

Göğüs Duvarının Solunum Fizyolojisindeki Rolü

Dr. Öğr. Üyesi Ezgi Tuna Erdoğan

İstinye Üniversitesi Tıp Fakültesi, Fizyoloji Anabilim Dalı

ÖZET

Göğüs kafesini oluşturan kas ve kemik yapısı, karın kasları ile birlikte solunum mekanizmasının işlemeden sorumludur. Solunum mekaniğinin fizyolojik olarak sürdürülebilmesi için göğüs duvarının sağlam olmasının yanında, genişleyebilir olmalı ve eski haline dönebilir olmalıdır. Bu bölümde öncelikle hem göğüs duvarı hem akciğerler için geçerli olan elastisite ve komplians kavramlarına yer verilmiştir. Havanın akciğerlere dolması ve sonra dışarı çıkması, göğüs kafesi içindeki çeşitli bölümlerde bir takım basınç değişiklikleri ile paralel gerçekleşir. Solunum mekaniğini anlamak ve göğüs duvarı patolojilerinin fizyolojik mekanizmayı nasıl bozduğunu kavramak açısından çok önemli olan bu bölümler ve basınçlarındaki değişim detayları ile incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Solunum mekaniği, elastisite, komplians

ABSTRACT

The muscle and bone structure of the rib cage is responsible for the functioning of the respiratory mechanism together with the abdominal muscles. In order to maintain the physiological properties of the respiratory mechanics, the chest wall must be intact, expandable and compliant. In this section, firstly, the concepts of elasticity and compliance described for both the chest wall and lungs are explained. The process of air flow into and out of the lungs occurs parallel to a number of pressure changes in the various parts of the chest. These sections and changes in their pressures are examined with details in this chapter since they are very essential in order to understand respiratory mechanics and to understand how chest wall pathologies disrupt the physiological mechanism of respiration.

Key words: Respiratory mechanics, elasticity, compliance

GÖĞÜS DUVARININ SOLUNUM FİZYOLOJİSİNDEKİ ROLÜ

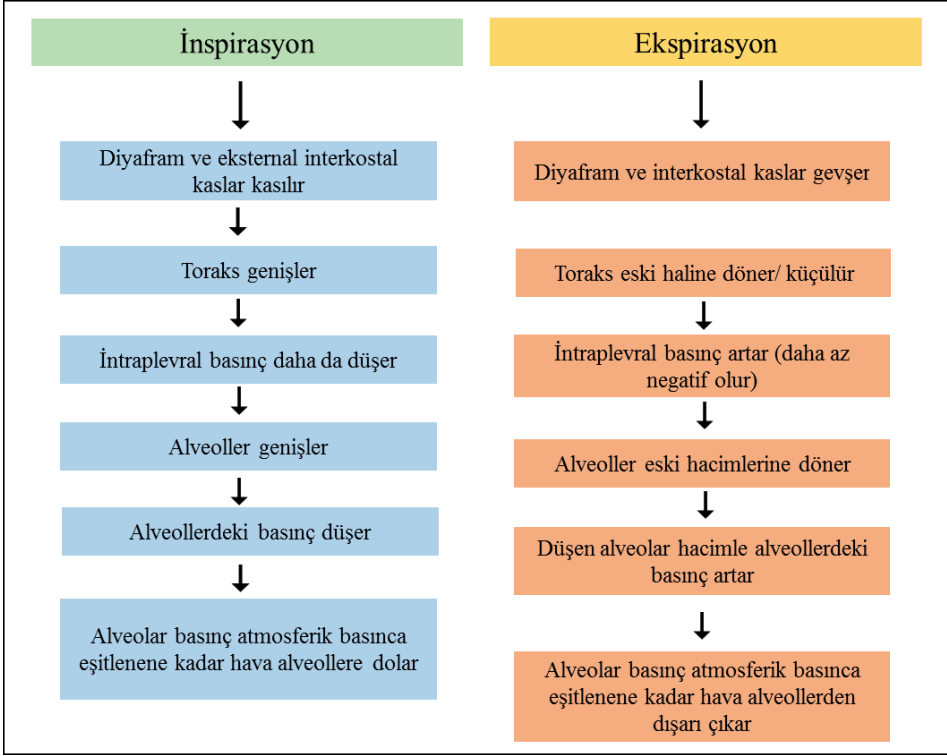
Göğüs kafesini oluşturan kas ve kemik yapısı, karın kasları ile birlikte solunum mekanizmasının işlemlerinden sorumludur. Akciğerlerin hava ile dolabilmesi için göğüs duvarının sağlam ve genişleyebilme kabiliyetinde olması gerekir. Göğüs kafesi yanlarda ve üstte kostalar ve vertebra tarafından sınırlandırılırken, alttan diyafram tarafından sınırlandırılır. Her iki akciğer, iki katlı plevra zarı ile örtülüdür. Parietal plevra toraks duvarını içeriden sararken, visseral plevra akciğer dokusuna yapışıktır. İki plevra zarı arasında 25-30 ml plevra sıvısı bulunur. Akciğerler hareket ettikçe iki plevra zarı birbirine sürtünmez ve bu sıvının yarattığı kayganlık sayesinde birbirlerinin üzerinden kayarlar. Bu sıvı dolu plevral aralık ve plevra zarları, akciğerlerin göğüs duvarına seri biçimde bağlı kalmasını sağlar. Göğüs duvarı akciğerlerin belli oranda dışarıdan gergin ve açık tutulmasını sağlayan bir güç oluşturur ve bu güç dinlenimde dahi akciğerlerin sönmesini engeller (sonraki sayfalarda anlatılacaktır). Akciğerler ve göğüs duvarı birlikte hareket ederler. Diğer bir deyişle göğüs duvarının hareketi akciğerlerin havalanmasını doğrudan belirleyen etmendir.

SOLUNUMUN MEKANİĞİ

Havanın atmosfer ile akciğerler arasında yaptığı harekete ventilasyon veya daha genel olarak solunum denir. *İnspirasyon* havanın akciğerlere dolması, **ekspirasyon** ise akciğerlerdeki havanın dışarı boşalmasıdır. Havanın bu giriş çıkış hareketini sağlayan tüm mekanizma **solunum mekaniği** olarak adlandırılır. İnspirasyon solunumun aktif kısmıdır. Beyin sapından kalkan uyarı diyafram, eksternal interkostal kaslar ve aksesuar kaslara gider ve kasılmalarını tetikler. Bu kasların kasılması ile toraks genişler ve inspirasyon gerçekleşir.

Diyafram en önemli solunum kasıdır. Kubbe şeklindedir ve karın boşluğu ile göğüs boşluğunu birbirinden ayırır. Alt kostalara tutunur ve kasılmasıyla beraber karın boşluğuna doğru hareket eder ve göğüs boşluğunu yukarıdan aşağıya mesafesini uzatır ve hacminin artmasını sağlar. Diyafram sakin solunumda 1 cm kadar hareket ederken, derin solunumda 10 cm kadar yer değiştirebilir. Bu nedenle doğru bir diyafram nefesinde karın duvarının öne doğru şişmesi beklenir.

Kostaların arkadan vertebraya tutunuş ve eksternal interkostal kasların kostalara tutunuş özellikleri nedeniyle bu kaslar kasıldığında kostalar bir kovanın sapı gibi, iki ucundan geçen eksenle dönerek yukarı yükselirler. Kostalar yukarı yükselirken göğüs kafesinin hem ön arka mesafesini arttırıp hem de enine genişleterek tüm göğüs boşluğunun hacmini arttırırlar. Solunum kaslarının kasılması ile genişleyen akciğerlere solunum yolundan hava dolar. Havanın girişi alveol iç basıncı atmosferik basınca eşitlenene kadar devam eder. Diyaframın paralitik olduğu durumlarda veya pnömotoraks gibi patolojilerde, inspirasyon sırasında toraks kısmen genişlerken diyafram kasılamaz ve normalde yaptığı hareketin aksine inspirasyonda yukarı doğru hareket ederken ekspirasyonda ise aşağı iner, buna paradoksal diyafram hareketi denir. Ekspirasyon sakin solunum esnasında pasif bir olaydır ve burada akciğerlerin esnekliği devreye girer, kasılması sonlanan diyafram ve eksternal interkostal kaslar artık toraks dışarıya doğru genişletmedikleri için dokular esneklikleri nedeniyle yeniden eski haline gelmeye çalışır. Bu esnada alveol iç basıncı ar-



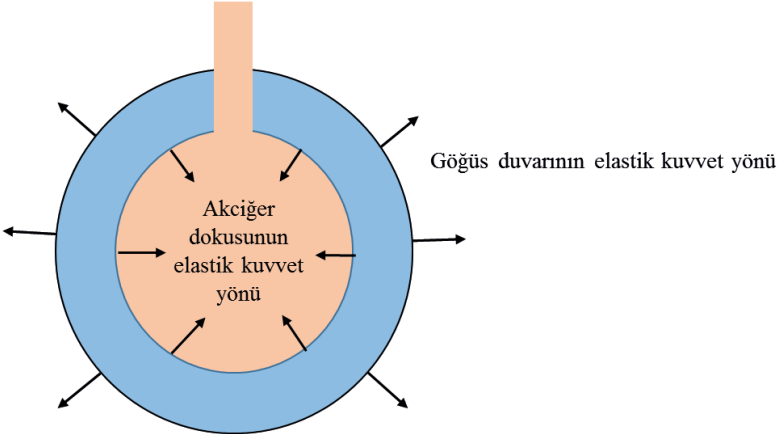
Şekil 1: Normal solunum esnasında sırasıyla oluşan olaylar

tacağından atmosferik basınçla eşitlenene kadar hava akciğerlerden dışarıya çıkar (Şekil 1). Ancak güçlü hava vermek gerektiğinde veya solunum yollarında darlık varsa ekspirasyon yapabilmek efor gerektirebilir. Bu durumda ekspiratuar kaslar olan internal interkostal kaslar ve abdominal kaslar devreye girer. İnternal interkostal kaslar kasılarak kostaları daha da birbirlerine yaklaştırır ve toraksın daha da daralmasını sağlar. Abdominal kaslar ise kasılarak karın içi basıncı artırır ve dolaylı olarak toraksa aşağıdan bir itirme uygulayarak akciğerlerden dışarı daha çok hava çıkmasını sağlarlar. Buna zorlu ekspirasyon denir.

KOMPLİANS VE ELASTİSİTE

Bu iki kavram solunum mekanizmasını anlamak için önemlidir. Komplians akciğerlerin ve göğüs duvarının genişleyebilme kabiliyetini gösterirken (birim basınç değişimine karşı oluşan hacim değişimi), elastisite ise dokuların tekrar eski haline gelme becerisi olarak ifade edilebilir.

Akciğerlerdeki elastisite özelliği nedeniyle akciğerler sürekli göğüs duvarından uzaklaşarak sönme, içe çökme (kollabe olma) eğilimindedir. Göğüs duvarı ise normal fizyolojik pozisyonundayken sanki bükülmüş bir yay gibidir ve dışarı yönde genişleme eğilimindedir. Göğüs duvarındaki bu gerginlik akciğerleri dışarıya doğru çekerek alveollerin açık kalmasını sağlar (Şekil 2). Sakin solunumda ekspirasyon sonunda akciğerlerde kalan hava volü-



Şekil 2: Akciğerler elastisite özellikleri nedeniyle içe doğru çökme eğilimindeyken, göğüs duvarı anatomik yapısı nedeniyle elastisite özelliği onu dışarı doğru esnetmektedir (tıpkı bükülmüş esnek bir yayın düzelmeye meyilli olması gibi)

müne fonksiyonel rezidüel kapasite denir. Çeşitli göğüs duvarı veya akciğer hastalıklarında fonksiyonel rezidüel kapasite etkilenebilir.

Akciğerler normal inspirasyondaki intraplevral basınç ile (-5 ila -10 cmH₂O) basınçlarda rahat biçimde genişler. Normal akciğer kompliansı yaklaşık 200 ml/cmH₂O kadardır. İnspirasyonun başında akciğerlerin kompliansı yüksek iken inspirasyonun sonuna doğru giderek düşer. Belli bir basınçtan sonra akciğerler artık daha fazla esneyemez hale gelir. Kompliansı yüksek olan akciğerler belli bir basınç ile daha çok genişlerken kompliansı düşük akciğerleri aynı oranda genişletmek için daha yüksek bir basınçla doldurmak gerekecektir. Bu da daha yüksek bir efor ile inspirasyon yapmak demektir. Burada amaç inspiratuvar kasları daha güçlü kasarak göğüs duvarını gerektiği kadar genişletebilmeyi sağlayıp intraplevral basıncı daha da negatif hale getirmektir. Bu şekilde dışarıdan vakum etkisi ile alveolleri açan güç artırılabilir ve alveolar basınç atmosferik basıncın altına düşürülerek havanın içeri girmesi sağlanabilir. Çeşitli hastalıklarda akciğerlerin kompliansı düşebilir. Örneğin pulmoner fibrozisde bağ dokusundaki fibrozis nedeniyle akciğerler eski kompliansını yitirir. Alveolar ödem olduğunda akciğerlerin hava ile dolması kısmen etkilendiğinden yine kompliansı düşer. Uzun süre ventilasyona katılmayan akciğerde de komplians kısmi kollabe olan alveoller nedeniyle düşebilir. Elastik dokunun bozulduğu amfizem ve yaşlanma ile komplians artar.

Tıpkı akciğer dokusu gibi göğüs duvarının da elastik özellikleri vardır. Göğüs duvarının kompliansı ile akciğerlerin kompliansı birlikte total kompliansı oluşturur. Bazı hastalıklar akciğerlerin kompliansını bazı hastalıklar göğüs duvarının kompliansını bozarken ikisini de etkileyen hastalıklar da vardır. Göğüs duvarı kompliansı obezitede düşer. Bu kişilerde diyaframı aşağı doğru ittirip göğüs kafesini dışa genişletmek çok daha güçtür. Kas iskelet hastalıklarında da benzer durum söz konusu olabilir. Kifoza veya skolyoz gibi göğüs kafesinin mobilizasyonunu etkileyen patolojilerde de göğüs duvarı kompliansı düşer. Bu

kişilerde de aynı akciğer kompliansı düşük olanlardaki gibi akciğerleri hava ile doldurabilmek için gerekli basıncı oluşturmak güçleşecek ve efor gerektirecektir.

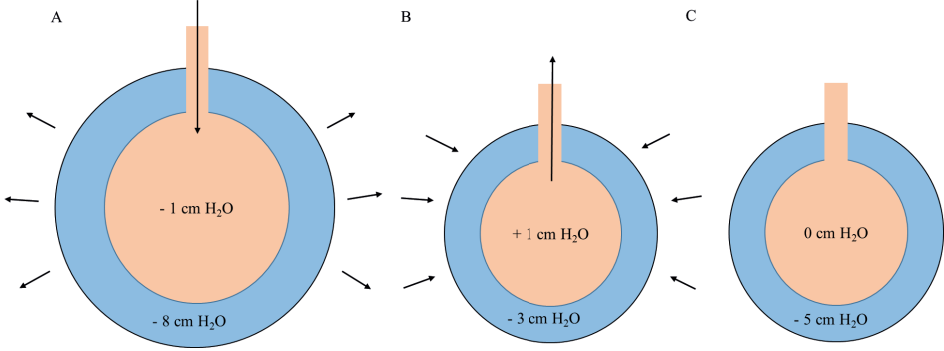
Bahsettiğimiz göğüs duvarı-akciğerler arasındaki ilişkiler, hep ayakta veya oturan bir insan için geçerlidir. Çünkü yatan bir insanda yerçekiminin dikey duran bir insanda abdominal organlara aşağıya doğru yaptığı etki ortadan kalkacaktır. Ayaktayken yer çekiminin bu etkisi diyaframın aşağı inişini, dolayısı ile inspirasyonu kolaylaştırırken, yatan birinde abdominal basıncın yukarı doğru yaptığı etki nedeniyle diyaframın aşağı hareketi zorlaşacak göğüs duvarının genişlemesi güçleşecektir.

İnsanda yapılan elastisite ve komplians testlerinde aslında göğüs duvarının da elastik özellikleri için içine girmektedir. Göğüs duvarının en önemli özelliği vital kapasitenin %75'ine kadar olan hacim artışlarında hep genişleme yönünde bir eğilimi vardır. Bu dışa genişleme gücü karşısına akciğerlerin içe sönme gücü geldiğinde birlikte bir denge sağlarlar ve negatif intraplevral basıncı oluştururlar.

SOLUNUM ESNASINDAKİ BASINÇ DEĞİŞİMLERİ

Akciğerlerin içeri doğru sönmeye çalışması ve göğüs duvarının akciğerleri dışarıdan tutması plevra zarları arasında negatif bir basınç oluşmasına neden olur, buna **intraplevral basınç** denir. İntraplevral basınca kimi zaman intratorasik basınç da denir. Alveollerin içindeki hava basıncı atmosferik basınçla aynıdır yani 760 mmHg'dır. İntraplevral basınç ise 756 mmHg'dır, diğer bir deyişle subatmosferiktir. Arada 4 mmHg fark vardır. İntraplevral alandaki 4 mmHg'lık basınç farkı dışarıdan bir vakum etkisi ile akciğerlerin açık kalmasını sağlar. Bu alandaki basınç tabii ki sıfırın altında değildir ancak atmosferik basınçtan 4 mmHg daha düşük olduğu için bazı kaynaklarda negatif olarak (-4 mmHg) gösterilir. 4 mmHg yaklaşık 5 cm H₂O basınca denk gelir. Birçok kaynakta solunum fizyolojisinden bahsederken basınçlar cm H₂O olarak verilir. Böyle bakacak olursak intraplevral basınç ortalama -5 cmH₂O'dur. Atmosferik basınç ise 0 cmH₂O olarak kabul edilir. -5 cmH₂O intraplevral basınç bir ortalama değerdir, çünkü akciğerlerin ağırlığı nedeniyle akciğerlerin tabanındaki intraplevral alan kompresyona uğrar ve basınç daha pozitif (-2,5 cm H₂O). Yer çekiminin akciğerlere aşağı yönde uyguladığı kuvvet nedeniyle apikal bölgedeki intraplevral basınç daha negatiftir (-10 cmH₂O). Bu nedenle akciğer dokusunun bazalleri belli oranda kompresyon altındadır. İspirasyon sonunda bazallerde küçük hava yolları kollabe olur. Düşük derinlikte inspirasyonlarda bu bölgeler ventile olamaz.

Plevral aralık kapalı bir alandır ve atmosfer ile doğrudan bir bağlantısı yoktur. İspirasyon ve ekspirasyonla bu kapalı alandaki basınçta küçük değişimler olur. İntraplevral basınç, solunumun her fazında intrapulmoner basınçtan yani alveol içindeki hava basıncından daha negatiftir. İspirasyon esnasında göğüs duvarı genişler ve dışa doğru açılır. Bu hareketle parietal plevra da göğüs duvarı ile harekete katılır ve açılır. Parietal plevra intraplevral aralıktaki sıvı ve visseral plevra işlevsel olarak birbirlerine doğrudan bağlıdır. Parietal plevranın göğüs duvarı hareketi ile dışa doğru genişlemesi plevral boşlukta negatif basıncın ekspirasyona göre daha da negatifleşmesine neden olur. Plevral boşlukta artan negatif basınç nedeniyle akciğerleri dışarıdan açık tutan güç artacağından akciğerler daha da genişler. Dinlenim durumunda atmosferik basınca eşit olan intrapulmoner



Şekil 3: İspirasyonda (A) ve ekspirasyonda (B) ve ekspirasyon sonunda (C) basınçlar

basınç inspirasyonla birlikte negatifleşir ve intrapulmoner basınç atmosferik basınca eşit olana kadar hava alveollere dolar. Solunum kaslarının gevşemesiyle toraks hacmi azalmaya başlar ve hem intraplevral basınç hem de intrapulmoner basınç yükselir (Şekil 3). İnapulmoner basınç atmosferik basınca eşitlenene kadar hava akciğerlerden dışarı çıkar. Bu döngü sürekli bir biçimde tekrar eder ve hava alveol ve atmosfer arasında yüksek basınçtan düşük basınca doğru hareket eder.

İnapulmoner basınç ile intraplevral basınç arasındaki farka transpulmoner veya transmural basınç denir. Bu fark her zaman intrapulmoner basınç lehine olmalıdır ki alveoller ekspirasyonda da inspirasyonda da açık kalabilsin, kollabe olmasın. Transpulmoner basınç farkı ekspirasyonda daha yüksek inspirasyonda daha düşüktür. Birbirine *karşı ve birlikte* çalışan bu basınçlar dengede olduğu sürece akciğerlerin ventilasyonu düzgün bir şekilde gerçekleşir.

Daha önce de bahsettiğimiz gibi akciğerlerin sönmeye olan elastik eğilimi ile göğüs duvarının dışarı doğru genişleme eğilimi birlikte intraplevral negatif basıncı oluşturan asıl etkidir. Eğer göğüs duvarında bir hasar oluşur ve plevral boşluk hava ile doğrudan temas ederse, intraplevral basınç atmosferik basınç ile eşitlenir. Bu duruma pnömotoraks denir. Bu durumda göğüs duvarı ile akciğerler arasında birbirini dengeleyen iki güç arasında bağlantı kesilir. Akciğer söner alveoller kollabe olur, göğüs duvarı ise dışarı doğru genişler. Kısacası zıt kuvvetlerin birbirini etkilemesi sona erdiğinden ikisinin de elastik eğilimi gerçekleşmiş olur.

KAYNAKLAR:

1. Lange Physiology Series, Pulmonary Physiology, Michael G. Levitzky McGraw-Hill Medical 2007
2. Respiratory Physiology The Essentials, John B. West 9th Edition, Lippincott Williams & Wilkins, 2012
3. Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology, 13rd edition, Hall JE, 2016
4. Human Physiology An Integrated Approach, 7th edition, Silverthorn DE, 2015
5. Human Physiology From Cells to Systems, Sherwood L, 2014