

BÖLÜM 12

İNSAN SOLUNUM SİSTEMİ VE İLGİLİ ÖLÇÜMLER

12.1 İnsan Solunum Sistemi

- Solunum sistemi, oksijenin (O_2) vücuda alınıp karbon dioksitin (CO_2) dışarı atılmasını sağlar.
- İnsanda solunum sistemi canlılığın sağlanması açısından büyük öncelik içerir.
- Pulmoner fonksiyonları sağlayan en temel organ akciğerlerdir ve bu organ dış ortamla temas içerisindedir.
- **Solunum organları;**
 - o O_2 ve CO_2 gazlarının difüzyonu için maksimum yüzey alanı (alveol boşlukları) ve bu yüzeyle temas halinde olan gazların değişimini sağlar (ventilasyon).
 - o Solunum ile alınan havada bulunan toksik partiküller, mikroorganizmalar, kuruma ve uç sıcaklık değişimleri gibi kötü çevresel faktörlerden korunmasını sağlar.
 - o Ayrıca vücut ile vücut sıvılarının asit oranındaki (pH) ani değişiklikleri dengeleyecek metotları içerir.

12.2 Gaz Kanunları

- Solunum fonksiyonlarının çalışmasını anlatan gaz kanunları;
 - o Boyle,
 - o Charles,
 - o Dalton
 - o Henry gaz kanunlarıdır.



Boyle kanunu, sıcaklık sabit tutulmak şartıyla, bir gazın hacminin basıncıyla ters orantılı olduğunu ifade eder. Matematiksel ifadesi;

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{P_1}{P_2} \quad (12.1)$$

Burada;

V_1 = Orijinal hacim.

V_2 = Son (yeni) hacim

P_1 = Orijinal basınç

P_2 = Son (yeni) basınç

Örnek 12.1: Oksijen gazı 720 mmHg basınç altında 6 L hacim kaplamaktadır. Aynı miktardaki gazın 760 mmHg basınç altında ne kadar hacim kaplayacağını hesaplayınız. Sıcaklık sabit kalmaktadır.

Çözüm:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{P_1}{P_2} \quad \frac{V_2}{6l} = \frac{720mmHg}{760mmHg} \quad V_2 = 5.68l$$

 **Charles kanunu**, basınç sabit tutulduğu takdirde bir gazın hacminin mutlak sıcaklıkla orantılı olduğunu söyler. Matematiksel ifadesi;

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

12.2

Burada;

V_1 = Orijinal hacim.

V_2 = Son (yeni) hacim

T_1 = Orijinal sıcaklık

T_2 = Son (yeni) sıcaklık

Örnek 12.2: Oksijen gazı $110^{\circ}C$ 'de 220cc hacim kaplamaktadır. $0^{\circ}C$ 'deki hacmini hesaplayınız. Basıncın sabit kaldığını kabul ediniz.

Çözüm:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} \quad \frac{V_2}{220cc} = \frac{100^{\circ}C + 273K}{0^{\circ}C + 273K} \quad V_2 = 156.81cc$$

☀ **Dalton kanunu**, gazların karışımından oluşan bir ortamdaki toplam basıncın karışımı oluşturan gazların ayrı ayrı kısmi basınçlarının toplamına eşit olduğunu söyler. Bir gazın kısmi basıncı o gaz karışımının bulunduğu odada yalnız kaldığı zaman gösterdiği basıncıdır. Matematiksel ifadesi;

$$P_{toplam} = P_1 + P_2 + P_3 + \cdots P_n$$

12.3

Burada;

P_{toplam} = bileşik basınç

P_1 = ilk gazın kısmi basıncı

P_n = n. gazın kısmi basıncı

Örnek 13.3: Deniz seviyesinde atmosfer basıncı 760 mmHg'dır. Oksijen, Azot ve Karbon Dioksitin kısmi basınçlarını hesaplayınız.

Çözüm:

$$P_{toplam} = P_{O_2} + P_{N_2} + P_{CO_2}$$

$$P_{O_2} = \%20,96 \times 760mmHg = 159,30mmHg$$

$$P_{N_2} = \%79 \times 760mmHg = 600,40mmHg$$

$$P_{CO_2} = \%0,04 \times 760mmHg = 0,03mmHg$$

$$P_{toplam} = 159,3 + 600,40 + 0,03 = 760mmHg$$

☀ **Henry kanunu** sıcaklık sabit kalmak şartıyla bir miktar gazın diğer gazların kısmi basıncıyla orantılı olarak bir çözeltide eriyeceğini ifade eder. Böylece, daha büyük kısmi basınca sahip gaz, çözeltide daha çok kütle bulunduracak demektir.

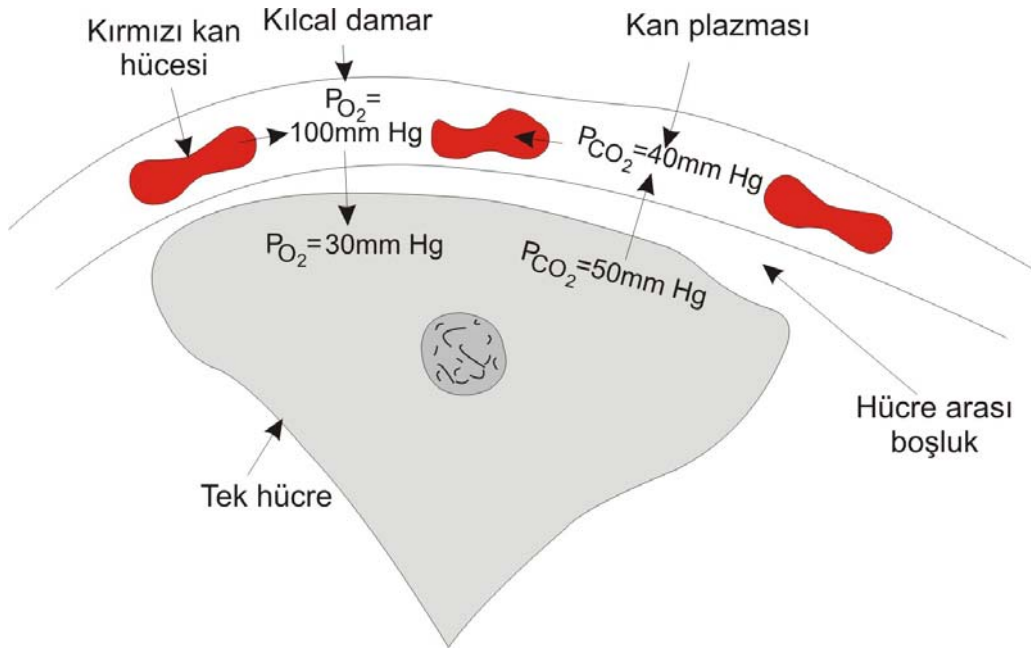
Örnek 12.4: Başlangıçta içinde hiçbir çözünmüş gaz bulunmayan bir sıvının üstünde bulunan gaz karışımında O_2 'in kısmi basıncı 120mmHg'dır ve CO_2 'in kısmi basıncı ise 40 mmHg'dır. Hangi gaz sıvı içerisinde daha çok çözünmüş halde bulunur?

Cevap: Kısmi basıncının daha yüksek olmasından dolayı O_2 'in sıvıdaki çözünmüş kütlesi daha fazla olur.

12.3 İç (Hücre Düzeyinde) Solunum

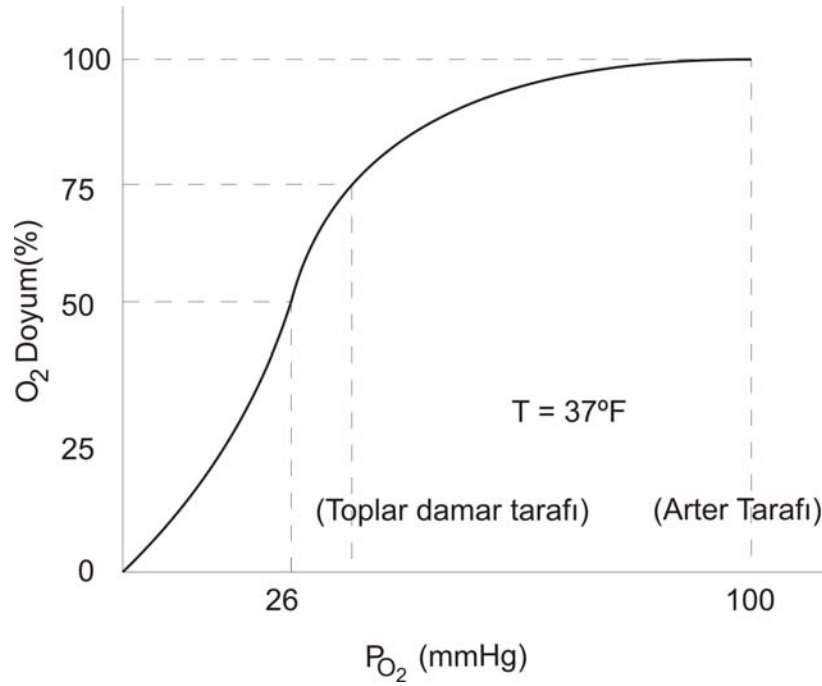
- **Solunum**, bir organizma ile içinde bulunduğu ortam arasındaki gaz alış-verişidir.
- **Dahili solunum** ise kan ile kanın temas halinde bulunduğu hücreler arasındaki gaz alış-verişidir.
- Kan, vücut dokuları arasındaki yolculuğu esnasında yaklaşık hacimsel olarak %5 ile %7 arasında (100 cc kanda bulunan gazın cm^3 cinsinden miktarı) oksijen gazı bırakır ve %4 ile %6 arasında karbondioksit gazı alır.
- Sıcaklık yükseldiğinde veya asitlik arttığında dokulara bırakılan O_2 miktarı daha da fazla olur.

- O₂'nin çoğu (%95'i) kırmızı kan hücresindeki (eritrosit) hemoglobin tarafından taşınır ve oksijenin bırakılmasıyla bile eritrositler hala %75 oranında doygunlardır.
- O₂ ve CO₂ gazlarının değişimi Dalton'un kısmi gaz basınçlarıyla ilgili kanununa bağlı olarak gerçekleşir. Örneğin, O₂'nin kısmi basıncı hücreleri saran bir kılcal damarda 100mmHg ise ve hücre içinde kısmi O₂ basıncı 30mmHg ise O₂ gazı hücreye geçer. Benzer şekilde, CO₂ gazı da hücre dışına çıkar. Yeterli gaz değişimini sağlayan kritik faktör O₂ ve CO₂ gazlarının derişimindeki farktır.



Şekil 12.1 Dahili solunum- kılcal damar ile vücut hücreleri arasındaki O₂ ve CO₂ alış-verişi

- Arterlerdeki kanın %100 oranında oksijenlendiğini, yani sadece oksihemoglobin (eritrositlerde oksijenin hemoglobinle kimyasal bir bileşik oluşturmuş hali) içerdiği ve venlerde normalde %75 oranında oksijenlendiği düşünülmektedir.



Şekil 12.2 Oksijen ayrışma eğrisi.

12.4 Dış (Akciğer) Solunumu

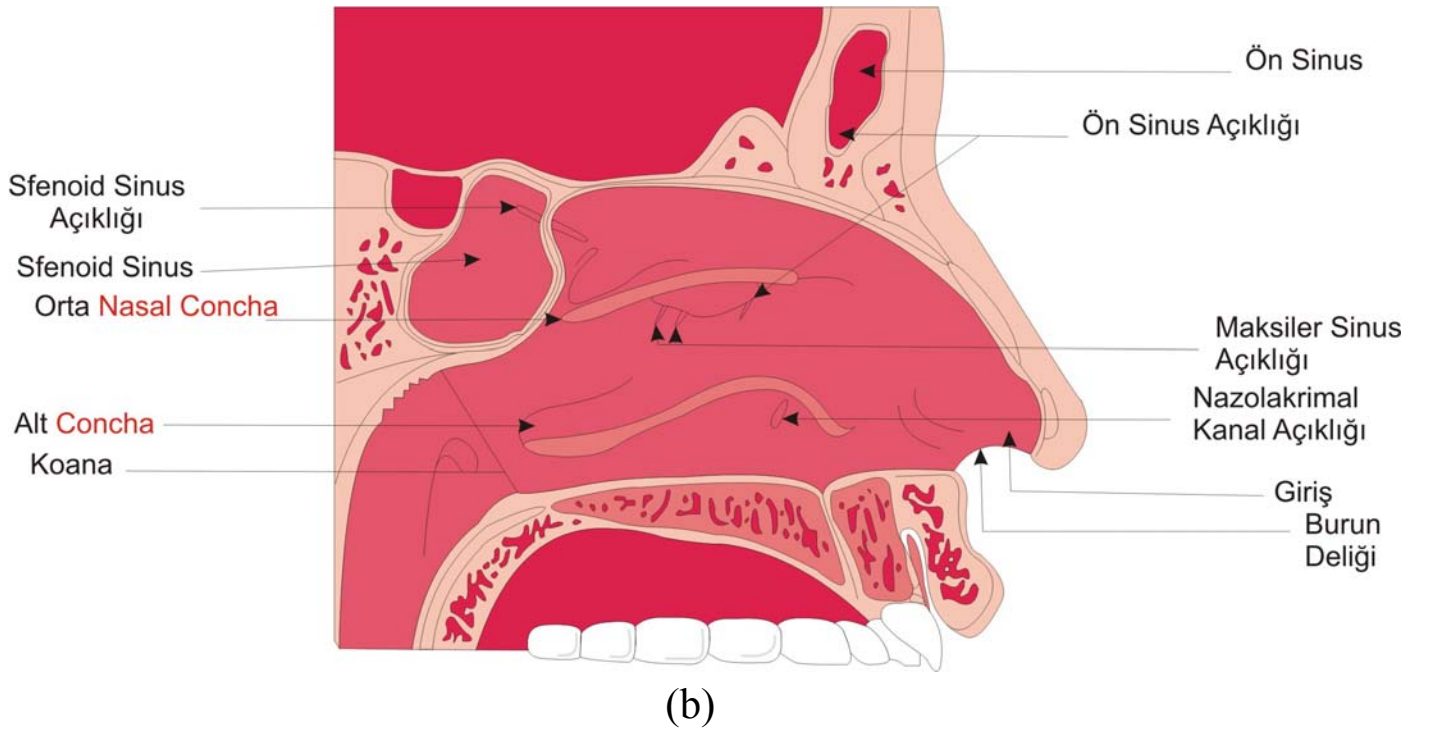
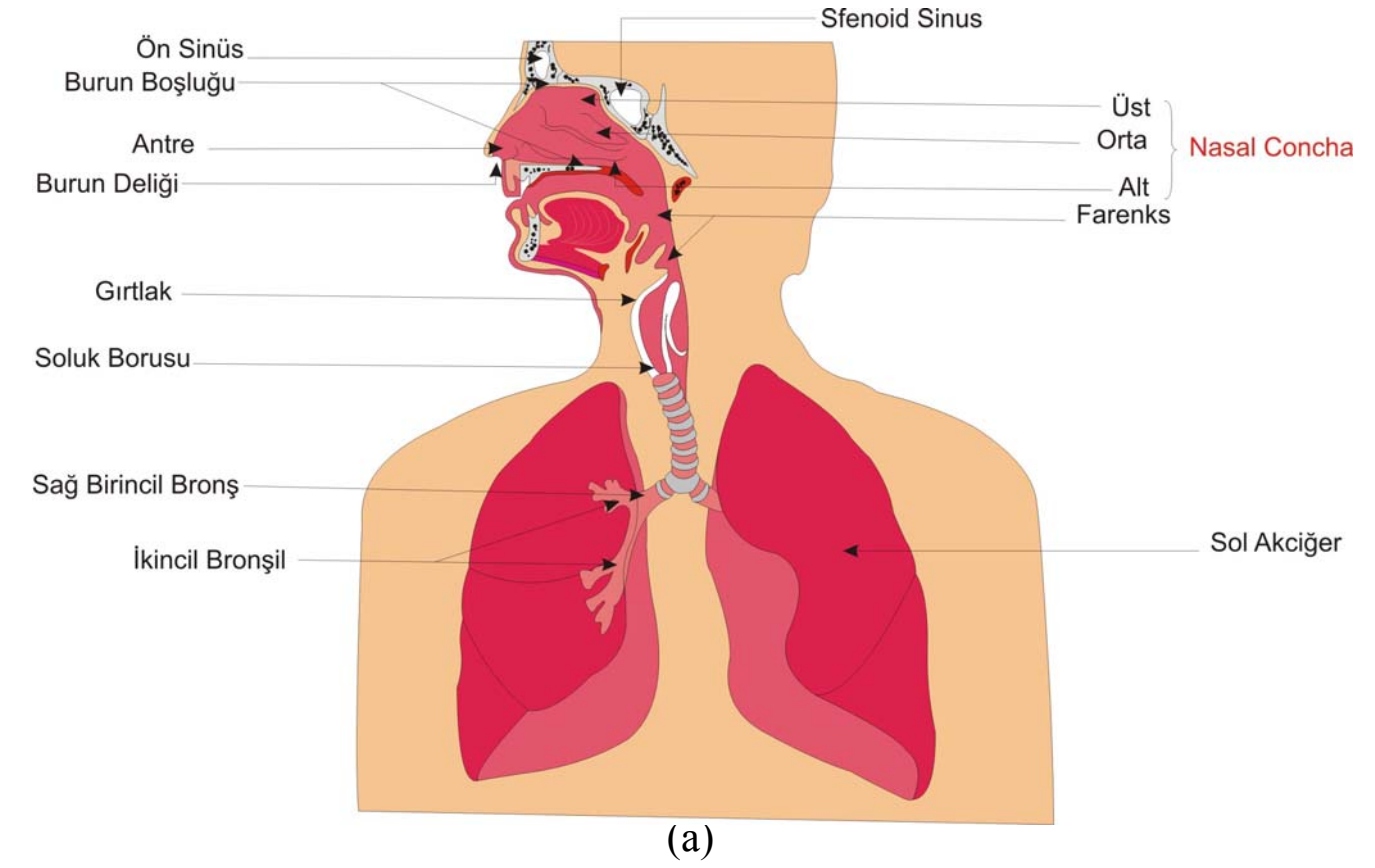
- **Dış solunum** akciğer ile kan arasındaki gaz alış-veriştir.
- Çoğu biyomedikal solunum cihazı, harici solunumun iyileştirilmesi veya ölçülmesiyle ilgilidir.

- Temelde, dış solunum, soluk alma (havanın içeri alınması- %79 Azot (N₂), %20,96 Oksijen (O₂) ve %0,04 karbondioksit (CO₂)) ve soluk verme (atık gazların dışarı atılması- %79 N₂, %17 O₂, %4 CO₂ gazları) işlemlerinden oluşur.
- Pulmoner fonksiyon fiziksel işlemleri içerir (gazların sıvılarla olan reaksiyonu/gazların değiş-tokuşu).

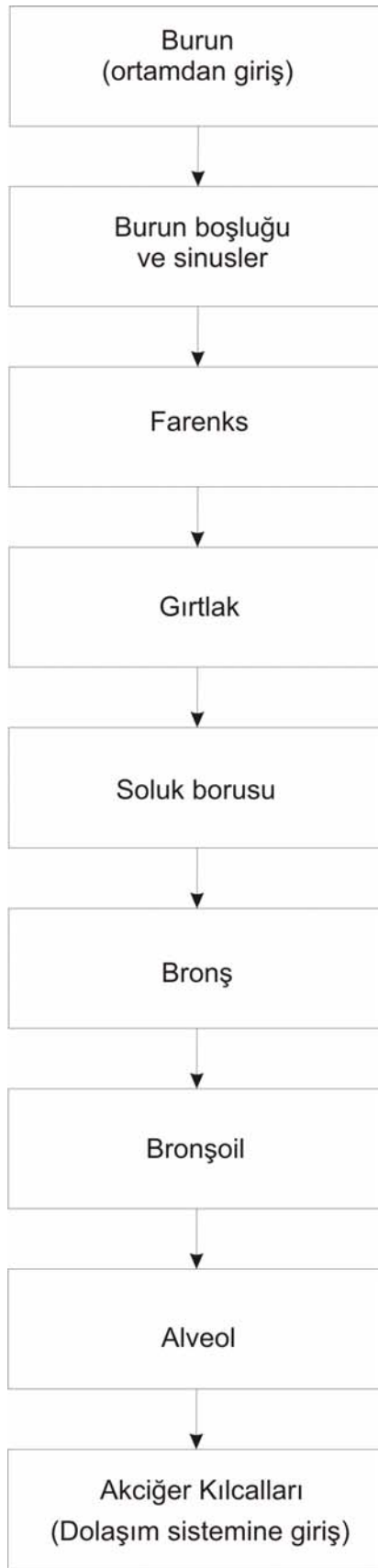
12.5 Solunum Organları

1. **İletim bölümü**: kalın duvarlardan oluşan (kılcal damarlara gaz geçişi gerçekleşmez), burun boşluklarını, farinks, larinks, trakea, bronşlar ve bronşiyalleri içeren kısımdır.
2. **Solunum bölümü**: İnce duvarlardan oluşan (kılcal kan damarlarına gaz geçişine izin veren) ve solunum bronşiyalleri, alveol borucukları, atriya (alveol keseciklerinin yükseldiği boşluk, alveol kılıfı) ile alveol keseciklerinden oluşur.

□ Her iki bölüm de solunum kaslarının (diyafram ve interkostal/göğüs kasları) hareketiyle ve kaburga kemikleri ile göğüs kemiği sayesinde işlerler.



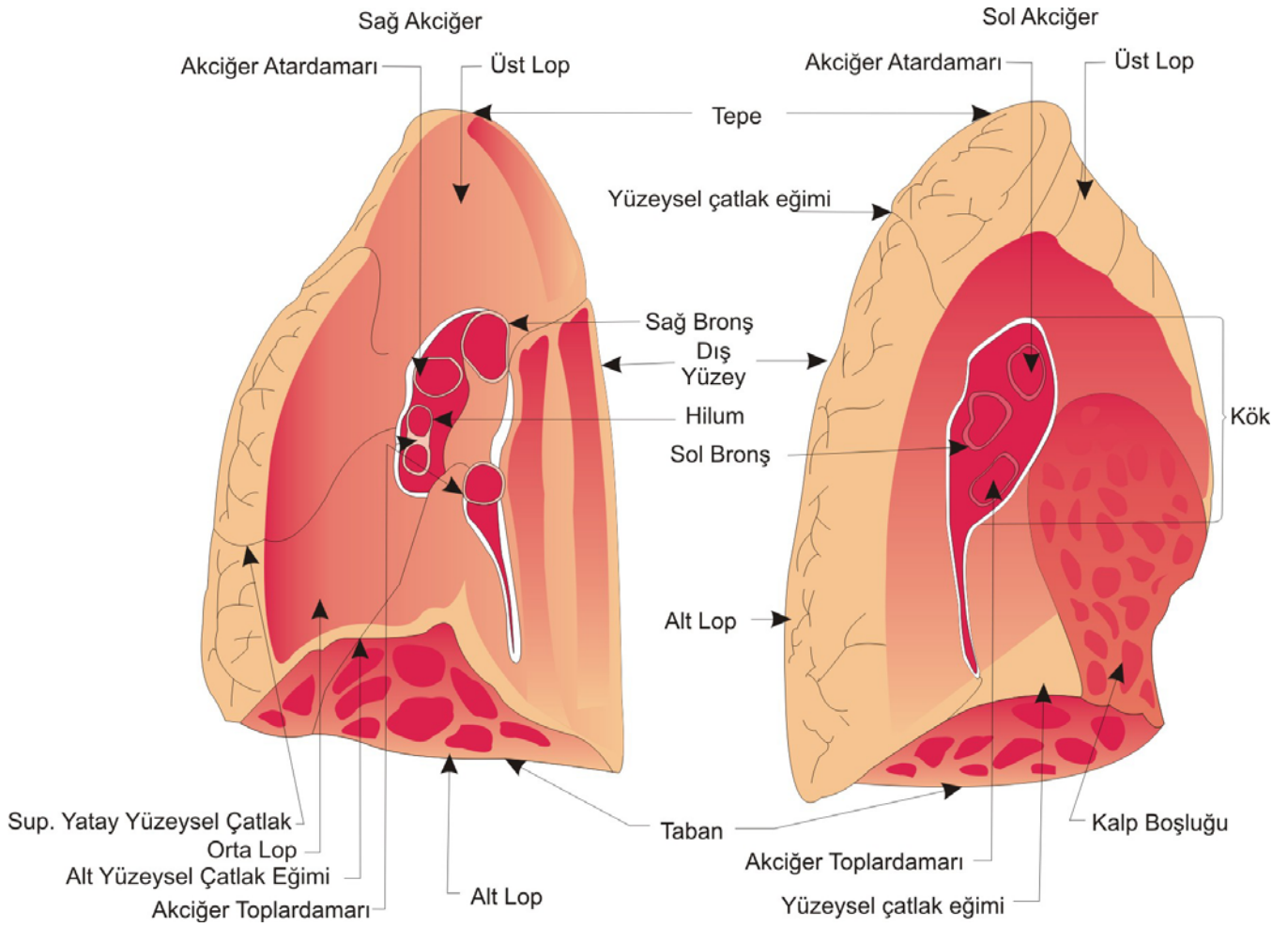
Şekil 12.3 Solunum organları a) organlar b) sol burun boşluğu.



Şekil 12.4 Burundan akciğerlere kadar olan solunum yolunun bir blok şeması

Solunum organlarının parçaları:

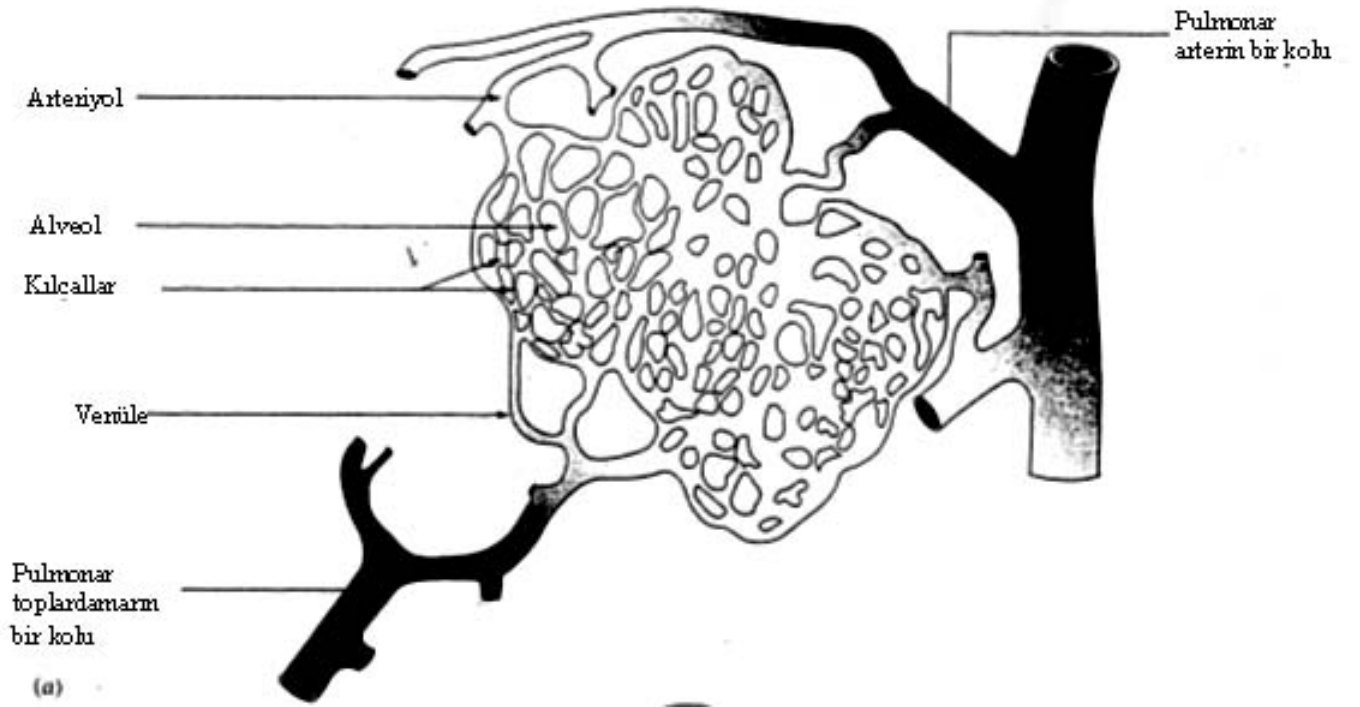
1. **Burun ve burun boşlukları**- yüzde bulunan ve koklama duyusunu sağlayan aynı zamanda içeri alınan havayı solunacak hale getirmek üzere ısıtan, nemlendiren ve filtreleyen organ.
2. **Farinks** (boğaz)- 3 bölümü vardır;
 - a) Nasofarinks (buruna yakın) adenoidleri (limpatik doku kütlesi) içerir.
 - b) Orofarinks, tonsilleri (limpatik doku kütlesi) içerir.
 - c) Hipofarinks veya laringofarinks.
3. **Larinx** (ses borusu)- havanın dışarı atılması esnasında titreşerek ses üreten ses tellerinin bulunduğu kısım.
4. **Trakea** (soluk borusu)-çember şeklindeki kıkırdık dokusunun açık tuttuğu akciğerden gelen ve giden havanın geçtiği dikey boru.
5. **Bronş**-her bir ciğere giden trakea'nın iki kolu.
6. **Bronşiyaller**-bütün akciğeri dolaşan bir ağ oluşturan bronşiyal kolların en küçüğü.
7. **Alveol** (hava kesecikleri)-tek bir hücre kalınlığına sahip ve bronşiyallerin sonunda gaz alış-verişini sağlayan küçük hava boşlukları.
8. **Akciğer kılcalları**-Alveolü çevreleyen gaz alış-verişini gerçekleştiren kılcal kan damarları.

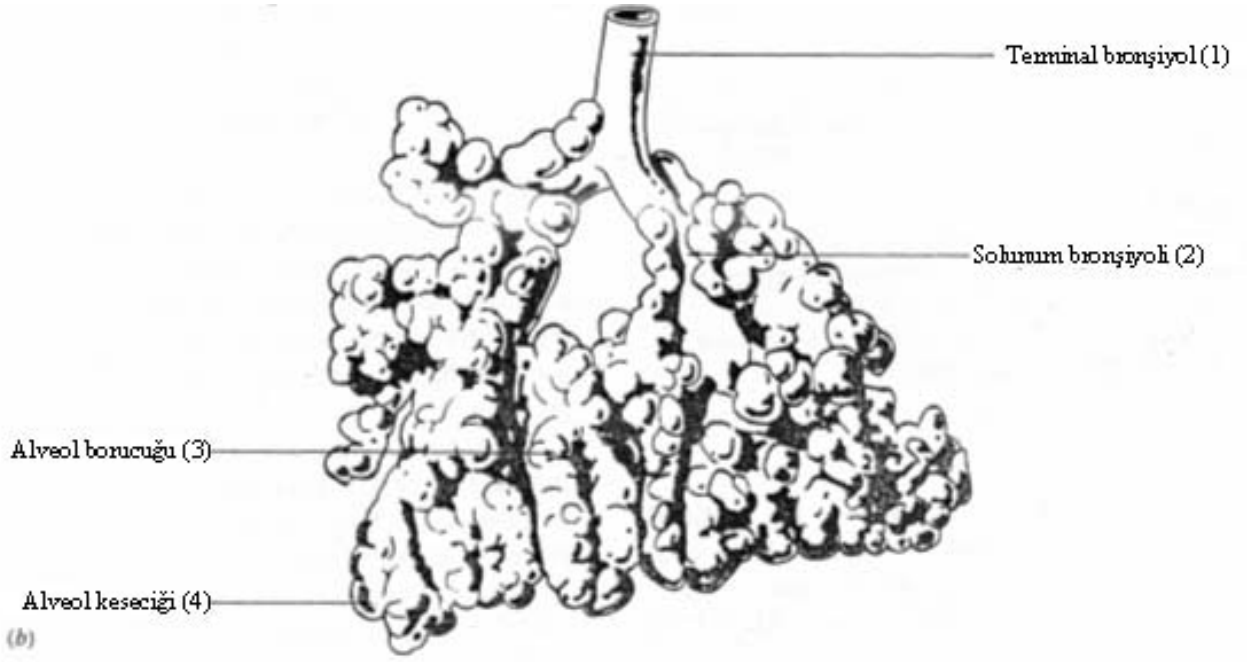


Şekil 12.5 Akciğerler

- **Akciğerler**, koni şeklinde ve içinde havayı yakalayarak gaz alış-verişini sağlayan alveol adlı küçük hücreler bulunduran süngerimsi iki parçadan oluşur.
- İnce zarlarla ayrılmış 3 bölüm sağ tarafı oluştururken, sol taraf 2 bölümden oluşur.
 - Sol akciğerde kalbin yerleşmesi için bir girinti bulunur.
 - Her iki ciğer de toraksın iki lateral (yan yana duran) plöral boşluklarında durur. Bir serös (nemli) zar tabakası, viseral plöra ciğer yüzeyini kaplar ve parietal plöra toraksik boşluğun sınırını belirler.

- Oksijenlenmesi gereken kan, kalbin sağ karıncığından geçerek akciğerlere pulmoner arterlerden girer.
- Oksijenlenmiř kan akciğerleri pulmoner toplardamarlar üzerinden terk ederek kalbin sol kulakçığına gelir.



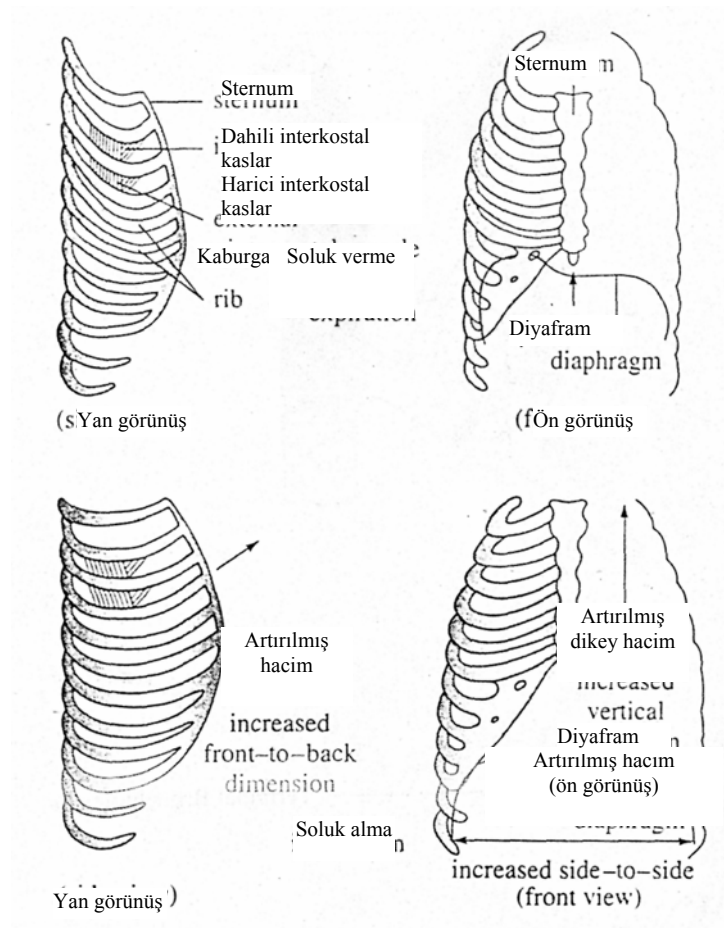


Şekil 12.6 Alveoller ve kan dolaşımı

- Burundan alınan hava, takea (soluk borusu) dan geçerek bronşlarda iki kola ayrılır ve terminal bronşiyallerde daha da küçük kollara ayrılarak solunum bronşiyallerine ulaşır.
- Burada alveol veya hava kesecikleri olarak tanımlanan her biri yaklaşık 0,2 mm çapındaki hava boşluklarına geçer.
- Akciğerlerde tahminen 3 milyon alveol bulunmaktadır ve bunların oluşturduğu toplam yüzey 70 m² alan oluşturmaktadır (ortalama bir tenis sahasının alanı).
- Bu akciğerlerin, yetişkin bir erkekte kapasitesini 3,6 ile 9,4 litre, yetişkin bir kadında ise 2,5 ile 6,9 litre olmasını sağlar.

12.6 Solunumun Mekanik

- **Solunumun mekanik** göğüs boşluğunun hacmini değiştirerek soluk alma ve vermeyi sağlayan kaslarla ilgilidir.
- Soluk alma ve verme işlemine dahil olan **iki kas grubu** vardır. Bunlar göğüs boşluğunu karın boşluğundan ayıran ve yukarı aşağı inip çıkan bir duvar olan **diyafram** ve göğüs boşluğunu bir kuşak gibi saran ve göğüs kafesinin inip çıkmasını sağlayan **interkostal** kaslardır.

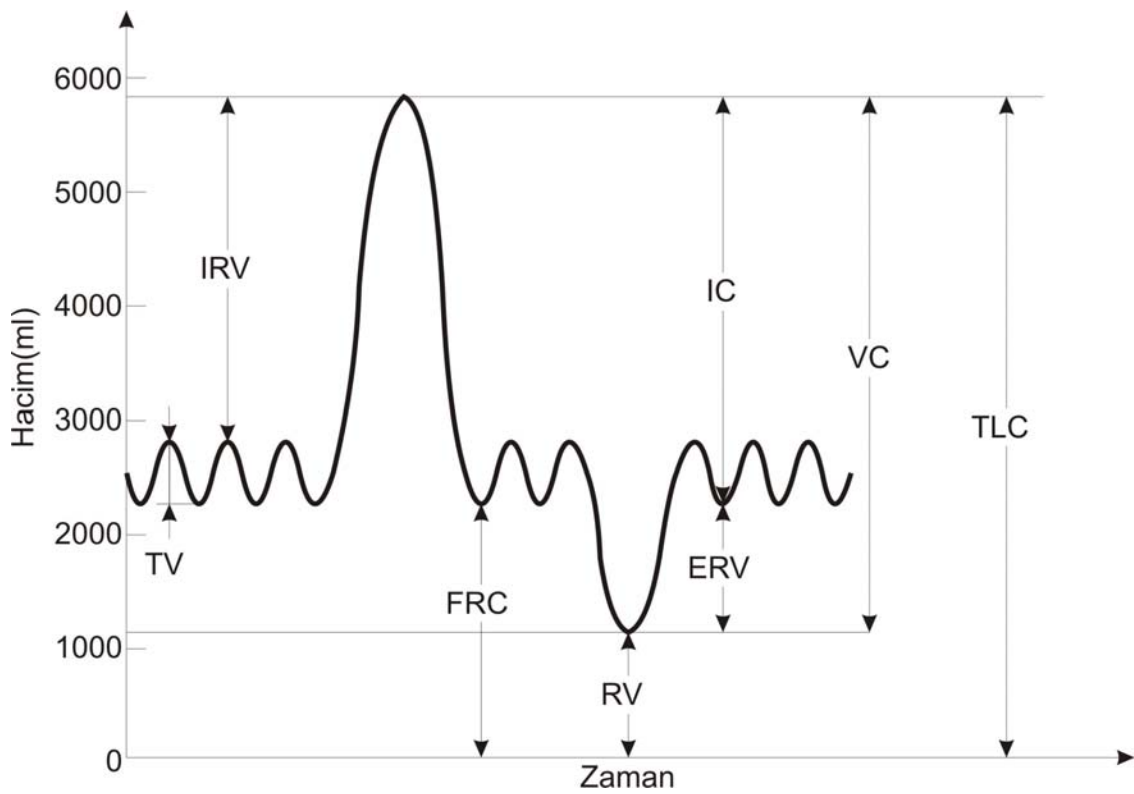


Şekil 12.7 Soluk alma ve verme (toraksik hacim değişimi)

- Akciğerlerin bulunduğu ortamdaki boşluk hacminin artmasıyla vücut dışındaki atmosferik ortama göre **-3 mmHg**'lık bir basınç azalması meydana gelir.
 - Akciğerler **pasif organlar** (kas içermeyen) olduğundan dışarıdaki pozitif basıncın baskısıyla genişirler.
 - Deniz seviyesinde görülen dış hava basıncı **760 mmHg** ise bu durumda iç akciğer basıncı **757 mmHg** olur.
- Solunum fonksiyonlarının incelenmesi için **mekanik ve elektrik modeller** tasarlanmıştır.
- Bunlardan birisinde yaylarla desteklenen kütlelerin bir yüzey üzerinde yaptıkları hareket incelenmektedir. Yayların elastikiyeti akciğerlerin genişleme kabiliyetini temsil etmektedir.
- Bir başkasında ise bir hacimsel sıkıştırma pistonu kullanan bir pompa sistemi kullanılmaktadır.
- Üçüncü bir model elektrik devre elemanlarıyla oluşturulmuştur. Bir dizi kondansatör bronş direncini ve gazın sıkıştırılabilirliğini temsil ederken direnç ve kondansatörlerden oluşan bir devre akciğer dokusunun elastikiyetine karşılık gelmektedir. Solunumu oluşturan kaslar alternatif akım kaynakları tarafından simüle edilmektedir.

12.7 Solunumun Parametreleri

- Solunumun parametreleri solunum fonksiyonlarının durumunu gösteren akciğerlerin hacmi ve kapasitesi, soluk borusunun direnci, akciğerlerin genleşme kabiliyeti (uyumu) ve elastikiyeti ve dahili göğüs boşluğu (intratoraksik) basıncı gibi değerlerin ölçümünden ibarettir.



Şekil 12.8 Akciğer hacimleri ve kapasiteleri

- Şekilde verilen değerler dinlenme pozisyonunda solunum yapan standart 70 kg'lık erkeğe ait verilerdir.
- **Gel-git hacmi** (tidal volume-TV) –500ml- her bir solunum çevrimi içerisinde alınan veya verilen gazın hacmi ya da solunum derinliğidir.

- **Soluk tutma hacmi** (Inspiratory reserve volume –IRV)-3600ml- son haddinde soluk alma pozisyonunda (yüksek tepeli soluk alma derinliğinden de öte ekstra soluk alınması durumu) alınan maksimum gaz miktarıdır.
- **Soluk verme hacmi** (Expiratory reserve volume-ERV)-1200ml- son haddinde soluk verme pozisyonunda (düşük tepe soluk verme derinliğinden de öte ekstra soluk verilmesi durumu) verilen maksimum gaz miktarıdır.
- **Artık hacim** (residual volume-RV)-1200ml- tam soluk verme durumunda akciğerlerde kalan hava miktarıdır. Çalışmayan bir akciğerde bile 500 ile 600 ml hava vardır.
- **Dakikalık hacim**, bir dakika içinde normalde solunan hava miktarıdır.

Önemli kapasite değerler:

- **Toplam akciğer kapasitesi** (Total Lung Capacity-TLC)-6000ml- tam soluk alma durumunda akciğerlerde depolanan gazın toplam miktarıdır ve IC ile FRC'nin toplamına eşittir.
- **Önemli kapasite** (Vital capacity-VC)-4800ml- içeri alınabilen ve verilebilen en yüksek gazın oluşturduğu kapasitedir.
- **Soluk verme kapasitesi** (Inspiratory Capacity –IC)-3600ml- dinlenme pozisyonunda soluk verme esnasında verilebilecek gazın en üst seviyesidir ve TV ile IVR'nin toplamına eşittir.
- **Fonksiyonel artık kapasite** (Functional residual capacity-FRC)-2400ml- dinlenme pozisyonunda soluk verme durumunda akciğerlerde kalan gaz miktarıdır (tam soluk verme pozisyonu baz alınır çünkü tam soluk alma pozisyonuna göre değişim daha azdır) ve ERV ile RV toplamına eşittir.

Depo hacminin toplam akciğer hacmine oranına dikkat edilirse;

$$(RV/TLC) \times 100 = \%20 \text{ (25 yaşında 70 kg erkekte)}$$

$$= \%40 \text{ (55 yaşında 70 kg erkekte)}$$

12.4

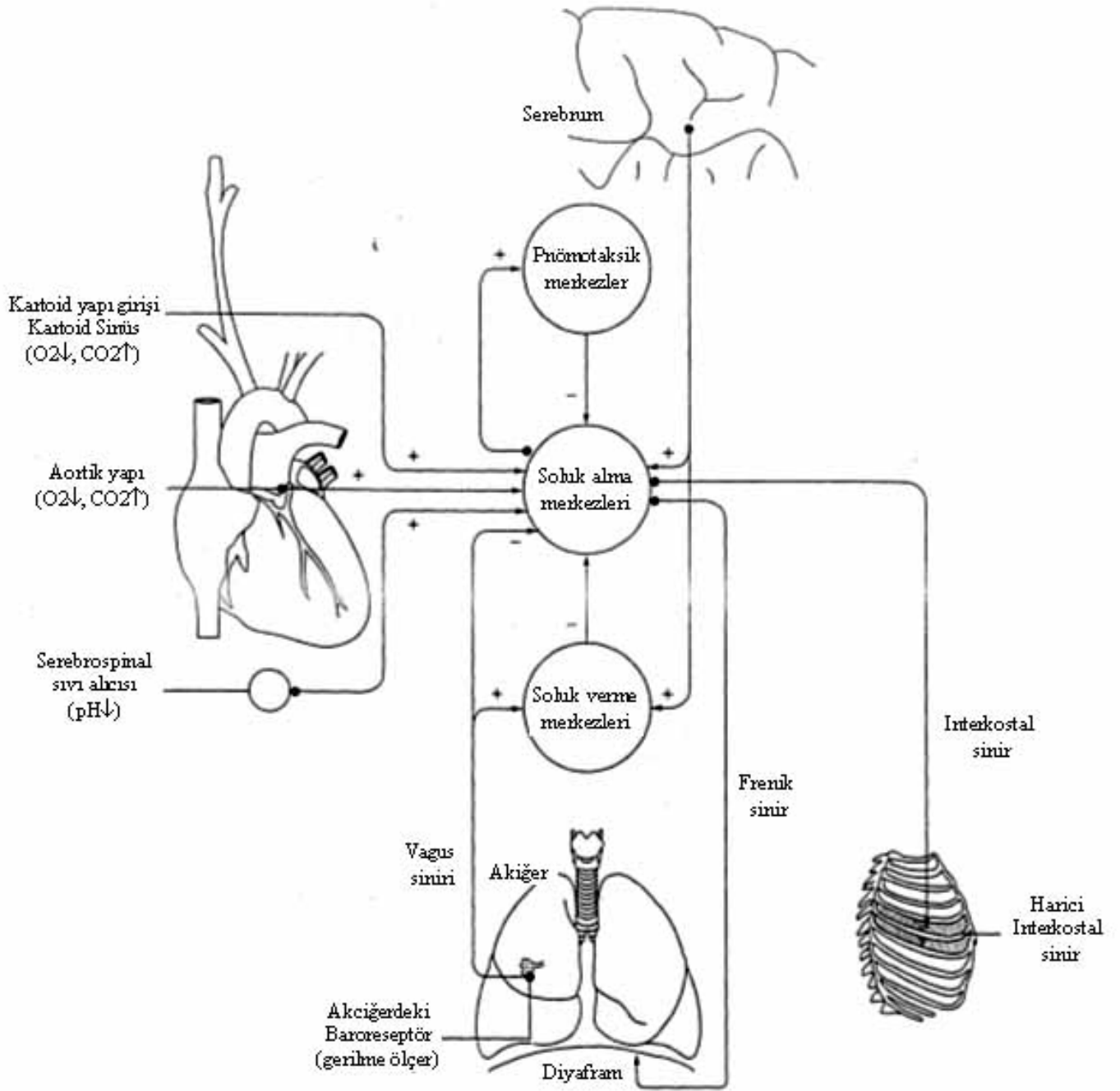
-  Soluma işi hava yolunun direnci, akciğer uyumu ve akciğer elastikiyeti ile ilgilidir.
-  Hava yolunun direnci, solunum borularından havanın ne kadar kolay (veya zor) geçmesiyle ilgili bir durumdur. Daha küçük boru çapı daha yüksek direnç demektir.
-  Akciğer uyumu, alveollerin ve akciğer dokusunun soluk alma esnasındaki genişleme kabiliyetini ifade eder. Akciğerler kaslara sahip olmayan pasif organlardır ancak yeteri kadar havanın alınabilmesi için kolayca esneyebilir.
-  Akciğer elastikiyeti, akciğerin soluk verme esnasında tekrar eski durumuna geri gelme kabiliyetini ifade eder.
-  İntratoraksik (dahili göğüs boşluğu) basıncı göğüs boşluğunda soluk alma ve verme esnasında görülen pozitif ve negatif basınçtır.

12.8 Solunumun Düzenlenmesi

Solunum hızı ve derinliği;

1. sinir sistemi tarafından
2. karbondioksitin kandaki kimyasal konsantrasyonuna bakılarak kontrol edilir.

□ Solunum işlemi, istemsiz nöron aktivitesinin kimyasal etkilerle düzeltilmesi ile gerçekleşir. Solunum bilerek de kontrol altına alınabilirse de vücuttaki dahili homeostasis mekanizması tarafından sınırlandırılır. Örneğin, isteyerek uzun müddet derin soluk alıp verirse, kandaki kimyasal yapının (pH düzeyi) tekrar normale dönmesi için geçici bir süre baygınlık geçiririz.

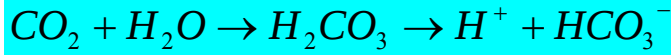


Şekil 12.9 Solunum refleks mekanizmaları

- Beyindeki solunum merkezi, kafatası içerisinde yeralan medulla ve pons bölümünde bulunur.
- Beyindeki sinir hücreleri diyafram ve interkostal kaslarının kasılmasını sağlayan uyarıcı işaretler gönderirler.

- Pons bölümünde bulunan pnömataksik merkezler, medulla da bulunan soluk alma merkezlerinden gelmekte olan ve soluk alma evresinin üst noktasında tepe değerine ulaşan darbeler alırlar.
- Mesajlar, soluk verme merkezine (medulla da bulunan soluk alma merkezinin arka kısmı) ulaştırılarak soluk alma işlemini durduran bir dizi darbenin gönderilmesi sağlanır.
- Soluk almayı sağlayan kaslar gevşemeye başlar ve pasif bir şekilde soluk verme durumuna geçilir. Bu geri besleme sistemi ritmik soluma hızı ve derinliği (gel-git hacmi) sağlar.

▶ Solunum aktivitesi, aynı zamanda beyinden geçen kanın sıcaklığı ve kimyası tarafından da etkilenir. Kandaki karbondioksit gazının konsantrasyonundaki değişimler soluma hızını da değiştirir. Kanın asit-baz dengesi (pH=7,4);



12.5

- Bir refleks mekanizma solumayı düzenler.

☀ Örneğin, kandaki CO_2 gazının oranı arttığı takdirde beyindeki soluma merkezini uyaran daha fazla H^+ ve HCO_3^- iyonları üretilecektir. Bu soluma hızını ve derinliğini arttırır. Ventilasyon (soluk verme) arttığı için kandaki CO_2 oranı düşer ve böylece beyindeki soluma merkezi soluma hızını azaltır. Bu negatif bir geri besleme çevrimi oluşturmaktadır ve kan pH değeri normal sınırlarında (7,36-7,44) tutulmaktadır.

Uyarma ve önleme mekanizması, baroreseptörler (akciğerdeki genişmeyi haber veren sinir hücreleri), O₂ kemoreseptörler (aorttaki O₂ algılama hücreleri) ve solunum merkezi (beyindeki sinir hücreleri) aracılığıyla çalışarak kandaki O₂ ve CO₂ kısmi basınç dengelerinin sabit kalmasını garanti eder.

12.9 Dengelenmemiş ve Hastalıklı Durumlar

- **Solunum sisteminin dengelenmemiş durumları;**
 - o **Hiperventilasyon;** alveollerde metabolizmanın ihtiyacının ötesinde bir CO₂ uzaklaştırmasına neden olan aşırı ventilasyon durumudur. Kandaki CO₂'in kısmi basıncı 40mmHg'nın altına düşer. Bu durum isteyerek veya istem dışı hızlı veya derin solumadan kaynaklanır.
 - o **Hipoventilasyon** ise alveoldeki ventilasyonun yetersiz kalmasıdır. CO₂'in kısmi basıncı 40 mmHg'nın üstüne çıkar. Bu durum isteyerek veya istemeyerek sık solunum yapılmasından kaynaklanır.
- **Solunum sisteminin hastalıklı durumları;**
 - o **Hipoksia** ölüme sebebiyet verecek derecelere kadar O₂ gazının kandaki kısmi basıncının düşmesidir.
 - o **Apne**, genellikle geçici bir süre için solunumun durmasıdır.
 - o **Hiperpnea** artırılmış gel-git hacmi ve/veya artırılmış soluma hızından ileri gelen bir durumdur ve kandaki veya alveollerdeki O₂ gazının kısmi basıncının azalmasına neden olur.

- o **Dispnea**, kandaki asitlikten (düşük pH), pnömania, kardiyak bozukluk, hemoraj (kan kaybı) veya ateşten dolayı güçlükle nefes alma olayıdır.
- o **Polipnea** (Taşipnea) ateş veya hipoksia dolayısıyla hızı artırılmış fakat derinliği düşük solumadır.
- o **Hiperkapnia**, merkezi sinir sistemi bozukluğu, sinirlerin veya solunum kaslarının hastalanması, metabolik düzensizlikler veya nefes güçlüğü dolayısıyla azaltılmış ventilasyon (kanda CO₂'in kısmi basıncının aşırı derecede düşük olması) meydana gelmesidir.

12.10 Pulmoner Fonksiyonların Ölçülmesi

- **Maksimum isteyerek ventilasyon (maximum voluntary ventilation-MVV)** solunum hacmini ölçen bir alet olan spirometre ile derin hızlı nefes alma esnasında ölçülen değerdir.
- **Zorlanmış soluk verme hacmi (FEV)**, bir spirometrede hızlı nefes alma ve vermenin ölçülmesidir.
- **Maksimum soluk verme hızı (MEFR)** ise zorlanmış nefes alma ve vermenin bir pnömotakometre (akış ölçer) ile ölçülen değeridir.
- **İntra-alveol basıncı**, alveol keseciklerindeki basıncın bir vücut pletismografi (basınç ölçen bir alet) kullanılarak ölçülen değeridir.
- **Kan-gaz ölçümü**, kandaki O₂ ve CO₂ gazlarının kısmi basıncının bir kan-gazları analiz cihazı ile ölçülmesidir.

- **Asit-baz dengesi ölçümü**, bir pH-metre kullanılarak kandaki CO₂ miktarının belirlenmesidir.

☀️ Solunum sistemi ölçümünde kullanılan pek çok farklı dönüştürücü vardır. **Pnömotakometre** olarak bilinen ve solunumu tespit etmeye yarayan ancak sistem hakkında sayısal bilgi vermekten uzak bir alettir. Bu tip cihazlar, yine de, bir **pnömotakometre** (solunum hızı ölçer) ile birlikte kullanılarak yoğun bakım ünitelerinde izleme amacıyla kullanılmaktadır.

▶️ Akciğer hacmini sayısal olarak ölçen ve **spirometre** denilen aletler hem mekanik hem de elektronik olarak imal edilmektedirler.

- **Yapılan ölçümler**;

1. Gel-git hacmi
2. Soluk alma depo hacmi
3. Soluk verme depo hacmi
4. Atık hacmi
5. Anlık hacim

- **Ölçülen kapasiteler**;

1. Önemli kapasite
2. Fonksiyonel atık kapasitesi
3. Soluk alma kapasitesi
4. Toplam akciğer kapasitesi

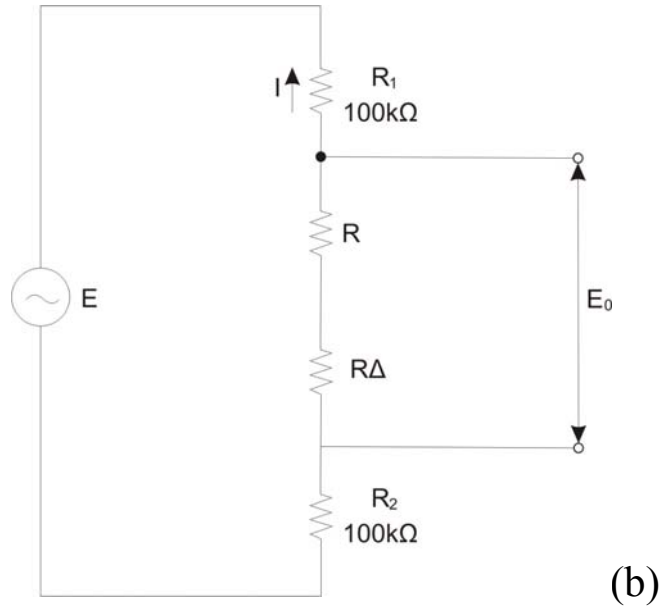
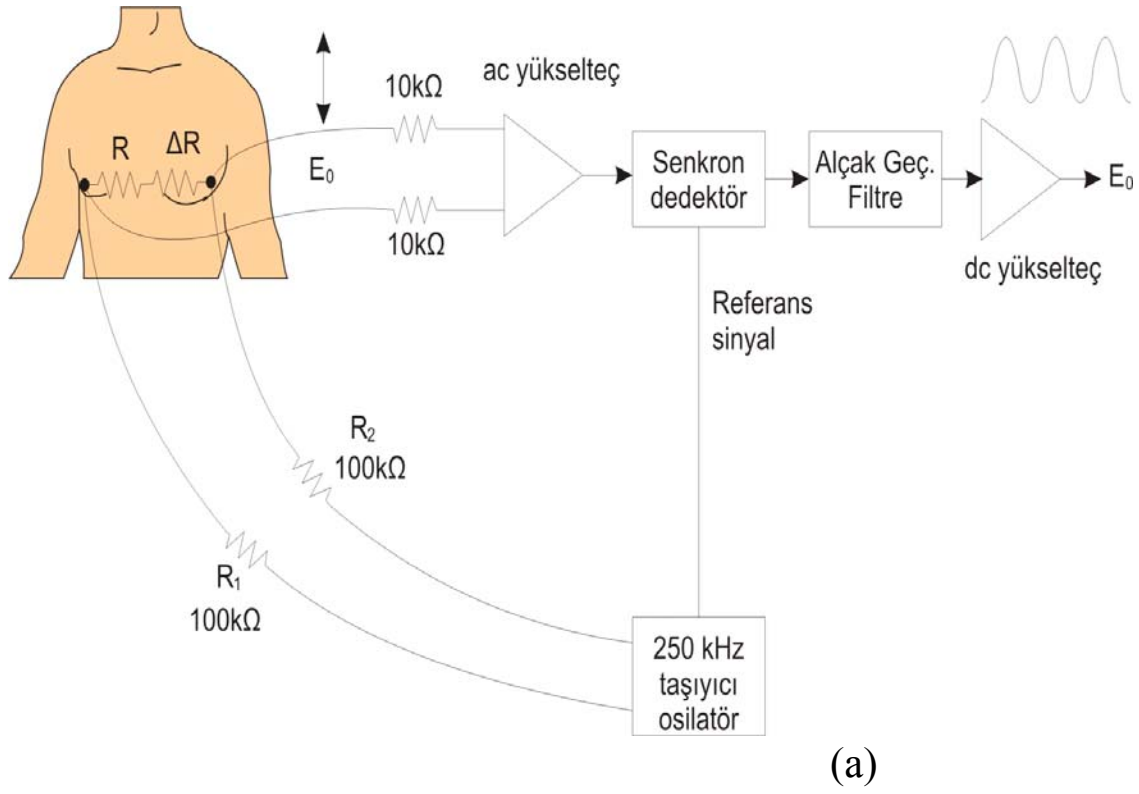
- Kan gazları ve normal bir gel-git hacmi sonunda dışarı atılan CO₂ miktarı da solunum ölçümlerinden sayılmaktadır.

12.11 Solunum Dönüştürücüleri ve Cihazları

- Solunum cihazları, diğer ölçüm cihazlarında olduğu gibi nesneden veri toplama görevini üstlenmiş olan dönüştürücülerin uzantısından öte bir şey olmamaktadır.
- Bazı durumlarda basit bir dc yükselteçten başka bir şeye ihtiyaç duyulmamaktadır. Dolayısıyla, pratikte dönüştürücüleri cihazlardan ayırmak mümkün olmamaktadır.

► Bir empedans **pnömografi**, bir deneğin sırtındaki derinin ac empedansının solunumla birlikte değişeceği gerçeğinden yola çıkarak ölçüm yapan bir cihazdır. Bu yöntem çoğu neonatal solunum izleme cihazlarında ve apne alarm sisteminde kullanılmaktadır.

- Düşük gerilimli, 50-500kHz frekans aralığında bir ac işaret hastanın sırtına EKG elektrotlarına benzer elektrotlar ile verilir. Gerçekte, bu cihazların çoğu aynı zamanda EKG monitörleridir ve bir dizi ortak elektrodu hem EKG işareti toplamakta hem de empedansı takip etmekte kullanılırlar. Her bir elektroda seri bağlı yüksek değerli dirençler bir sabit ac akım kaynağı oluştururlar.



Şekil 12.10 Empedans pnömografi a) Blok diyagram b) Eşdeğer devre

- AC fark yükseltecine uygulanan işaretin gerilim seviyesi hastanın toraksik empedansı üzerinde düşen gerilim temsil eder:

$$E_0 = I(R \pm \Delta R)$$

12.6

Burada;

E_0 : çıkış gerilimi (V)

I : sırttaki akım (A)

R : solunum yokken sırtta görülen empedans (Ω)

ΔR : Solunum nedeniyle empedansta meydana gelen değişim miktarı (Ω)

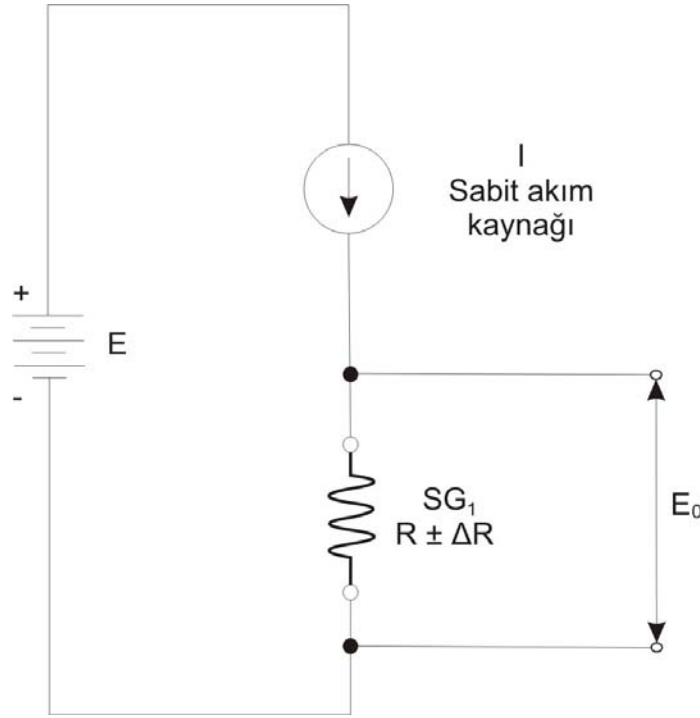
- Hastanın sırtından geçen akım çok küçüktür ve neredeyse sabittir çünkü kaynak gerilimi sabittir ve toplam dirence ($R_1+R_2+R_3$) karşılık ΔR terimi küçük kalmaktadır.
- Gerilme ölçer dönüştürücüleri ile solunumu belirleyen iki tip pnömograf vardır.
 - Birisi, neredeyse tamamen piyasadan çekilmiş olan civalı gerilme ölçerdir.
 - Diğer piezorezistif gerilme ölçer dönüştürücüsü benzer tipte tel, folyo veya piezorezistif yarıiletkenler kullanır.
 - Pnömograf uygulamalarında gerilme ölçer elemanı iki elastik bant arasına yerleştirilir. Bu sistem hastanın sırtına gerildiğinde gerilme ölçerin direnci solunum hareketleriyle birlikte değişir.

☀ Her iki gerilme ölçer de, daha sonra gelecek olan termistörlerle beraber kullanılmak üzere, yarım veya tam Weston köprüsü şeklinde kullanılabilir.

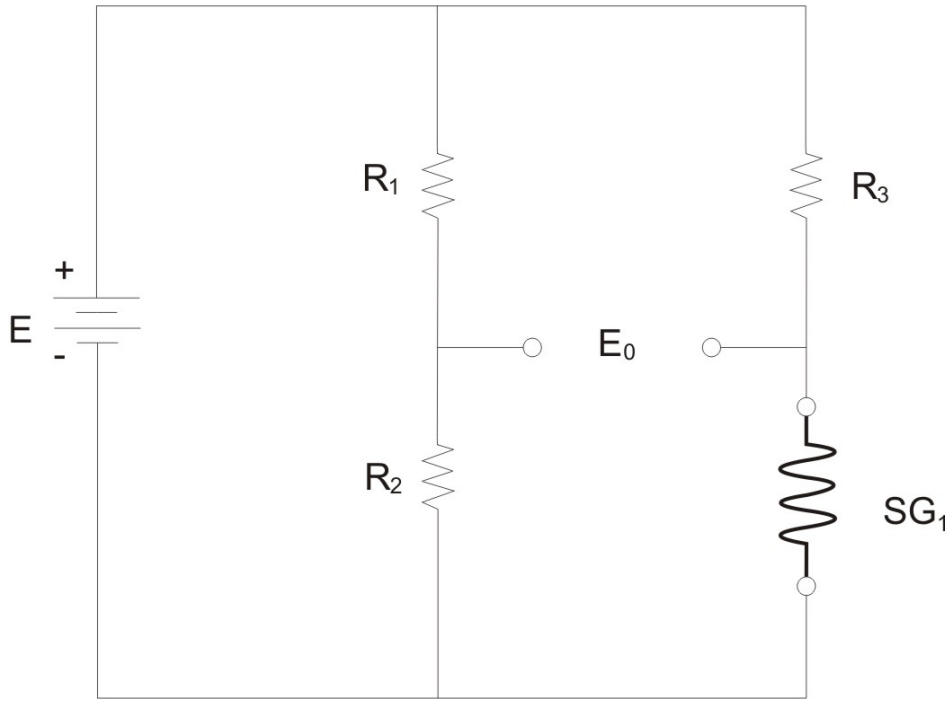
▼ E_0 , solunum işaretini temsil eder.

*Dezavantajı E_0 gerilimi solunum durduğunda tam sıfır olmaz, $I \times R$ 'ye eşittir.

*Bu devreyi kullanan pnömograflar bu nedenle ya ac kuplajlıdır (düşük -3dB frekansı $0,05\text{Hz}$) veya E_0 'ın statik değerini dengeleyen bir ofset kontrolü içerir.



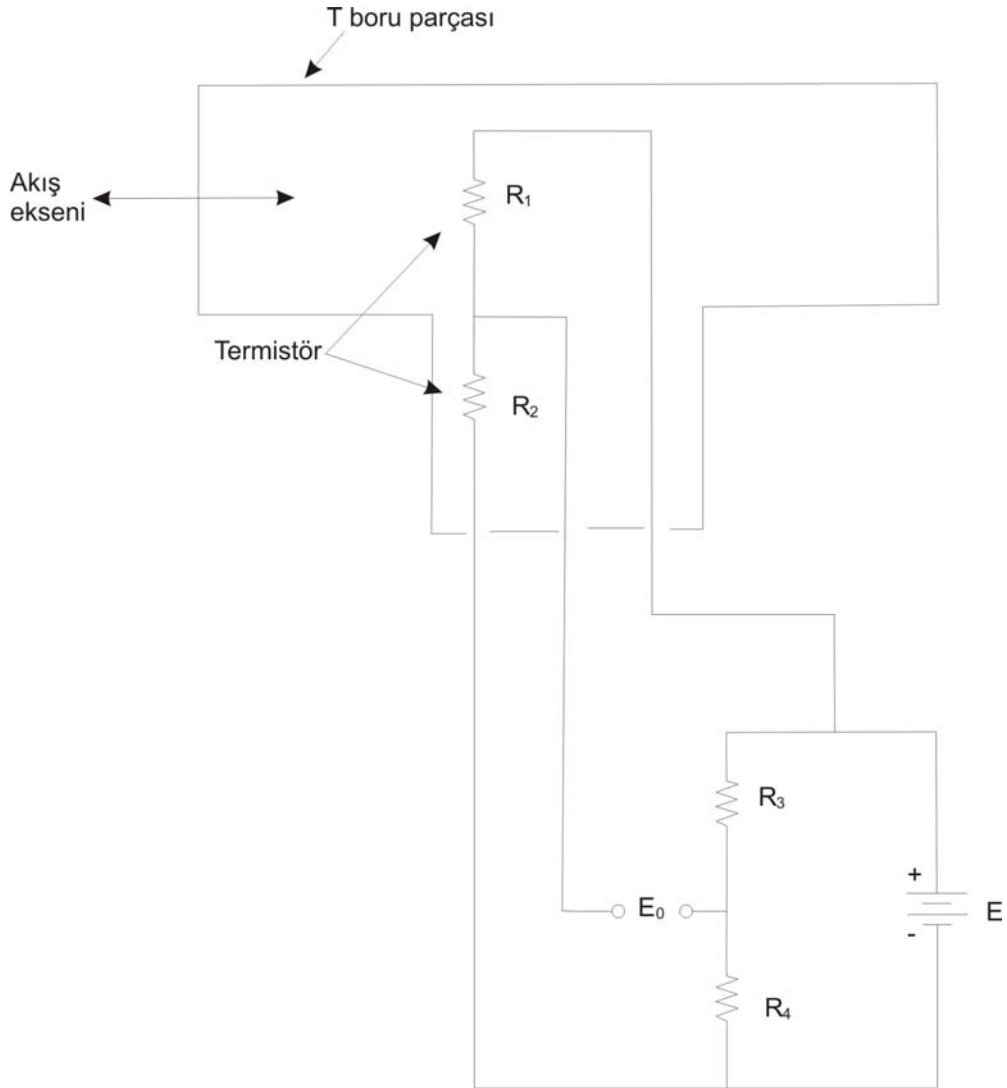
Şekil 12.11 Yarım köprü devresi



Şekil 12.12 Tam köprü devresi

- ▼ Weston köprüsü devresi ofset problemini ortadan kaldırır. Bu devrede E_0 'ın statik değeri sıfır voltur.
- Bazı pnömograflarda termistörler de akış dedektörü olarak kullanılmaktadır. Bir dönüştürücüde, hastanın burun deliğinin hemen iç kısmına yerleştirilmiş bir boncuk şeklinde termistör vardır.
 - Termistör içinden sabit bir akım geçirilmektedir, fakat akımın değeri termistörde kendi kendine ısınmayı en aza indirecek düşük bir değerde sınırlandırılmıştır (5 - 10 mA, 40 mW).
 - Termistörün direnci alınan ve verilen solугun arasındaki sıcaklık farkından dolayı değişir.

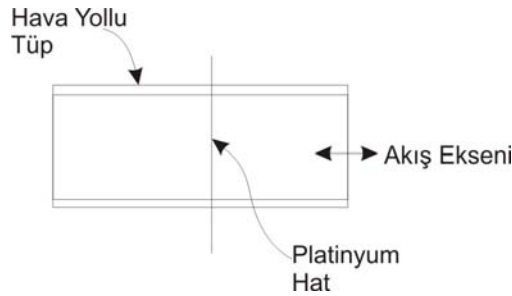
▼ T şeklindeki bir borunun içine iki adet termistör yerleştirilmiştir. R1 termistörü alınan ve verilen solunum gazlarının yolları üzerinde dururken R2 termistörü türbülans olmayan ölü gazların bulunduğu boşlukta referans görevini yapar. Harici R3 ve R4 dirençleri Weston köprüsünün öteki yarısını oluştururlar.



Şekil 12.13 Termistörlü hava akışı ölçer

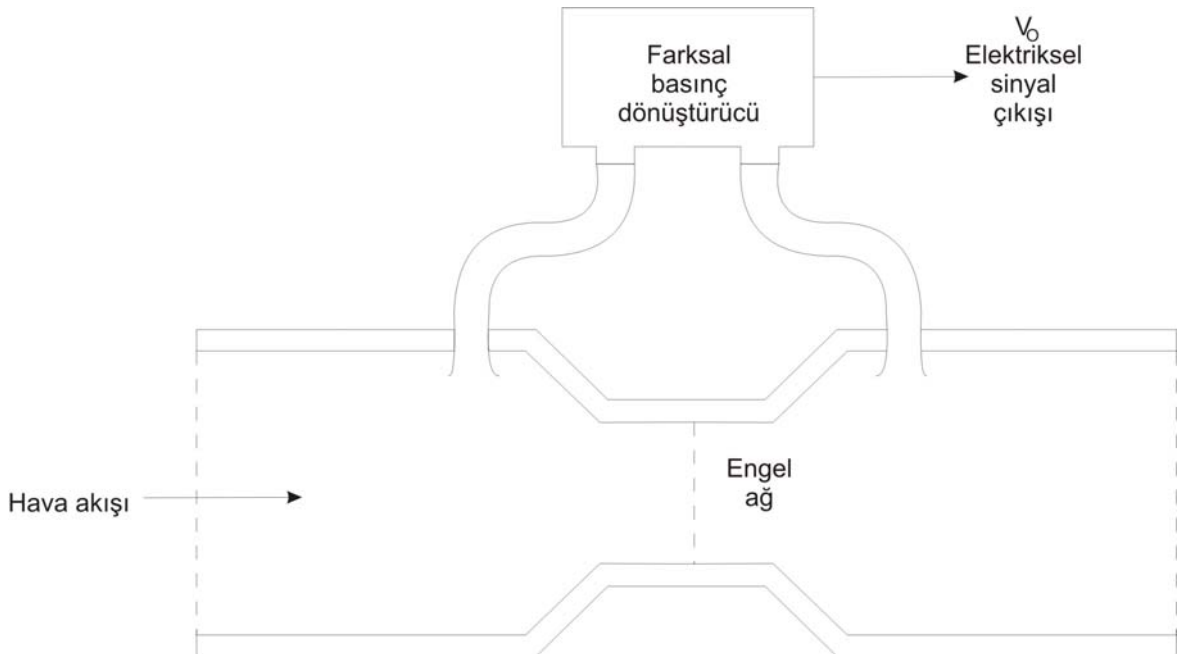
☀ E_0 çıkış gerilimi herhangi bir gaz akışı olmadığı müddetçe sıfırdır fakat tüp içinden hava geçtiği zaman sıfırdan farklı bir değer alır. R1 termistörü alınan ve verilen soluktaki sıcaklık farkına tepki gösterdiğinden solunumu temsil eden bir dalga şekli ortaya çıkar.

- Bazı dönüştürücülerde termistör yerine ince bir platin kullanılır.



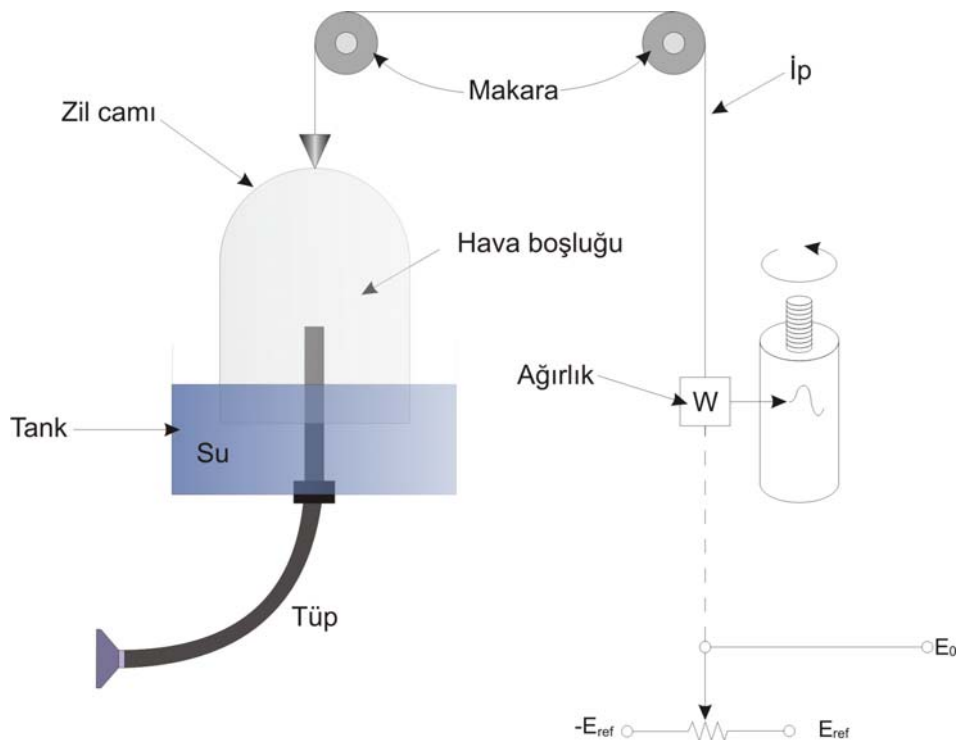
Şekil 12.14 Platin telli akış dedektörü

- Şekil 12.15'te akış hacmini niceliksel olarak ölçen bir dönüştürücü görülmektedir. Akış hacmi dakika başına litre cinsinden ölçülmektedir.



Şekil 12.15 Akış hızı ölçen dönüştürücünün genel bir görünümü

- Hava yolu üzerine bir tel örgü şeklinde engel yerleştirilecek olursa engel üzerinde bir basınç farkı meydana gelir. Basınç dönüştürücüsü farkın ölçülebileceği bir şekilde yerleştirilmiştir.
- Basınç farkını 1 cmH₂O'dan daha düşük tutmak gereklidir yoksa normal solunum etkilenecektir. Bu nedenle standart dönüştürücüde kullanılan tülbent 50 mm çapa sahiptir ve deliklerin yoğunluğu her bir cm'ye 158 tel düşecek şekilde ayarlanmıştır. Böyle bir tülbent her bir 10 lt/dak'lık akış hızı için 0,09 cmH₂O basınç farkı (yani 0,009 cmH₂O/lt) oluşturur.



 Spirometre an şeklindeki bir kavanozun bir su tankı içerisinde ters dönmüş vaziyette asılı tutulmuş halinden ibarettir. Bir hava borusu kavanozu ağızlığa bağlar. Kavanoza bağlı telde bulunan bir ağırlık, kavanozun ağırlığını içerideki havanın basıncı atmosferik basınca eēit olacak şekilde dengelemektedir. Herhangi birisi ağızlığa doğru solunum yapmadığı müddetçe kavanoz sabit bir düzeyde i hacmi sabit olacak şekilde hareketsiz durur. Fakat birisi soluğunu verdiği anda kavanoz içindeki havanın basıncı atmosferik basıncın üzerine geçer ve böylece kavanoz yükselir. Benzer şekilde hasta soluk alırsa basınç dēer ve kavanoz suyun içine batar. Kavanoz basıncın yükselmesiyle yükselecek, dēmesiyle birlikte inecektir.

- Grafik kaydedicisi döner silindirli kimograf adı verilen bir modeldir. 30 ile 2000 mm/dakikalık bir hızla silindir dönmektedir.
- Piyasada aynı zamanda ultrasonik akış ölçer cihazlar da bulunmaktadır. Bu cihazlar akış yönünde hareket eden ultrasonik dalgalardaki Doppler kaymasına göre alıēırlar. Bu tip cihazların alıēması ileriki Bölüm 17’de iēlenecektir.
- Nadiren cihazlarda bir tekerlekli dnētrc kullanılmaktadır. Tekerlek sistemi ya bir alternatöre bağlanmakta ya da gaz akış hızıyla orantılı frekansa sahip bir iēaret üretecek şekilde bir fotosele gelen ışığı keser.