

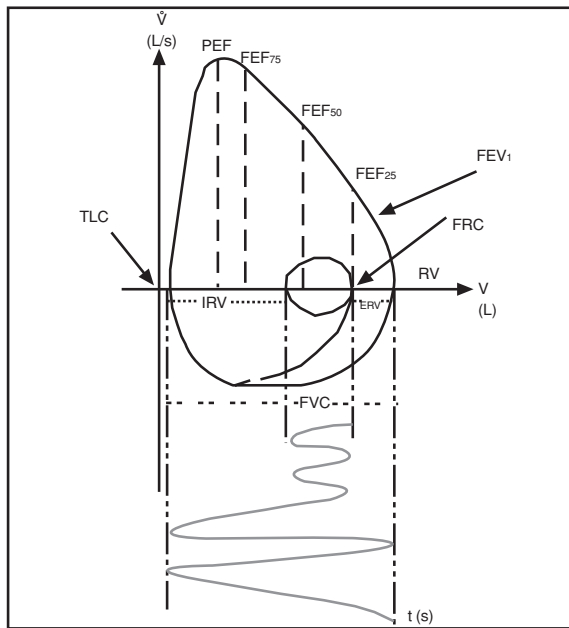
AKIM-VOLÜM HALKASI

Nurhayat YILDIRIM*

Akım-volüm halkası zorlu vital kapasite (FVC) manevrası esnasında spirometreden elde edilir. Akım L/s ile volümler L ile gösterilir.

Akım-volüm halkası sayısal değerler ile olduğu gibi şeklindeki normalden sapmalarla da çok şey ifade eder. Akım değerlerindeki değişiklikleri izlediğimizde intraplevral ve ekstraplevral solunum yolları ile ilgili bilgi verir. Bunun yanında zorlu solunum esnasında solunuma katkıda bulunan solunum kasları ve elastik geri çekim kuvveti ile ilgili bilgi aktarır.

Yapım tekniği: Sakin solunum esnasında soluk volümü (V_T)'nin çizdirildikten sonra derin bir inspirasyonla total akciğer kapasitesi (TLC) seviyesine erişilmesini takiben hızlı, sürekli ve zorlu bir solunumla soluk verilir. Böylece akım-volüm halkasının ekspirasyon bölümü çizilmiş olur. Apsiste TLC ile RV arasındaki volüm FVC'yi verir (Şekil 1). Rezidiüel volüm seviyesinden kişi derin ve zorlu bir inspirasyon yaparak tekrar TLC seviyesine erişerek halkayı tamamlar. Bu halka en az üç kez tekrarlanarak en iyisi değerlendirmeye alınır. Akım-volüm halkası çizilirken apiste volüm 1 litre (L), 1 unite olarak gösterilirken, ordinatta akım 2 litre/s (L/s) 1 unite olarak gösterilir.



Şekil 1: Sağlıklı erişkinde akım volüm halkasının şekli ve spirometrik trase ile ilişkisi

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

Akım-volüm halkasının ekspirasyon bölümü genelde asimetric olup intratorasik solunum yollarındaki değişiklikleri yansıtır. FVC'nin %75, %50 ve %25'indeki akım şiddetleri \dot{V}_{max75} , \dot{V}_{max50} , \dot{V}_{max25} şeklinde gösterildiği gibi FEF₂₅, FEF₅₀, FEF₇₅ şeklinde de raporlarda yer alabilir. Bunun dışında akımın en yüksek değere ulaştığı nokta PEF şeklinde kaydedilir. Bilgisayarlı programlarda bu noktalar halkanın üstünde işaretlenir. Akım-volüm halkası ile eş zamanlı volüm zaman eğrisinin çizdirildiği sistemlerde FEV₁'de işaretlenmektedir.

Bilgisayarlı programlarda oda havasında çizdirilen akım-volüm halkasından sonra, bronkodilatöre cevap, helyum-oksijen karışımına cevap, inhalasyon tedavisi sonrası çizdirilen eğriler farklı renklerle çizdirilip üst-üste getirilerek bilgisayar ortamında karşılaştırılabilir. Akım-volüm halkasında PEF, kişinin eforunun göstergesidir.

Akım-volüm halkası değerlendirilmeden önce halkanın kabul edilebilirlik kriterlerine uyup uymadığı dikkate alınmalıdır. Bilgisayar ortamında bu bilgisayar tarafından yapılmakta ve bundan sonra değerlendirilmektedir (Tablo 1).

Tablo 1: Akım-volüm halkasında kabul edilebilirlik kriterleri

1. Akım maksimum inspirasyonda PEF hızla artmalıdır.
2. Maksimal efor, glottis kapanmadan ani kesilmeler olmadan 0 noktasına kadar sürdürülmelidir.
3. Halka tekrar edilirken; maksimal inspiratuvar efor ile tekrar maksimal inspirasyon noktasına erişilmelidir.
4. En az üç kabul edilebilir halka çizdirilmelidir. Bronkospazm oluşmadığı takdirde bu üç halka üst üste gelmelidir.

Akım-volüm halkasının fizyopatolojisi: Solunum yollarında hava akımına karşı iki tip direnç söz konusudur. Bunlardan biri gaz moleküllerinin kendi aralarında ve gaz molekülleri ile solunum yolu duvarı arasındaki sürtünmeden doğan dirençtir. Diğeri ise gaz akımının geniş bir alandan dar bir tüpe geçişiyle, sabit volüm-akım karşısında basıncın düşmesi ile oluşan "connective acceleration"dur. Bu sonuncu değer ısı ve basınç değişikliklerinden etkileniyorsa da, günlük hayatta ihmal edilebilir.

Hava akımı larenks, trakea, büyük bronşlarda tübüldür. Periferik solunum yollarında ise laminer niteliktedir. Periferik solunum yollarında direnci ve laminer akımı etkileyen faktörlerden birisi de gazın vizkositesidir. Büyük çaplı solunum yollarında ise direnç ve tübülan akım gazın dansitesinden etkilenmektedir. Ekstraplevral ya da ekstratorasik solunum yolları burundan başlar. Farenks çevresinde kıkırdaksız, desteksizdir. Larenks ve trakeadan itibaren kıkırdaklı solunum yolları başlar. Trakeadaki solunum yolu ön ve yanlardan kıkırdak halkalarıyla desteklenirken arkada kolayca içe çökebilen membranöz kısımdan oluşur. Bu durumda ekstratorasik solunum yollarının özellikle farenks bölgesi kolayca kollabe olabilir niteliktedir. Daha sonra değineceğimiz gibi özellikle uyku apne-hipopne sendromundan etkilenen, apneye sebep olan bölüm burasıdır.

Periferik solunum yollarında, özellikle iç çapı 2 mm'den küçük solunum yollarının çevresinde kıkırdak yapı yok olmaktadır. Kolayca kollabe olabilirler. Periferik solunum yollarının açıklığını sağlayan en önemli öge çevrelerindeki akciğer dokusunun elastik özellikleri, plevra içindeki negatif basınçtır. Ayrıca solunum yolu düz kaslarının tonusunda solunum yolu direncini ve solunum yolu açıklığını etkiler. Sağlıklı kişilerde düz kas tonusunun en önemli belirleyicilerinden birisi parasempatik sinir sisteminin aktivitesidir. Solunum yolu düz kaslarında sempatik sistem reseptörleri varsa da, sempatik sinir sistemi ganglionlarda sonlanır ve parasempatik sinir sisteminin regülasyonunda görev alır. Sempatik sinir uçları, solunum yolu çevresi düz kaslarına erişmez.

Akciğerleri etkileyen hastalıkların birçoğu, en fazla periferik solunum yollarını tutmaktadır. Akım-volüm halkasının neleri işaret ettiğini göstermeden solunum yollarının daha detaylandırılması gerektiğine inanmaktayım. Bu nedenle özellikle periferik solunum yolu iç çapının açıklığını sağlayan mekanizmalara daha bir detaylıca değinmek istiyorum.

Solunum yolları ve vasküler yatak düz kasları parasempatik ve sempatik inervasyonun yanında non adrenerjik ve nonkolinerjik (NANC) sistemin eksitatör ve inhibitör uçları ve akson refleksi yardımıyla da kontrol edilebilmektedir. Eksitatör uçlarından serbestlenen P maddesi (SP), nörokininler (NK), inhibitör uçlarında salınan vasoaktif intestinal peptid (VIP) ve kalsitonin genine bağlı peptid (CGRP) karşılıklı denge içinde solunum yolu açıklığını sağlamaktadırlar. Son yıllarda solunum yolu açıklığını kontrol eden mekanizmalara solunum yolu epitelinde salınan nitrik oksit (NO) diğer adıyla gevşetici faktör (EpDRF) ve nötral endo peptidaz (NEP) katılmıştır. Her iki madde

de solunum yolları düz kaslarını etkileyerek solunum yolu açıklığını özellikle periferik solunum yollarının açıklığını temin etmektedir.

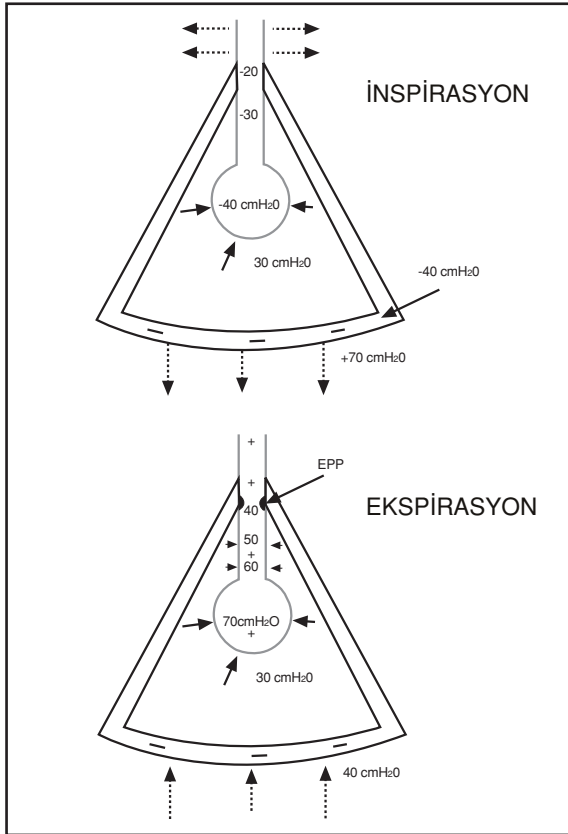
Solunum yolu epitelinde serbestleşen nötral endopeptidaz da SP, NK gibi eksitatör sinir uçlarından serbestleşen maddeleri kontrol ederek solunum yolu açıklığını kontrol eder.

Solunum yollarının yapısal özellikleri solunum yollarındaki akımın belirleyicisidir. Bilindiği gibi solunum yolları her seferinde ikiye çatallanarak periferik doğru ilerler. Trakea ile periferik solunum yolları karşılaştırıldığında dar bir yüzeyden geniş bir yüzeye doğru total gazın dağıldığı söylenebilir. Yine bu özelliğine göre sağlıklı kanda solunum yollarının total direncinin en önemli belirleyicisinin santral solunum yolları olduğu ifade edilir. Ancak periferik solunum yollarının yaygın daraltıcı hastalıklarında, direnç artışında periferik solunum yollarının payı büyüktür.

İntratorasik (Intraplevral) ve ekstratorasik (ekstraplevral) solunum yolları yukarıda saydığımız güçlerin dışında inspirasyon ve ekspirasyonda farklı güçlerle de etkilenirler. Bu özellikler solunum dinamiğinden kaynaklanmaktadır.

Derin inspirasyon esnasında diafram ve yardımcı solunum kaslarının oluşturduğu güç parietal plevranın toraks duvarı ile birlikte genişlemesine sebep olmaktadır. Bu esnada esneyen visseral plevra ile birlikte plevranın gerilimine katılarak en büyük boyuna TLC seviyesinde erişen elastik lifler ise akciğerleri büzme meylinindedir. İki zıt gücün oluşturduğu negatif basınç plevra yaprakları arasında oluşur ve plevrada yüzeyine sıkıca temas eden alveol boşluğunda da genişlemeye ve alveol içinde negatif basınç oluşmasına sebep olur. Bu durumda dış atmosferdeki basınç nedeniyle kendiliğinden alveollere doğru hava akımı olur (Şekil 2).

İnspirasyon esnasında tüm solunum yolu iç basıncı negatiftir. Ekstratorasik solunum yollarının dış basıncı iç basıncından yüksektir. Bu nedenle ekstratorasik solunum yolları inspirasyonda kapanma meylinindedir. İspirasyonda solunum yollarının açıklığı, bu solunum yollarını kapanmaya sevk eden gücü yenen, solunum yolları çevresindeki solunum yolu kaslarıncı sağlanır. N.Frenikusun aktivitesinin ortaya çıkmasından, diaframın kasılıp inspirasyonun başlamasından önce kontraksiyona geçen triohyoid, geniohyoid, genioglossus, alea nasi, tenon palatini gibi ekstratorasik solunum yolu çevresindeki kaslar ekstratorasik solunum yolu açıklığını sağlarlar. Ekstratorasik solunum yolu canlılığını sağlayan kaslara ait patolojiler; bu kasları inerve eden sinirlerin hastalıkları, ekstratorasik solunum yolu dışı, solunum yolu duvarı ve lümenindeki değişiklikler inspirasyonda bu havayollarında akımın kısıtlanmasına



Şekil 2: İntratorasik ve ekstratorasik solunum yollarını inspirasyonda etkileyen güçler. Ekstratorasik solunum yolları inspirasyonda, intratorasik solunum yolları ekspirasyonda kapanma meylindeyler. EPP; eşit basınç noktası.

sebeplere olurlar.

İnspirasyon esnasında sağlıklı kişide diaframın oluşturduğu kontraksiyon ile birlikte volümler arttıkça zorlu vital kapasitenin %50'sine kadar akım hızları düzenli olarak artar. FVC'nin %50'sinden sonra volüm arttıkça inspirasyonun başında olduğu gibi akım hızları düzenli olarak azalarak TLC seviyesine erişilir. Bu durumda inspirasyon esnasında akım volüm halkasında simetri oluşur.

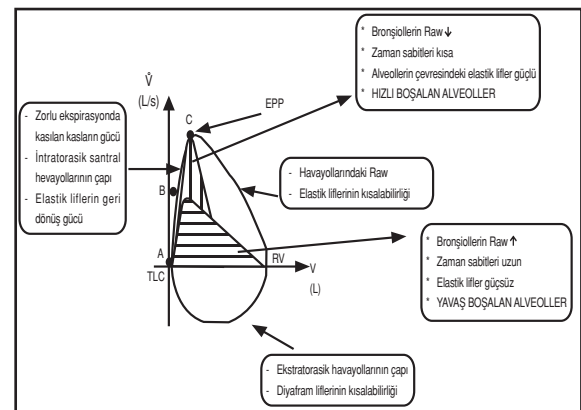
İnspirasyon esnasında intratorasik solunum yollarında elastik gerilim kuvvetini yenen intraplevral basınç solunum yolu duvarında solunum yolunu açık tutacak basınç oluşturur. İntratorasik solunum yolları inspirasyon esnasında açıklığını korurlar.

Ekspirasyon esnasında, inspirasyon kaslarının kasılmalarını sürdürerek oluşturdukları kademeli fren mekanizması ile birlikte, diaframın oluşturduğu itici güce elastik geri çekim gücünün ilavesi ile birlikte alveol çevresindeki basınç pozitif olur ve alveol içindeki hava bu gücün etkisi ile santral solunum yollarına itilir (Şekil 2). Solunum yollarında, solunum yolunun çapı ve duvardaki

sürtünme neticesinde solunum yolu içindeki basınç ağız istikametinde kademeli olarak düşer. Sağlıklı erişkinlerde bu basınç kıkırdaklı solunum yolları hizasında plevra basıncının altına iner. Plevra basıncının yüksek oluşu nedeniyle solunum yolu kapanma yönünde etkilenirse de kıkırdaklı solunum yolu buna izin vermez. Ekspirasyon esnasında solunum yolu içindeki basınçla, solunum yolu dışındaki plevra basıncının birbirine eşit olduğu noktaya eşit basınç noktası (EPP) denmektedir. Sağlıklı erişkinde EPP intratorasik büyük hava yolları hizasındadır.

Ekspirasyon esnasında ekstratorasik solunum yollarında iç basınç sürekli olarak hava yolu çevresindeki basınçtan yüksektir. Ekspirasyon esnasında ekstratorasik hava yolları açıklığını korurlar.

Ekspirasyon esnasında solunumun temel kası diafram ve yardımcı solunum yolu kaslarının kontraksiyonu, zorlu ekspirasyon volümü (FEV)'ün ilk %20-25'inin ekspire edilmesi esnasında hava akımlarını hızla artırır ve bir pik oluşmasına sebep olur. Bu esnada ekspire edilen gaz anatomik ölü mesafeden gelmektedir ve kas gücünün katkısı ile hızla ekspire edilmektedir. Toraks kafesinin yapısı bundan sonraki FEV'ün %75-80'ninin çıkartılmasında kas kontraksiyonlarının oluşturduğu güce izin vermemektedir. Ancak solunum yolları ve alveollerin çevresindeki elastik geri çekilim gücü ve solunum yolu içindeki direnç arasındaki balans solunum yollarındaki gazın akım hızının belirleyicisi olmaktadır. Bu akım hızı FEV'ün %20-25'inden itibaren gittikçe azalarak RV seviyesine kadar bu iki gücün, -elastik geri çekim ve solunum yolu direncinin- etkisindedir. Ekspirasyon esnasında alveollerin boşalma katsayıları da farklıdır. Hızlı ve kolay boşalabilen alveoller FEV'ün ilk 1/3'ünde içlerini boşaltırken güç ve güç boşalabilen alveoller ise FEV'ün son 1/3'ünde boşalırlar ve daha düşük bir akım oluştururlar (Şekil 3).



Şekil 3: Akım volüm halkasının şeklini etkileyen güçler.

Solunum kaslarının kontraksiyonları, alveollerin farklı

zaman sabiteleri ile boşalmaları ,elastik geri çekilim gücü ve solunum yolu direnci akım-volüm halkasının ekspiryum bölümünün asimetrik oluşuna sebep olmaktadır (Şekil 3).

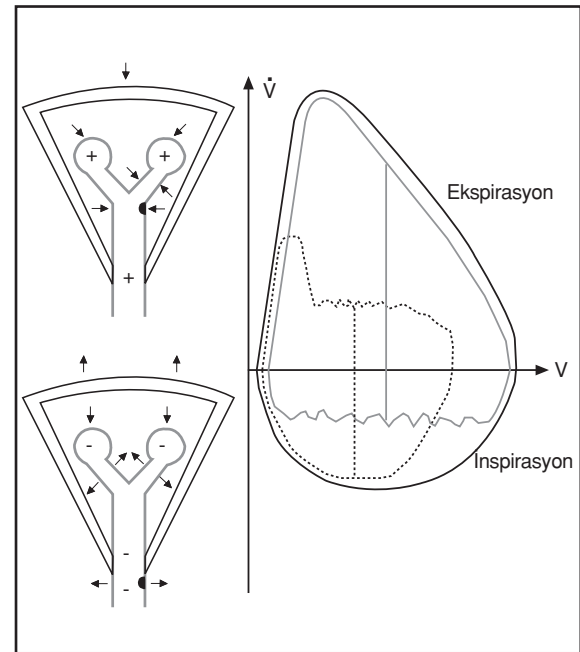
Akım-volüm halkasındaki özellikle ekspirasyon bölümündeki akımların oluşumunu etkileyen faktörler, kassal güç, elastik geri çekim, dirençtir (Şekil 3).

TLC seviyesinde bir an için havayolları içindeki akım durur, itici basınç 0'dır. Bu noktadan (A) itibaren toraks duvarı diafram ve zorlu ekspirasyonda yardımcı solunum kaslarının gittikçe artan basıncının etkisindedir. Ayrıca akciğerlerin elastik geri çekim gücü akciğerleri hilus istikametinde küçültmeye yönlendirmektedir. Bu iki gücün etkisiyle alveollerin ve plevra içi hava yollarının çevresinde ayrı istikamette itici birgüç oluşur. Bu gücün etkisi ile alveollerdeki gaz solunum yollarına itilir. Bu itici gücün etkisi ile akım vital kapasitenin ilk %20-25'inde hızla artarak C noktasına ulaşır. Doruk noktasında solunum yolu içindeki basınç ile plevra basıncı intratorasik mediasten içindeki kıkırdaklı solunum yolları çevresinde birbirine eşitlenir. Bu noktaya eşit basınç noktası (EPP) denir. Bu noktadan itibaren ağız istikametinde solunum yollarının dış güçler tarafından kapanmasına kıkırdaklı solunum yolları engel olmaktadır. Ancak bu noktadan sonra kassal güç etkisini aynen korusa dahi toraks kafesinin yapısı kassal gücün etkisinin alveollere ve akciğer içi solunum yollarını etkilemesine engel olur. C noktasından itibaren konkav eğrinin meydana gelmesinde, akımın tayin edici güçleri olarak etki eden faktörler elastik geri çekim gücü ve solunum yolu direncidir. Solunum yollarındaki direnç, akımı negatif olarak etkilerken elastik geri çekim gücü pozitif olarak etkilemektedir (Şekil 3).

Solunum yolu patolojilerinde akım - volüm halkası patolojinin yerini göstermede çok önemli veriler elde edilmesine sebep olur.

Ekstratorasik, kıkırdak destekten yoksun ve kıkırdaklı solunum yollarında meydana gelen patolojileri belgeleyen veriler akım volüm halkasının inspirasyon yönüne yansımaktadır. İnspirasyonda platonun varlığı, inspirasyon akımlarının hızının 2 L/s altına inmesi, zorlu vital kapasitenin %50'sindeki akım hızlarından ekspirasyon hızının inspirasyona oranının 1'den büyük olması ve halkada volümün 300 ml'den büyük olmayan titreşimlerin (saw-tooth) gözlenmesi ekstra torasik solunum yollarındaki patolojilerin varlığını, doğrular. Uyku apne-hipopne

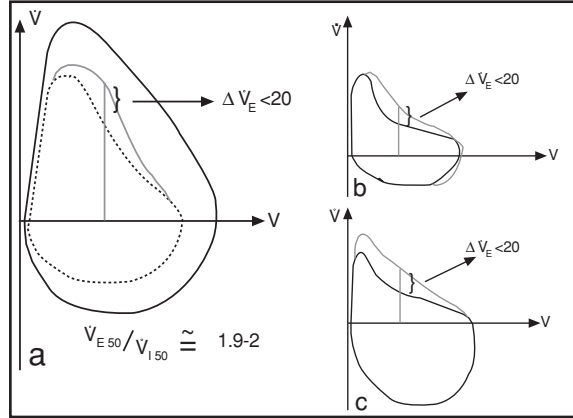
sendromunda eğer büyük havayollarında sabit lezyon varsa bulgu elde edilebilirse de, gece uykuda solunum yolu fizyolojisi bozuluyorsa gündüz elde edilen akım-volüm halkası bunu göstermeyebilir. Ancak testere dişi (saw thooth) paterninin gözlenmesi normal populasyona göre fazladır. Parkinsonda, myastenia graviste, trioid kitlelerinde, trakea tümörlerinde, poliplerde veri elde edilmesi sıktır (Şekil 4).



Şekil 4: Ekstratorasik ve intratorasik büyük solunum yollarında değişken lezyonlarda akımın hızını etkileyen faktörler ve akım volüm halkasındaki değişiklikler. ; ekstratorasik solunum yolu, —— ; intratorasik solunum yolu darlığı.

İntratorasik solunum yollarındaki patolojilerde akım-volüm halkasının ekspirasyon bölümünde veri elde etmekteyiz. İntratorasik bölümünde vital kapasitenin ilk %20-25'indeki doruk akımları ani olarak kısıtlanır ve akım hızları bundan sonra plato çizerek, düşük akımlı olarak devam eder. Çoğu kez bu plato üzerinde testere dişi bulgusu izlenir (Şekil 4). İntratorasik solunum yollarından ana bronşlardaki patolojilerde de doruk akımlar hızında daha kısa süreli plato izlenebilir İntratorasik büyük solunum yolu patolojilerinde obstrüksiyon türbülansı daha da arttırmaktadır. Bilindiği gibi türbulansın olduğu büyük hava yollarında düşük dansiteli gazlar direnci düşürür, akım hızını artırır. Helyum oksijen karışımı içeren gaz solumayı takiben akım volüm halkası

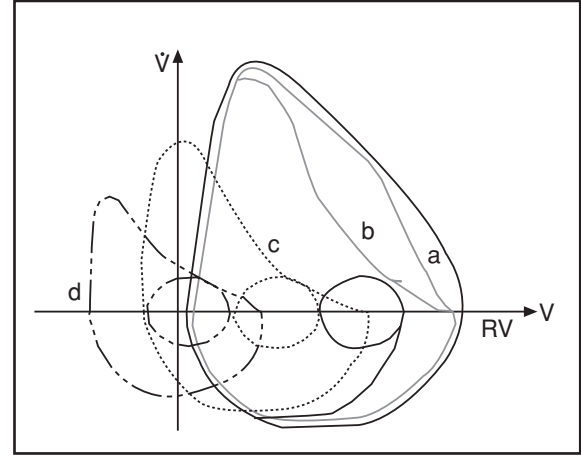
çizdirdiğimizde akım hızlarının arttığını izleriz (Şekil 5).



Şekil 5: Toraks kafesi içindeki periferik solunum yolu (a), KOAH gibi yaygın solunum yolu (b) ve intratorasik santral lokal solunum yolu (trakea) (c) darlıklarında helyum-oksijen karışımı ile çizdirilen akım-volüm halkaları. Şekil b ve c'de ekspirasyon akımlar etkilendiği gibi özellikle KOAH olgularında inspirasyon akımlarının gücü diyaframın etkinliği azaldığında etkilenir. İleri derecede KOAH'da (b) ekspirasyon akımları ve inspirasyon akımları azalmıştır. FEF 50 / FIF 50 oranı 1'e yakındır. İntratorasik solunum yolu darlığında ise bu oran 1 den küçüktür. Helyum-oksijen karışımı solutulduğunda akım hızları intratorasik solunum yolu darlığında %20 veya daha fazla artar (c), KOAH gibi olgularda ise akım değişimi %20'nin altındadır.

İntratorasik periferik solunum yolu patolojilerine ait bulgular akım-volüm halkasının ekspirasyon bölümünde ve vital kapasitenin %50'sinden sonraki kısmında gözlenir. Özellikle iç çapı 2 mm ve daha küçük hava yolları ise vital kapasitenin son %25'inde bulgu verir. Periferik solunum yollarını en fazla etkileyen hastalıklar bronş astması, anfizem, kr.bronşit ve KOAH'lıdır. Bronş astması ve kr.bronşitte temel patolojik değişiklikler bronş duvarı ve lümen ile sınırlıdır. Anfizem olgularında temel patoloji parankimde olmakla birlikte -elastik doku yıkımı nedeniyle-, artan rezidüel volümün ve iyi boşalamayan aşırı havalı alanların, -bül kist gibi- baskı yaptığı bronşlar kompresyonla ve proteazların sebep olduğu bronşit değişiklikleri nedeniyle obstrüksiyona da sebep olur. KOAH'da ise bronş patolojisi ve parankim değişiklikleri birliktedirler. Sonuçta bronş astmasında ve kronik bronşitte rezistans artışı, anfizemde elastik geri çekimdeki

azalma, KOAH'da her ikisinin etkisi, akım-volüm halkasında ekspirasyonda ve eğrinin konkav bölümünde değişikliklerle birliktedir (Şekil 6).



Şekil 6: İntratorasik periferik solunum yolu darlıklarında akım-volüm halkasındaki değişiklikler. Hafif bronş astımı gibi olgularda akım-volüm halkasında son %25'indeki akım hızları azalır (a). Orta derecede astım ve KOAH olgularında halka b halkasına benzer. Her iki halkanın da inspirasyon bölümü etkilenmemiştir. Status astmatikus yada ilerlemiş KOAH olgularında c halkası izlenir. PEF azalmıştır. Halka RV arttığı için sola kaymıştır. Aşırı havalanma ve hipoksik koşullar diyaframın kasılabilirliğini etkilediği için PIF'de azalmıştır. d halkası ileri derecede solunum yolu obstrüksiyonlarında gözlenmektedir. Zorlu ekspirasyon esnasında elde edilen FEF50'deki akım hızları tidal volümdeki akımların altına düşmektedir.

Akım-volüm halkası o anlık değişiklikleri yansıttığı gibi hastanın takibi esnasında zaman içinde tekrarlanan halkalardaki değişiklikler progresyonu gösterebilir (Şekil 6c ve d). KOAH ve anfizem olgularında solunum yetersizliğinden ileri derecede solunum yetmezliği ya da pompa yetersizliği artıkça halkanın ekspirasyon bölümüne ilaveten inspirasyon bölümünde de akım hızları azalır ve bu hastaların akım değerleri azalma, PaCO₂ değerlerinde artışla korole eder.

Akım-volüm halkasında, restriktif tipteki olgularımızda sağlıklı erişkinin küçüğü izlenir ancak RV, FRC, TLC azaldığından, eğri sağa kaymıştır.

KAYNAKLAR

1. Ruppel GL, Manual of pulmonary function testing. Mosby, St Louis, 1998; 40-45.
2. Hyatt RE, Black LF. The flow volume curve. Am Rev Respir Dis 1973; 107:191-195.
3. Acres J, Kryger M. Clinical significance of pulmonary function tests: upper airway obstruction. Chest 1981; 80:207.
4. Haponic EF; Blecker ER, Aller RP, et al. Abnormal inspiratory flow-volume curves in patients with sleep disordered breathing. Am Rev Respir Dis 1981; 124:571.
5. Knudoon RJ, Slatin RC, Lebowitz PD et al. The maximal expiratory flow-volume curve; normal standards, variability and effect of age. Am Rev Respir Dis 1976; 113:587.
6. Gibson GJ. Clinical tests of respiratory function. Mac Millan Press, London, 1984.
7. Bates DV. Respiratory function in disease. WB Saunders Company, Philadelphia, 1989.