılan basit spirometreden, sadece özel laboratuvarlarda yapılabilen komplike testlere kadar değişebilir. Solunum fonksiyonlarının hangi yönünü ölçtüklerine göre kategorize edilmiştir. Hava yolu fonksiyonu (solunan havanın hacmi, akım hızı, rezistans, kompliyans), akciğer hacimleri (total akciğer kapasitesi, fonksiyonel rezidüel kapasite, alveolar ventilasyon), gaz difüzyon kapasitesi, kan gazı ölçümleri, kardiyopulmoner egzersiz testleri ve metabolik ölçümler, kullanılan testlerdir. Sonuçlar genellikle ırk, yaş, cinsiyet, boy ve kilo için beklenen değerlerle karşılaştırılarak yorumlanır.

**Tablo 1:** Çocuklarda solunum fonksiyon testlerinin endikasyonları (2)

|                                                                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------|
| Solunumsal şikayeti olan çocuklarda akciğerdeki mekanik anormalliği saptamak     |
| Akciğer fonksiyon bozukluğunun derecesini belirlemek                             |
| Fonksiyon bozukluğunun tipini belirlemek (obstrüktif, restriktif, miks)          |
| Obstrüksiyonun yerini küçük ya da büyük hava yolu olarak belirlemek              |
| Obstrüksiyonu sabit/değişken ya da intratorasik/ekstratorasik olarak ayırt etmek |
| Akciğer hastalığının gidişatını değerlendirmek                                   |
| Tedavi yöntemlerinin etkisini değerlendirmek ve bunlarla tedaviye yön vermek     |
| Hiperreaktiviteyi değerlendirmek                                                 |
| Anestezi ile yapılan tanı ve tedavi işlemlerinin riskini değerlendirmek          |
| Kemoterapi ve radyoterapinin akciğerlerdeki yan etkilerini gözlemlemek           |
| Akciğer yetersizliğinin derecesini belirlemek ve prognozunu öngörmek             |
| Akut ve kronik hastalıkların akciğer gelişimi üzerindeki etkisini incelemek      |

Çocukların boyları uzadıkça akciğerleri de büyür. Kızlarda 16, erkeklerde 18 yaş civarında büyüme durur; ancak akciğer fonksiyonları 30'lu yaşlara kadar gelişmeye devam eder. Bu gelişim 20-30 yaş arası plato yapar, orta yaştan yaşlılık dönemine kadar yavaş ve sabit bir şekilde azalır.

Çocuklarda akciğer hacim ve akım hızları düşük olduğu için, kullanılan aletlerin düşük hacimlerde de doğru ölçüm yapabilmesi gereklidir. Doğru ölçüm için aletlerin ilk kalibrasyonundan sonra her gün yeniden kalibre edilmesi gerekir. Çocuklarda solunum fonksiyon testi uygulaması büyük beceri ve sabır gerektirir. Testi uygulayan kişinin çocuklarla çalışma konusunda tecrübeli ve sabırlı olması ve testler için yeterince zaman harcaması gerekir (3).

## Spirometre

Kliniklerde en yaygın kullanılan cihaz spirometredir. Cihazların ucuz, taşınabilir, evlerde kullanılabilecek tiplerinin olması ve uygulama kolaylığı sağlamalarına karşın bu testin yapılması kooperasyon gerektirir. Kılavuzlarda 5 yaşından sonra spirometrik testlerin yapılabileceği belirtilse de, genel olarak pratikte ancak 7 yaşından büyük çocuklarda gerekli kooperasyon sağlanabilmektedir. Derin, tam bir inspirasyondan sonra zorlu bir ekspiratuar manevra esnasında, hava yolu ve akciğer ha-

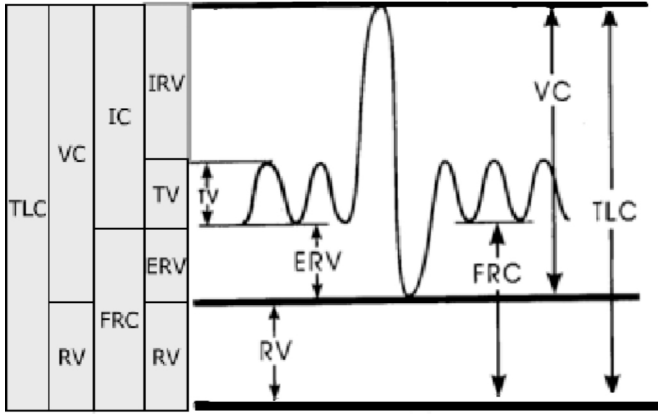
cimleri ölçülür. Ölçüm sırasında derin bir inspirasyon ile güçlü, hızlı ve üfleyemez duruma gelene kadar verilen derin bir ekspirasyon yapılmalıdır. Ekspirasyon süresi en az 6 saniye olmalı ve gerekirse 15 saniyeye kadar uzatılmalıdır. Öksürükle test kesilirse çocuk en az 20 dakika dinlendikten sonra test tekrarlanmalıdır. Bir defada 8 tekrardan fazlası önerilmez. Spirometrik test uygulanırken aşağıdaki basamaklar izlenmelidir (4):

1. Hastanın boyu, vücut ağırlığı ölçülür ve yaşıyla birlikte kaydedilir.
2. Hastanın burnuna mandal takılır.
3. Hasta ağzına uygun tek kullanımlık ağızlığı dudakları arasına alıp sıkıca tutar.
4. 4-5 defa normal tidal solunum yapar.
5. Olabildiğince derin ve kuvvetli bir nefes alır.
6. Hiç beklenmeden hızlı ve kuvvetli bir şekilde nefes verir.
7. Bu şekilde zorlayarak en az 6 saniye süreyle nefes vermeye devam eder.
8. Yeterli sürede nefes verdikten sonra tekrar derin nefes alması sağlanarak test sonlandırılır.
9. Doğru şekilde art arda yapılmış en az üç test içinden en yüksek değerlere sahip olan seçilir.

Çocuğun tidal solunum sonrası derin nefes almaması ya da hızlı ve kuvvetli ekspiryum manevrası yapmaması, ağızlık etrafından hava kaçışı, oturur ya da öne eğilir pozisyonda test yapılması, test sırasında konuşması veya ses çıkarması, uygulamada karşılaşılabilecek hatalardır ve engellenmelidir.

Spirometrik test uygulamasında her çocuğa en az iki veya üç ölçüm yapılması gereklidir. Art arda yapılan iki testte FVC ve FEV<sub>1</sub> değerleri arasındaki değişkenlik %5'ten az ise üçüncü teste gerek yoktur. Aynı anda tekrarlanan testler arasında %10'dan fazla değişkenlik kabul edilemez (4). En iyi test, akım volüm eğrisi uygun bulunan testler içinde FVC ve FEV<sub>1</sub>'in mutlak değerleri toplamı en yüksek olan testtir.

Akciğer fonksiyonları fizyolojik olarak dört hacimden oluşmaktadır. Ekspiratuar rezerv hacim (ERV), inspiratuar rezerv hacim (IRV), rezidüel hacim (RV) ve tidal hacim (VT). Dört hacmin toplamı total akciğer kapasitesini (TLC) verir. Basit spirometre ile zorlu vital kapasite (FVC), zorlu ekspiryumun 1. saniyesinde çıkarılan hava hacmi (FEV<sub>1</sub>), FEV<sub>1</sub>/FVC oranı, zorlu ekspirasyonun ortasındaki akım hızı (FEF<sub>25-75</sub> veya MEFR), zirve ekspiratuar akım hızı (PEFR), vital kapasite (VC), inspiratuar hacim (IV) ve ekspiratuar rezerv hacim (ERV) mutlak değerleri ölçülür ve aynı yaş, boy, ırk ve cinsiyetteki sağlıklı çocuk verilerinden elde edilen referans değerleriyle karşılaştırılarak % değerleri belirlenir (5,6). Ancak spirometre ile rezidüel hacim ölçülemeyeceği için, total akciğer kapasitesi belirlenemez. **Şekil 1**'de akciğer hacim ve kapasiteleri görülmektedir.



**Şekil 1:** Akciğer hacim ve kapasiteleri

### Vital Kapasite

Akciğerlerde tam inspirasyon ve maksimum ekspirasyon arasında değişen hava hacmidir. Derin bir inspiryumdan sonra hem yavaş hem de kuvvetli bir ekshalasyonun hacmini ölçmek mümkündür. Zorlu vital kapasite ve yavaş vital kapasite normalde birbirine eşittir. Ancak hava yolu obstrüksiyonu olan çocuklarda kuvvetli ekshalasyonla hava yolu daralması olur ve akciğerde fazla hava birikimi nedeniyle rezidüel hacim artar. Böylece FVC azalır. Bu nedenle hava yolu obstrüksiyonu olan çocuklarda yavaş vital kapasite, zorlu vital kapasiteden fazladır.

VC pnömoni, pulmoner ödem, atelektazi, akciğerde yer kaplayan lezyonlar, nöromusküler hastalıklar, göğüs duvarı deformiteleri, santral sinir sistemi depresyonu, akciğer dokusunun cerrahi çıkarılması gibi restriktif akciğer hastalıklarında azalır. Bazen obstrüktif hastalıklarda da RV, TLC'den daha çok artacağı için azalabilir. Bu nedenle VC'deki bu azalmanın obstrüktif mi yoksa restriktif bir rahatsızlığa mı bağlı olduğunu anlamak için akciğer hacimlerinin ölçülmesi gerekir. Vital kapasite ile akciğer hacimlerinin de (RV, TLC) azalması restriktif hastalığı destekler.

### Zorlu Vital Kapasite (FVC)

Derin inspiryumunu takiben hızlı ve güçlü ekshalasyonla çıkan hava hacmidir. Sağlıklı kişiler normal olarak akciğer hacimlerinin %80'ini 6 saniye ya da daha kısa sürede ekshale edebilir. Ağır obstrüksiyonu olan kişilerde bu süre 20 saniyeye kadar uzayabilir. FVC, mukus tıkaçları, kistik fibrozis, bronşektazi, astım, göğüs duvarı deformiteleri ile nöromusküler hastalıklar gibi obstrüktif ve restriktif hastalıklarda azalabilir.

**Zorlu Ekspiryumun 1. Saniyesinde Çıkarılan Hava Hacmi (FEV<sub>1</sub>)**

Zorlu vital kapasite manevrasının başlangıcından itibaren birinci saniyede çıkarılan hava hacmidir. Genel olarak büyük hava yollarındaki kısıtlama hakkında bilgi verir. FEV<sub>1</sub>/FVC oranının azalması obstrüksiyonu, FEV<sub>1</sub> ise obstrüksiyonun şiddetini gösterir (2). Bronkospazm, astım, mukus sekresyonu gibi obstrüktif hastalıkların yanı sıra akciğer fibrozisi, nöromusküler hastalıklar ve akciğerde yer kaplayan lezyon gibi restriktif durumlarda da azalır.

**Vital Kapasitenin %25-%75 Arasındaki Zorlu Ekspiratuar Akım (FEF<sub>25-75</sub>)**

Zorlu vital kapasite manevrasının %50'sindeki ortalama akım hızıdır. Orta ve küçük çaplı bronşlardaki obstrüksiyon hakkında bilgi verir. Obstrüktif hastalığın erken dönemlerinde azalmaya başlar. FEV<sub>1</sub>/FVC oranının sınırdaki olduğu bir dönemde FEF<sub>25-75</sub> hava yolu obstrüksiyonunu göstermede yardımcı olur. Restriktif hastalıkların derecesi arttıkça FEF<sub>25-75</sub> değerinde de dolaylı azalmalar izlenebilir.

**Zirve Ekspiratuar Akım Hızı (PEF)**

Maksimum inspirasyonu takiben maksimum ekshalasyon manevrası ile ölçülür. Büyük hava yollarındaki obstrüksiyon hakkında bilgi verir. Genellikle FEV<sub>1</sub> ölçümleriyle koreledir. Hem erişkin hem de 5 yaşından büyük çocuklar için evde ölçüm yapılabilecek taşınabilir aletleri (pefmetre) mevcuttur. Uzun dönemli ölçümü, özellikle çocukluk çağı astımı takibinde çok yararlı bir göstergedir. Önceden bazal değerleri bilinen çocuklarda değişiklikleri monitörize etmek için kullanılır (7).

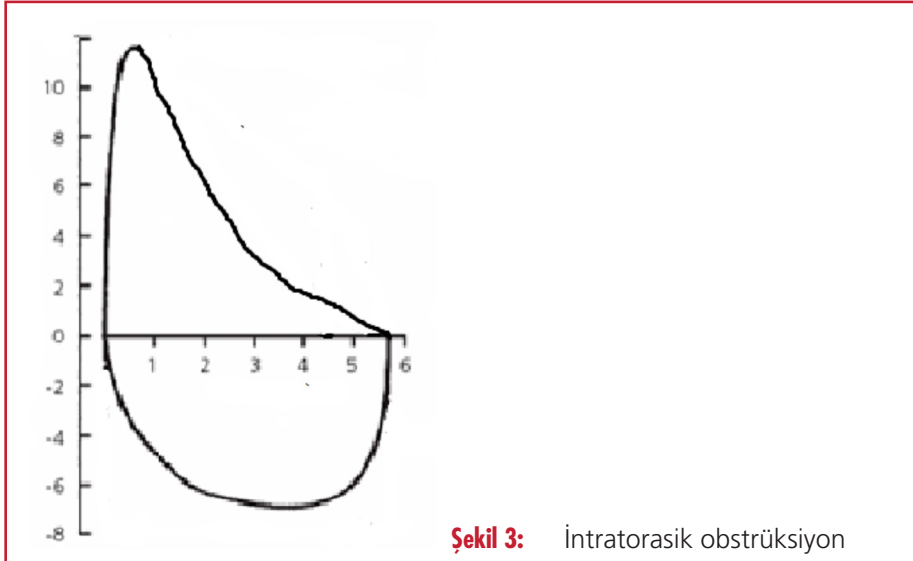
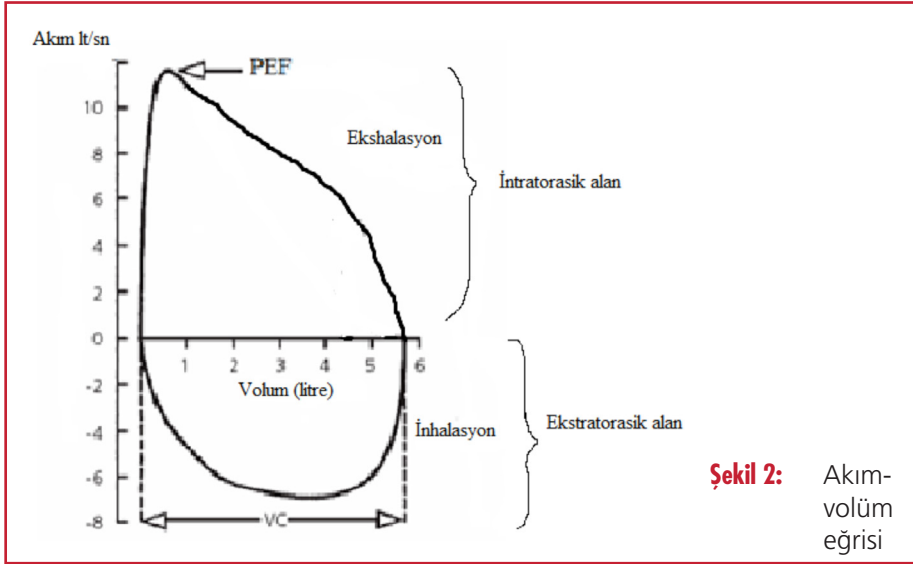
**Spirometrik Testlerin Yorumlanması**

Spirometrik testlerde akım-volüm ve -zaman eğrisinin şekline ve sayısal parametrelerine bakılarak solunum fonksiyon bozukluğunun tipi ve şiddeti hakkında bilgi sahibi olunabilir.

Akım-volüm eğrilerinde dikey eksen akımı, yatay eksen volümü; üst taraftaki eğri intratorasik alanı ve aşağıdaki eğri ekstratorasik alanı gösterir (**Şekil 2**). İyi yapılmış bir testte iki eğri birbirini tamamlayacak şekilde devamlılık gösterir ve konveks şekildedir (8).

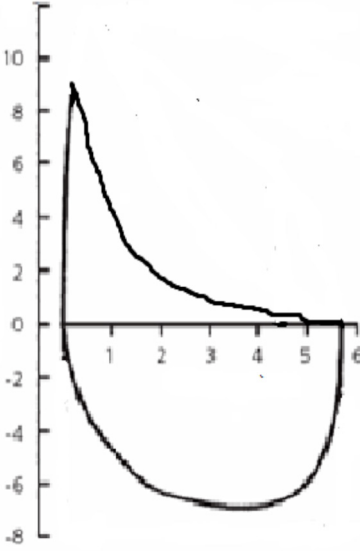
Astım, bronşiolitis obliterans gibi intratorasik obstrüksiyon varlığında üstteki eğri konkav bir şekil alır (**Şekil 3**). Obstrüksiyonun derecesi arttıkça konkavite de artar (**Şekil 4**).

Sinüzit, adenoid hipertrofi, rinit, vokal kord obstrüksiyonu ve laringomalazi gibi ekstratorasik obstrüksiyon varlığında ise alttaki eğride küntleşme, düzleşme izlenir (**Şekil 5**). Vasküler halka, trakeal stenoz gibi hem intratorasik hem de ekstratorasik (fiks obstrüksiyon) durumunda hem üst hem de alttaki eğride küntleşme gözlenir (**Şekil 6**).

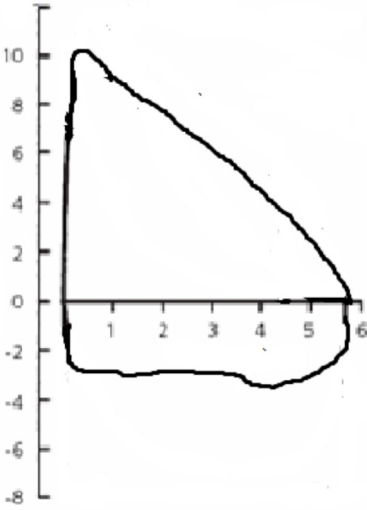


Restriktif hastalıklarda (pnömoni, atelektazi, pulmoner ödem, fibrozis, lobektomi, plevral effüzyon, göğüs kafesi deformiteleri, nöromüsküler hastalıklar...) VC azalacağı için eğri alanı daralır. VC'deki azalmayla doğru orantılı olarak akım hızı da azalırsa eğri ayrıca kısalacaktır (**Şekil 7**).

Spirometrik ölçümlerde bozukluğun obstrüktif, restriktif veya miks tipte olup olmadığı  $FEV_1$ , FVC,  $FEV_1/FVC$ ,  $FEF_{25-75}$ 'in sayısal değerlerinin, referans değerlerine

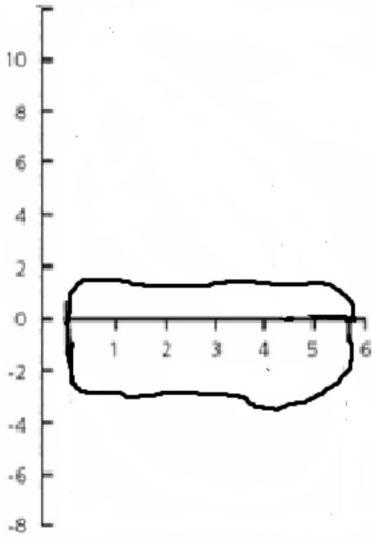


**Şekil 4:** Ağır intratorasik obstrüksiyon

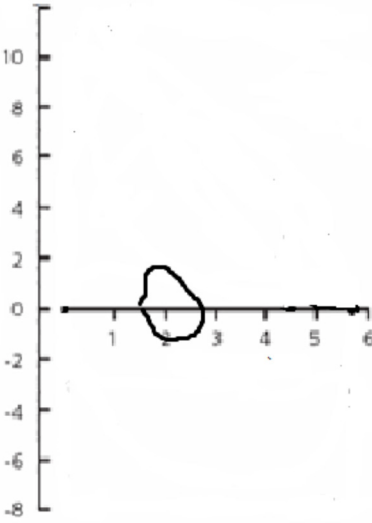


**Şekil 5:** Ekstratorasik obstrüksiyon

göre %'sine bakılarak değerlendirilebilir<sup>9</sup> (**Tablo 2**). Akciğer fonksiyon testlerinin normal değerleri **Tablo 3**'te gösterilmektedir. FVC obstrüktif bozukluklarda normal aralıktadır (>%80). Ancak ağır obstrüktif bozukluklarda FVC de azalabilir (<%80). Obstrüktif hastalıkların semptomlu dönemlerinde hemen hemen daima FEV<sub>1</sub> dü-



**Şekil 6:** Fiks obstrüksiyon



**Şekil 7:** Restriktif tipte spirogram

şer ( $<80\%$ ).  $FEV_1$ 'deki bu düşüş, ağır obstrüktif bozukluklarda FVC'den daha belirgin olur. Bu nedenle  $FEV_1/FVC$  oranının düşüklüğü ( $<80\%$ ) primer obstrüksiyon parametresi olarak kullanılır. Obstrüktif hastalıklarda orta-küçük çaplı hava yolları da etkilenmişse  $FEF_{25-75}$  değeri de düşer ( $<70\%$ ). Restriktif hastalıklarda VC ve FVC düşer ( $<80\%$ ),  $FEV_1$  de bu düşüşle orantılı olarak azalır ( $<80\%$ ), ancak  $FEV_1/FVC$

**Tablo 2:** Solunum fonksiyon bozukluklarında sayısal spirometrik değerler ve akciğer hacim parametreleri

| Parametre             | Obstrüktif    | Restriktif              | Miks tip |
|-----------------------|---------------|-------------------------|----------|
| FVC                   | Normal veya ↓ | ↓                       | ↓        |
| FEV <sub>1</sub>      | ↓             | Normal veya ↓           | ↓        |
| FEV <sub>1</sub> /FVC | ↓             | Normal                  | ↓        |
| FEF <sub>25-75</sub>  | ↓             | Normal veya ↓<br>veya ↑ | ↓        |
| TLC                   | Normal veya ↑ | ↓                       | ↓        |
| RV                    | ↑             | ↓                       | ↓        |

**Tablo 3:** Akciğer fonksiyon testlerinin normal değerleri

| Test                  | Normal değerler (%) |
|-----------------------|---------------------|
| FEV <sub>1</sub>      | >80                 |
| FVC                   | >80                 |
| FEV <sub>1</sub> /FVC | >80                 |
| FEF <sub>25-75</sub>  | >70                 |
| TLC                   | 80-120              |
| FRC                   | 75-120              |
| RV                    | 75-120              |
| DLCO                  | 60-120              |

oranı normal kalır. Restriktif hastalık tanısını kesinleştirmek için akciğer hacimleri de ölçülmelidir. Hem obstrüktif hem de restriktif yani miks tip hastalığı olan çocukta ise FVC ve FEV<sub>1</sub> yanında FEV<sub>1</sub>/FVC oranı da düşük bulunur.

Özellikle astım benzeri semptomları olan çocuklarda SFT’de intratorasik obstrüksiyonun varlığı (FEV<sub>1</sub> veya FEV<sub>1</sub>/FVC’nin <%80) ve kısa etkili bronkodilatör (200 µg salbutamol) inhalasyonundan 15-20 dakika sonra FEV<sub>1</sub>’de önceki değerine göre ≥%12 iyileşme erken reversibilite olarak değerlendirilir ve astım tanısını destekler (10). Sağlıklı çocuklarda FEV<sub>1</sub> değerindeki fark en fazla %9-11 arasındadır. FEV<sub>1</sub>’deki fark <%9 ise anlamsız, %9-11 ise şüpheli, >%12 olduğunda da anlamlı kabul edilir.

Bronkodilatöre yanıt pre-bronkodilatör FEV<sub>1</sub> ve bronkomotor tonus ile ilişkilidir. Pre-bronkodilatör FEV<sub>1</sub> açısından başlangıç FEV<sub>1</sub>’i normal sınırlarda olan sağlıklı ya

da inhaler kortikosteroid tedavisi altında asemptomatik astımlı çocuklarda bronkodilatörle artacak hava hacmi azalır ve bronkodilatör yanıtı görülmeyebilir. En iyi bronkodilatör yanıtı başlangıç  $FEV_1$ 'i hafif-orta derecede düşük olanlarda izlenir. Ancak başlangıçta çok düşük  $FEV_1$  değerlerinde solunum yolu inflamasyonu daha ağır basıp, bronkodilatöre yanıt izlenmeyebilir. Bu durumda inhaler budesonid 400 µg/gün, 6 hafta veya oral prednizolon 0.5-1 mg/kg/gün, 10-15 gün tedavileri sonrasında  $FEV_1$  değerinde  $>12$  iyileşme izlenebilir ve geç reversibilite olarak adlandırılır.

Bronkodilatöre yanıt açısından  $FEV_1$  yanında FVC ve  $FEF_{25-75}$  değerlerine de bakılabilir. FVC değerinde tek başına  $>340$  ml artış, hastanın bronkodilatör sonrası teste başlangıç testinden daha iyi uyum sağlaması yanında sınırlı bronkodilatör etkiye de bağlı olabilir. Bronkodilatör sonrası  $FEF_{25-75}$ 'de  $>25$  iyileşme de  $FEV_1$ 'deki  $\%12$ 'lik artış kadar anlamlı olmasa da, astım açısından anlamlı kabul edilebilir (11).

## Hava Yolu Direnci ve Kondüktansı

Hava yolu direnci ve kondüktansı vücut pletismografisi ile ölçülür. Solunum yollarında spesifik rezistans (Raw) ölçümü değerli bir obstrüksiyon göstergesidir. Akciğer hacimlerine bağlı olarak ölçülür. Hava yollarına giren havanın akım ünitesi başına basınç değişimi olarak ifade edilir. Hava yolu büyüklüğünü gösterir. Akciğer hacmi küçüldükçe Raw artar. Kondüktans (Gaw) ise hava yolu iletimi yani solunum yollarında ünite başına düşen basınçla ortaya çıkan akım olarak tanımlanır. Her iki parametre de akciğer hacmine göre düzeltilerek kullanılır (12).

## Akciğer Hacimleri

Akciğer hacimlerinin değerlendirilmesi restriktif akciğer hastalıklarının kesin tanısı, restriksiyonun şiddeti, obstrüktif bozukluklardan ayırımı ve solunum fonksiyonlarında düşüş olan hastaların pre-operatif değerlendirmesi ile tedaviye yanıt açısından yapılabilir. Spirometrik testlerle birlikte değerlendirilmelidir. Restriktif tip bozukluklar için total akciğer kapasitesi (TLC) ve rezidüel volümün (RV) belirlenmesi gerekir. Vital kapasite ve fonksiyonel rezidüel kapasite (FRC) parametreleri ölçüldükten sonra tüm akciğer hacimleri ve kapasiteleri hesaplanabilir.

Tidal solunum sırasında akciğerlerde kalan hava FRC'yi (FRC = ekspiratuar rezerv hacim+ RV), zorlu ve uzun ekspiryumun sonunda kalan hava hacmi RV'yi, maksimum inspirasyon ile akciğerlerdeki hava hacmi ise TLC'yi (TLC = inspiratuar rezerv hacim + ekspiratuar rezerv hacim +RV) oluşturur. TLC ve FRC yaş arttıkça artar. TLC, FRV, RV restriktif tip hastalıklarda azalır. Obstrüktif tip hastalıklarda solunum yolu

rezistansının artması nedeniyle RV de artar, FRC özellikle amfizemde ve astımda artar, TLC ise genellikle normal veya artmış olarak bulunabilir. FRC'nin  $> \%120$  artışı belirgin hava hapsini gösterir. RV/TLC oranı RV artışı veya TLC düşüşü nedeniyle artabilir. Havalanma artışı ve hava hapsi de RV/TLC oranını artırır.

Akciğer hacimleri için kullanılan yöntemler vücut pletismografisi, kapalı devre gaz dilüsyon tekniği ve açık devre  $N_2$  washout'tur. Klinik pratikte en sık vücut pletismografisi yöntemi tercih edilir, uygulaması standardize edilmiştir (13). 'Boyle' kanunu ( $P_1V_1=P_2V_2$ ) esasıyla çalışan, etrafı cam kaplı, kapalı bir sistemdir. İç sıcaklığı sabittir. Hasta içinde oturur ve bazı manevralarla pletismografin içindeki basınç ve volümü değiştirir, bu değişim sırasındaki torasik gaz volümü ölçülerek FRC, RV ve TLC hesaplanır. Ayrıca Raw ve hava yolu iletkenliği ( $Gaw= 1/Raw$ ) de hesaplanabilir. Böylece restriktif akciğer hastalıklarına tanı konulabilir.

## Difüzyon Kapasitesi

Difüzyon kapasitesi ölçümü pulmoner mikrosirkülasyonun göstergesidir ve diğer testler bozulmadan önce anormal olabilir. Oksijenin difüzyonu alveolo-kapiler bölgeden, interstisyumun en ince olduğu yerden olur. Alveolar zar ve kapillerler arasında  $O_2$  ve CO gazlarının değişimi, konsantrasyon farkıyla oluşan basit difüzyonla gerçekleşmektedir. Gazların parsiyel basınçları ve çözünürlükleri burada etkilidir. Karbonmonoksitin hemoglobine affinitesi  $O_2$ 'ye göre 200 kat artmıştır, çözünürlüğü daha fazladır ve venöz kanda bulunmaz. Bu özellikleri sayesinde CO gazının tamamı hemoglobine bağlanır. Böylece difüzyonu sınırlayan esas neden alveolo-kapiler zar olarak kalır ve sıklıkla difüzyon ölçümü için CO gazı tercih edilir. Klinik pratikte çocuklarda difüzyon kapasitesi ölçümü için, tekniği ve yorumu standardize edilmiş tek nefes tutma yöntemi kullanılır. Çocuk önce zorlu ekspirum yaparak akciğer hacmini RV'ye kadar indirir. Sonra sistemde bulunan ve düşük konsantrasyonda CO (%0.3) içeren gaz karışımından hızlı ve derin inspirum manevrası TLC'ye kadar inspire eder ve yaklaşık 10 saniye süreyle nefesini tutar, sonra maksimum ekspirum yaparak difüze olmayan gaz karışımını sisteme geri verir. Bu şekilde inspire edilen CO gazının alveolar konsantrasyonu, kana geçişi nedeniyle hızla düşer. Inspire edilen CO gazının başlangıç ve bitiş CO konsantrasyonları ile difüzyona uğrayan CO hacmi hesaplanır. Standart sıcaklık ve basınçta her 1 dakika ve 1 mmHg sürücü basınçta ml cinsinden CO alım hızı olarak tanımlanır ve ml/dak/mmHg cinsinden ifade edilir. Difüzyon testini etkileyen en önemli parametre çocuğun ölçüm zamanındaki hemoglobin düzeyidir. Bu nedenle teste başlamadan önce yaş, boy ve cinsiyetin yanı sıra hemoglobin değeri de belirtilerek sonuç düzeltilir.

Difüzyon kapasitesi ile ilgili tanımlar TLCO, DLCO, Kco, VA'dır.

TLCO: DLCO: Transfer faktör: Akciğerin CO'yu difüze edebilme kapasitesidir. Çocuğun hemoglobin düzeyine göre düzeltilmelidir (DLCOc). Anemide yalancı düşük, polisitemide yalancı yüksek değerler çıkar.

Kco: Transfer katsayısıdır. Her bir ünite alveolo-kapiler alanın CO'yu difüze edebilme kapasitesidir, yani alveolar volume (VA) göre düzeltilmiş DLCO'dur. Alveolo-kapiler yeterliliği, etkinliğini gösterir.

$$DLCO = Kco \times VA$$

$$VA = TLC - \text{Anatomik ölü boşluk}$$

Difüzyon kapasitesi ölçümü parankimal ve obstrüktif akciğer hastalıklarının, sistemik hastalıkların akciğer tutulumunun ve kardiyovasküler hastalıkların değerlendirilmesi ile izleminde kullanılmaktadır.

Egzersiz, soldan sağa kardiyak şant, alveolar hemoraji, polisitemi, hafif kalp yetmezliği ve astım gibi kapiler kanlanmanın arttığı durumlarda CO'nun hemoglobine bağlanması kolaylaşır ve DLCO artar. Bu durumların hepsinde Kco da artmıştır.

Amfizem ve kistik fibrozis gibi obstrüktif hastalıklarda, interstisyel akciğer hastalıklarında (gaz inhalasyonu, sarkoidozis, ilaç reaksiyonları, vb), sistemik hastalıkların akciğer tutulumunda (RA, SLE, skleroderma, Wegener granülomatozis, enflamatuar barsak hastalığı, miks bağ dokusu hastalığı, vb), kardiyovasküler hastalıklar (primer pulmoner hipertansiyon, akut MI, pulmoner ödem, pulmoner tromboembolizm, vb) anemi, kronik böbrek yetmezliği, uyuşturucu madde bağımlılığında difüzyon kapasitesi azalır. Bu durumların hepsinde Kco da azalmıştır.

Lobektomi ve pnömonektomi yapılan hastalarda atelektazi veya lokalize enfeksiyon durumlarında geri kalan akciğer dokusu sağlamsa DLCO, VA'nın azalmasına bağlı olarak azalır ancak sağlam akciğer dokusundaki alveolo-kapiler bölgenin daha fazla kanlanmasıyla kompensasyon oluşur ve Kco artar. Bu nedenle Kco'nun değerlendirilmesi aslında DLCO'nun değerlendirilmesinden daha hassas ve önemlidir.

## Bronş Provokasyon Testleri

Bronş provokasyon testleri (BPT) bronşiyal hiperreaktiviteyi gösteren, daha çok referans hastanelerinde araştırma amaçlı uygulanan testlerdir. Bronşiyal hiperreaktivite (BHR), bronşların spesifik ya da spesifik olmayan uyarılarla aşırı daralmasıdır. Sağlıklı çocuklarda üst solunum yolu enfeksiyonları sırasında BHR görülebilir. Genellikle astım benzeri şikayetleri olup, öyküsü şüpheli vakalarda intratorasik obstrüksiyon veya reversibilite gösterilememişse tanısal amaçlı BPT yapılabilir. Astım tanısı açısından BPT'nin negatif prediktif değeri yüksektir. Yani semptomatik ve bronkodilatör veya anti-enflamatuar ilaç kullanmayan bir hastada BHR'nin negatif oluşu astımı

ekarte ettirir. Ancak tersi her zaman doğru olmayabilir. Öksürük şikayeti olan bir çocukta spesifik olmayan bir uyarı ile BHR'nin saptanması her zaman astım tanısını desteklemez. Astım dışında kistik fibrozis, bronşektazi, silier diskinezi gibi kronik süpüratif akciğer hastalıkları ve hatta üst solunum yolu enfeksiyonları sırasında bile spesifik olmayan uyarılarla BHR sıkça rastlanılan bir özelliktir.

Bronş provokasyon testi sırasında spesifik (ev tozu akarları, çayır, aspirin, vb) ya da spesifik olmayan (histamin, egzersiz, hipertonic salin, adenozin, soğuk kuru hava, vb) bir uyarı ile bronşlarda bronkokonstrüksiyon oluşturulur. Spesifik uyarılar, test yapılacak çocukta önceden duyarlanmaya neden olmuş alerjenlerdir. Spesifik olmayan uyarılar ise alerjenik yapıda değildir. Doğrudan ya da dolaylı olarak bronş düz kasında bronkokonstrüksiyona neden olur.

Test öncesinde çocuk ve ailesi bilgilendirilmeli ve onamları alınmalıdır. Bazı durumlarda test sonuçları yanlış pozitif çıkabileceği için test ertelenmelidir. **Tablo 4**'te bronşiyal hiperreaktiviteyi etkileyen durumlar ve bu durumların varlığında testi ertelemek için önerilen süreler bildirilmektedir. Çocuk önce spirometre yapar. Başlangıç FEV<sub>1</sub> değerinin en az >%50 olması gerekir. Daha düşük FEV<sub>1</sub> değerlerinde BPT yapılması kontraendikedir. Bronş provokasyon testinin kesin ve rölatif kontraendikasyonları **Tablo 5**'te yer almaktadır. Genellikle son basamağa kadar devam edilen BPT yaklaşık 45 dakika sürer. Bu nedenle rutin pratikte çok sık kullanılan testler değildir. Bronş provokasyon testleri sırasında en sık kullanılanlar metakolin ve egzersiz provokasyonudur. Bu provokasyonlar ABD Solunum Topluluğu tarafından standardize edilmiştir (14).

### Metakolin Provokasyonu

Metakolin BHR değerlendirmede tercih edilen, güvenilir bir kimyasal ajandır. Bronş düz kasları üzerindeki reseptörlere bağlanarak doğrudan bronkokonstrüksiyon yapar. Ancak metakolinle yapılan BPT, astım yanında tüm kronik süpüratif akciğer hastalıklarında da pozitif bulunabilir, yani astım için özgül değildir. Teste başlamadan hasta çocuk SFT yapar. Sonra hastaya sırasıyla 3 ml serum fizyolojik, ardından 5 dakika aralarla metakolin en seyreltik konsantrasyondan, en konsantre doza doğru iki veya dört kat artan derişimlerde ya 2 dakika tidal solunum (0.03, 0.06, 0.125, 0.5, 1, 2, 4, 8, 16 mg/ml) ya da dozimetre (0.0625, 0.25, 1, 4, 16 mg/ml) yöntemiyle nebulizer yardımıyla verilir. Her basamakta 30. ve 90. saniyelerde spirometrik test tekrarlanır (14). Başlangıç FEV<sub>1</sub>'ine göre FEV<sub>1</sub>'inde >%20 düşme gözlenen basamakta hastanın BHR'si olduğu belirlenir ve test sonlandırılır. Bronşiyal hiperreaktivite şiddeti PC<sub>20</sub> olarak ifade edilir, logaritmik formüllerle hesaplanır ve genellikle spirometreler bunu otomatik olarak raporlar.

PC<sub>20</sub> <1 mg/ml: orta-ağır BHR

PC<sub>20</sub> 1-4 mg/ml: hafif BHR

**Tablo 4:** Bronşiyal hiperreaktiviteyi etkileyen faktörler (14)

| Uyaran                                                         | Etki süresi    |
|----------------------------------------------------------------|----------------|
| Solunum yolu enfeksiyonları                                    | 3-6 hafta      |
| Hava kirliliği                                                 | 1 hafta        |
| Çevresel alerjenlere maruziyet                                 | 1-3 hafta      |
| İş ortamı kaynaklı duyarlanmalar                               | Aylar          |
| Sigara                                                         | Belli değil    |
| Kimyasal iritanlar                                             | Günler – aylar |
| Kısa etkili inhaler bronkodilatör (salbutamol, terbutalin, vb) | 8 saat         |
| Orta etkili inhaler bronkodilatör (ipratropium bromid)         | 24 saat        |
| Uzun etkili inhaler bronkodilatör (formoterol, salmeterol, vb) | 48 saat        |
| Oral bronkodilatörler                                          |                |
| Sıvı teofilin                                                  | 12 saat        |
| Orta etkili teofilin                                           | 24 saat        |
| Uzun etkili teofilin                                           | 48 saat        |
| Standart $\beta_2$ agonist tablet                              | 12 saat        |
| Uzun etkili $\beta_2$ agonist tablet                           | 24 saat        |
| Kromolin sodyum                                                | 8 saat         |
| Nedokromil                                                     | 48 saat        |
| Hidroksizin, setrizin                                          | 72 saat        |
| Lökotrien antagonistleri                                       | 24 saat        |
| Kahve, çay, kola, çikolata                                     | Test günü      |

**Tablo 5:** Bronş provokasyon testi kontraendikasyonları (14)

|                                                                                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Kesin kontraendikasyonlar                                                             |
| Ağır bronkokonstriksiyon ( $FEV_1 < \%50$ veya $<1$ L)                                |
| Son 3 ay içinde akut MI veya inme                                                     |
| Kontrol altına alınamayan hipertansiyon (sistolik $>200$ mmHg, diastolik $>100$ mmHg) |
| Bilinen aort anevrizması                                                              |
| Rölatif kontraendikasyonlar                                                           |
| Orta derecede bronkokonstriksiyon ( $FEV_1 < \%60$ veya $<1.5$ L)                     |
| Solunum fonksiyon testine koopere olamama                                             |
| Hamilelik                                                                             |
| Emziren anne                                                                          |
| Halen kolinesteraz inhibitör kullanımı (miyastenia gravis için)                       |

PC<sub>20</sub> 4-16 mg/ml: sınırdan BHR

PC<sub>20</sub> >16 mg/ml: normal

Test sonunda hastada semptom (öksürük ve/veya vizing, nefes darlığı, vb) yol açan bronkokonstriksiyon varlığında kısa etkili inhaler bronkodilatör verilir ve 20 dakika sonra SFT tekrarlanarak bronkodilatör sonrası FEV<sub>1</sub>'deki düzelmeye bakılır. Hastanın FEV<sub>1</sub>'i, başlangıç FEV<sub>1</sub>'inin %10'una döndüğü zaman SFT izlemine devam edilmez ve hasta evine gönderilebilir.

### Egzersiz Provokasyonu

Egzersiz testi, istirahatte ya da diğer bronş provokasyon testleri normal olup egzersizin indüklediği astım şüphesi olan hastalarda yapılır. Astım tanısı ve kontrolü açısından değerli bir testtir. Egzersiz provokasyonu yapılacak odanın sıcaklığı 20-25°C, nem oranı <%50 olmalıdır. Test için kuru hava ve koşu bandı temin edilmelidir. Hastaya egzersiz provokasyonu öncesi SFT yaptırılır. Başlangıç FEV<sub>1</sub> değeri ve nabızı kaydedilir. Ardından en az 15° eğimli koşu bandı üzerinde ilk 4-6 dakikada nabzını başlangıça göre %80 artıracak şekilde; kabaca nabız-hasta yaşı şeklinde hesaplanarak 6 km/saat hızında hasta yürütülür. Toplam 6-8 dakika yürüyerek standart egzersizini tamamladıktan sonra 1., 5., 10., 15., 20., 30. dakikalarda SFT tekrarlanır. Ölçüm aralıklarında tekrarlanan SFT'lerde başlangıç FEV<sub>1</sub>'ine göre >%10-15 üzerinde düşüş pozitif kabul edilir (14).

### KAYNAKLAR

1. Evans SE, Scanlon PD. Current practice in pulmonary function testing. *Mayo Clin Proc* 2003;78:758-763.
2. Castile RG, Davis SD. Pulmonary Function Testing in Children. In: Wilmott RW, Boat TF, Bush A, eds. *Kendig and Chernick's Disorders of the Respiratory Tract in Children*. 8th ed. Philadelphia. Elsevier Saunders:2012;211-233.
3. Hilman BC, Allen JL. Clinical applications of pulmonary function testing in children and adolescents. In: Hilman BC. Ed: *Pediatric Respiratory Disease*, Philadelphia, 1993, WB, Saunders Comp, 98-107.
4. Quanjer PH, Lebowitz MD, Gregg I, et al. Peak expiratory flow: conclusions and recommendations of a Working Party of European Respiratory Society. *Eur Respir J Suppl* 1997;24:2S-8S.
5. Brusasco V, Crapo R, Viegi G; American Thoracic Society; European Respiratory Society. Coming together: the ATS/ERS consensus on clinical pulmonary function testing. *Eur Respir J* 2005;26:1-2.
6. Crapo RO. The role of reference values in interpreting lung function tests. *Eur Respir J* 2004;24:41-2.
7. Lebowitz MD. The use of peak expiratory flow rate measurements in respiratory disease.

- Pediatr Pulmonol* 1991;11:166-174.
8. Paton JY. A practical approach to the interpretation of lung function testing in children. *Pediatr Respir J* 2005;26:948-68.
  9. Pellegrino R, Viegi G, Brusasco V, Crapo RO, Burgos F, et al. Interpretative strategies for lung function tests. *Eur Respir J* 2005;26:948-968.
  10. Dundas I, McKenzie S. Spirometry in the diagnosis of asthma in children. *Curr Opin Pulm Med* 2006;12:28-33.
  11. Waalkens HJ, Merkus PJFM, van Essen-Zandvliet EEM, et al.; Dutch CNSLD Study Group. Assessment of bronchodilator response in children asthma. *Eur Respir J* 1993;6:645-51.
  12. Bisgaard H, Nielsen KG. Plethysmographic measurements of specific airway resistance in young children. *Chest* 2005;128:355-62.
  13. Wanger J, Clausen JL, Coates AL, et al. Standardisation of the measurement of lung volumes. *Eur Respir J* 2005;26:720-725.
  14. Crapo RO, Casaburi R, Coates AL, et al. Guidelines for methacholine and exercise challenge testing-1999. *Am J Respir Crit Care Med* 2000;161:309-29.