

SOLUNUM FİZYOLOJİSİ

O_2

A dynamic splash of water with many bubbles against a blue background. The chemical formula O_2 is overlaid in the center, with the 'O' being significantly larger than the '2'. The water splash is composed of numerous bubbles of varying sizes, creating a sense of movement and freshness.

Solunum;

Hayvanların oksijeni elde etmesi ve kullanması ile karbondioksiti elimine etmesi anlamına gelmektedir.

Solunum esnasında **yakıt** olarak üretilen **enerji** yaşamı desteklemek için kullanılır.

Bu vücut için faydalı enerjinin yanında atık ürün olarak CO_2 ve H_2O oluşur.

Genellikle solunumun mekaniksel ve fiziksel yönleri; akciğer ventilasyonunu, **akciğerler ile kan** ve **kan ile doku** arasındaki gaz transportunu içermektedir.

Solunum sistemi ayrıca solunumla direkt ilgili olmayan fonksiyonlara da hizmet etmektedir.

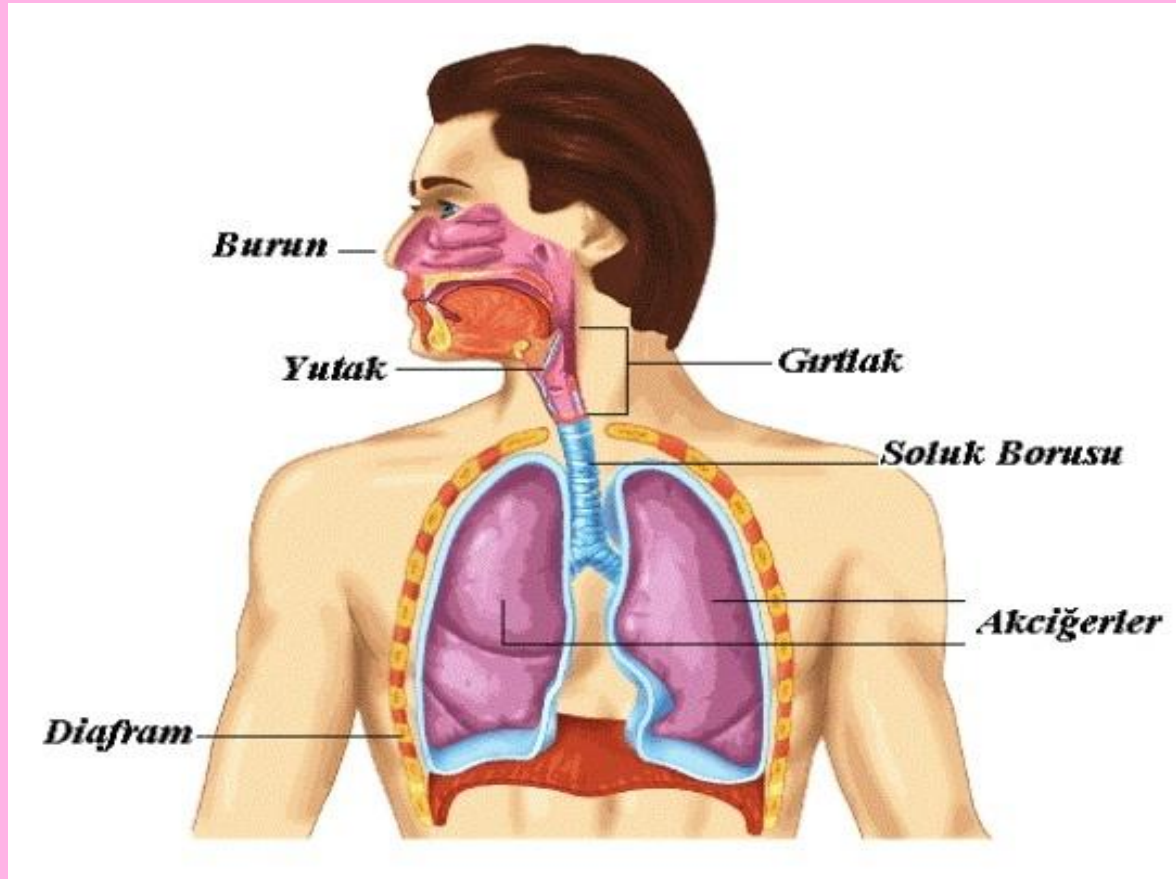
Solunum Sisteminin İşlevi

- ✓ O₂ ve CO₂ değişimi
- ✓ Kan pH'sının düzenlenmesi
- ✓ Ses çıkartma (Fonasyon)
- ✓ Yabancı maddeler ve mikroorganizmalara karşı savunma (Silya-mukus ve makrofajlarla)
- ✓ Çeşitli kimyasalları yıkımlar veya oluşturur (Histamin, Serotonin, Anjiyotensin II, PGE1, PGE2, PGF2, Bradikinin, NO, Sürfektan)
- ✓ Sistemik venlerden (genellikle bacaklardaki) kaynaklanan pıhtıları yakalar ve eritir
- ✓ Havayı ısıtır ve nemlendirir

- Solunum sistemini belki de en iyi açıklayacak ifade ***akciğer sistemidir***. Çünkü kan ile çevredeki dış sistem arasında gaz değişimini yapan temel yapıları içerir. Tabi ki bu arada dokulardaki hücresel solunum ifadesi ile tanımı karıştırmamak gerekir.
- Hayvanlar için oksijen hayati durumlarını sürdürebilmeleri için gerekli temel yapı taşlarından biridir. Susuz günlerce ve gıdasız haftalarca yaşamlarını sürdürebilirlerken oksijensiz bu süre dakikalarla sınırlıdır.
- ***Oksijenin kana temini, kandan karbondioksitin uzaklaştırılması solunum sisteminin iki önemli görevidir.***

- Diğer ikincil derecede önemli görevleri arasında vücutta ekstraselüler sıvıda asiditenin düzenlenmesi, vücut sıcaklığının kontrol edilmesi, fazla suyun uzaklaştırılması ve ses üretilmesine yardımcı olunması yer almaktadır. Ayrıca;
 1. Sürfektan sentezler ve kullanır,
 2. Prostaglandin E ve F sentezler, depolar ve kana verir,
 3. Histamin ve Kallikrein sentezler ve kana verir (*Histamin, Birçok hayvansal dokudan salınabilen histamin, mide sekresyonunu stimüle eden, bronchial düz kasları daraltan, kapiller ve arteriollerini genişleten ve dolayısıyla kan basıncını düşüren bir madde olarak tanımlanabilir. Kallikrein, Plazmada, dokularda, pankreatik sıvıda bulunan kininojenin proteolizis yoluyla bradikinine dönüşümünde rol oynar. Etkisi; visseral düz kasları stimüle ederken, damarların düz kaslarını genişleterek etkisini gösterir*),
 4. Kendi sentezlediği PGE ve PGF'leri ve bradikinin, serotonin, norepinefrin ve asetilkolini gerektiğinde etkisiz hale getirir,
 5. Kanda inaktif olan Angiotensin I'ı Angiotensin II'ye çevirir,
 6. Fibrinolysis' ten sorumlu enzimleri taşırlar ve intravasküler tromboz şekillendiğinde trombozu eritme görevi üstlenirler (*Mast hücreleri akciğer kapillerlerini çevreleyen dokuda bol miktarda bulunur. Yavaş akan kanda oluşan pek çok embolik pıhtılar akciğere ulaşır. Mast hücrelerinden salınan bol miktarda heparin ve histamin pıhtıların daha fazla büyümesini önler. Eğer embolik pıhtılar bu yolla eritilmezse pulmoner arter embolizm'i şekillenebilir*).

- Solunum sistemi yapısında havanın akciğerlere giriş ve çıkışını sağlayan pasajları bulundundur. Bunlar; *burun*, *nazal boşluk*, *farenks (yutak)*, *larenks (gırtlak)* ve *trachea (soluk borusu)* dır.



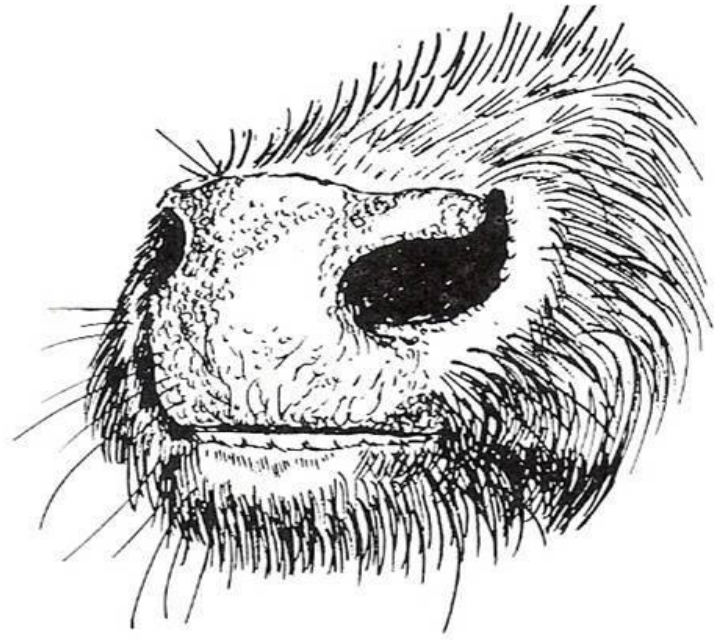
SOLUNUM ORGANLARI

Burun

- Dışarıya açılan hava kapılarıdır. Hayvanlara göre şekil ve büyüklükte değişik yapılardadır. Örneğin; atta yumuşak ve kolaylıkla açılabilme, genişleyebilme özelliğine sahipken, domuzda sert, bükülmez bir yapıdadır.
- Burunun etrafını saran deri burun deliğinin devamı ve bir parçasıdır. Atın burnu kendisine ilginç gelebilecek cisimlere dokunması için temel organlardan biridir.



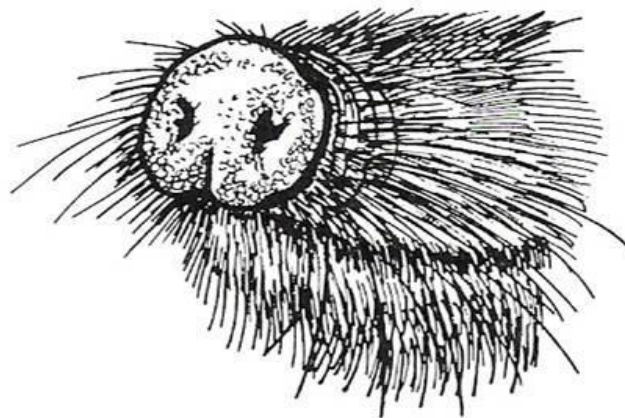
AT



İNEK



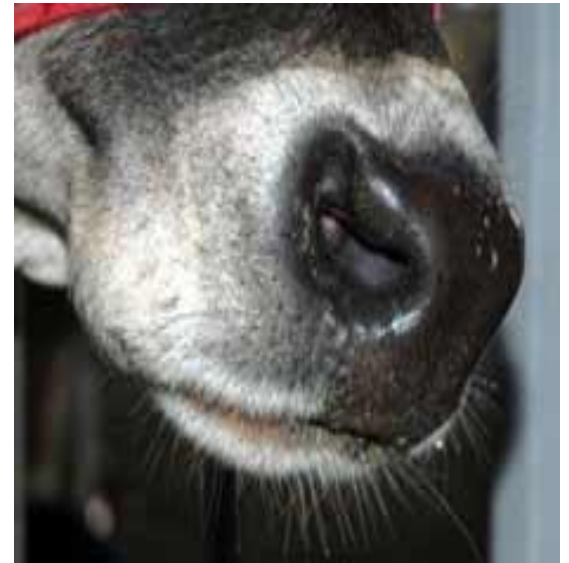
KOYUN



DOMUZ



KÖPEK



SOLUNUM ORGANLARI

- Burun deliği (nostril) tüylerle kaplıdır ve burada yağ bezi ile başka salgı bezleri de bulunur. Sığır, koyun ve domuzun burunlarında yağ bezi bulunmasa da diğer birçok salgı bezi bulunur.
- Havaya çokça ihtiyaç duyulan koşu sırasında ve solunumun ağızdan yapılmadığı durumlarda nostril dilatasyonu avantajlıdır. Atlar iyi koşan hayvanlardır ve açık ağızla nefes alma karakteristik değildir; böylece, genişleyebilir burun delikleri onlar için bir avantaj oluşturmaktadır.

SOLUNUM ORGANLARI

Nazal Boşluk

- Nazal boşluklar ***nazal septum*** ile birbirinden, sert ve yumuşak damaklarla ağızdan ayrılmaktadır. Ayrıca her bir nazal boşluk mukoza ile kaplı burun kemiği (konka) içermektedir.
- ***Konkaların*** mukozaları iyi damarlanmıştır ve alınan havanın ısınma ve nemlenmesine hizmet etmektedir. Konkaların bir diğer önemli fonksiyonu ise beyine giden kanı serinletmeleridir.

SOLUNUM ORGANLARI

Farenks

- Nazal boşlukların kaudalindedir.
- Hava ve besin için ortak bir koridordur.
- Farenkse açılan yollar; iki posterior burun delikleri, iki östaki borusu, ağız (oral boşluk), gırtlak ve özefagustur.

SOLUNUM ORGANLARI

Larenks

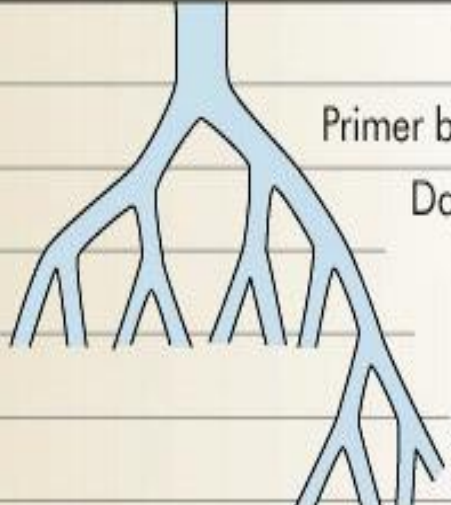
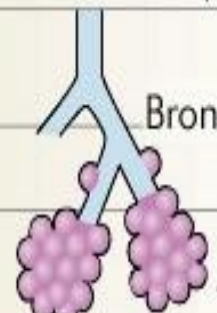
- Solunum geçiş yolunun devamı olarak giden farenks'in açıklığı memelilerde ses çıkarma organı olan larenks'dir.
- Ses larenksteki ses tellerinin titreşimine sebep olan havanın kontrollü geçişiyle üretilmektedir.
- Kuşlarda fonasyon organı **sirinks** (*syrinx*) diye adlandırılan göğüs gırtlığıdır. Bu trekeanın bronşları şekillendirmek için bölündüğü yerde bulunmaktadır.

SOLUNUM ORGANLARI

Trakea

- Havayı akciğerlere götüren başlıca geçit yoludur.
- Kraniyalde larenksten ilerleyerek sağ ve sol bronşları oluşturmak için kaudalde bölünür.
- Duvarı trakeal havayolunun kollapsını engellemek için kıkırdaksı halkalar içerir.
- En büyükten en küçüğe doğru trakeanın alveollere kadar alt dalları; 1) bronşlar, 2)bronşioler, 3) terminal bronşlar, 4)respiratuvar bronşioler, 5) alveoler kanal, 6) alveoler kese ve alveoller.

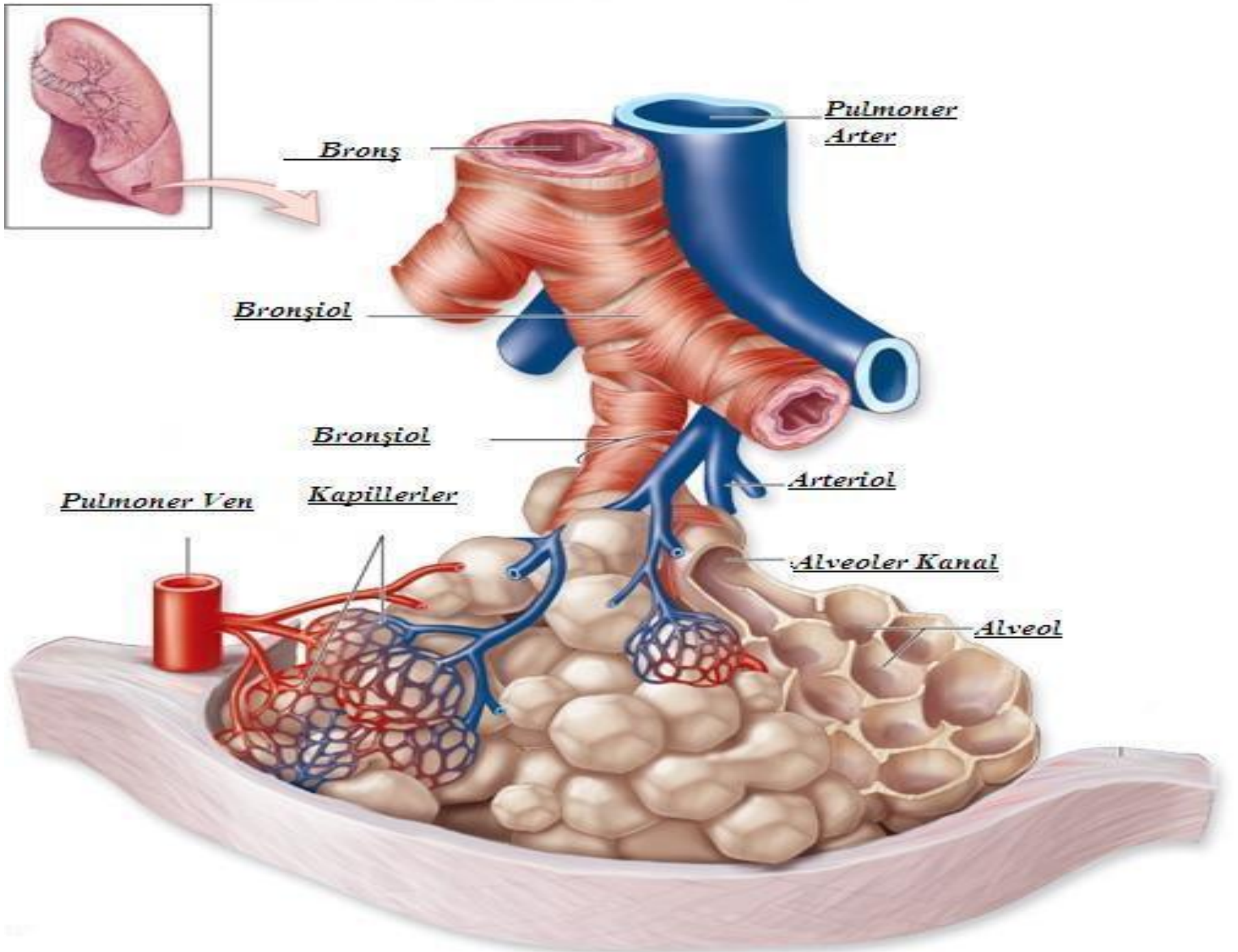
Solunum Yolları

	Bölge	Bölüm	Çap (mm)	Kaç tane?	Enine kesit alanı (cm ²)
İletim sistemi	Trake	0	15-22	1	2.5
	 Primer bronkuslar Daha küçük dallar	1	10-15	2	↓
		2	1-10	4	
		3			
		4			
		5			
		6-11		1 x 10 ⁴	
	 Bronşioller	12-23	0.5-1	2 x 10 ⁴ ↓ 8 x 10 ⁷	100 ↓ 5 x 10 ³
Değiş-tokuş yüzeyi	Alveoli	24	0.3	3-6 x 10 ⁸	>1 x 10 ⁶

SOLUNUM ORGANLARI

Pulmoner Alveoller

- Hava ve kan arasında gaz difüzyonunun olduğu başlıca yerlerdir.
- Hava ve kan ayırımı (difüzyon aralığı) alveoler seviyede minimal düzeydedir.
- ***Alveoler epitelyum*** ve ***kapiller endotelyum*** arasında çok yakın bağ vardır.
- Burada **pulmoner arterden** gelen venöz kan arteriyel kan haline gelmekte ve **pulmoner venlerle** yeniden sol atriyuma dönmektedir.
- ***Venöz kanın koyu mor rengi***, alveollerden difüze olan yeni O₂ ile Hb'nin doygunluğu sonucu ***parlak kırmızı arteriyel kana*** dönüşür.





Alyuvar

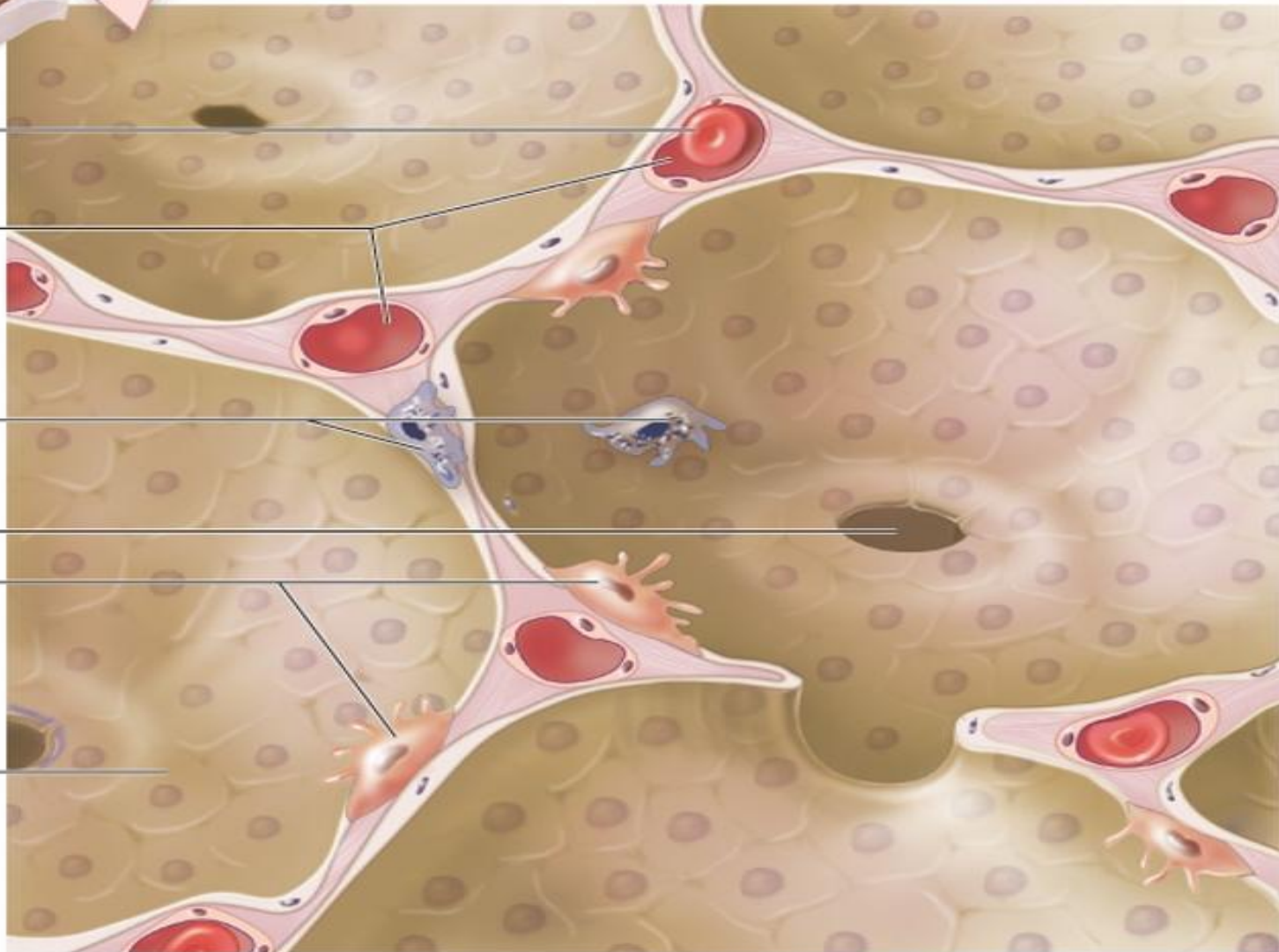
Akciğer
Kapillerleri

Alveoler
Makrofaj

Geçit

Tip II Hücre

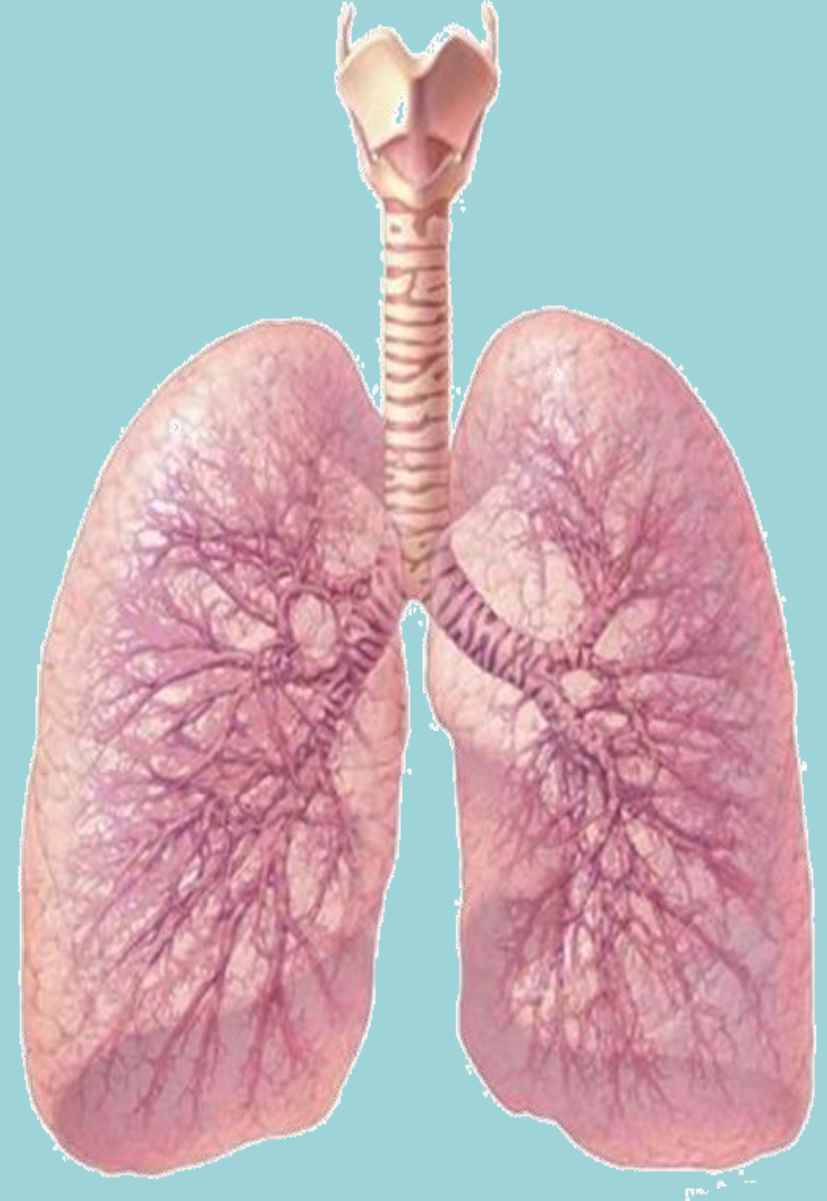
Tip I
Hücre



SOLUNUM ORGANLARI

Akciğerler ve Plevra

- Akciğerler solunum sisteminin asıl organıdır. İki kısımdan oluşmakta ve toraksı doldurmaktadır.
- Toraks (göğüs kafesi) hacmini genişlettiğinde akciğerler genişler ve hava girişi gerçekleşir.
- Akciğerler düz seröz bir membran olan plevradan dolayı toraks içinde hemen hemen sürtünmesiz bir harekete sahiptir.



SOLUNUMA BAĞLI FAKTÖRLER

Solunum Siklusları

İnspiratuvar (*inspiratory*) ve onu izleyen **ekspiratuvar** (*expiratory*) fazdan meydana gelmektedir.

- İnspirasyon (*inspiration*) havanın içeri alınmasını sağlayan toraks ve akciğerlerin genişlemesini içermektedir.
- Toraks, diyaframın ve interkostal kasların kontraksiyonuyla genişlemektedir. Genişleme diyafram ile kaudal yönde olurken, interkostal kaslar ile kraniyal ve dışa doğrudur.
- Normal solunum şartları altında inspirasyon ekspirasyondan daha büyük bir çaba gerektirir. Genelde pasif olan ekspirasyon (*expiration*), özellikle solunum hızının arttığı ve havayı dışarı vermede zorluk yaşandığı durumlarda aktif olabilmektedir.
- İlgili interkostal kaslar ekspirasyona yardım etmek için kontraksiyon yaparlar. Abdominal kaslar yanında iskelet kasları da inspirasyon ve ekspirasyona yardım ederler.

SOLUNUMA BAĞLI FAKTÖRLER

Solunum Tipleri

Solunumun **abdominal** ve **kostal** olmak üzere iki tipi vardır.

- ***Abdominal solunum;*** abdomenin görünür hareketiyle karakterizedir. İnspirasyonda abdomen dışarı çıkar ve ekspirasyondan önceki halini alır. Baskın olan solunum tipidir.
- ***Kostal solunum;*** kaburga hareketleriyle karakterizedir. **Peritonit gibi abdomenin ağrılı durumlarında** (ki bu durumda iç organların hareketi ağrıyı daha da artırmaktadır) kostal solunum baskın hale geçmektedir.

SOLUNUMA BAĞLI FAKTÖRLER

Solunum Tipleri

- **Öpne (*Eupnea*):** İstirahat halinde iken yapılan solunum şekli
- **Dispne (*Dyspnea*):** Nefes almak için bariz bir çabaya gereksinin duyulur. Hayvanlar bunun farkındadırlar.
- **Hiperpne (*Hyperpnea*):** Solunumun derinliğinin, frekansının veya her ikisinin artmasıyla karakterizedir ve fiziksel egzersizden sonra dikkat çekicidir. Hayvanlar akut olarak bunun farkında değildirler.
- **Polipne (*Polypnea*):** Hızlı ve yüzeysel solunumdur. Köpeklerdeki sık ve yüzeysel solunuma (panting) benzer. Hiperneye benzer ancak farklı olarak derinliği yoktur.
- **Apne (*Apnea*):** solunumun geçici bir süre durmasıdır.
- **Taşipne (*Tachypnea*):** Solunumun hızlıca artmasıdır.
- **Bradipne (*Bradypnea*):** Solunumun anormal yavaşlamasıdır.

Eupnea (Normal solunum)

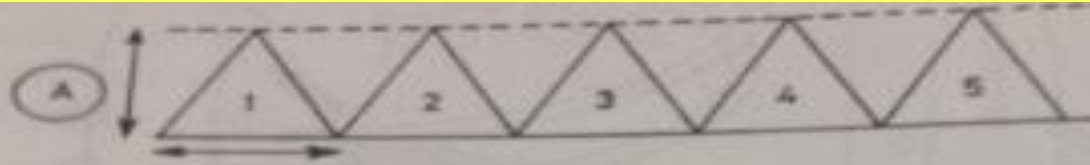


Bir yaşımda Fransız Bulldog'da Siddetli dispnea





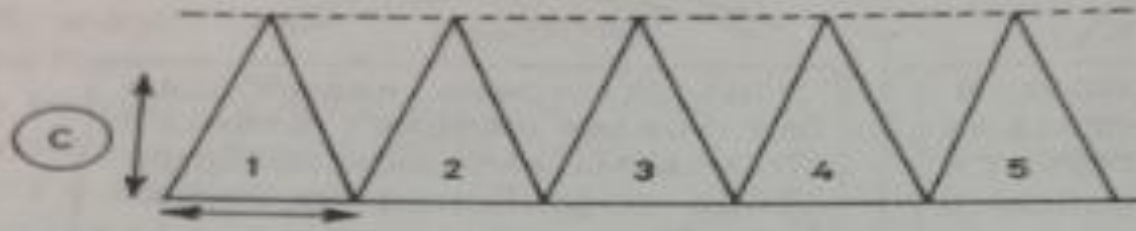
Pol pnea
K pekler i in karakteristik solunum



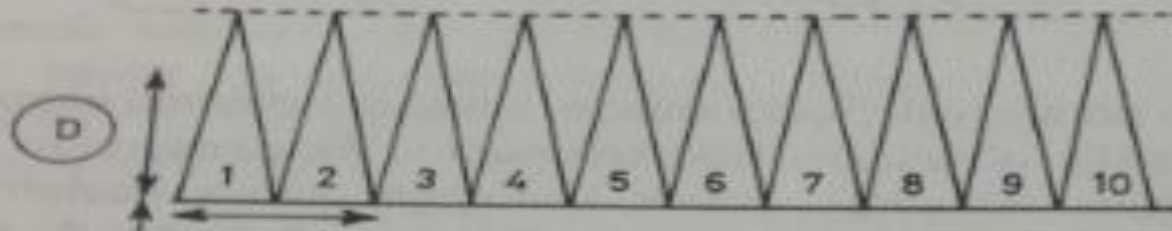
EUPNEA, İstirahat halinde normal solunum.



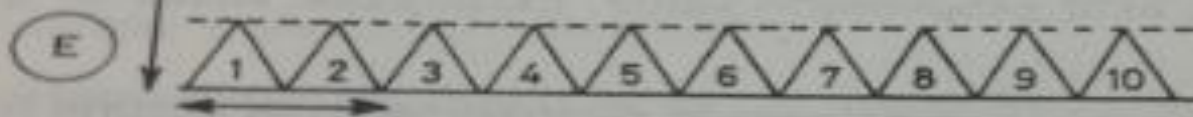
HYPERPNEA, solunum sayısı artmış.



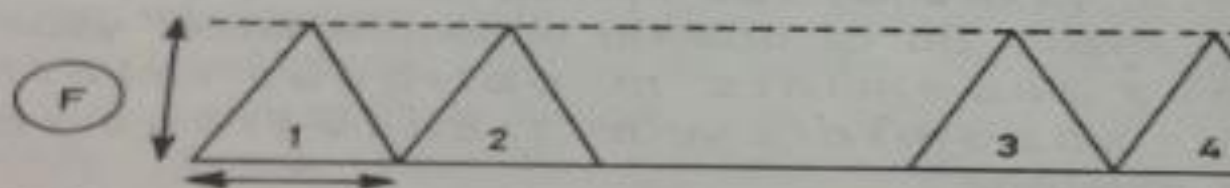
HYPERPNEA, solunum derinliği artmış.



HYPERPNEA, hem sayısı hem de derinliği artmış.



POLYPNEA, sık ve yüzeysel solunum.



APNEA, kısa bir süre için solunumun durması.

G
GÜÇ SOLUNUM'un çok çeşitleri vardır. Oklar normal solunumun derinliğini ve süresini göstermektedir.

DYSPNEA, solunum güçlüğü.

SOLUNUMA BAĞLI FAKTÖRLER

Akciğer Volümleri (Hacim)

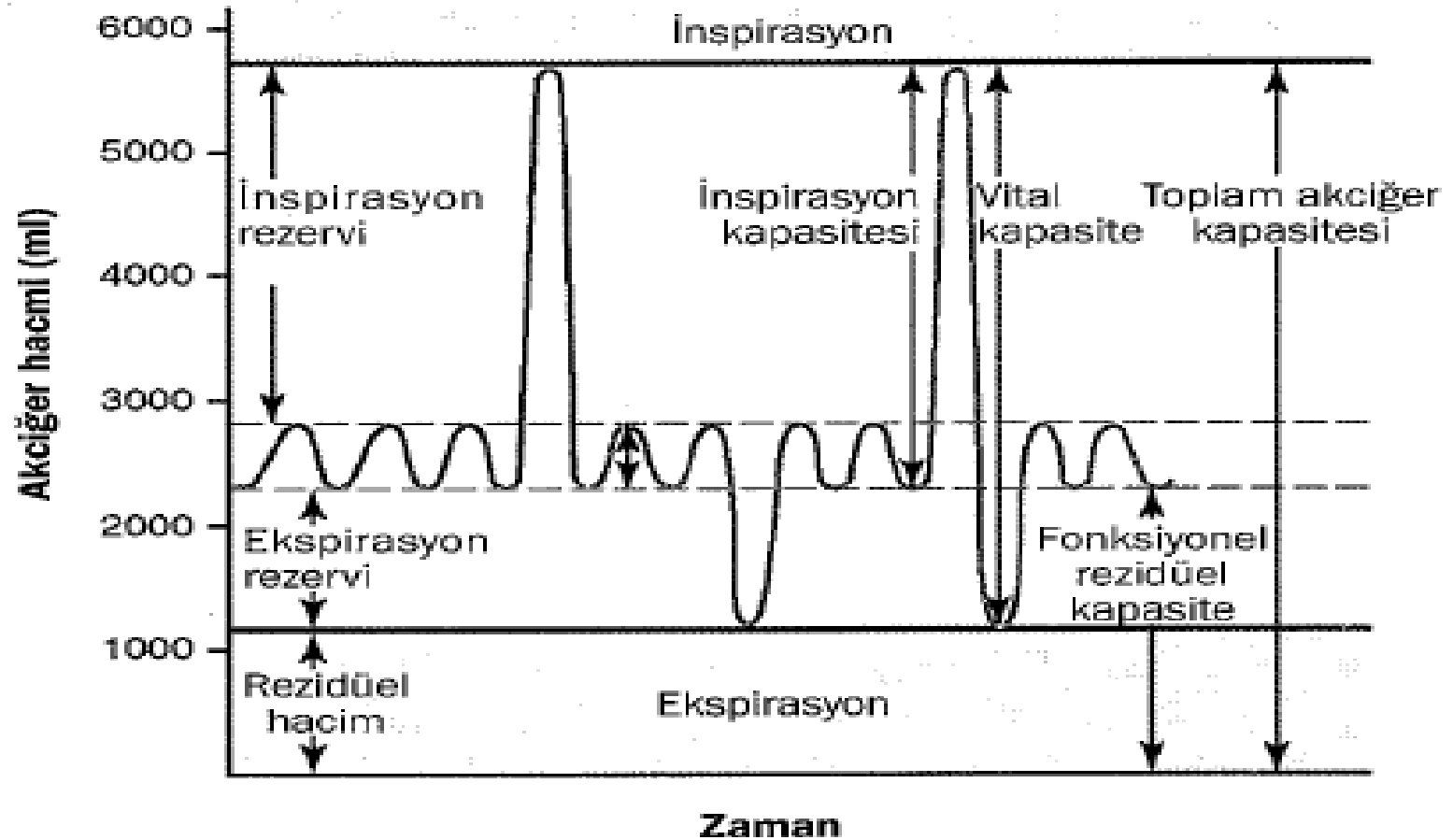
- **Tidal volüm:** Bir solunum siklusu ile akciğerlerden içeri ve dışarı solunan hava miktarıdır (İhtiyaca göre değişir).
- **İnspirasyon yedek volümü:** Normal bir soluk alınmasından sonra maksimal bir inspirasyonla hala alınabilen hava miktarıdır.
- **Ekspirasyon yedek volümü:** Normal bir soluk verilmesinden sonra maksimal bir ekspirasyonla hala verilebilen hava miktarıdır.
- **Rezidüel volüm:** En kuvvetli ekspirasyondan sonra akciğerlerde kalan hava miktarıdır. *Rezidüel volümün bir kısmı hayvanların kesim esnasında ya da postmortem muayene için torakstan çıkarıldıktan sonra akciğerlerde kalmaktadır. Bu durumda kesilen akciğer bölümü suda yüzer, akciğer dokusunun sertleşmesi ise pnömonide olduğu gibi organın batmasına sebep olur.*

SOLUNUMA BAĞLI FAKTÖRLER

Akciğer Kapasiteleri

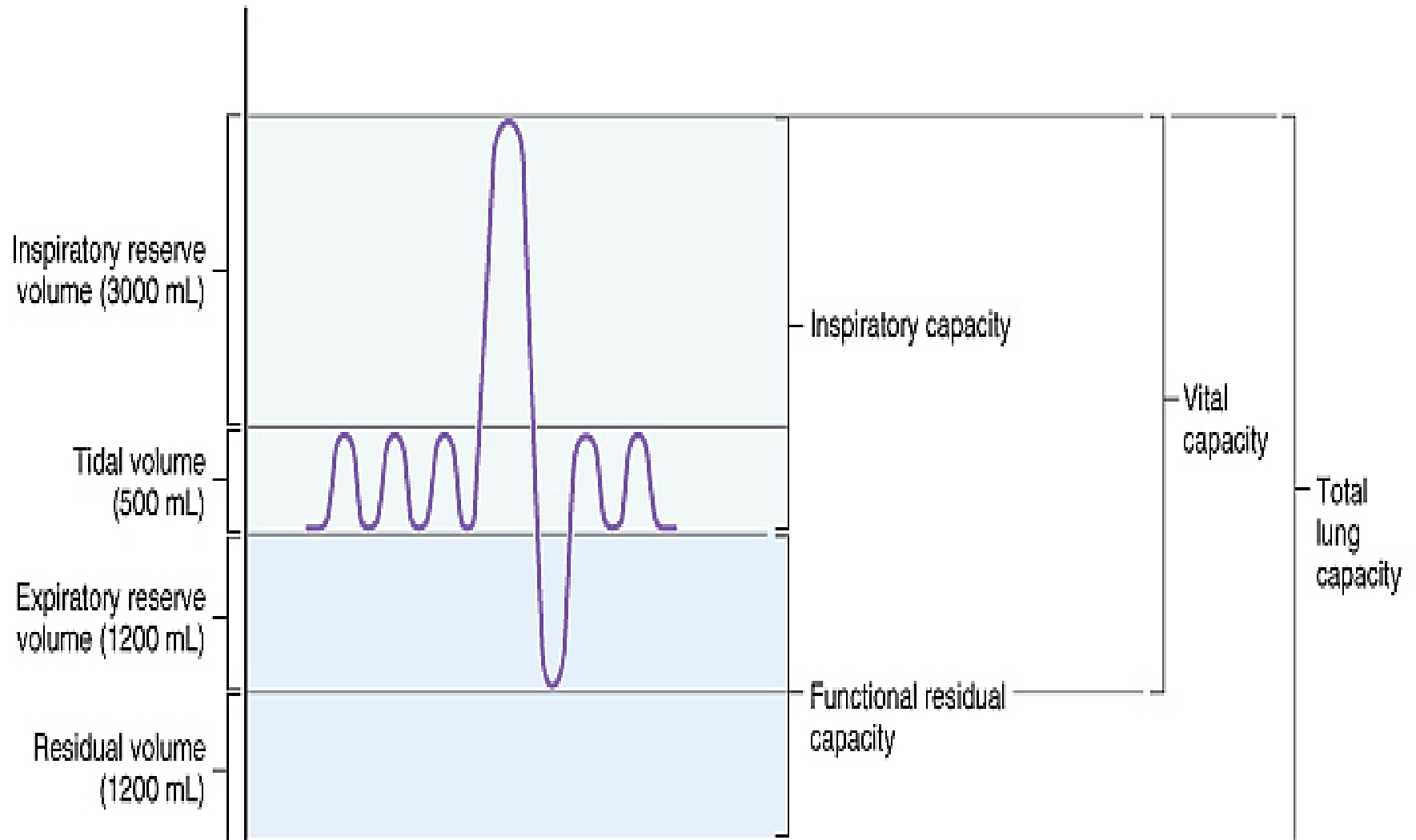
- **Total akciğer kapasitesi:** Bütün hacimlerin toplamıdır.
- **Vital kapasite:** Rezidüel volüm hariç diğer tüm volümlerin toplamını ve en kuvvetli (zorlamalı) ekspirasyondan sonra alınabilen maksimum hava miktarıdır.
- **İnspirasyon kapasitesi:** Tidal volüm ve inspirasyon yedek volümünün toplamıdır.
- **Fonksiyonel rezidüel kapasite:** Ekspirasyon yedek volümü ve rezidüel volümün bileşenidir. *Bu tidal volüm tarafından ventile edilen akciğer volümüdür. Bu kapasite hava için depo görevi görmekte ve alınan gazların kan konsantrasyonunu sabit tutmaya yardımcı olmaktadır.*

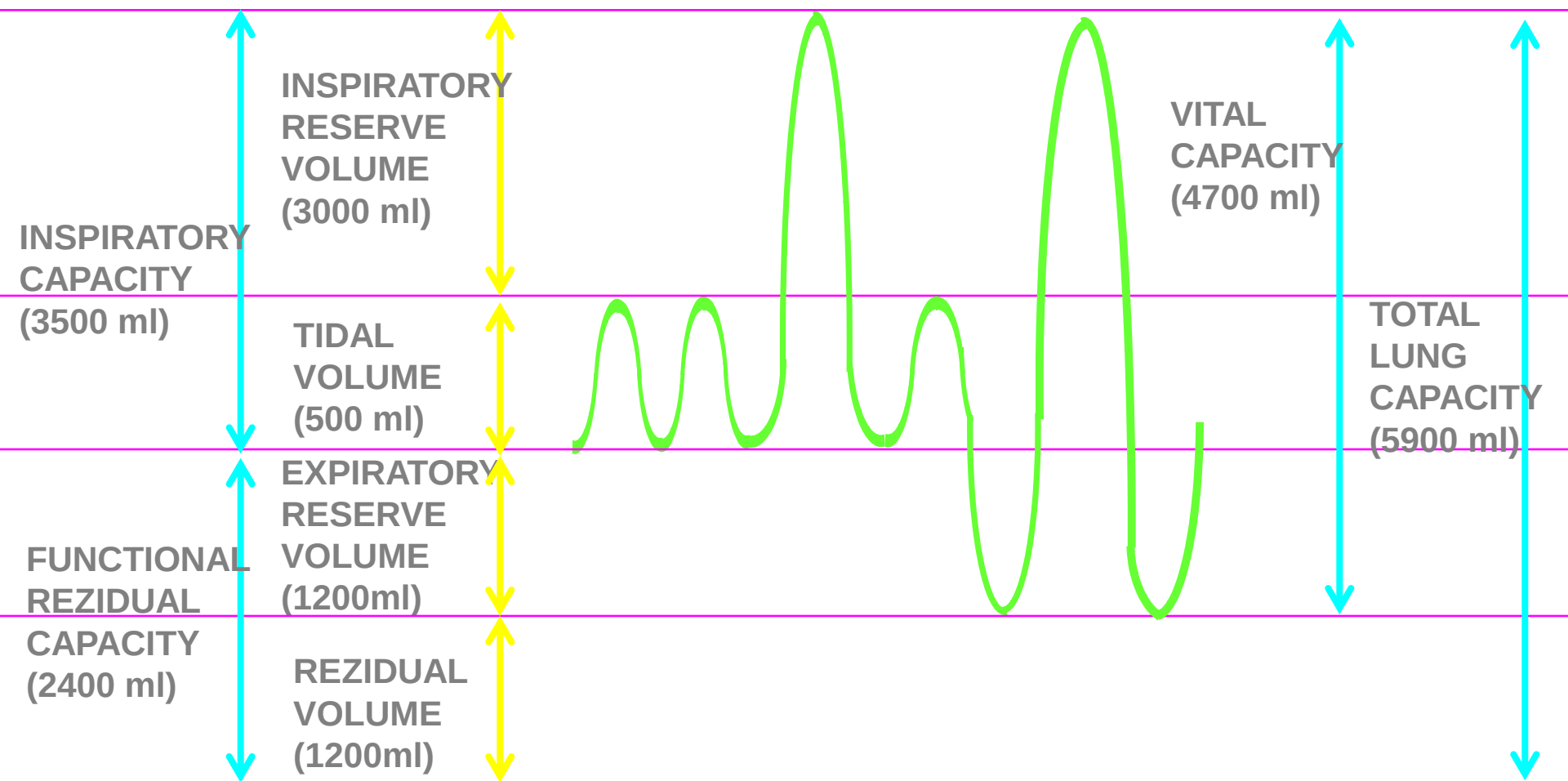
Akciğer Hacim ve Kapasiteleri



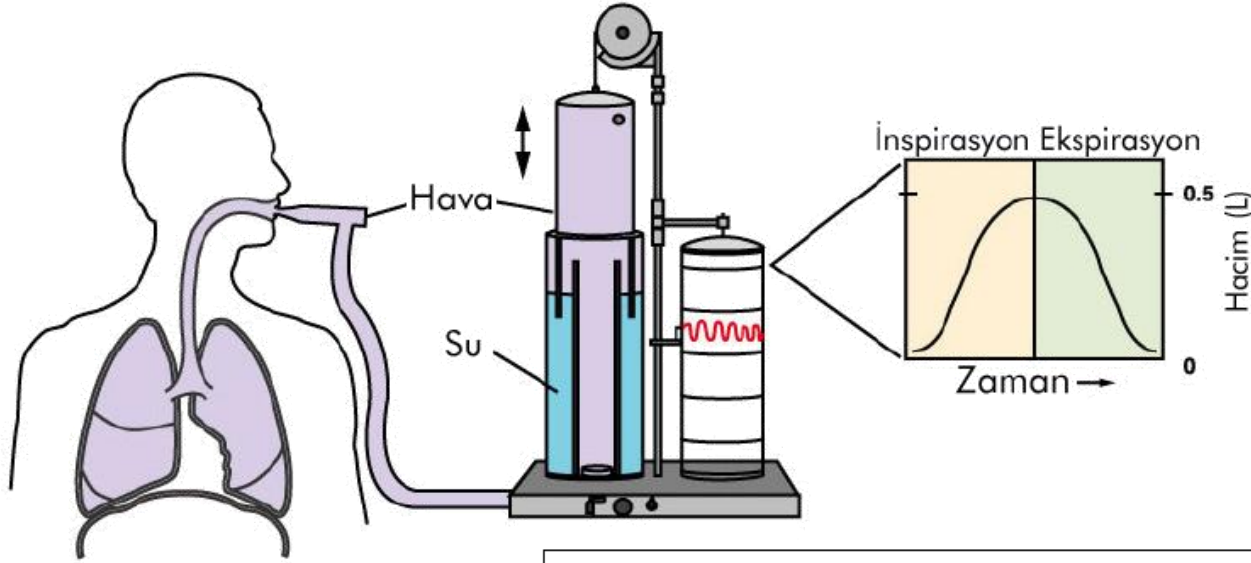
Lung volumes

Lung capacities

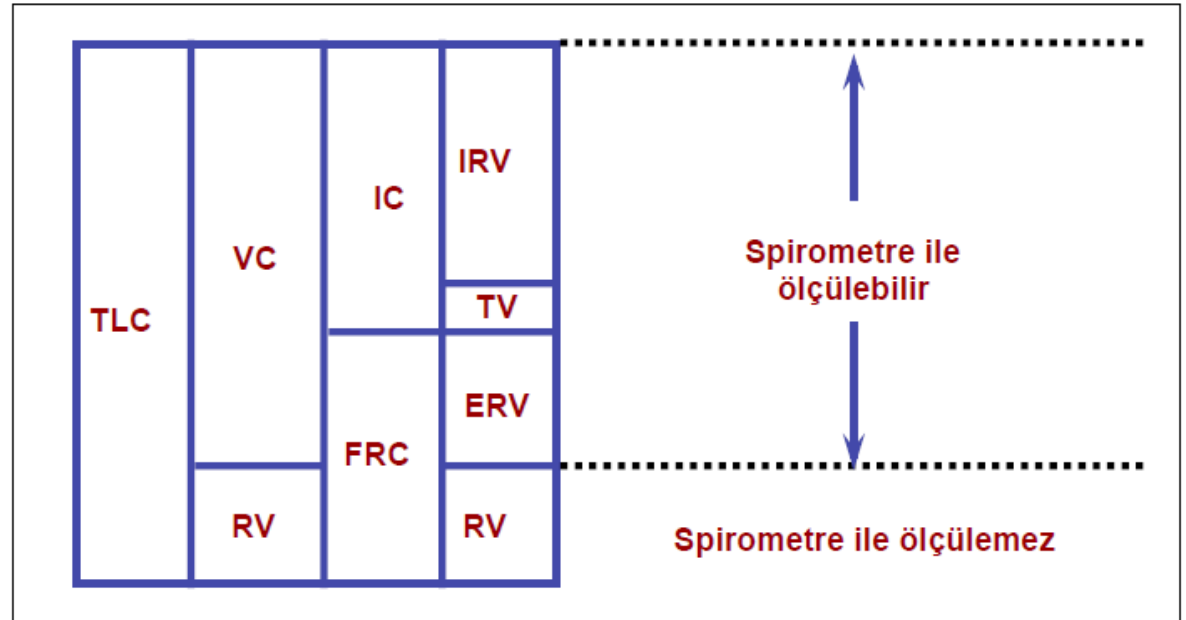




Akciğer Hacim ve Kapasiteleri

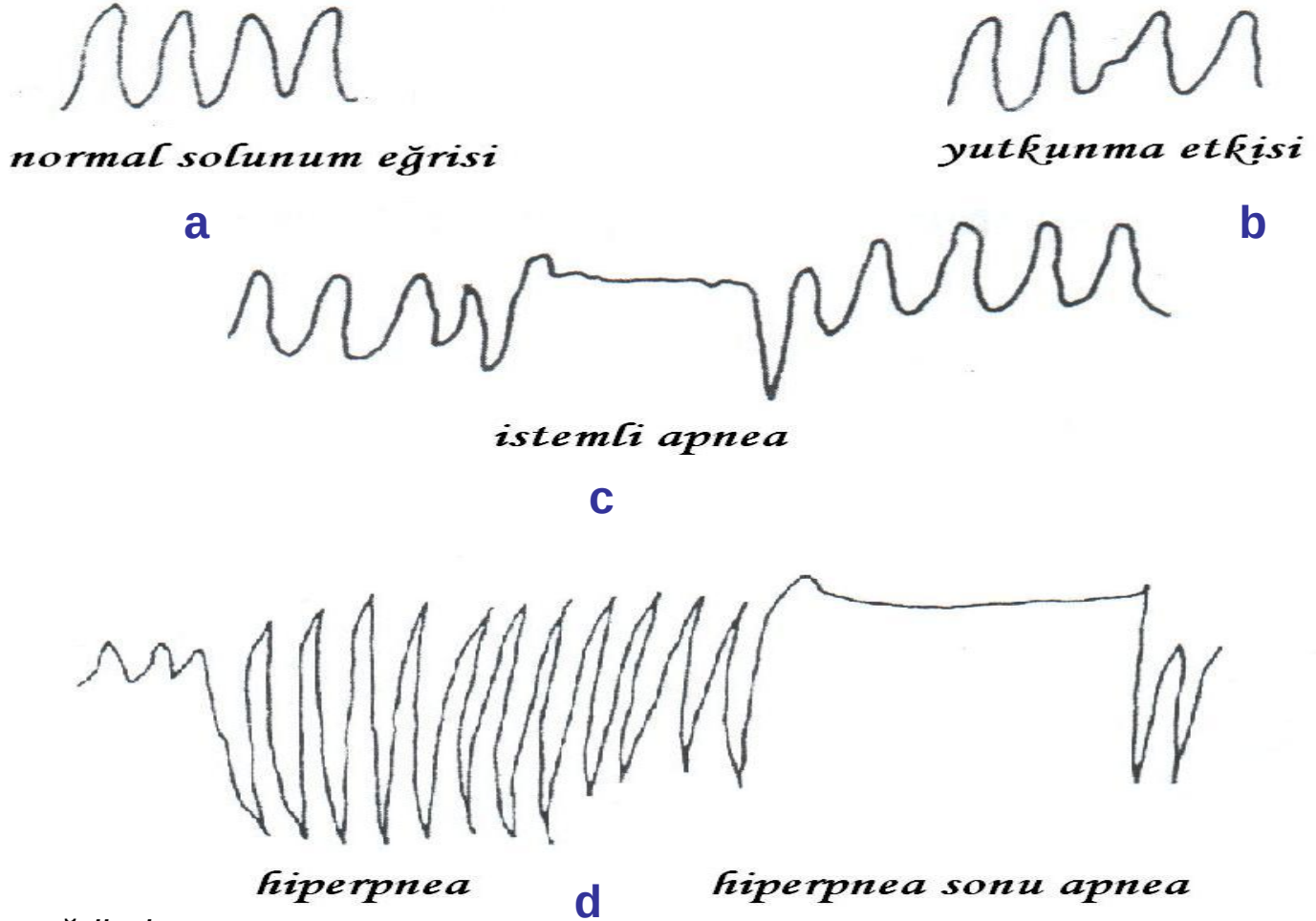


Spiro-: Ruh, nefes
-metre: ölçüm



SOLUNUM SİSTEMİ

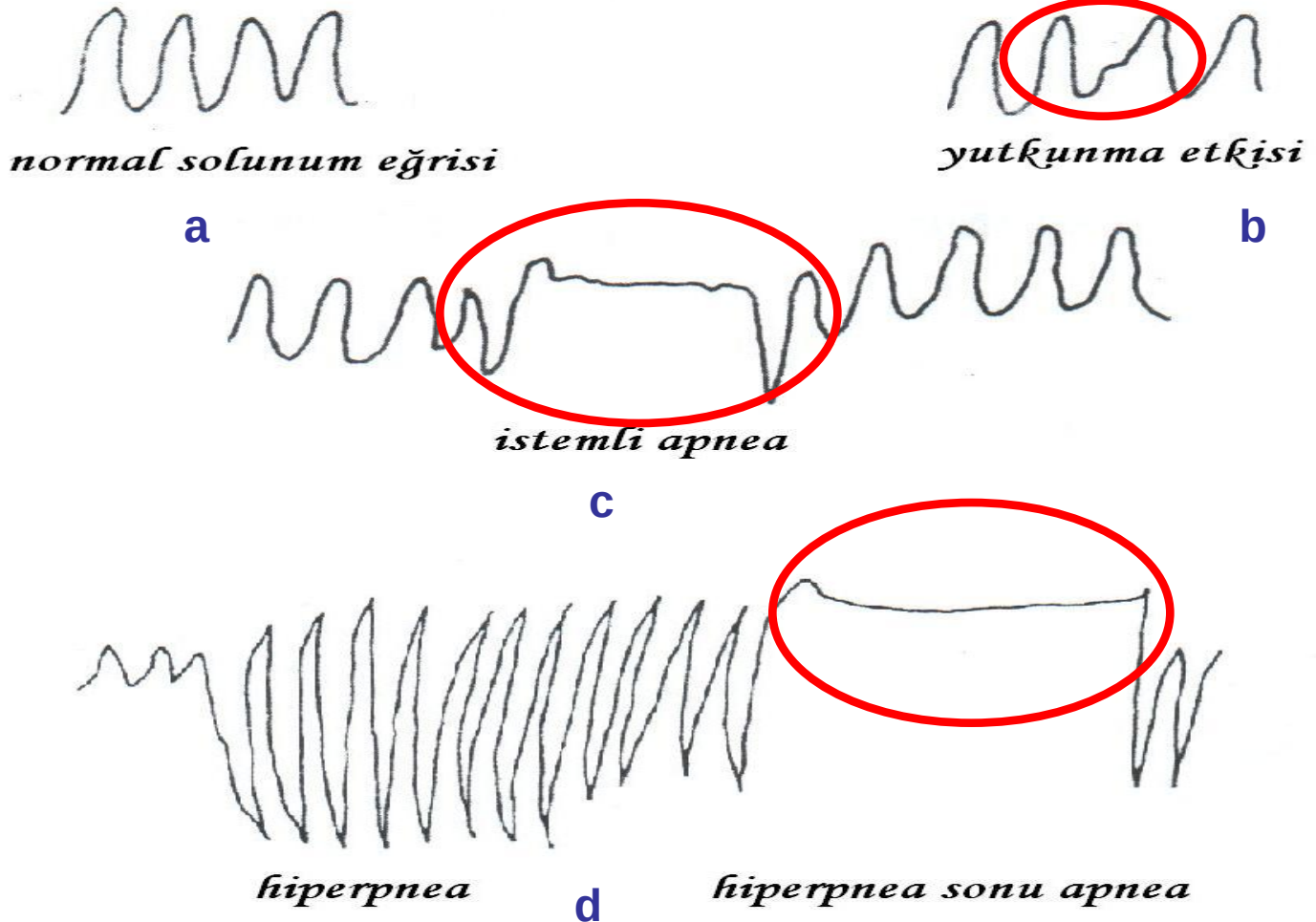
Mekanik Solunum Hareketlerini Yazdırılması



Şekil 3: Solunum eğrileri

SOLUNUM SİSTEMİ

Mekanik Solunum Hareketlerini Yazdırılması



Şekil 3: Solunum eğrileri

SOLUNUMA BAĞLI FAKTÖRLER

Solunum Frekansı

Solunum frekansı (sıklığı), dakika solunum siklusu sayısını vermektedir. Sağlık durumunun iyi bir göstergesidir.

Türler arasında gözlenen değişikliklere ilave olarak solunum sıklığını değiştiren faktörler;

1) vücut ölçüsü, 2) yaş, 3) egzersiz, 4) heyecan, 5) çevresel ısı, 6) gebelik, 7) sindirim kanalı doluluk derecesi, 8) sağlık durumu.

SOLUNUMA BAĞLI FAKTÖRLER

Gebelik ve sindirim kanalının dolgunluğu, akciğerlerin genişlemesinin sınırlandığı durumlarda (*sığırlarda yatma pozisyonunda rumenin diyaframı itmesi*) inspirasyon esnasında diyaframın hareketini de sınırladığı için solunum sıklığını artırır. *Solunum sıklığı genellikle hastalıklar sebebiyle artmakta ve hastalıkların tanısı aşamasında veteriner hekime yardımcı semptomlardan biri olmaktadır. Bu nedenle doğru bir tanı yapabilmek için hayvan türlerine özgü solunum sıklık değerleri (istirahatte elde edilen) bilinmelidir.*

SOLUNUMA BAĞLI FAKTÖRLER

Akciğer Sesleri

- Akciğer hava yolları önemli derecede dallanma göstermektedir. *Alt dallar ana dallardan daha küçük çaplara sahip olmalarına karşın toplam kesit alanları daha fazladır. Böylece trakeadan bronşiolle doğru hava akım hızı gittikçe azalmaktadır.*

SOLUNUMA BAĞLI FAKTÖRLER

- Oskültasyon (*auscultation*) sistemi (*steteskop yardımı ile akciğer seslerinin dinlenilmesi*) ile yapılan dinlemede; normal hayvanlarda trakea ve bronşiollerin hızlı ve türbülanslı olan hava akımı sayesinde akciğer sesleri duyulmaktadır. Bronşiollerde laminar, düşük hızlı akım ses doğurmaz. Sesleri güçlendirmek için solunum derinleştirilir. Bunun için, hayvanların burun ucundaki etli kısım (*muzzle*) üzerine gevşek naylon torbalar yerleştirilmektedir.
- **Solunum sesleri** terimi, trakeabronşial yapı boyunca hava hareketlerine eşlik eden herhangi bir sesi ifade etmektedir. **Solunum seslerinin şiddeti**, daha geniş olan hava yollarında veya geri kalan akciğer dokusunda üretilmesine bağlı olarak geniş bir aralıkta değişebilmektedir.

SOLUNUMA BAĞLI FAKTÖRLER

- **Dış sesler;** solunum yolunun normal ses üretim mekanizmasının dışındaki seslerdir ve solunum sesleri üzerine eklenen anormal seslerdir. *Dış sesler ayrıca krepitasyonlar (çıtırtı sesi) ve hırıltılar olarak da sınıflandırılmaktadır. Hava yolu içinde ödem ya da eksudatla sonuçlanan hastalıklar çıtırtı sesiyle sonuçlanabilmektedir. Hırıltı hava yolu daralmasını göstermektedir (örn; bronkokonstriksiyon).*
- Bronşiollerdeki laminer düşük velositeli akım hariç, **steteskopta solunum seslerinin yokluğu fonksiyonel olmayan bir akciğer dokusunun varlığını gösterir.**

SOLUNUM BASINÇLARI

Parsiyel (Kısmi) Basınç

- **Parsiyel basınç** terimi, bir gaz karışımındaki her bir gaz tarafından oluşturulan basınç olarak tanımlanmaktadır. Karışım içindeki gazların kısmi basınçları toplamı **total basınca** eşittir.
- Parsiyel basıncın fizyolojik işareti P' dir.
- Bir gaz karışımındaki O_2 'nin kısmi basıncı PO_2 ile gösterilir.
- Arteriyel ve venöz kandaki O_2 'nin kısmi basınçları arteriyel ve venöz kan özelliğine göre «a» ve «v» harfleriyle sırasıyla P_aO_2 ve P_vO_2 olarak ifade edilmektedir.

SOLUNUM BASINÇLARI

Arteriyel ve Venöz Kan Parsiyel Basıncı

- Hücrelerin O_2 tüketmesi ve CO_2 üretmesi sonucu venöz kanın arteriyel kandan daha yüksek PCO_2 'ye ve daha düşük PO_2 'ye sahip olması beklenmektedir.
- Vücudun bir bölümünden alınan arteriyel kan vücudun diğer bir kısmından alınan arteriyel kan ile hemen hemen aynı gaz içeriğine sahip olmaktadır (kanın henüz kapillerlere ulaşmamış olmasından).
- Buna karşın vücudun farklı kısımlarından alınan venöz kan, söz konusu vücut kısmının farklı metabolizma fonksiyonundan dolayı değişkenlik gösterir (*aktif bölge daha fazla oksijen tüketip daha fazla karbondioksit üretecektir*).

PULMONER VENTİLYASYON

Ölü Aralık Ventilasyonu

- **Tidal volüm**, sadece alveolleri değil aynı zamanda alveollere öncülük eden hava yollarının da ventilasyonunda kullanılmaktadır.
- Hava yollarının çoğunun membranında az veya hiç oksijen ve karbondioksit difüzyonu olmadığı için bunlar **ölü aralık ventilasyonu** (ÖAV) denilen kısımdır.
- ÖAV'nin diğer kısmını, azalan kapiller perfüzyonlu alveoller oluşturmaktadır. **Fizyolojik ölü aralık**, perfüzyonsuz alveoller ve hava yollarının ventilasyonu sonucu solunum gazlarının alış verişinin gerçekleşemediği ventilasyondur.
- **Tidal volüm (V_T) = Ölü aralık (V_D) + alveoler bileşim (V_A)**
- *ÖAV alveolleri havalandırma işleminin gerekli bir parçasıdır ve tamamen atık değildir. Alınan havayı yumuşatmaya ve nemlendirmeye ve bazı şartlar altında da vücudu serinletmeye yardımcı olmaktadır.*

Subject	Tidal Volume, ml/breath	x	Frequency, breaths/min	=	Minute Ventilation, ml/min	Anatomic Dead-Space Ventilation, ml/min	Alveolar Ventilation, ml/min
A	150		40		6000	$150 \times 40 = 6000$	0
B	500		12		6000	$150 \times 12 = 1800$	4200
C	1000		6		6000	$150 \times 6 = 900$	5100

A kişisi hızlı ve yüzeysel olarak solumakta, B normal ve C yavaş ve derin bir soluma yapmaktadır. Her üç kişi de aynı dakika ventilasyonuna sahip olmakla birlikte ölü boşluktan dolayı alveoler ventilasyonda farklılıklar olmaktadır.

PULMONER VENTİLYASYON

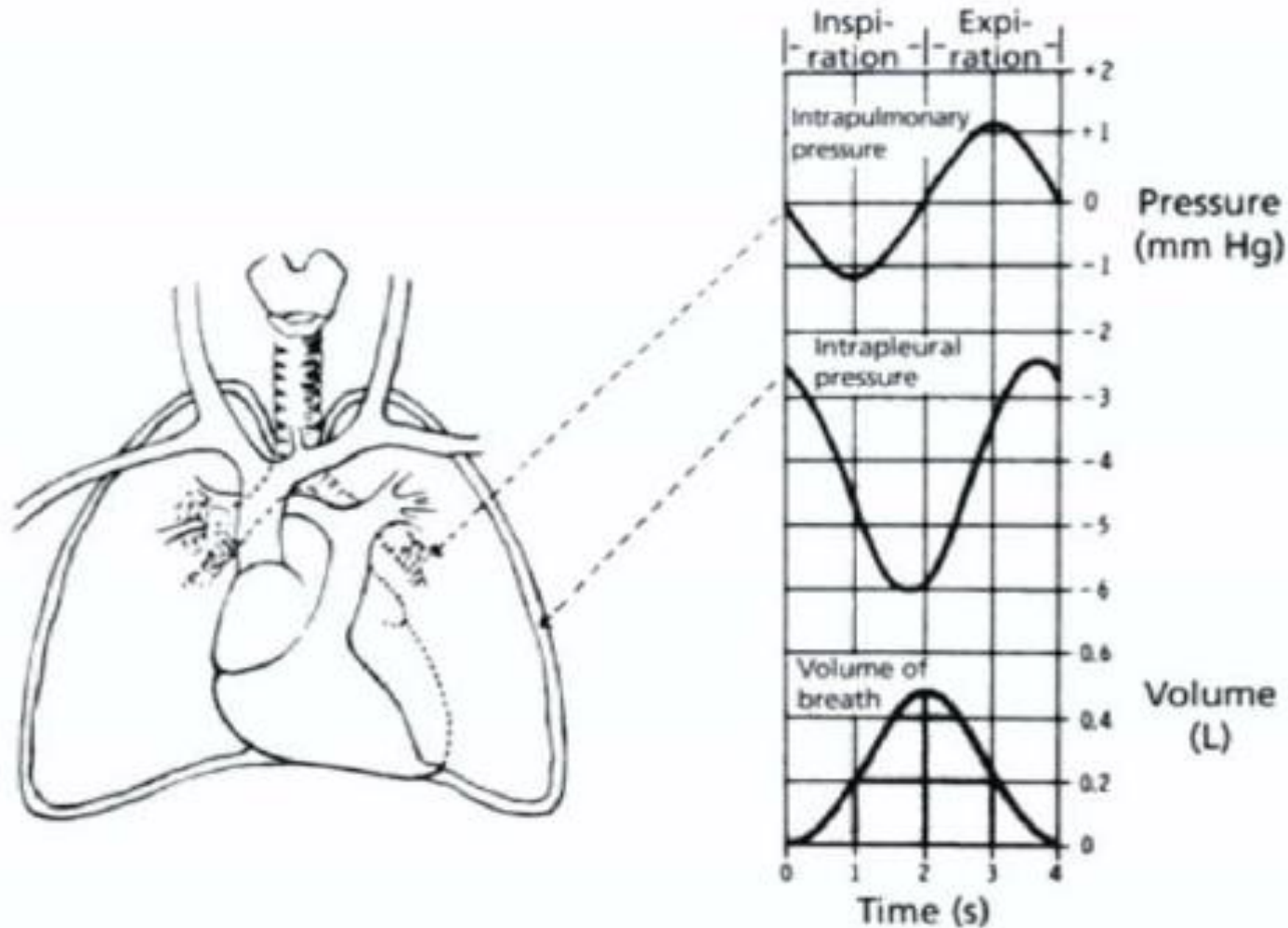
Ventilasyonu Sağlayan Basınçlar

- **Intrapulmonik basınç:** Akciğerlerin içindeki basınçtır.
- **Intraplevral basınç:** Akciğerlerin dışındaki fakat torasik boşluk içindeki basınç.
- **İnspirasyonda,** intrapulmonik basınç atmosferik basınçtan daha düşük olduğu için hava akciğerlerin içine geçmektedir.
- **Ekspirasyonda,** benzer şekilde intrapulmonik basınç atmosferik basıncı geçtiği için hava akciğerlerin dışına çıkmaktadır.

PULMONER VENTİLYASYON

- **İnspirasyonda**, akciğerlerin hacmi arttığı için (akciğerlerin esnekliğine bağlı) intrapulmonik basınç düşmektedir. Ayrıca, intraplevral alanın hacmi diyafram ve interkostal kasların kontraksiyonu sonucu arttığından intraplevral basınç da azalır. İnspirasyon kaslarının kontraksiyonu durduğunda ise ekspirasyon başlar.
- **Ekspirasyonda**, havanın akciğerlerin dışına çıkmasına imkan sağlamak için intrapulmonik basınç pozitif olmaktadır (gerilen akciğerlerin eski haline dönme eğilimiyle).

PULMONER VENTİLYASYON



İnspirasyon ve ekspirasyonla ilgili intraplevral ve intrapulmonik basınçlar

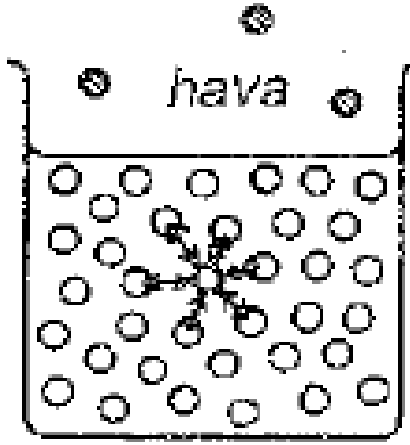
PULMONER VENTİLYASYON

- Geri çekilme eğilimi sadece akciğerlerin içindeki elastik liflerce değil aynı zamanda alveolleri kaplayan sıvının yüzey gerilimiyle de üretilmektedir.
- Akciğerlerin retraksiyonu (büzülmesi) ayrıca ekspiratuvar kaslarca sağlanmaktadır. *Diyafram inspiratuvar bir kastır ve kontraksiyonu sadece inspirasyona yardımcı olmaktadır; tersine gevşemesi ekspirasyona izin vermektedir.*
- **Intrapulmonik basınç**, normalde atmosferik basınçtan daha az olup, ekspirasyonun sonunda ve inspirasyondan önce dahi bu şekildedir. Bu durum; *akciğerlerin sürekli geri çekilme eğilimi ve kapalı alan ve venöz kan arasındaki difüzyon gradyanı tarafından sebep olunan kapalı alandan gazların absorpsiyonunun bir sonucudur.*

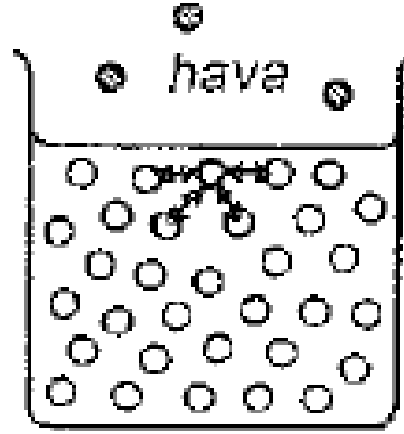
PULMONER VENTİLYASYON

Sürfektanlar; su moleküllerinin daha az çekim uyguladığı yüzey-aktif maddelerdir. Sürfektan moleküller bu özelliklerinden dolayı yüzeyde birikirler ve yüzey geriliminde bir azalmaya neden olurlar. Bu durum, yüzeydeki su moleküllerinin sayısının azalması (sürfektan moleküllerle yer değiştirmiş) ve aynı zamanda sürfektan moleküllerin gerek birbirleri ve gerekse su molekülleri için daha az bir çekim gücüne sahip olması sonucu oluşmaktadır. Böylece, yüzeyin gerginleştirilmesi ve aşağı doğru çekilme azalır.

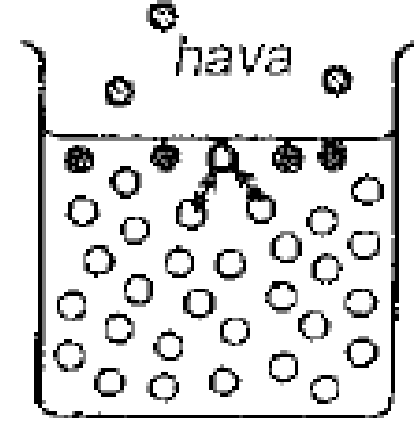
Pulmoner sürfektan yaklaşık %30 protein ve %70 lipit içeren bir lipoprotein kompleksidir. Lipit kısmının çoğu *fosfolipit dipalmitol lesitin*'den oluşmuştur. Sürfektan madde **Tip II alveol epitel hücreleri** (sekresyon hücreleri) tarafından sentezlenir.



A



B



C

Yüzey gerilimi. **(A)** Bir beherde su yüzeyinin altında duran su molekülleri (boş daireler) birbirlerine karşı bütün yönlerde eşit çekim gücüne sahiptirler. **(B)** Su-hava aralığında ise su molekülleri eşit çekim gücüne sahip değildir. Hava moleküllerinin (içi gölgeli daireler) sayıca daha az olduğu ve yukarı doğru daha az güç uygulayabildiğine dikkat edelim. Böylece yüzeydeki su molekülleri kendilerini yukarı doğru çeken güçten daha çok aşağı doğru çeken molekülere sahiptirler ve moleküller aşağı doğru dalarlar.; bu da yüzeyde aşağı doğru bir çekim oluştur. Aşağı doğru olan çekim su moleküllerinin yanlara doğru çeken gücüyle beraber olunca, bu durum yüzeyin gerginleşmesine sebep olur. Alveolün iç yapısı ile ilişkilendirildiğinde, bu gerginleşme alveol boyutunun küçülmesine sebep olur. **(C)** Yüzeyde sürfektan (içi dolu daireler) birikmesi yüzey gerilimini düşürücü etkiye sahiptir.

PULMONER VENTİLYASYON

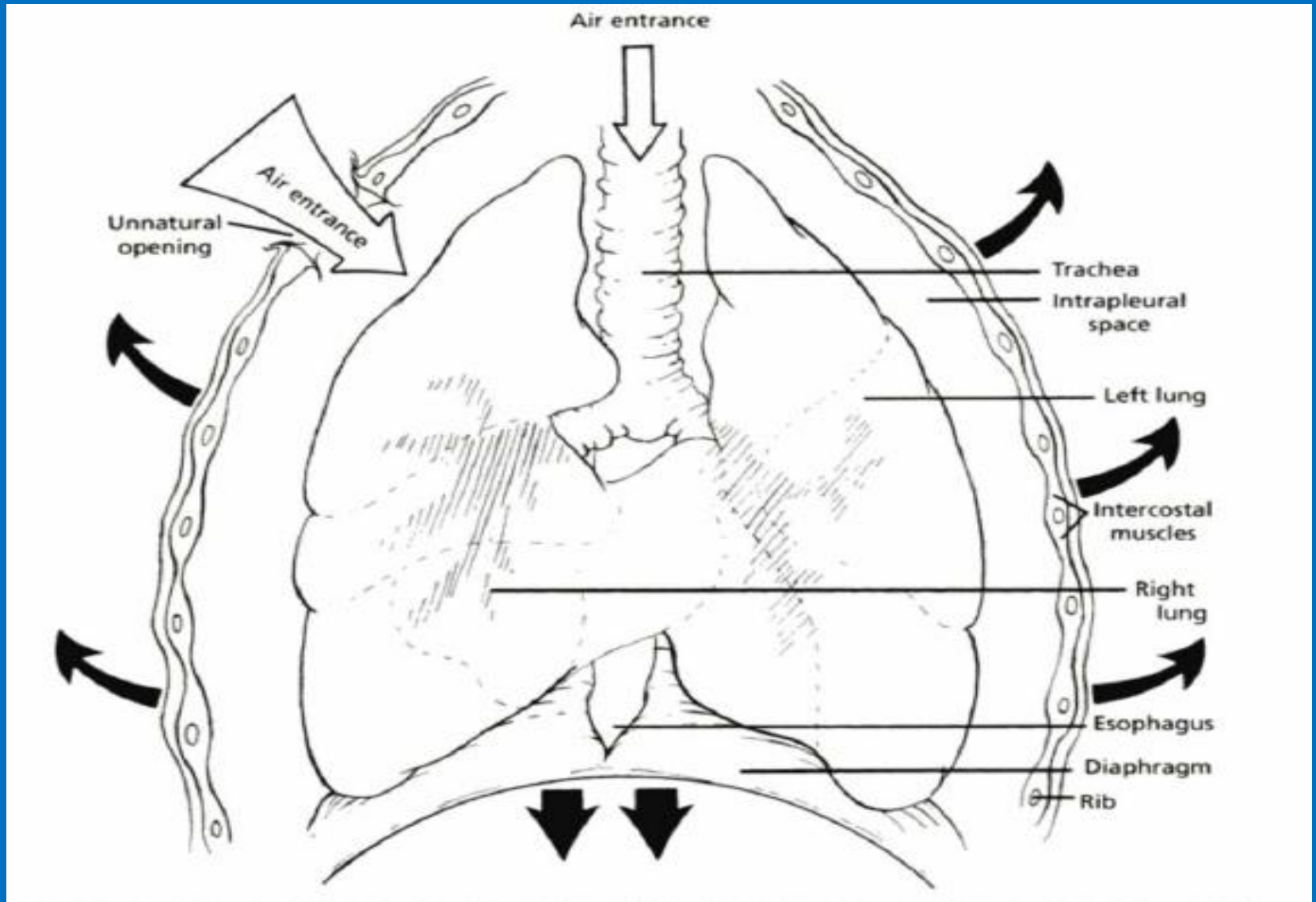
- **Sürfektan madde**, insanlarda ve bazı hayvanlarda nispeten geç şekillenmektedir.
- İnsanlarda prematüre bebeklerde doğumda sürfektan madde eksikliği **dispne**, **syanozis** ve **ekspiratorik hırıltılarla karakterize edilen respiratorik distres** semptomuna yol açar.
- Bazı hayvan türleri arasında insanlardaki respiratorik distres sendromunu andıran klinik, patolojik ve biyokimyasal bazı olgular vardır. Bu sendrom atlarda ve domuzlarda **havlama sendromu** olarak isimlendirilmiştir (ekspiratorik hırıltılarla ilişkili çıkan sesler).
- Sendromun prematüre tay ve domuz yavrularıyla bağlantısı yoktur (sürfektan madde üretimindeki bir bozuklukla ilişkili olduğu düşünülmektedir).

PULMONER VENTİLYASYON

Pnömotoraks

- İntraplevral alanın atmosfere açılması sonucu (örn; bazı şirurijikal işlemler sırasında) diyaframatik kontraksiyonun intraplevral alanda daha büyük bir vakum oluşturmamasının olmadığı ve akciğerlerin hava ile şişmediği durumudur.
- Bu durumda akciğerlerin tekrar hava ile dolması için bir respiratöre (suni solunum aygıtı) ihtiyaç duyabilmekte, aksi takdirde hayvan ölebilmektedir.

PULMONER VENTİLYASYON



Pnömotoraks (ventral görünüm)

PULMONER VENTİLYASYON

- Pnömotoraksın düzeltilmesi akciğerlerin tamamen şişirilmesiyle eş zamanlı olarak söz konusu doğal olmayan açıklığın kapatılması sürecini içerir.
- Normal akciğer retraksiyonu, sonraki aşamada negatif intraplevral basıncın yeniden oluşmasını sağlayacaktır.
- Sonraki inspirasyon, intraplevral alanda negatif basınç doğuracak ve böylece akciğerler trakeanın hava alımı için mevcut tek hava yolu olduğundan genişleyecektir.

PULMONER VENTİLYASYON

Mediastinal Basınç

- İnspirasyonda, intraplevral basınç azalınca mediastinal alan basıncı da azalmaktadır.
- Mediastinal alan basıncının azalmasını, hacimlerinin genişlemesi ve mediastinal alanın *vena kava*, *torasik lenf kanalı*, *özofagus* gibi yapılar içindeki basıncın azalması izlemektedir.
- *Basıncıdaki bu azalma kan ve lenfin kalbe dönüşüne yardımcı olmaktadır.*
- Ruminantlarda regurgitasyon sırasında, özofagustaki azalmış olan bu basınç (kapalı glottis ile aşırı bir inspirasyon) bu sürece ayrıca yardımcı olmaktadır.

İnspirasyon ve Ekspirasyon Havası

	O ₂ %	CO ₂ %	N ₂ %	H ₂ O %
İnspirasyon havası	20.84	0.04	78.62	0.50
Ekspirasyon havası	15.70	3.60	74.50	6.20
Fark	- 5.14	+3.56	- 4.12	+ 5.70

Solunum Katsayısı

- Vücuttan çıkarılan CO_2 miktarının, vücuda alınan O_2 miktarına bölünmesi ile elde edilen değere **Solunum Katsayısı (RQ)** denilir.

Vücuttan atılan CO_2 miktarı

Vücuda alınan O_2 miktarı

RQ vücutta okside olan besin maddelerinin türüne göre (protein, yağ, karbonhidrat) değişir. Metabolizma çalışmalarında önemlidir.

- RQ karbonhidrat için 1, yağ için 0.7 ve protein için 0.8'dir. Karma bir diyetle RQ yaklaşık 0.8'dir (tüketilen her 10 O_2 molekül karşılığında 8 molekül CO_2 üretilmektedir).

SOLUNUM GAZLARININ DİFÜZYONU

- Solunum gazları vücut dokularına hızlıca difüze olmaktadır.
- **CO₂ membranlardan O₂'nin yaklaşık 20 katı daha hızlı difüze olmaktadır (yüksek lipit çözünürlüğü)**
- ***Pulmoner ödem***'de olduğu gibi difüzyon mesafesi artarsa difüzyon oranı düşmektedir. Böyle durumlarda azalan difüzyon oranından dolayı gelişen ***hipoksemi***'yi kompanse etmesi için daha fazla ventilasyon çabası gözlenir. Hem PO₂ hem de PCO₂ azalmıştır.
- **Difüzyon mesafesi kaynaklı** (solunum membranı) difüzyon oranındaki düşüşten dolayı CO₂ atılımının da azalmasıyla PCO₂ de bir artış beklenebilir (ventilasyon artar).
- **Daha kalın membran** (ve böylece daha büyük difüzyon mesafesi) O₂ difüzyonunu bozmakta ve düşük arteriyel PO₂ ve hipoksi ile sonuçlanmaktadır.

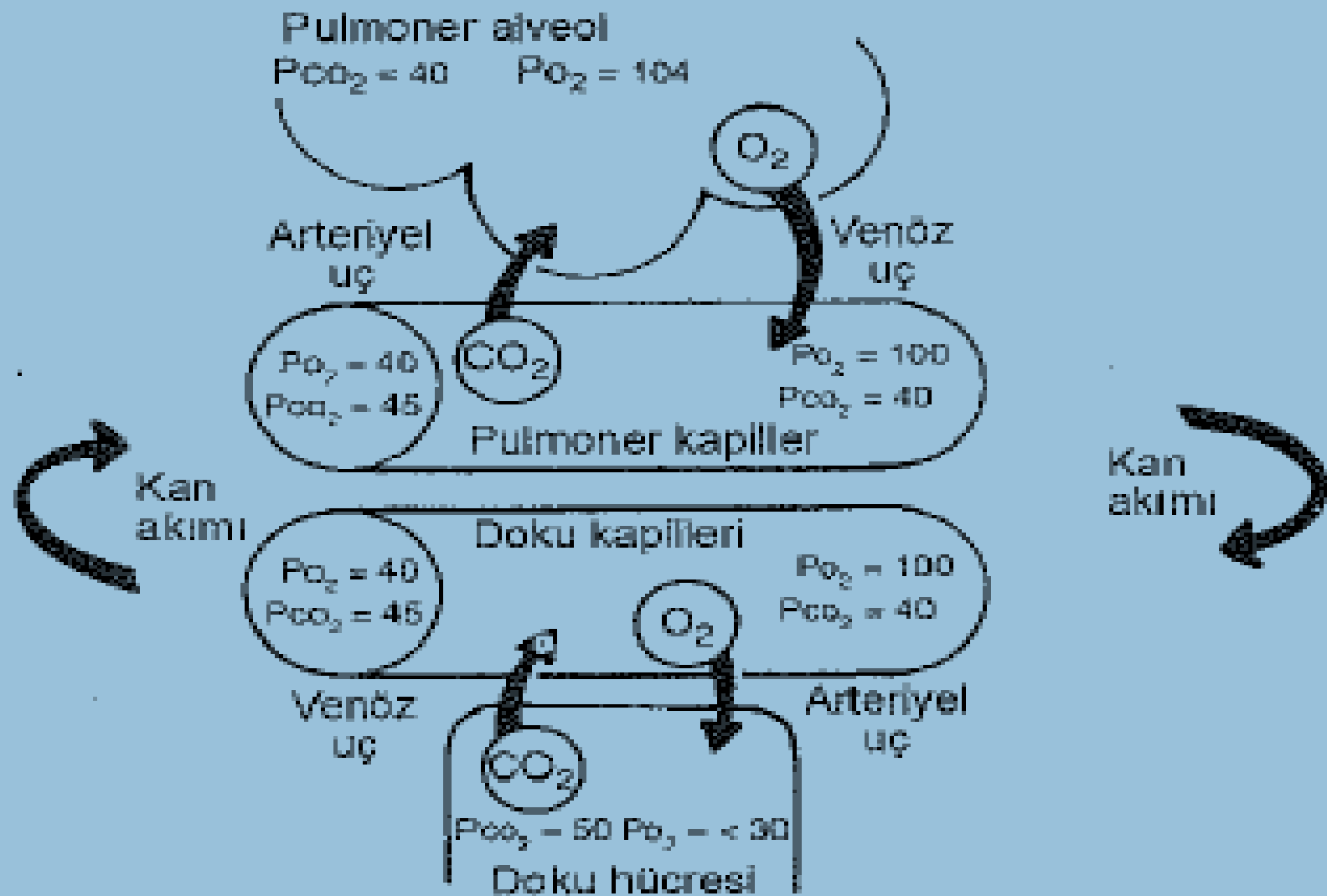
SOLUNUM GAZLARININ DİFÜZYONU

Kuru atmosfer havasını oluşturan gazların, kanda ve pulmoner alveollerdeki kısmi basınç değerleri (insan; mmHG).

Gazlar	Venöz kan	Alveoler hava	Arteriyel kan	Dokular
Oksijen	40	99	100	30 veya daha az
Karbondioksit	45	40	40	50 veya fazla
Azot	569	574	569	569
Su buharı	47	47	47	47
Toplam	701	760	756	696

- Ventilasyon ile O_2 alveollere getirilmekte ve CO_2 dışarı taşınmaktadır.
- O_2 'nin dokularda sürekli tüketiliyor olması alveolden venöz kana, ve arteriyel kandan dokulara difüzyonu için bir basınç farklılığı meydana getirmektedir.
- CO_2 de dokularda sürekli üretildiği için dokudan arteriyel kana ve venöz kandan alveollere difüzyonu için bir basınç farklılığı meydana getirmektedir.

SOLUNUM GAZLARININ DİFÜZYONU

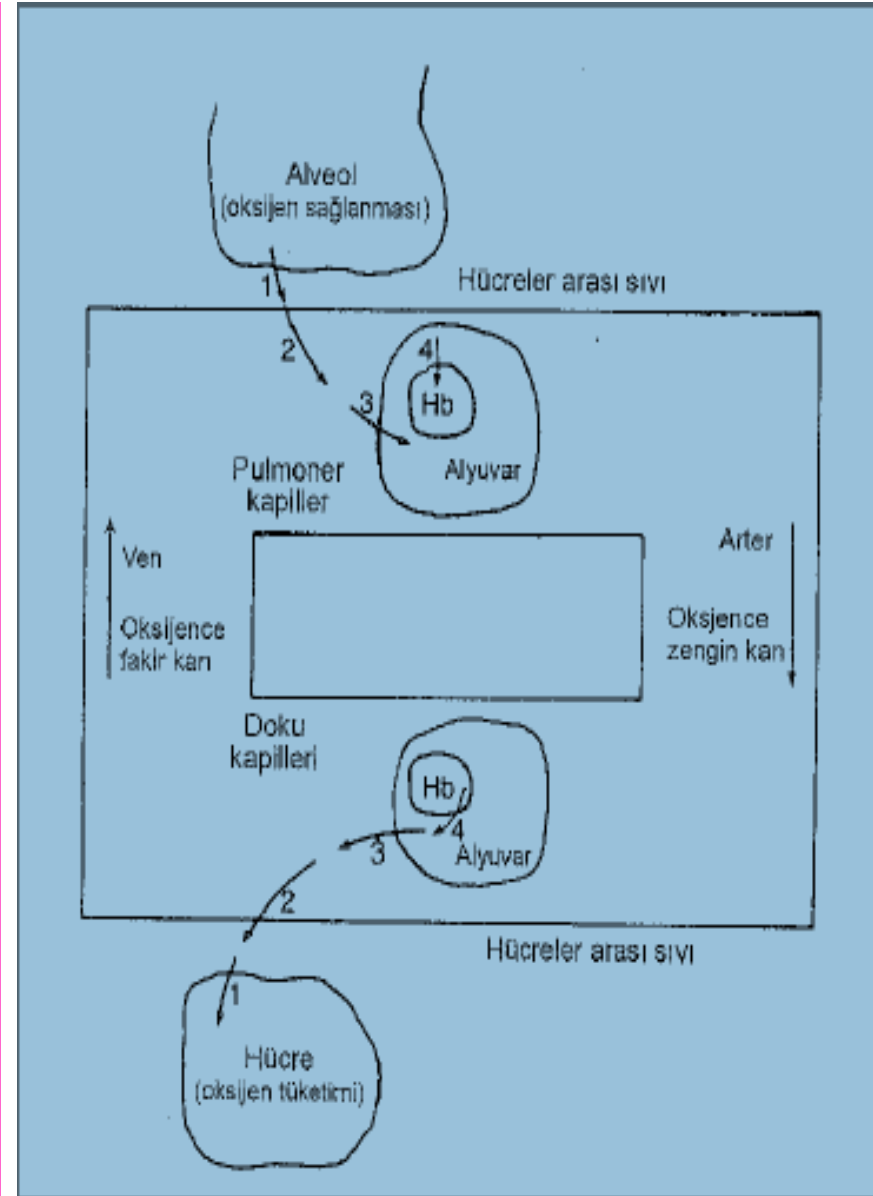


SOLUNUM GAZLARININ DİFÜZYONU

OKSİJENİN TAŞINMASI

Normal şartlar altında arteriyel kanın her dl'sinde yaklaşık 20 ml moleküler oksijen vardır. Normal aktivite ile mitokondri kanın dokulara sirküle olduğu miktarının yaklaşık %25'ini tüketir (kullanım katsayısı). Geri kalan kısım daha yoğun aktiviteler için rezerv olarak bulundurulmaktadır.

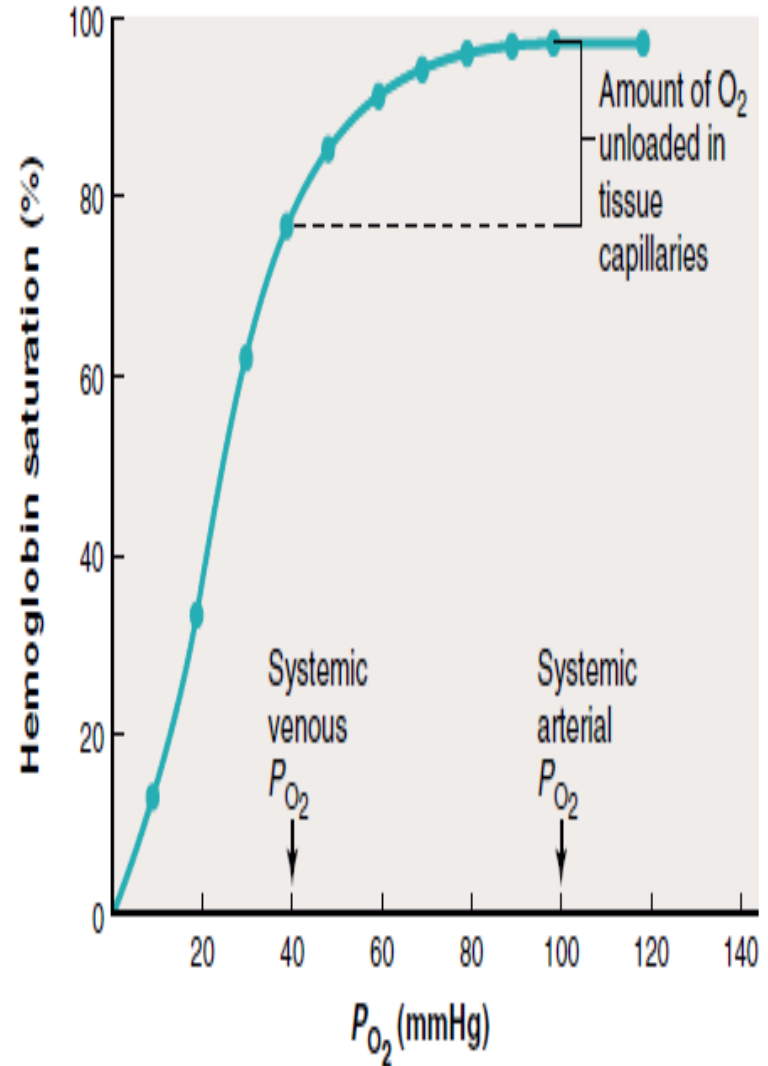
- **Oksijenin taşınması;** İnterstitiyel sıvı (1), plazma (2), eritrosit sıvısı (3) ve sonunda da Hb ile kombinasyon (4).
- **Hücrelere oksijen sağlamak için O_2 'nin geçiş işlemleri;** Hb ile kombine olmuş oksijen (4), eritrosit sıvısı (3), plazma (2) ve interstitiyel sıvı (1).



SOLUNUM GAZLARININ DİFÜZYONU

O₂-Hb Dissosiyasyon Eğrisi

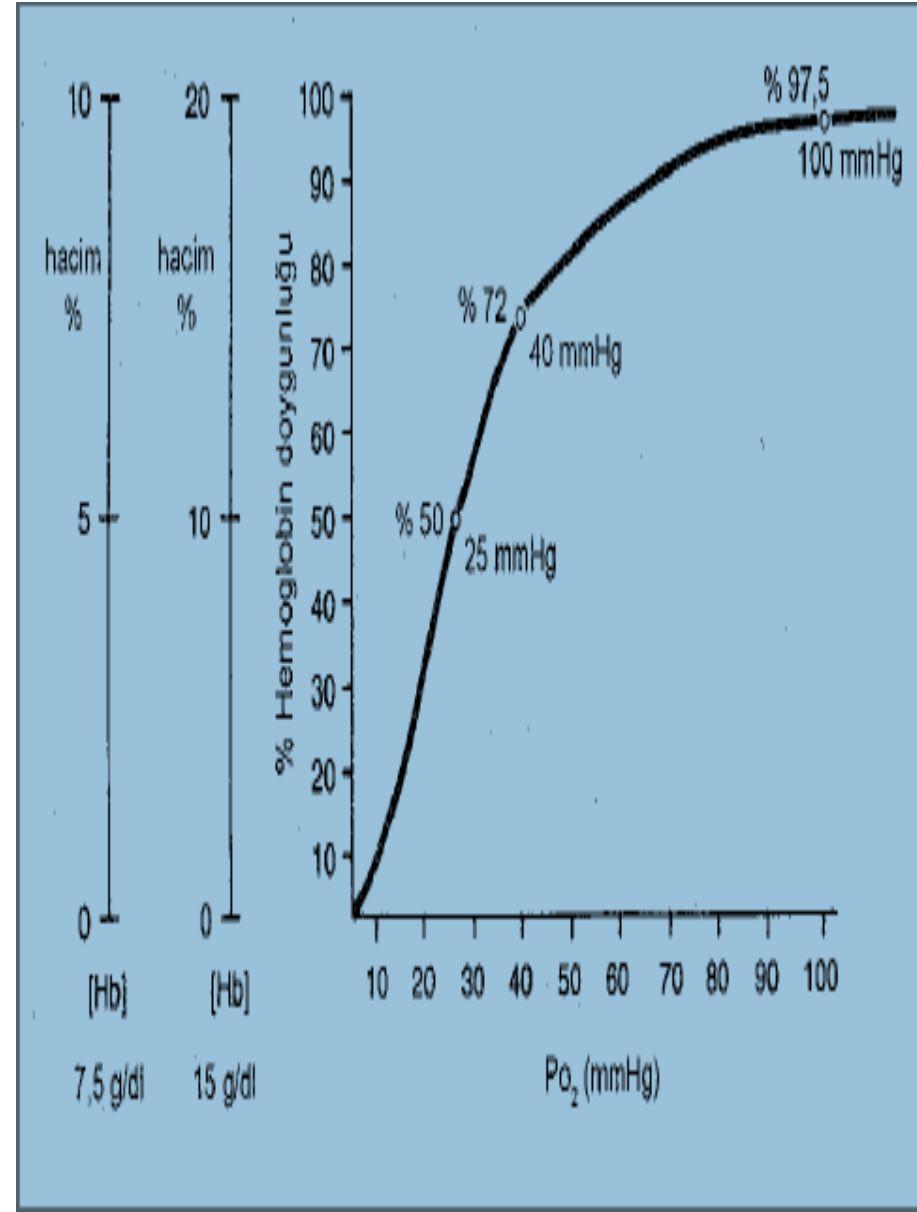
- Oksijen kanda çok az miktarda çözünmektedir. Eğer O₂ sadece kanın çözeltisinde bulunsaydı mevcut O₂'nin %20 hacmini taşımak için yaklaşık 60 kat daha fazla kana ihtiyaç duyacaktı. Oksijenin taşınması, eritrositlerin içerdiği Hb'nin O₂ taşıma potansiyeline bağlı olarak gerçekleşir.
- Çözeltideki O₂ sırasıyla Hb ile birleşmek ve ayrılmak için sadece eritrositin içine ve dışına difüze olmaya ihtiyaç duymaktadır.
- Kanın PO₂'si 100 mmHg olduğunda Hb neredeyse %100 doygundur. **Bu arteriyel kanın normal PO₂'sidir.**
- Venöz kanın PO₂ seviyesinde (yaklaşık 40 mmHg) hemoglobin oksijen ile hala yaklaşık %75 doygunluktadır. Kaybolan %25'lik kısım (Hb'den dissosiyasyon) kullanım faktörüne karşılık gelmektedir.



SOLUNUM GAZLARININ DİFÜZYONU

Şekil, taşınan O_2 hacmi üzerine daha düşük Hb konsantarsyonunun etkisini göstermektedir.

- 1) PO_2 'nin 100 mmHg olduğu bir ortamda (arteriyel kanı yaklaşık değeri) Hb'nin yaklaşık %97,5'i O_2 ile doymuş durumdadır. Hb yoğunluğu 15 g/dl olduğunda her 100 ml Hb yaklaşık 19,6 ml O_2 bağlar; 7,5 g/dl olduğunda ise Hb 9,8 ml O_2 bağlar.
- 2) PO_2 40 mmHg olduğunda (venöz kan) Hb O_2 ile hala yaklaşık %72 doymuş durumdadır. Hb yoğunluğu 15 g/dl olduğunda Hb yaklaşık 14,5 ml O_2 taşırken; 7,5 g/dl olduğunda Hb yaklaşık 7,25 ml O_2 taşımaktadır.

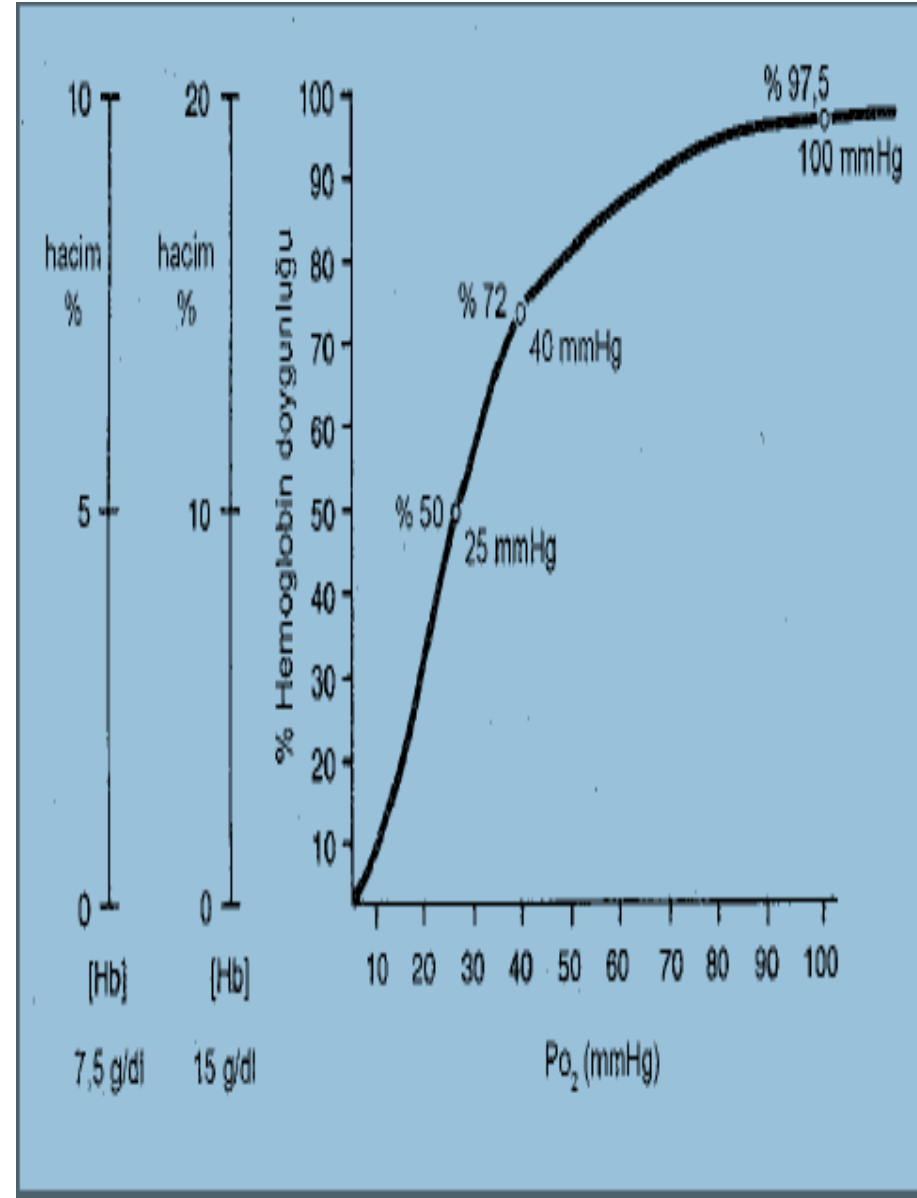


SOLUNUM GAZLARININ DİFÜZYONU

3) Arter tarafından (PO_2 100 mmHg) ven tarafına (PO_2 40 mmHg) giderken Hb yoğunluğu 15 g/dl olduğunda O_2 'nin hacimce %5'lik kısmı bırakılmış olur (dinleme durumu); aynı durumda 7,5 g/dl olduğunda hacimce %2,5'luk O_2 bırakılmış olur.

4) Bir hayvan anemik (7,5 g/dl hemoglobin) olduğunda hacimce %5 oranında oksijen bırakılabilmesi için, kanda PO_2 oranının yaklaşık 25 mmHg düzeyine indirilmesi gerekmektedir.

5) Bu eğri için P_{50} yaklaşık 25 mmHg'ya eşittir. P_{50} Hb'nin oksijen ile %50 doygunluğunu göstermektedir. *İnsan için bu değer 26 veya 27 mmHg'dır.*

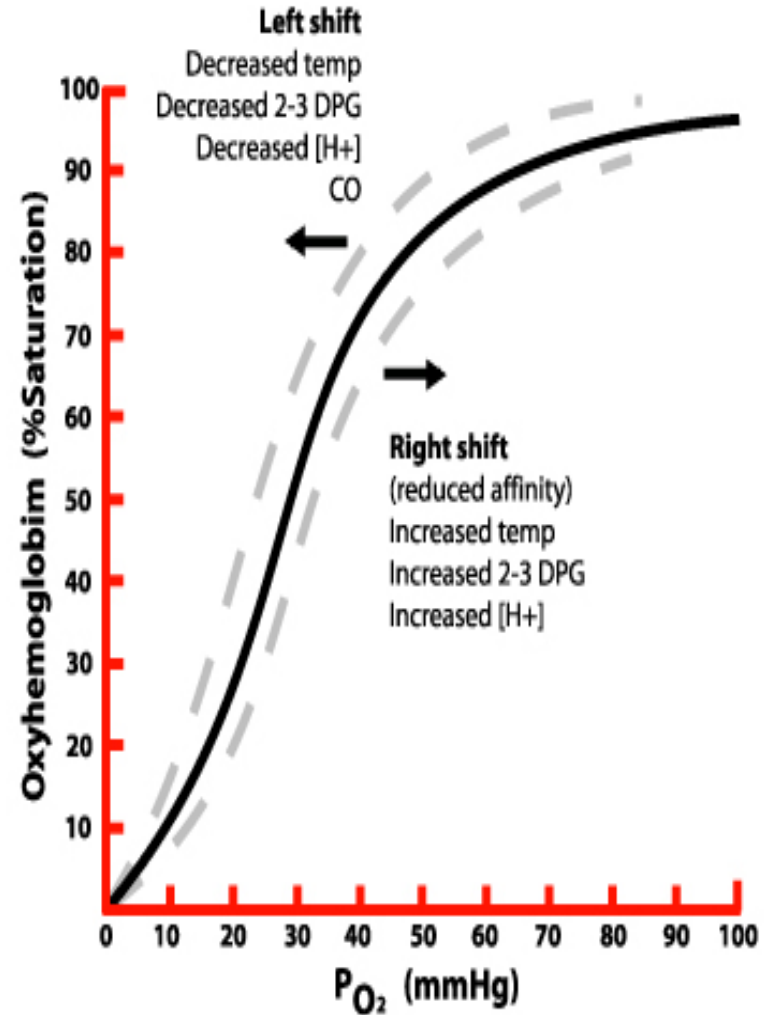


SOLUNUM GAZLARININ DİFÜZYONU

Eğri sağa doğru kayduğında, Hb'nin O_2 'ye karşı affinitesi azalır. Bu durumda, PO_2 'deki her birim azalma için daha fazla O_2 bırakılır.

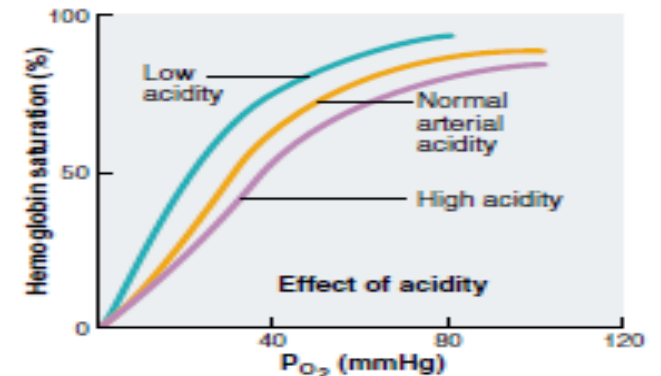
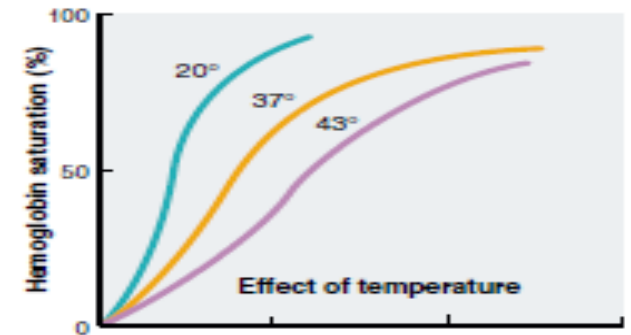
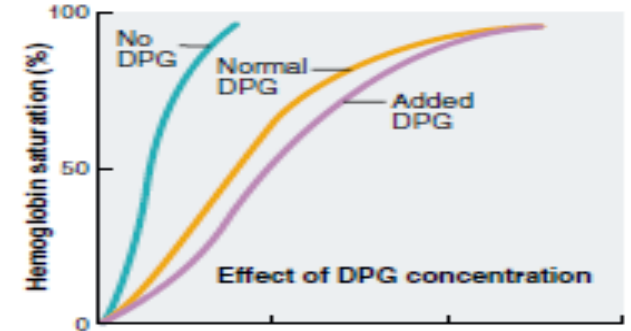
Sola doğru kayma Hb'nin O_2 'ye karşı affinitesinin arttığını gösterir ve PO_2 'deki her birim azalma için daha az O_2 bırakılır.

Hidrojen iyonu ve CO_2 'deki artışlar, eğrinin sağa doğru kaymasına neden olur. Böylece, arteriyel kanın venöz kana dönüştüğü doku kapillerleri seviyesinde sağa doğru kayma olur. Bu kayma sayesinde oksijenin dağıtılması gereken dokulara daha fazla oksijen bırakılmış olur.



SOLUNUM GAZLARININ DİFÜZYONU

- **BOHR ETKİSİ:** CO_2 ve H^+ iyonlarının hemoglobinin O_2 alma ya da bırakma kapasitesi üzerine etkisine denir.
- Artan H^+ konsantrasyonu (asitlik) yanında bu eğride kaymalara sebep olan diğer faktörler ise kanın ısı ve alyuvarlar içerisindeki 2,3-difosfogliserat (2,3-DPG) yoğunluğudur.
- Hipertermi esnasında çok fazla miktarda O_2 'ye ihtiyaç duyulur ve kan ısısındaki artışlar eğrinin sağa kaymasına sebep olduğu için, böylesi durumlarda çok daha fazla O_2 dokulara bırakılmış olur.



SOLUNUM GAZLARININ DİFÜZYONU

CO₂ TAŞINMASI

1)Karbondiyoksit su içerisinde oksijenden yaklaşık 22 kat daha fazla çözünür haldedir. ***Buna göre, belirli bir kısmi basınç altında su içerisinde CO₂'nin O₂'den çok daha fazla miktarda çözünür olacağı kesindir.***

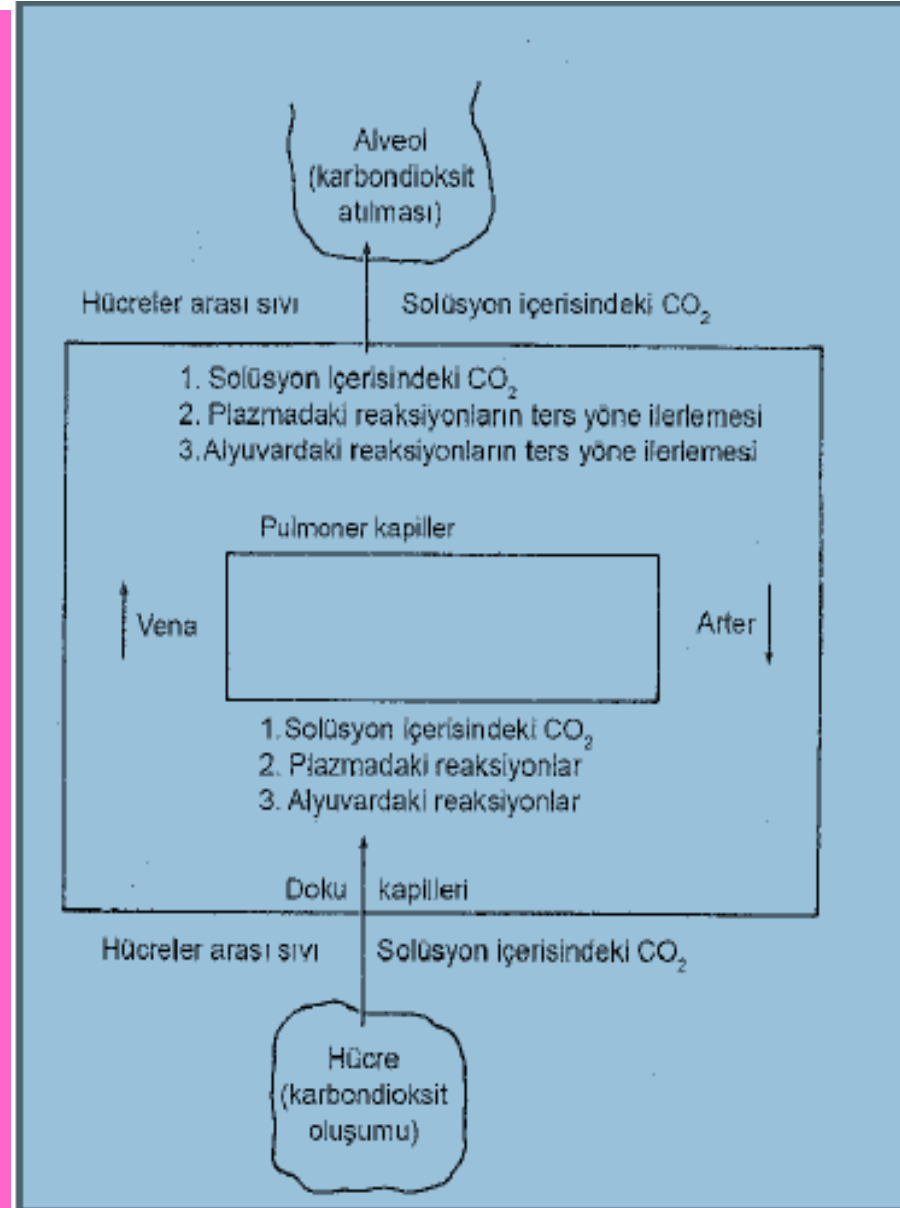
2)CO₂ vücut hücrelerinde üretilir ve hücre membranlarından kolaylıkla difüze olur. ***CO₂ için difüzyon katsayısı, O₂'den yaklaşık 20 kat daha büyüktür.***

3)Çözünmüş CO₂ miktarı üretilen miktarı taşımak için yeterli olmadığından, plazmada ve alyuvarlarda kalan kısmı taşımak için çeşitli önemli reaksiyonlar vardır.

SOLUNUM GAZLARININ DİFÜZYONU

Kısmi basınç gradyanlarından dolayı difüzyon şekillenir; CO_2 hücrelerdeki üretim yerinden hücrelerarası sıvıya, hücrelerarası sıvıdan plazmaya ve plazmadan da alyuvarlara doğru difüze olur.

Ventilasyon sonucu alveollerde CO_2 atılır ve bu noktada plazmadan alveollere bir difüzyon olur ve bunu da alyuvarlardan plazmaya difüzyon izler.



SOLUNUM GAZLARININ DİFÜZYONU

CO₂ TAŞINMASI

CO₂ çözünmüş olarak taşınmasına ilave olarak diğer CO₂ formlarında da etkili taşınmaktadır. CO₂ suda O₂'den daha fazla çözünür olmasına rağmen üretilen miktar solusyonda taşınan (çözülmüş) miktarı aşmaktadır.

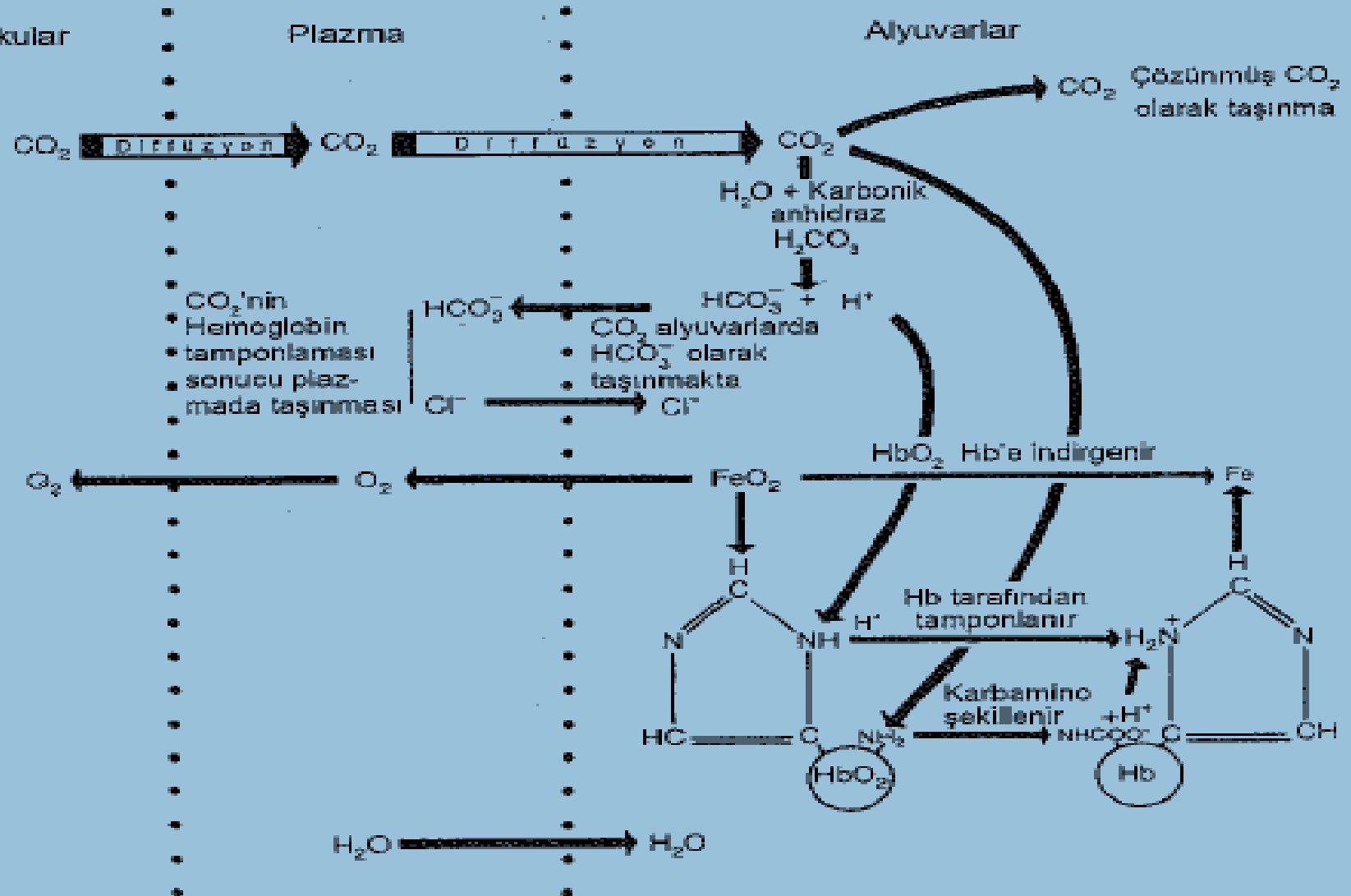
- **Hidrojen reaksiyonu;** CO₂ taşınmasının yaklaşık %80'i hidrasyon reaksiyonu sonucu bikarbonat (HCO₃⁻) şeklinde meydana gelmektedir.



SOLUNUM GAZLARININ DİFÜZYONU

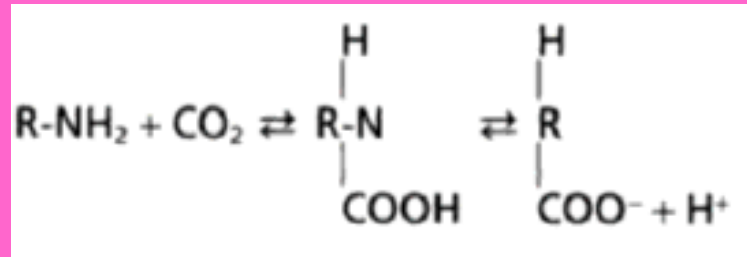
Hidrojen reaksiyonu Karbonik Anhidraz enzimi sayesinde eritrositlerde şekillenmektedir. Sonuçta H^+ ve HCO_3^- oluşumu burada meydana gelmektedir. Oluşan ürünlerin uzaklaştırılması; H^+ 'nin kimyasal tamponlanmasıyla ve eritrositlerin dışına HCO_3^- 'ün difüzyonuyla sonuçlanmaktadır. Venöz kanın arteriyel kana göre pH'sı (tamponlanamayan H^+) düşüktür. Ayrıca, venöz kan arteriyel kana göre daha yüksek HCO_3^- konsantrasyonuna sahiptir (eritrositlerden plazmaya difüzyonundan dolayı). Hb azlığına bağlı anamilerde özellikle egzersize bağlı artan H^+ 'ye bağlı (tamponlanma sorunu) asidemi şekillenebilir.

SOLUNUM GAZLARININ DİFÜZYONU



SOLUNUM GAZLARININ DİFÜZYONU

Hücrelerden plazmaya difüze olan **karbondioksit** yalnızca çözünmüş olarak bulunmamakta aynı zamanda karb amino bileşikleri oluşturmak için **plazma proteinlerinin terminal amino grupları ile birleşmekte ve karbonik asit iyonize ürünlerini oluşturmak için hidrasyona uğratılmaktadır**. Amino grupları ile olan reaksiyon;



Bu reaksiyon ile ciddi miktarda CO_2 taşınmamaktadır, çünkü plazma proteinleri üzerinde CO_2 ile birleşme yeteneği olan çok az serbest ya da termal amino grupları vardır.

Plazmadaki hidrasyon reaksiyonu dengesi $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3$ sola doğru olup plazma reaksiyonu karbondioksit transportunun ufak bir aşamasından sorumludur (yaklaşık % 10). Gerçekte, plazmada CO_2 yoğunluğu H_2CO_3 yoğunluğundan 1000 kat daha fazladır.

Dokularda ve Akciğerlerde Meydana Gelen Olaylar



Oksijeni dokuya veren **Hb** Hidrojeni Bağlar



Akciğerlerde Hb Oksijeni bağlar, H^+ 'i bırakır.



Proton(H^+) bikarbonat iyonu ile birleşir.



Karbonik asit akciğerde CO_2 ve H_2O 'ya ayrılır.



SOLUNUMUN DÜZENLENMESİ

- **Pulmoner ventilasyon**, farklı şartlar altında normal H^+ , CO_2 ve O_2 konsantrasyonunun sürekliliğini sağlamak için vücudun ihtiyacını karşılarken aynı zamanda da hassas bir şekilde kontrol edilmektedir. Örneğin, H^+ veya CO_2 düzeyinin artması veya O_2 konsantrasyonunun düşmesi, ventilasyonun artmasına sebep olmaktadır. Böylece bu bileşiklerin tekrar normal düzeye gelmeleri sağlanmaktadır.
- Tersine, H^+ veya CO_2 düzeyinin düşmesi veya O_2 konsantrasyonunun artması, **pulmoner ventilasyonu** azaltmaktadır.
- **Bu düzenleyici mekanizma**; tidal volüm, solunum siklusunun sıklığı veya her ikisindeki değişikliklerce kontrol edilmektedir.
- Oluşabilecek değişikliklerin merkezi kontrolü, dört spesifik bölgeye sahip olan beyin sapındaki solunum merkezi tarafından sağlanır.

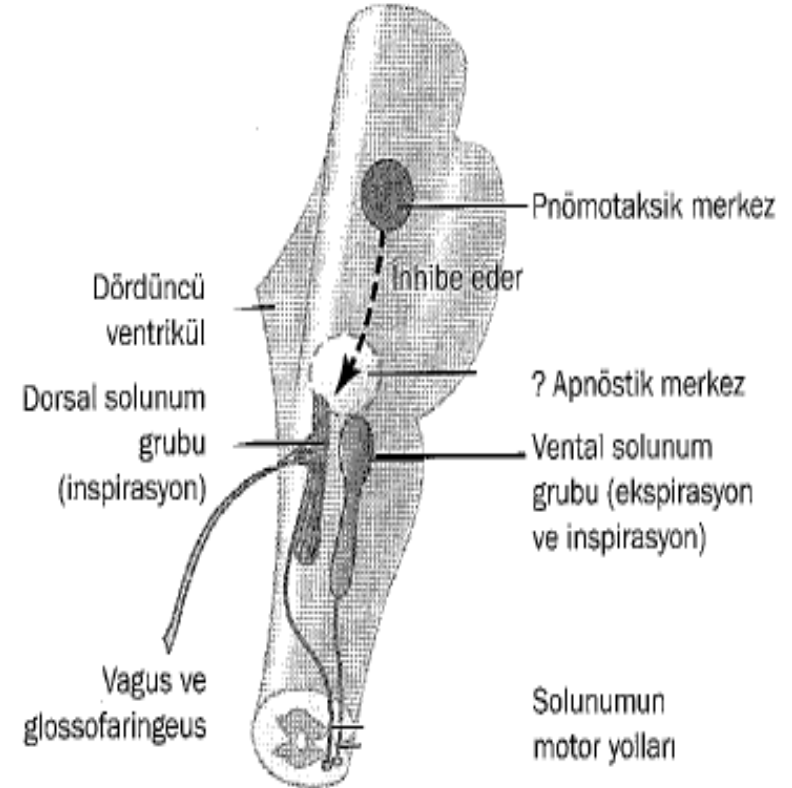
SOLUNUMUN DÜZENLENMESİ

1)Pnömotaksik merkez: İnspirasyonun sonlanmasını aktive eden ve ekspirasyonu kolaylaştıran uyarımlara karşı solunum merkezinin duyarlılığını kontrol ettiği düşünülmektedir.

2)Apnostik merkez: Derin inspirasyon ile ilişkili olduğuna inanılmaktadır.(iç çekmek gibi)

3)Dorsal solunum grubu: İnspiratuvar aktivite ile ilişkili nöron grubudur (özellikle akciğer genişlemesiyle başlatılan inspirasyonun sonlandırılması).

4)Ventral solunum grubu: İnspirasyon ve ekspirasyon nöronlarını içeren nöron grubudur (dorsal solunum gruptakiler tarafından başlatılan inspirasyona yardım eder ve ayrıca başlatılmış ekspirasyonu aktifleştirir).



Solunum merkezinin kısımları. Pnömotaksik ve apnostik merkezler ponda bulunmaktadır. Dorsal ve ventral solunum grupları medullada lokalize olmuştur.

SOLUNUMUN DÜZENLENMESİ

Sinirsel Kontrol

Solunum sisteminin hareketleri ve akciğer ventilasyonu, birtakım özelleşmiş nöronların ritmik bir şekilde uyarılması sonucudur. Solunum merkezlerindeki nöronlar genellikle üç yoldan aktiviteye sevk edilirler:

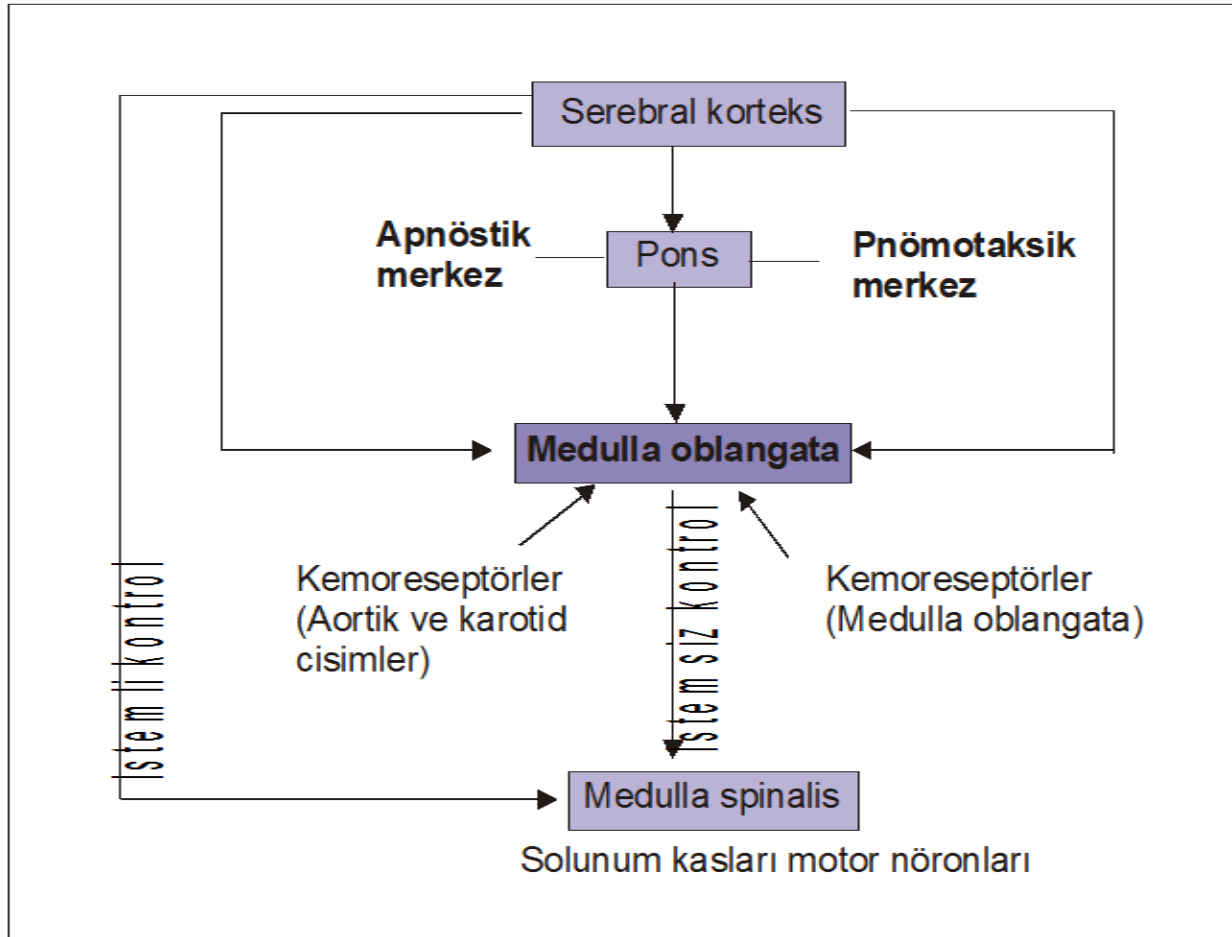
- 1.Nöronların bulunduğu ortamda lokal olarak kimyasal değişikliklerle (örneğin, CO_2 ve H^+ konsantrasyonunda değişiklikler),
- 2.Merkezlerin dışında ve vücudun çeşitli yerlerinde bulunan reseptörlerden gelen impulslarla refleks yoluyla (örneğin, baroseptörler, kemoseptörler, gerilme reseptörleri),
- 3.İstekle korteks serebriden solunum merkezlerine gelen emirlerle.

SOLUNUMUN DÜZENLENMESİ

Solunum merkezleri

- Beynin en üst kısmından (**cortex cerebri**) aşağı doğru kesitler yaparak, beynin üst kısmı ile daha altta kalan kısımlarını birbirinden ayırsak, **pons cerebri**'ye gelinceye kadar solunumun devam ettiği görülür. Kesit yapmaya devam edilirse solunumda görülen bozuklukların **med. Oblongata**'da arttığı görülür. Bundan anlaşılan; solunumla ilgili merkezler **pons** ve **med. oblongata**'da yer almışlardır.
- İstekle yapılan solunumda **cortex cerebri**'deki çeşitli merkezlerden solunum merkezlerine gelen impulslar, solunumu isteğe uyacak şekilde değiştirirler. *Korteks serebri beynin diğer kısımlarından ayrılrsa bile, gene ritmik solunum devam eder. Pons ve med. oblongata'da bulunan çeşitli merkezler, solunumun ritmik bir şekilde devamını sağlar.* Med.oblongata'da bir inspirasyon, bir ekspirasyon; **pons cerebri**'nin aşağı bölgesinde **pneumotaxic merkez** bulunur. Bütün bu merkezler beynin sağında ve solunda olmak üzere birer çifttirler.

Solunumun Kontrolü



SOLUNUMUN DÜZENLENMESİ

- Birçok reseptör kaynağından solunum merkezine giden impulslar (afferent impulslar) tanımlanmıştır. **Hering-Breuer refleksi** bunlar arasında muhtemelen en önemlisidir. Bu refleksin reseptörleri akciğerlerde özellikle bronşlar ve bronşiollerde yerleşmiştir ve sinir impulsları solunum merkezine vagus sinir iplikçikleriyle taşınır.
- **Genişleme**-reseptör stimülasyonunun etkisi ile inspirasyon inhibe edilirken (*dorsal solunum grubundaki nöronların stimülasyonu ile*), ventral solunum grubundaki ekspiratuvar nöronlar stimüle edilir.
- **Tidal volüm**, pnömotaksik merkez modülasyonu ile artırılır.
- **Hering-Breuer refleksinin diğer bir bileşeni**, deflasyonun (solunum gazı boşalması, büzülme) belli bir noktasında aktifleşmektedir. Deflasyon reseptörleri öpne esnasında bir sonraki inspirasyonu oluşturmak için aktifleşmeyebilir fakat deflasyon tamamlandığında bu reseptörler aktif olabilir.

Solunumun sinirsel kontrolü özet olarak şöyledir;

- Kandaki CO₂'nin solunum merkezlerini uyarıcı etkisi ile, ***apneustic*** merkez inspirasyon merkezine impulslar gönderir. Buradan da inspirasyon kaslarına kasılma için emirler gönderilerek inspirasyon başlar. Inspirasyon merkezi aynı zamanda ***pneumotaxic*** merkeze de impulslar göndererek, inspirasyonu başlattığından onu haberdar eder. Inspirasyon belirli bir düzeye ulaşınca, gerilme reseptörlerinden n.vagus yoluyla ***apneustic*** merkeze bol impuls gelir ve aktivitesi durdurulur. Bu merkezin inspirasyon merkezini uyaran impulsları durur. ***Apneustic*** merkez yalnız n.vagus'tan değil ***pneumotaxic*** merkezen de inhibe edici impulslar almaktadır.

Solunumun sinirsel kontrolü özet olarak şöyledir;

- İnspirasyonu yaratan impulslar durunca, istirahat halindeki insan veya hayvanda, pasif olarak ekspirasyon başlar. *Egzersiz sırasında veya herhangi bir nedenle **dyspnea** varsa, ekspirasyon aktif olarak ekspirasyon merkezlerinden ekspirasyon kaslarına impulslar gönderilerek başlatılır.*
- Ekspirasyon aktif olduğu takdirde, beynin diğer koordinasyon merkezlerinden, örneğin **hipotalamus**'dan, birtakım impulsların pneumotaxic merkeze ulaşması ve buradan ekspirasyon merkezi'nin harekete geçirilmesi mümkündür (*hipotalamusun solunum ve dolaşımı vücudun ihtiyaçlarına göre koordine etme fonksiyonu*).

SOLUNUMUN DÜZENLENMESİ

- Akciğer reseptörlerine ek olarak temel ritimleri modifiye eden **periferal olarak yerleşmiş diğer reseptörler** de mevcuttur.
- Derideki reseptörlerin stimülasyonu solunum merkezleri için uyarıcı olup, inspirasyon bu uyarı ile normalden daha derin yapılabilmektedir. *Yeni doğan hayvanlarda, solunumun uyarılması arzulandığında bu reseptörlerden yararlanılmaktadır. Kaba kumaşlar ile deriyi ovma genellikle solunum sikluslarını başlatmaktadır.*
- Ayrıca serebral korteksten iskelet kaslarına impulslar ulaşırken ventilasyonu artırmak için bir dalın da solunum merkezine verildiğine inanılmaktadır. *Egzersizde yalnızca kandaki CO_2 , O_2 ve H^+ konsantrasyonlarındaki değişiklikleri gözlemlemeyle açıklanamayan ventilasyon artışları bu mekanizma ile açıklanabilir.*

SOLUNUMUN DÜZENLENMESİ

- Birçok solunum refleksi **üst solunum yollarındaki reseptörlerden** köken almaktadır. Bu bölgelerdeki **müköz membranların** uyarılması solunumun **refleks olarak inhibisyonuna** neden olur. **En iyi örnekler; yutma sırasında solunumun durması**, dalıcı kuş ve memelilerde dalma esnasında su altında solunumun durması, **anestezisiz hayvanlarda larengiyal müköz membranın uyarılmasıyla solunumun durması yanında öksürük görülmesi**, yine **nazal mukoz membranın uyarılmasıyla oluşan aksırma**. Bu reflekslerin tümünün fonksiyonu, **hassas solunum yollarını ve akciğer alveollerini zararlı yapılardan (irrite edici gazlar, toz, duman, besin partikülleri vb.) korumaktır** (glottis kapanmakta ve bronş daralmaktadır). Aksi takdirde bu tür yabancı maddeler **inspire edilerek solunum sistemine zarar verebilir**.

SOLUNUMUN DÜZENLENMESİ

- Normal solunum farkında olmadan sürmektedir. Ayrıca solunum istemli olarak da yapılabilmekte; hızlandırılabilmekte, yavaşlatılabilmekte ve tamamıyla bir süre için durdurulabilmektedir. **Fonasyon (ses çıkarma) ve abdominal basıncın defekasyon, ürinasyon ve doğum gibi çıkarma eylemleri solunumun istemli kontrolünün örnekleridir. Bu hareketler solunum yapılarının gaz değişimi ile ilgili olmayan ikincil fonksiyonlarıdır.**
- Karotit ve aortik sinirlerdeki basınç reseptörlerinden köken alan afferent impulslar, dolaşımın düzenlenmesinde ana fonksiyona sahiptirler. **Bu reseptörlerden köken alan impulslar ayrıca solunum merkezlerine de ulaşmaktadır. Bu impulslar normalde inhibitör olup kan basıncı ne kadar artarsa solunum inhibisyonu da o kadar artmaktadır. İnspirasyonlardaki azalma kanın kalbe geri dönmesini yavaşlatabilmekte ve bu durum daha az kan basıncı oluşmasına sebep olmaktadır.**

SOLUNUMUN DÜZENLENMESİ

Humoral Kontrol

Humoral kontrol, vücut sıvılarındaki ventilasyonu etkileyen faktörleri ifade etmektedir. Bunlar vücut sıvılarının önemli bileşenleri olan CO_2 , H^+ ve O_2 dir. Solunumun sürekliliğinde büyük etkiye sahip bu faktörlerin kandaki yoğunlukları alveoler ventilasyonu birkaç şekilde etkilemektedir;

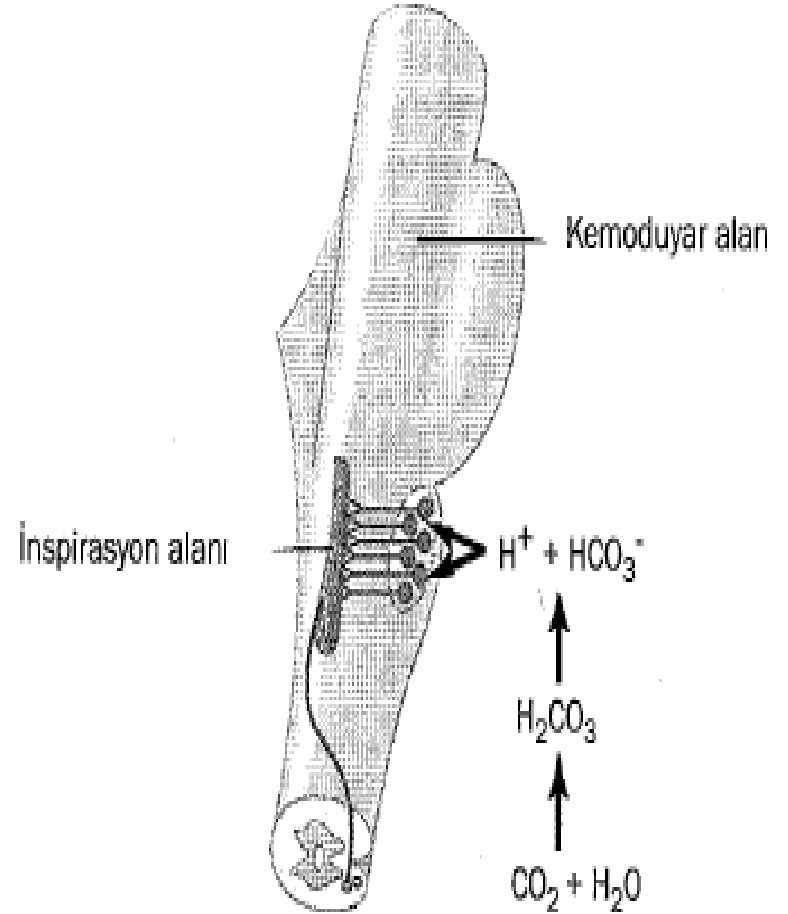
1. CO_2 artışı alveoler ventilasyonun artmasına, **azalışı** ise alveoler ventilasyonun azalmasına sebep olmaktadır.

2. H^+ artışı alveoler ventilasyonun artmasına, **azalışı** ise alveoler ventilasyonun azalmasına sebep olmaktadır.

3. O_2 düşüşü alveoler ventilasyonun artmasına, **artışı** ise alveoler ventilasyonun azalmasına sebep olmaktadır.

SOLUNUMUN DÜZENLENMESİ

CO_2 , ve H^+ iyonlarının etkileri, medullanın ventral yüzeyi altındaki **bilateral kemosensitif alanlarda** ayarlanmaktadır. Hidrojen ile karşılaştırıldığında karbondioksitin daha fazla difüze olabilme yeteneğinden dolayı, kandan medullanın interstisyel sıvısına ve serebrospinal sıvıya daha hızlı dağılabilmektedir. Buna rağmen, beynin interstisyel sıvısında H^+ konsantrasyonunun, solunumun devamı için karar verici uyaran olduğuna inanılır. CO_2 'nin etkisi ise hidrojen reaksiyonu üzerinden H^+ sağlanmasıyla mümkün olur



Beyin kökü solunum merkezinin kemosensitif alanı. H^+ reaksiyonuyla CO_2 dönüşümünden şekillenen H^+ kemosensitif alanı uyarmaktadır.

SOLUNUMUN DÜZENLENMESİ

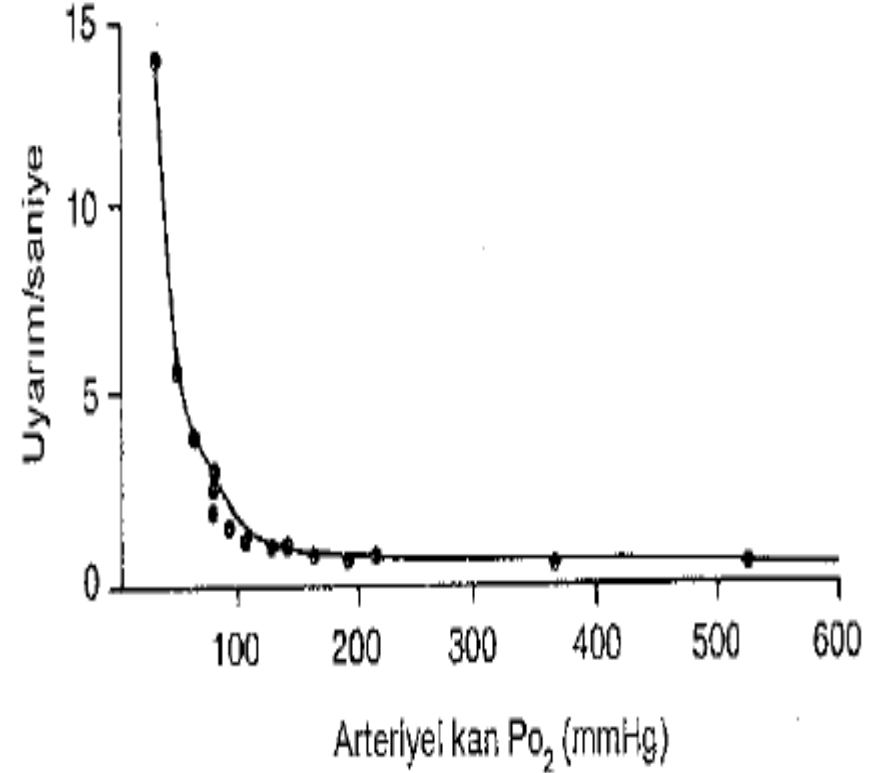
O_2 'nin etkisi, karotit ve aortik cisimciklerden köken alan sinirler aracılığıyla solunum merkezlerine iletilmektedir. Bu reseptörler H^+ ve CO_2 iyon konsantrasyonlarına da cevap vermektedir. Fakat bu etki direkt beyin hücrelerinde oluşan cevaptan daha azdır. **Bu nedenle karotit ve aortik bölgeler başlıca O_2 regülasyonu için etkilidir.** Bu cisimcikler aortik kemerin dış kısmına ve karotit arterin ayırımına yerleşmiş bol kan desteği alan belirgin yapılardır. Bu reseptörler O_2 miktarından ziyade kanın P_aO_2 'sindeki değişikliklere duyarlıdırlar.

SOLUNUMUN DÜZENLENMESİ

Hb miktarı azalmış ve daha az O_2 'ye sahip kan ile normal Hb ve O_2 'li kan aynı P_aO_2 'ye sahiptir. Ventilasyon yanıtı doğurmamaktadır çünkü her iki durumda da P_aO_2 'de herhangi bir değişiklik olmamıştır. Yine CO zehirlenme durumunda da aynı P_aO_2 vardır ve ventilasyon artmaz. P_aO_2 alveoler PO_2 'nin bir ifadesi olduğu için aynı kalmakta ve tüm solüsyondaki oksijenin PO_2 'sini göstermektedir. Azalan Hb durumunda ventilasyonun artması az oksijenden dolayı değil, hidrojenin tamponlanmasındaki azalmaya bağlı artan H^+ 'dendir.

SOLUNUMUN DÜZENLENMESİ

Ventilasyonun düzenlenmesinde, karotit ve aortik cisimciklerden solunum merk.lerinin uyarılabilmesi için arteriyel kan **PO₂'sinin** 30-60 mmHg aralığında olması gereklidir. Bu uygun bir aralıktır, çünkü 60 mmHg **PO₂'de** Hb hala yaklaşık %90 oksijen ile doymuştur. Ayrıca artan arteriyel **PO₂'nin yavaşlatıcı etkisi hafiftir ve normal atmosferik havayı soluyan hayvanlarda gözlenmemektedir. Çünkü arteryel PO₂ nadiren 100 mmHg'nın üzerine çıkmaktadır. Yine de bu yavaşlatıcı etki arteriyel PO₂ 350-400 mmHg'ye (O₂'den zengin atmosferik hava solutulan) çıkarılmış anestezi hayvanlarda belirlenmiştir.**



Karotit cisimciğinden solunum merkezlerine her saniye gönderilen impul sayısı üzerine arteriyel kan PO₂'nin etkisi. İmpulslar uyarıcıdır.

SOLUNUMUN DÜZENLENMESİ

Oksijen Regülasyonunun Önemi

Normalde O_2 'ne bağlı ventilasyonun regülasyonu çoğunlukla önemli görülmemektedir. Arteriyel kanın PO_2 düzeyinin 80-100 mmHg aralığında sürdürülmesi bir problem yaratmadığı gibi kısmi basıncın 100 mmHg'den daha yüksek olması da herhangi bir avantaj sağlamamaktadır. Çünkü Hb bu kısmi basınçta hemen hemen doymuştur. Ventilasyon normalin %50'sine kadar azalsa bile Hb hala önemli düzeyde doygun olmaktadır. ***Ventilasyonun regülasyonunda en önemli kimyasal faktör CO_2 konsantrasyonudur; kısmi basıncındaki nispeten küçük değişiklikler bile bir etki oluşturabilmektedir.***

SOLUNUMUN DÜZENLENMESİ

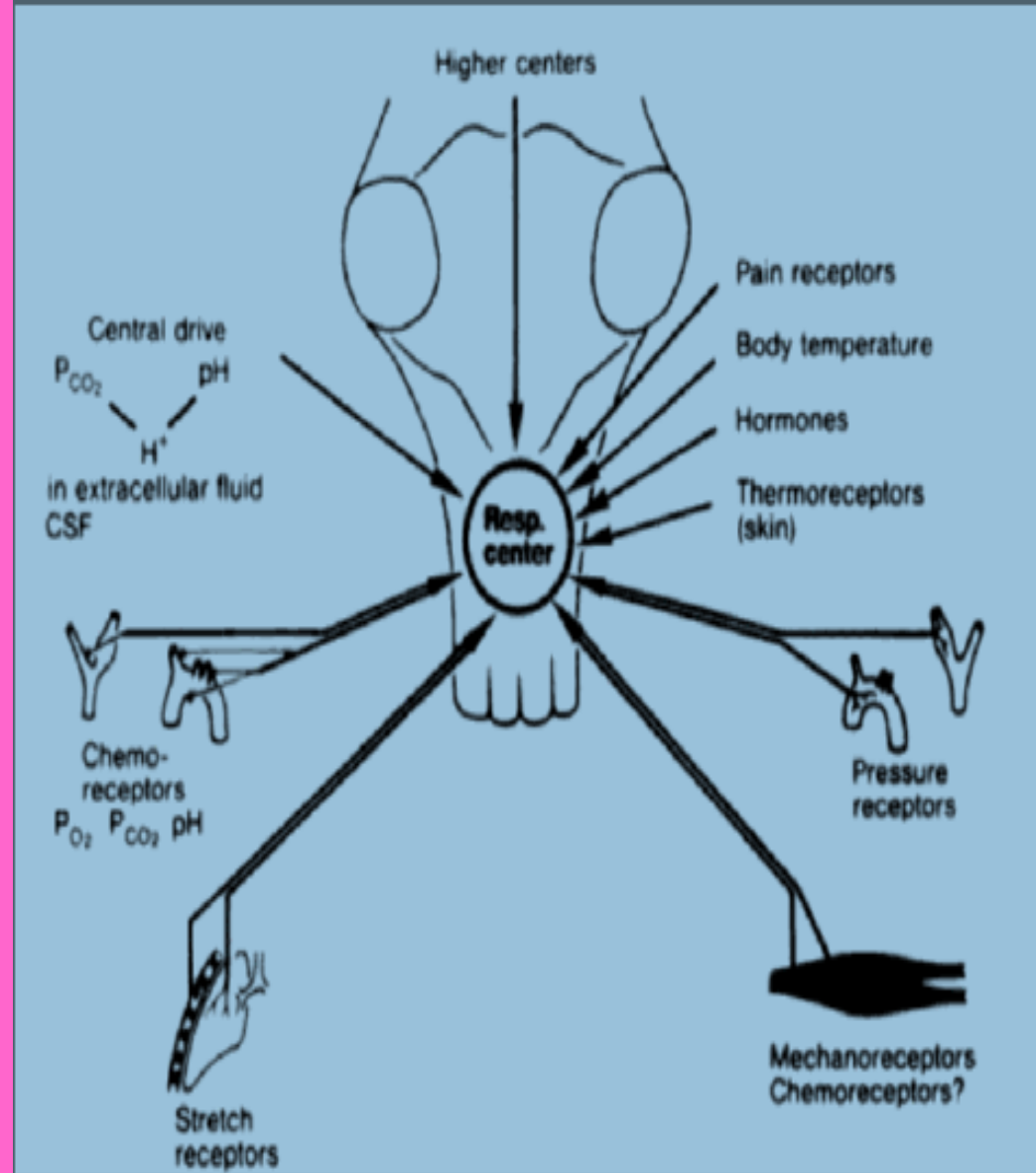
Oksijene bağlı ventilasyonun regülasyonu, özellikle pnömoni ve pulmoner ödem gibi durumlarda daha önemli olmaktadır (gazların solunum membranından kolaylıkla difüze olamaması). O_2 daha küçük difüzyon katsayısına sahip olduğu için azalmış difüzyon CO_2 'ye göre daha çok fark edilir. O_2 eksikliğinden kaynaklanan hiperventilasyon CO_2 konsantrasyonunda azalmaya sebep olmaktadır (CO_2 daha hızlı difüze olur) ve bu da H^+ oluşumunu azaltmaktadır. CO_2 ve H^+ konsantrasyonlarındaki bu değişiklik ventilasyon artışını stimüle etmede etkisizdir. O_2 eksikliği mekanizması (karotit ve aortik bölgelerden orjin alan) fonksiyonuna devam etmekte ve ventilasyon artışını sağlamaktadır.

SOLUNUMUN DÜZENLENMESİ

Frenleyici etki

H^+ ve CO_2 konsantrasyonunun azalması ve O_2 'in artması ventilasyonu azalttığı için **frenleyici etki** olarak adlandırılır.

O_2 'in frenleyici etkisinin önemsiz olduğu gösterilmiştir, fakat H^+ ve CO_2 'in ventilasyonu düşürmesi önemlidir. Çünkü her ikisi de vücut sıvılarının asit-baz dengesinin ayarlanmasında rol almaktadır. **H^+ ve CO_2 konsantrasyonunun kontrolsüz düşmesi alkalemi'yle sonuçlanacaktır.** H^+ ve CO_2 'in belli bir seviyeye gelmesi için birkaç dakika gereklidir ve o seviyede artık frenleyici etki de kalmayarak sonunda solunum yeniden başlayacaktır.



Pulmoner ventilasyonu etkileyen faktörler

SOLUNUM KLİRENSİ

- *Akciğerlerin iç kısım yüzey alanı vücut yüzey alanından yaklaşık 125 kat daha geniştir. Bu nedenle akciğerler birçok çevresel içeriğe maruz kalma açısından önemli bir yoldur. Bazı tarımsal kimyasallar önemli sağlık problemi oluşturabileceğinden inhalasyonun engellenmesi için koruyucu tedbirler geliştirilmiştir.*
- Akciğerlere inhale edilen yabancı partiküllerin taşınması **solunum klirensi** olarak adlandırılmaktadır. Partiküllerin inhale edilme derinliğine bağlı olarak **üst solunum yolu klirensi** ve **alveoler klirens** diye adlandırılan iki tipi vardır.
- *İnhale edilen partiküllerin solunum yolunun bir membranı üzerine yerleşmesi birikim olarak isimlendirilmektedir.*

SOLUNUM KLİRENSİ

Birikimin (Çökelpnenin) Fiziksel Kuvvetleri

- Birikim oluşumunu etkileyen fiziksel kuvvetler; **yerçekimi** (*gravity*), **atalet** (*inertia*) ve **brownian** hareketidir.
- **Gravitasyonal birikim** (sedimentasyon) basitçe yerçekimi kuvvetinden ve partikülün kütlesinden dolayı partiküllerin çökmesine (büyük kütleliler daha hızlı) neden olmaktadır.
- **Atalet**, partiküllerin birikiminden sorumludur çünkü kütlelerinden dolayı havada asılı olarak ileri doğru devam ettiklerinde partiküller dönme yapmaktadırlar ve bronşiyollerin dallanması düşünüldüğünde ataletle ilgili birikimin önemli bir zorunluluk olduğu görülür.
- **Brownian hareketi**, mikron altı partiküllerin birikiminden sorumludur ($0,3 \mu\text{m}$). Hava ile bu küçük moleküllerin çarpışması gelişigüzel hareketler göstermektedir. Brownian hareketi tarafından oluşturulan çökelpme, yüzey alanının hava yolu çapına göre daha geniş olduğu son derece küçük hava yolları için çok önemlidir.

SOLUNUM KLİRENSİ

Üst Solunum Yolu Klirensi

- Alveoler kanalın önünde biriken partiküllerin atılması, **hareketli müköz örtü** tarafından olmaktadır.
- Bu müsinli sıvı örtü hava yolları boyunca epitelyum hücrelerin yüzeyinde bulunmaktadır.
- Bu sıvı alveoler sıvıdan ve hava yolları boyunca müköz salgılayan hücrelerden köken almaktadır.
- Müköz örtü çökelmiş partiküller içerir ve epitel hücrelerin silialarınca yaklaşık 15 mm/dak hızla farenksten atılır.
- Memeliler müsinli sıvıyı ve partikülleri farenkse ulaştıklarında yutmaktadırlar.

Alveoler Klirens

- Partiküller, yerçekimi ve atalet kuvvetlerini atlatabilmektedirler ve alveollerde birikebilmektedirler. Bu partiküller genellikle 1 μm çapından daha küçüktürler.

SOLUNUM KLİRENSİ

Bu partiküller için alveoler klirens mekanizması şöyledir;

1.Alveollerde çökmelerinden sonra bir makrofaj tarafından fagosite edilebildiği gibi serbest partikül olarak kalmayı da sürdürebilirler. Toz yüklü makrofaj veya serbest partiküller alveoler sıvı tabaka ile hareketli müköz örtüye yönlendirilebilirler.

2.Partiküller alveollerin interstisyel alanlarına girebilirler ve akciğer lenf nodüllerine taşınabilirler.

3.Partiküller çözünebilir ve lenf veya kan sıvısına taşınabilirler.

4.Bazı partiküller fagosite edilemez veya çözünemez karakterde olabilir. Bunun yerine lokal bağ doku reaksiyonunu stimüle edebilir ve akciğerde izole halde kalabilir. Bu duruma **asbestozis** ve **slikozis** örnek verilebilir. Büyük ölçüde endüstriyel alanlarda yaşayan köpek ve kediler kömür tozu inhalasyonunun sebep olduğu **antrakoz** (anthracosis) belirtileri göstermektedir. *Çiftlik hayvanları besinsel tozlar ve diğer ilgili kaynaklardan gelen aerosollere maruz kalır ve bunlar virüsler ve bakterilerle kombine olabilirler. Atılmaları hast. önlemek için yararlıdır (aynı şekilde irritan maddelerin atılması).*

SOLUNUM SİSTEMİNİN DİĞER FONKSİYONLARI

Panting (Köpek Soluması)

En iyi köpeklerde tanımlanmış olmakla birlikte hayvanlar arasında çokça rastlanmaktadır.

Köpeklerin solunum merkezi sadece alışılmış uyarılara değil aynı zamanda vücut ısısına da cevap vermektedir. Köpek vücudu alveoler ventilasyonu ayarlayarak metabolik ihtiyaçlara, ölü aralık ventilasyonunu ayarlayarak da ısı dağılımına izin vermektedir. Panting, ölü aralık ventilasyonunun artmasına sebep olmaktadır ve durum da ilgili bölgedeki mukoz membranlardan suyun evaporasyonunu sağlayarak vücudun serinlemesine neden olmaktadır.

SOLUNUM SİSTEMİNİN DİĞER FONKSİYONLARI

Panting üç şekilde gerçekleşmektedir.

1.Burun ile inhalasyon ve ekshalasyon (en az seviyede serinleme olur, çünkü inhalasyon esnasında havaya ilave edilen ısı ve su kısmen nefes verme sırasında yeniden kazanılmaktadır),

2.Burun ile inhalasyon, burun ve ağız ile ekshalasyon (etkili olan şekildir, çünkü ağız ile karşılaştırıldığında buruna giren hava daha geniş bir yüzey alanına maruz bırakılmaktadır. Önemli derecede alınan ısı ağız aracılığıyla nefes vermeyle atılmaktadır),

3.Burun ve ağız ile inhalasyon, burun ve ağız ile ekshalasyon (egzersiz esnasında ağız ve burun ile nefes alma, ihtiyaç duyulduğu gibi daha büyük tidal volüm oluşturacaktır. Gerek ağız gerekse burun ile verilen havanın rölatif miktarını değiştirmenin avantajı vardır, böylece köpek panting'e bağlı tidal volüm miktarını ve frekansı değiştirmeksizin kaybedilen ısı miktarını düzenleyebilmekte böylece enerji korunmakta (300 hızlı soluma/dak.) tidal volümü sürekli muhafaza ederek alkalemi önlenmektedir.)

SOLUNUM SİSTEMİNİN DİĞER FONKSİYONLARI

***Purring* (Kedi mırıldaması, hırıltılı solunum)**

- Kedigillerin bazı üyelerinde belirtilmektedir ve çoğu evcil kedilerde işitilebilir düzeyde ve nettir.
- Kedilerdeki çalışmalar *purring*'in; hem inspirasyon hem de ekspirasyon esnasında diyaframın ve intrinsik laringeal kasların saniyede 25 kez oluşan sıklıkta düzenli ve ardışık aktivasyonu sonucu şekillendiğini göstermektedir.
- Laringeal kasların kontraksiyonu ses tellerinin yaklaşmasına sebep olur. Daha sonra diyafram kontraksiyon yaparken ise laringeal kaslar gevşerler. Diyaframın kontraksiyonu hava girişiyle sonuçlanmaktadır. Bu arada ses telleri titreşmekte ve onlar açılırken hırlama sesi oluşmaktadır.
- **Kedilerde mırıldama;** hoşnut iken, hastalandıklarında ve uykudayken olmaktadır. *Purring*, inspirasyon ve ekspirasyonun aralıklı olmasından dolayı yüzeysel solunum periyodu esnasında daha etkili ventilasyon sağlayabilmektedir.

TANIMLAYICI TERİMLER VE PATOLOJİK DURUMLAR

Hipoksi (Anoksi): Hava, kan ve dokulardaki oksijen yetersizliğine (PO_2 'nin normalin altına düşmesi) denir. Tipleri;

- 1. Hipoksik Hipoksi:** Arteriyel kandaki PO_2 düzeyinin azalmasıdır. Yüksek irtifalarda, hipoventilasyonda, alveoler zarın kalınlaşması, difüzyonun azalması, ventilasyon-perfüzyon eşitsizlikleri nedeniyle oluşur.
- 2. Anemik Hipoksi:** Arteriyel PO_2 normaldir. Ama anemi nedeniyle dokulara yeterli O_2 taşınamaz. CO zehirlenmesi de bu tarz bir hipoksi oluşturur.
- 3. İskemik (stagnant) Hipoksi:** Kan akımının azalması sonucu oluşur.
- 4. Histotoksik Hipoksi:** Dokulara yeterli oksijen ulaşır. Ancak siyanür zehirlenmesinde olduğu gibi hücrelerin O_2 'i kullanamaması söz konusudur.

TANIMLAYICI TERİMLER VE PATOLOJİK DURUMLAR

- **Hiperkapni ve Hipokapni:** Arteriyel kanda sırasıyla $P_a\text{CO}_2$ 'deki artmayı ve azalmayı ifade ederler; sırasıyla hipoventilasyon ve hiperventilasyonun göstergesidirler.
- **Asfeksi:** Hiperkapni ile kombine bir hipoksi durumudur (hiperkapni ve hipoksi ayrı ayrı meydana gelebilir fakat sadece kombinasyon asfeksi ile sonuçlanmaktadır). Kapalı bir boşluğa soluma buna iyi bir örnektir ve genellikle boğulma (*suffocation*) ile sonuçlanır.

TANIMLAYICI TERİMLER VE PATOLOJİK DURUMLAR

- **Siyanoz:** Deri ve müköz membranların mavimtrak ya da mor renge bürünmesidir. Rengin yoğunluğu hemoglobinin deoksijenizasyon (*artan HHb*) derecesinin bir sonucudur. Sistemik olarak gözleendiğinde, kanın yetersiz oksijenizasyonu ile ilgilidir. Lokal olarak ise muhtemelen kan akım bozukluğundan kaynaklanmaktadır.



TANIMLAYICI TERİMLER VE PATOLOJİK DURUMLAR

Atelektazi: Alveollerin açılma ya da açık kalma yeteneğinin yitilmesidir ve genellikle akciğerde bir ya da daha fazla nispeten küçük bölgeleri içine alır.

Yaygın sebebi;

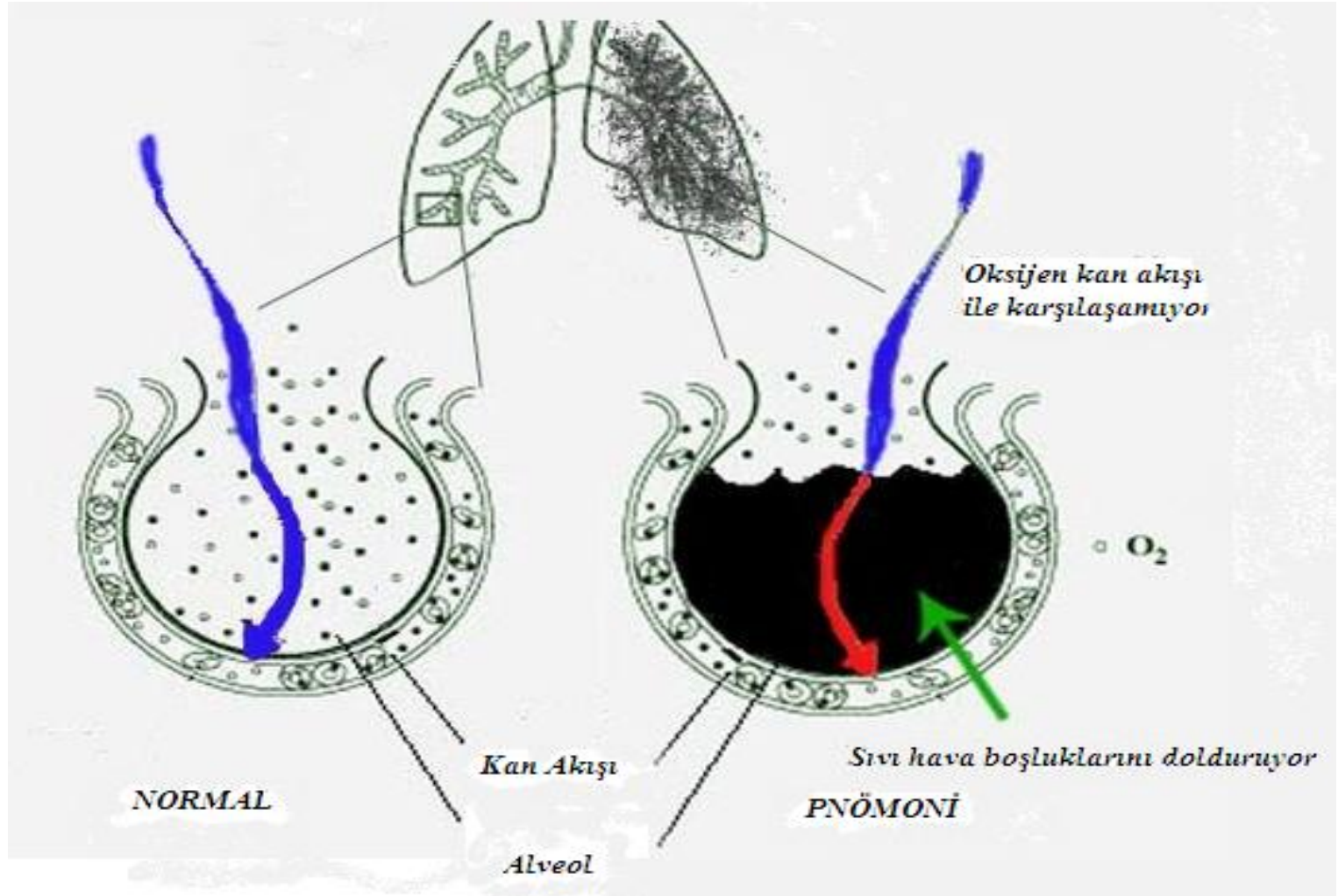
- **Bölgeye gelen bronş ya da bronşiollerin tıkanmasıdır.** Bu çoğunlukla mukus plaklarından ya da irinli eksudattan kaynaklanır. Bronş kapandığında, alveol havası absorbe edilir ve havasız kalan alveol çevredeki basınçlardan dolayı kollabe olur.
- **Ayrıca yüksek oksijenli gaz karışımlarını solumak,** alveolleri gergin tutan azot miktarını düşüreceğinden ya da ortadan kaldıracığından alveoller atelektaziye uğrar.
- **Sürfektan eksikliğinden** de kaynaklanabilmektedir.

TANIMLAYICI TERİMLER VE PATOLOJİK DURUMLAR

- **Amfizem:** *Alveoler membranların yıkımı meydana geldiğinde görülen bir durumdur ve gaz difüzyon alanlarının azalmasıyla sonuçlanmaktadır.* Sık sık diğer durumlarla birleşmektedir; öyle ki, kronik bronşitte olduğu gibi alveollerin içindeki pozitif basıncın artması.
- **Pnömoni:** *Sıvı ve hücre kırıntısıyla alveollerin dolduğu akciğerlerin yangısal bir durumudur.* İlk aşamada, kapillerler kan ile dolarak genişler ve alveoller seröz bir sıvı ile dolar. Seröz sıvı **alyuvarlar, akyuvarlar ve fibrin ile karışmış haldedir.** **En son aşamada,** *çözülme, alveoler döküntünün erimesi, ortadan kaldırılması ve alveoler epitelin rejenerasyonunu içeren bir dizi işlemleri gerektirir.*

TANIMLAYICI TERİMLER VE PATOLOJİK DURUMLAR

- **Pnömoni:** Sıvı ve hücre kırıntısıyla alveollerin dolduğu akciğerlerin yangısal bir durumudur.



TANIMLAYICI TERİMLER VE PATOLOJİK DURUMLAR

Dekompresyon Hastalığı: Yüksek basınç altında vücut sıvılarında erimiş halde bulunan gazların (özellikle nitrojen), dış ortam basıncının hızla azalması sonucu kanda ve dokularda gaz habbecikleri haline geçmesi durumudur.



TANIMLAYICI TERİMLER VE PATOLOJİK DURUMLAR

Astım: *Solunumu çok zorlaştıran ve bronchiollerde şekillenen bir durumdur.* Genelde bronchiollerin havadaki yabancı maddelere aşırı duyarlılığı söz konusudur. Bronchiollerin çapı normalde inspirasyon ve ekspirasyonda aynı iken, astımda ekspirasyonda daha küçük olur. Bunun nedeni alerji sonrasında ödem ve mukusun birikmesidir.

Uyaranlar
havayollarını saran
kasların kasılmasına,
salgı bezlerinin aşırı
salgı yapmasına ve
sonuçta da
havayollarının
daralmasına neden olur



KANATLI SOLUNUMU

- Kuşların akciğerleri özellikle iyi uçucularda mükemmel bir solunum organı olarak görev yapar.
- Kuşların solunum sistemi memeli hayvanların yaşayamayacağı kadar yükseklerde oksijen ihtiyacını karşılar.
- Akciğerler küçüktür ve memelilerde olduğu gibi serbest bir şekilde göğüs boşluğunda durmazlar. Gövde boşluğunun duvarlarına yapışık ve omurganın yanlarında, kaburganın ara boşluklarına gömülmüş halde bulunurlar.

KANATLI SOLUNUMU

- Kısa olan bronşlar birçok kollara ayrılırlar.
- Bu kollardan yer yer birbirleri ile birleşen borular çıkar ve bunlar kılcal kan damarları ile dolandır.
- Kanatlı hayvanlarda akciğerlerde rezidüel volüm olmadığından tek bir hava hacmi vardır.
- Küçük kuşlar daha hızlı solunum oranına sahiptir.
- Uçuş esnasında, solunum oranı 12-20 kez artırılır.

KANATLI SOLUNUMU

- Bir kuşun soluk alışı ve havanın akciğerden atılışı diyafram aracılığıyla olmaz.
KUŞLARDA DİYAFRAM YOKTUR!
- Bunun yerine bazı kuşlarda bağ dokudan yapılmış ince bir membran bulunur ve bu da vücut duvarına bağlanmıştır.
- **Kuşlarda solunum**; vücut boşluğunun büyüklüğünü artıran yada azaltan göğüs kafesinin kas kontraksiyonları ile kontrol edilir.

KANATLI SOLUNUMU

- Kuşlar aktif halde değilken solunum, göğüs kafesinin kaldırılıp indirilmesiyle yada omurganın kaldırılıp indirilmesiyle gerçekleştirilir
- Aktif uçuş esnasında ise göğüs kafesinin bu hareketi büyük ölçüde sınırlandığından gaz değişimi oranının artırılması için hava keseleri geliştirilmiştir.
- Akciğerin bronşiyal borularından birçok hava kesesi çıkmaktadır.
- Bunlar; boyun, göğüs ve karın kısımlarına doğru uzanır

- Peki eriřkin bir kanatlı hayvanda bulunan toplam 9 adet hava kesesinin görevi nedir?



KANATLI SOLUNUMU

Hava keselerini fonksiyonel olarak iki alt bölüme ayırabiliriz:

1. **Ön (anterior) hava keseleri**

2. **Arka (posterior) hava keseleri**

- Ön ve arka keseler direk olarak ana bronşlara bağlanırlar. Küçük olanlar ise direk olarak akciğere açılırlar.
- Hava keseleri kemik boşlukları ile de bağlantı halindedir.
- Hava deposu olarak görev yaparlar
- Gövde, kanat ve ayak hareketlerinde genişleyip daralarak havanın ventilasyonunu sağlarlar.
- Ön keselerinde CO_2 'den zengin hava bulunurken arka hava keselerin de O_2 'den zengin hava bulunur.
- **HAVA KESELERİNDE HAVA DEĞİŞİMİ OLMAZ!**

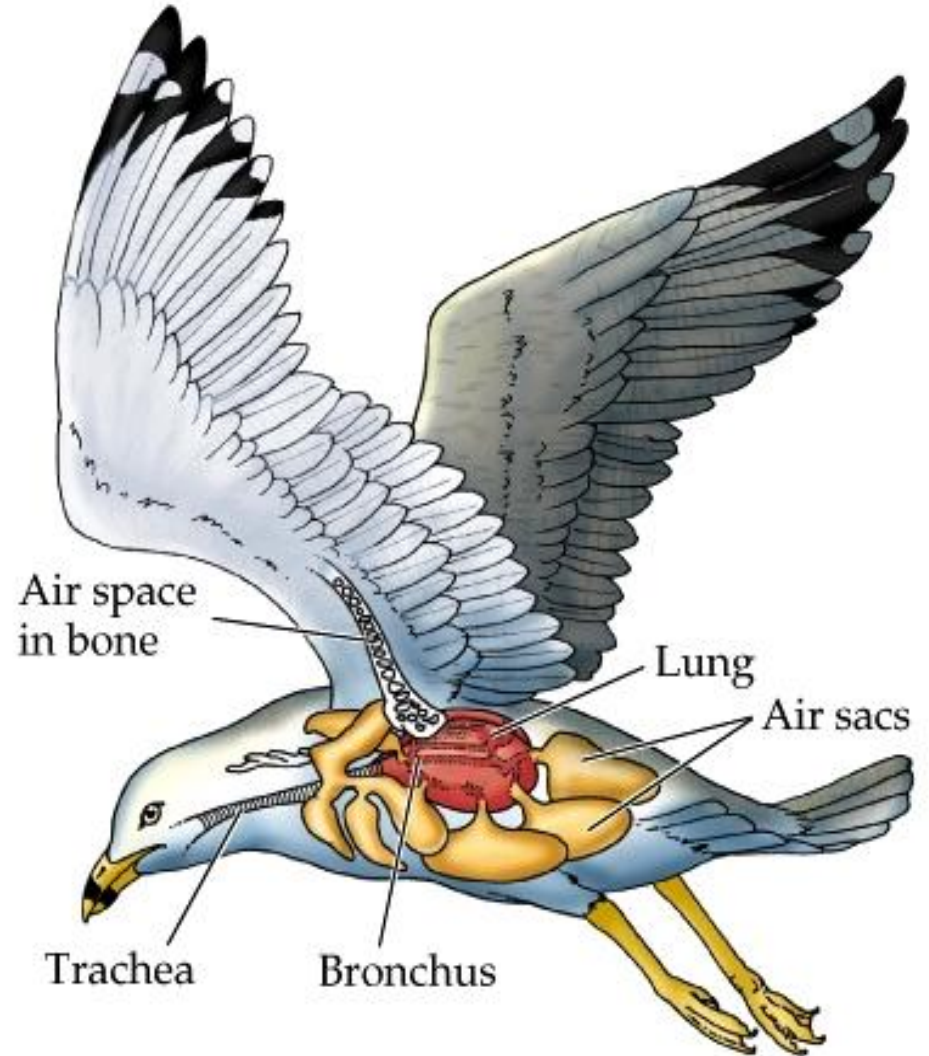
KANATLI SOLUNUMU

Hava gaganın
zerinde
bulunan iki
delikten
vücuda alınır.



KANATLI SOLUNUMU

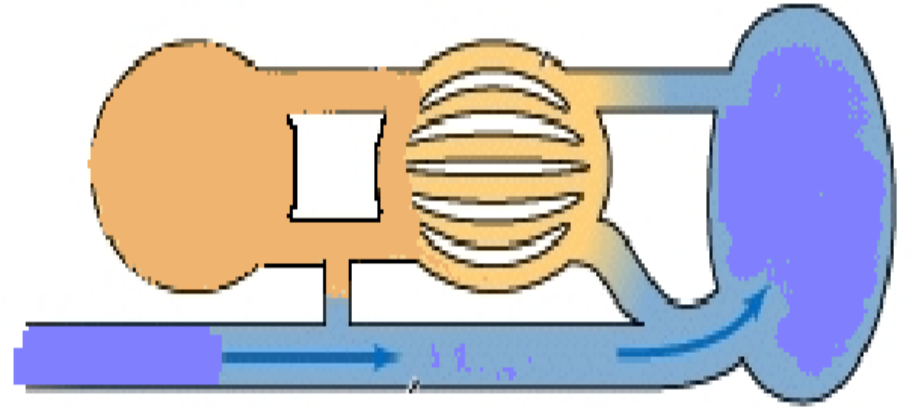
- Hava burundan doğrudan trachea'ya geçirilir. Buradan bronş ve hava keselerine doğru yolculuk eder.
- Dışarıya atılacak hava posterior hava keselerinden akciğerlere ulaştırılır. Burada oksijen karbondioksit alışverişi gerçekleştirilir.



KANATLI SOLUNUMU

Ağızdan tekrar hava içeriye alınır ve bir önceki hava akciğerlere geçirilmiş havayı anterior hava keselerine doğru ittirir.

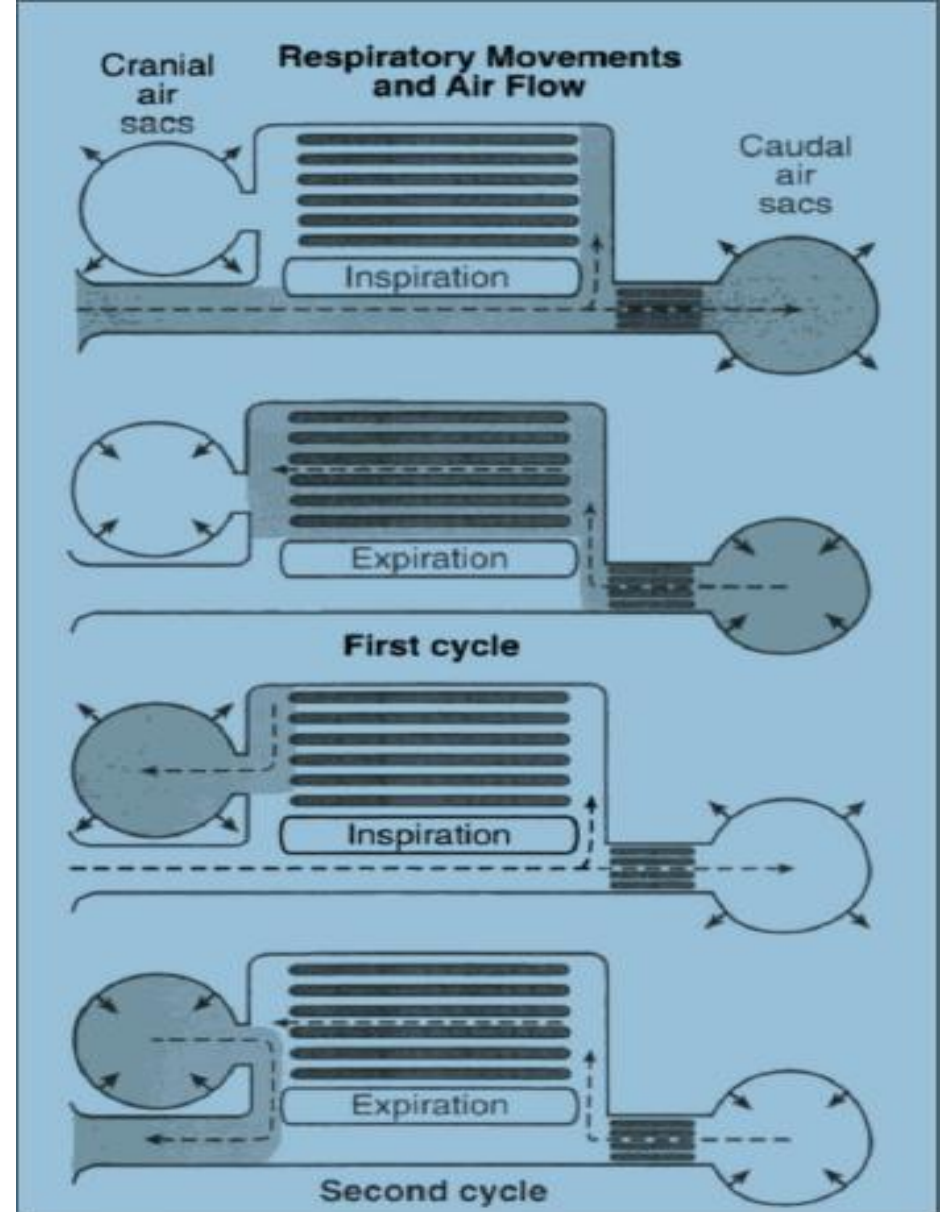
En son olarak da anterior hava keselerindeki hava dışarı atılır.



KANATLI SOLUNUMU

Kuşlarda inspirasyon ve ekspirasyon ile ilgili hava akım yolu.

- Havanın bir nefesi (karanlık alan) iki solunum siklusuyla tamamlanmaktadır.
- Parabronşiyel örtü (zar) hem inspirasyon hem de ekspirasyon sırasında hava ile temas etmektedir.
- Kaudal hava keselerine gelen hava neopulmonik örtüyü havalandırmaktadır.
- Kraniyal hava kesesi inspirasyonda genişlediğinde parabronşsal örtü boyunca geçen hava tarafından doldurulur.
- Kraniyal hava kesesi havası daha sonra parabronşiyel örtüyü havalandırmaksızın ekspirasyon esnasında dışarı yönelir.



Kaynaklar

- Dukes Veteriner Fizyoloji, Çeviri editörü: Sedat Yıldız, Türkçe birinci baskı, Nisan 2008.
- Evcil Hayvanların Fonksiyonel Anatomisi ve Fizyolojisi, Çeviri Editörleri: Ülker Çötelioglu ve Mukaddes Özcan, 4. basımdan çeviri, 2012.
- Fizyoloji, Ahmet Noyan, 9. baskı, 1996.
- Guyton Tıbbi Fizyoloji, Çevirmen: Berrak Çağlayan Yeğen, İnci Alican, Zeynep Solakoğlu, 12. baskı, 2013.
- Vander İnsan Fizyolojisi Vücut Fonksiyon Mekanizmaları, Çeviren: Tuncay Özgünen, 13. baskı, 2014.