

Kanatlılarda Solunum

Prof. Dr. Hakan Öztürk



Solunum

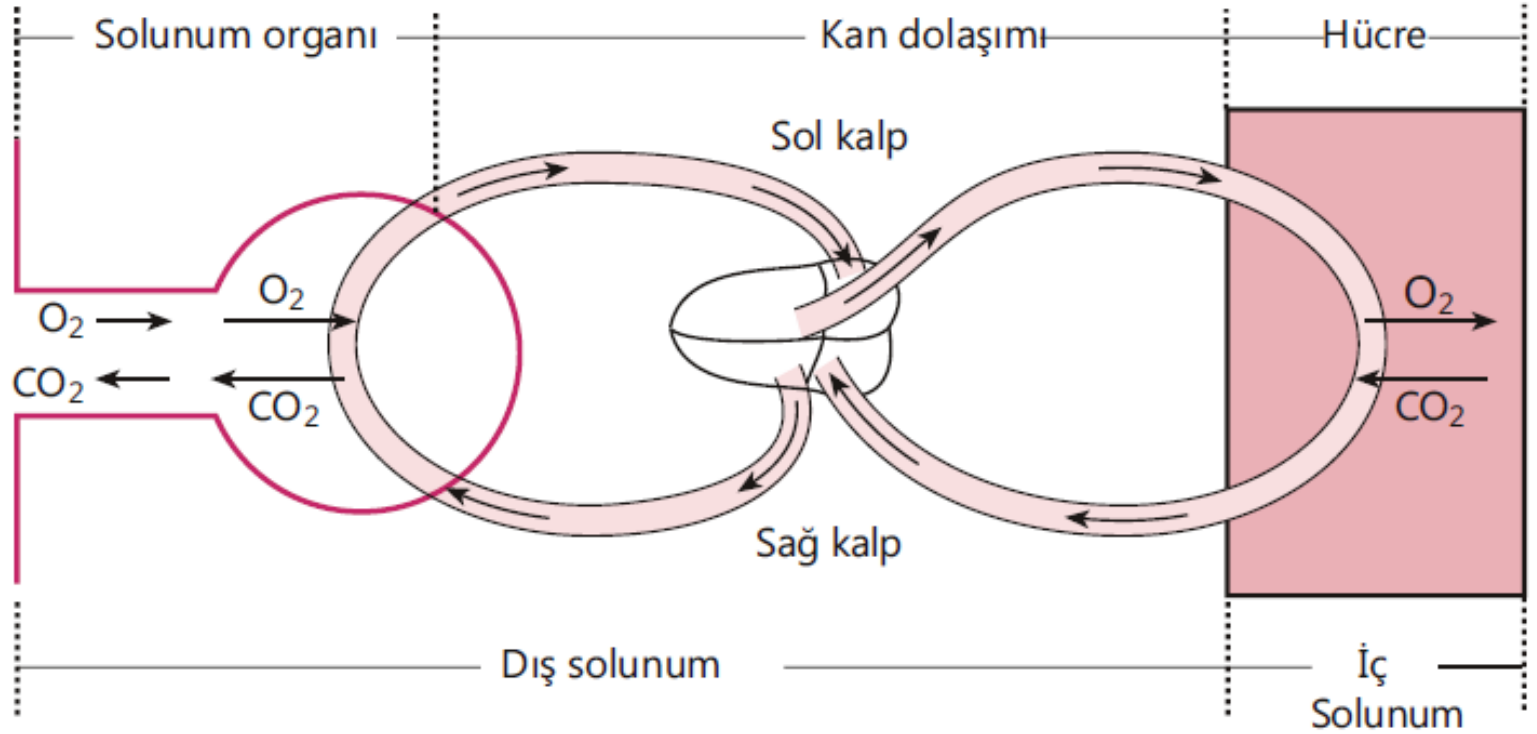
Solunum, oksijenin hayvanları çevreleyen ortamdan (hava veya su) doku hücrelerinin mitokondrilere getirilmesi ve tersine mitokondride oluşan CO_2 'nin çevreye verilmesi için gerekli tüm süreçleri ifade eder.

Memelilerde bu süreç şu olayları içerir:

- > Akciğer alveollerine konveksiyon ile havayı getiren bronşiyal sistem,
- > O_2 'nin alveollerden pulmoner kapiller kan içine difüzyon ile geçmesi,
- > O_2 'nin kullanılacağı organlara kadar kan dolaşımında konvektif olarak taşınması,
- > O_2 'nin dokudaki kılcal kan damarlarından hücre içindeki mitokondrilere kadar difüzyonu.
- > CO_2 'nin aynı süreçlerle tersi yönde dışarı verilmesi.

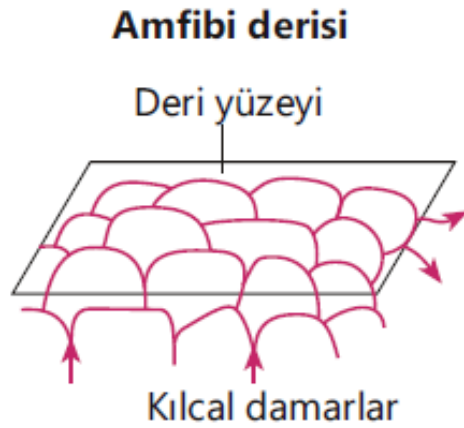
Akciğerlerin yerini balıklarda solungaçlar, amfibilerde ise bir dereceye kadar deri almıştır.

Solunum

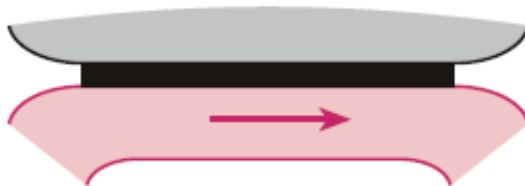


Dış solunum, birinci konveksiyon basamağı (solunum gazlarının solunum yolu boyunca konvektif taşınması), bir difüzyon basamağı (solunum gazlarının bir zar üzerinden hava (balıklarda su) ile kan arasında difüzyonu) ve ikinci konveksiyon basamağı (O_2 ve CO_2 'nin solunum organından kan yoluyla O_2 tüketen dokulara veya tam tersi yönde konvektif taşınması) aşamalarını içerir. İç solunum (doku solunumu) ise ikinci bir difüzyon basamağı (doku kılcal damarları ile doku hücrelerinin mitokondrileri arasında solunum gazlarının difüzyonu) ve burada gerçekleşen O_2 tüketen süreçleri içerir. İki difüzyon basamağı da O_2 ve CO_2 için sadece fiziksel olarak çözülmüş gazlar şeklinde gerçekleşirken, kandaki taşıma esas olarak kimyasal olarak bağlı gazlar şeklinde olur.

Solunum



"Açık"



Omurgalı hayvanlarda **dört tip gaz değişim organı** görülebilir:

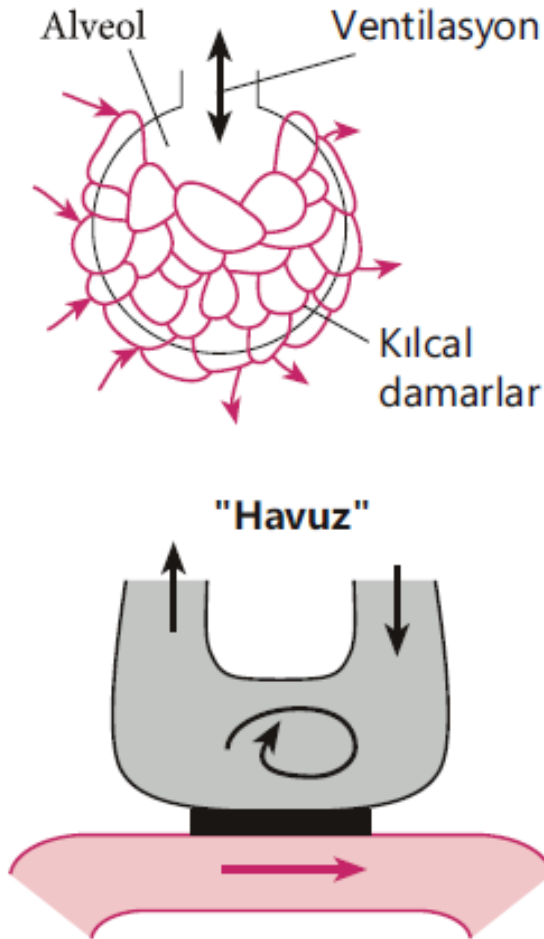
1. **Deri üzerinden gaz değişimi**

amfibilerde önemlidir. Burada oksijen ve karbondioksit gazları derinin kılcal damarları ile ortam havası arasında değiştirilir (**açık sistem**, çünkü çevredeki hava sahası neredeyse sınırsızdır).

Siyah oklar O_2 'i sağlayan su veya hava gibi medyumların akış yönünü, kırmızı oklar ise O_2 'nin geçtiği kılcal damardaki kan akışının yönünü göstermektedir. "Açık sistemde" deri solunumu oldukça verimsizdir, çünkü derinin kalınlığından dolayı kılcal damarlar ve ortam havası arasındaki difüzyon direnci çok yüksektir.

Solunum

Memeli akciğeri

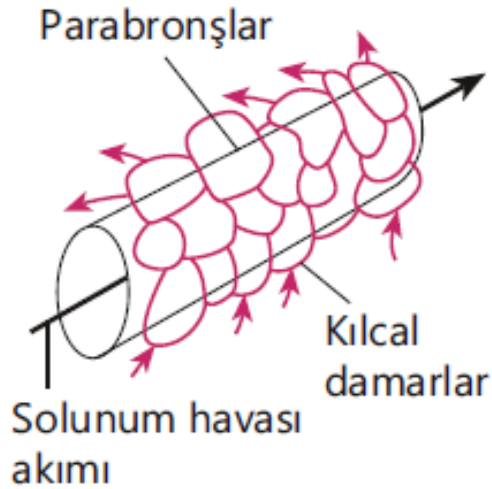


2. Memeli akciğerinde gaz değişimi.

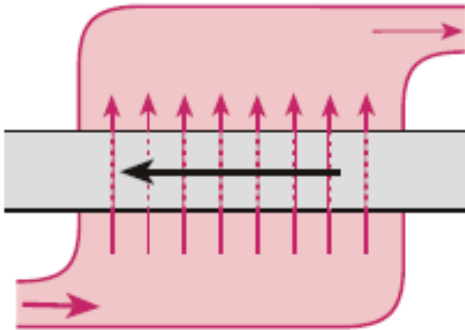
Burada gaz değişimi akciğer alveollerinin kapiller damarları ile alveoler boşluk arasında gerçekteşir (havuz sistemi, çünkü alveoller içinde büyük, ancak gene de sınırlı bir oksijen kaynağı bulunmaktadır).

Solunum

Kuş akciğeri



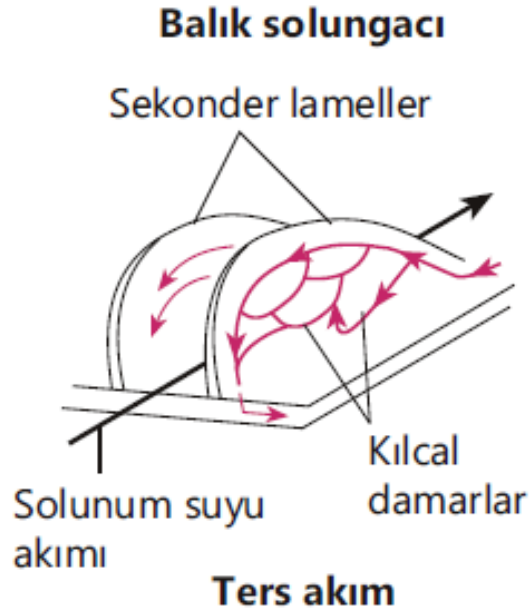
Çapraz akım



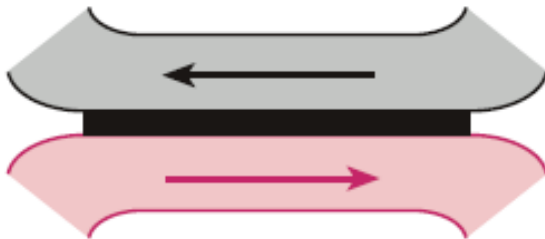
3. Kuş akciğerinde gaz değişimi.

Gaz değişimi kapiller damarlar ile içinden gaz akan parabronşlar arasında gerçekleşir, burada iki akım yönü birbirine diktir (çapraz akım).

Solunum



4. **Balık solungaçlarında** gaz değişimi. Balıklarda O_2 ve CO_2 değişimi, balık solungaçlarının sekonder lamellerinin kılcal damarları ile sekonder lameller arasından akan su arasında gerçekleşir. Kan ve suyun akışı birbirine ters yöndedir (**ters akım sistemi**).



Solunum



Solunum

- Kuşlar solunum sistemlerini sadece gaz değişimi için değil, aynı zamanda ses çıkarma ve vücut ısını düzenleme (termoregülasyon) için de kullanırlar. Kuşların solunum sistemi benzersizdir; çünkü akciğerleri küçüktür, solunum sırasında hacimlerinde çok az değişiklik olur ve solunuma katılmayan, ancak körük görevi gören hava keseleri bulunur. Ventilasyon (havalandırma) ve gaz değişiminin bu şekilde ayrılması, toplam gaz değişim yüzey alanını artırmaya yardımcı olur.
- Körük sistemi, memelilerdeki "içeri-dışarı" şeklindeki gelgit akışının aksine, sürekli gaz akışına olanak tanır. Bunun sonucunda kuşlar, on kata kadar daha fazla oksijen emebilirler. Kuşlarda diyafram bulunmaz, onun yerine yatay bir bölme (septum) akciğerleri iç organlardan ayırır. Bu bölme, solunumda aktif bir rol oynamaz, ancak solunum sırasında iç organların yer değiştirmesine pasif olarak yardımcı olur.

Solunum

➤ Kuşlar, burunlarından veya ağızlarından nefes alabilirler. Burun boşluğu yanlardan sıkışmıştır ve ortadan çok ince bir bölme ile ikiye ayrılır. Burun delikleri veya "nares", gaganın tabanının yan taraflarında bulunur ve papağangiller (psittasinler) gibi türlerde kalın bir cere ile çevrelenmiştir. Birçok türde ayrıca, her bir burun deliğinin merkezinde, yabancı cisimlerin solunmasını önleyen bir engel görevi gören operculum adı verilen sert, keratinleşmiş bir yapı bulunur. Hava, bu burun deliklerinden burun boşluğunun konkalarına girer, yarık benzeri choana'dan ve orofarenksin üzerinden gırtlığa (glottis) doğru geçer.



Solunum

Bazı kuşlar, örneğin sümsük kuşları ve maskeli sümsükler, dış burun deliklerine sahip değildir. Bunun yerine, üst ve alt gaganın uç kısmı arasında yer alan dar bir aralıktan nefes alırlar. Bu adaptasyon, yüksek hızla suya dalarken burun deliklerinden suyun içeri girmesini önleyerek dalışlarını kolaylaştırır.



Solunum

Nebülizasyon, hasta kuşların yeniden sıvı kazanmasında mükemmel bir yöntemdir ve solunum problemlerine bağlı buharlaşma yoluyla oluşan su kaybını telafi etmeye yardımcı olur. Bu yöntem, özellikle solunum yolu enfeksiyonları veya hava kesesi hastalıkları gibi durumlarda hem nemlendirme sağlar hem de ilaçların doğrudan solunum sistemine ulaşmasını kolaylaştırır.

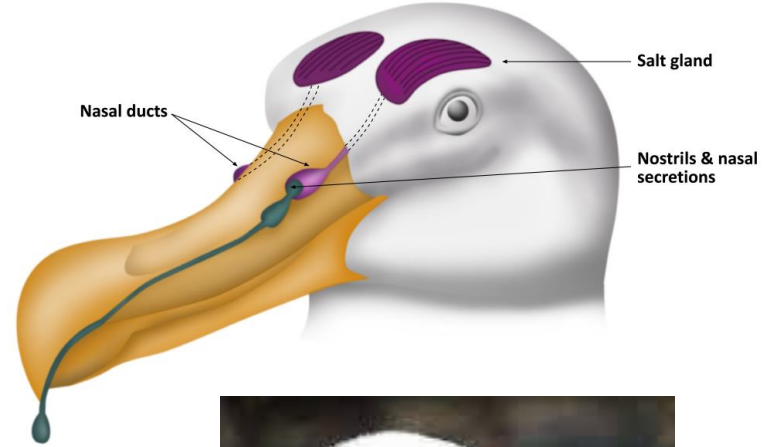


Solunum

- Konka adı verilen yapılar, burun boşluğunda yer alan, yüksek derecede damarlanmış epitel kıvrımlarıdır ve havanın geçtiği yüzey alanını artırarak filtrasyon ve ısıtma işlemlerini mümkün kılar. Rostral (ön), orta ve kaudal (arka) olmak üzere üç bölüme ayrılırlar ve koku alma, filtreleme ve ısı düzenlemesi gibi işlevlerde önemli rol oynarlar.
- Kaudal konkadaki olfaktör epitel, koku parçacıklarını algılar; silli epitel yabancı parçacıkları süzer; goblet hücreleri tarafından salgılanan mukus ise bu parçacıkları orofarinkse doğru taşır. Burun boşluğuna giren havayı ısıtıp soğutarak su ve ısı kaybını kontrol eden geniş bir damar ağı olan rete mirabile, özellikle çöl kuşları ve göçmen kuşlar için aşırı su kaybını önlemede hayati önem taşır.

Solunum

Nazal bezler (Tuz bezleri): Nazal ya da tuz bezleri, göz çukurunun hemen dorsalinde (üstünde) yer alır ve rostral konka seviyesinden burun boşluğuna açılır. Bu noktadan itibaren salgılanan tuzlu sıvı burun deliklerinden hapşırılarak dışarı atılır. Bez, deniz kuşlarının deniz suyu içebilmesini sağlayan hipertonic bir çözeltinin salgılanmasından sorumludur. Böbreğe benzer şekilde çalışır ve ters akım kan dolaşımı sayesinde kandaki sodyum iyonlarını uzaklaştırır.



Solunum

Gırtlak açıklığı (veya rima glottis) yarık şeklindedir ve memelilerdekinin aksine bir epiglotis ile kaplı değildir. Genellikle dilin arkasında bulunur ancak papağanlarda etli dil tarafından sık sık gizlenir. Yumuşak damak yoktur, ancak rima glottis, yiyecek materyalinin solunum yoluna kaçmasını önleyen bir genişletici ve bir daraltıcı kas ile hava geçişini düzenler. Larinks, ses üretiminde rol oynamaz.



Solunum

➤ Uzun trakea nedeniyle oluşan hava direncini azaltmak için kuşlar, aynı boyuttaki memelilere göre daha geniş çapa sahip bir trakeaya sahiptir. Trakesi kıvrımlı ve daha uzun olan kuşlar da toplam hacmi artırmak için daha geniş çaplı trekeye sahiptir. Ancak bu durum, kuşların memelilere göre 4,5 kat daha fazla ölü boşluğa sahip olmasına neden olur. Bunu telafi etmek için kuşlar daha fazla soluk hacmine ve (boyutlarına göre) daha yavaş ve derin bir solunum hızına sahiptir. Örneğin, 100 gramlık bir memelinin dinlenme halindeki solunum hızı dakikada 100 nefes iken, aynı büyüklükteki bir kuşta bu oran dakikada 30'dur. Kuğu gibi uzun boyunlu kuşlar dakikada 10 nefes kadar yavaş solunum yaparken, devekuşu tüm kuşlar arasında dakikada 3 ila 5 nefes ile en yavaş solunum oranına sahiptir.

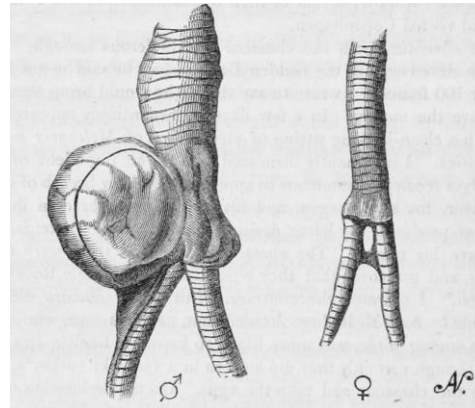
Solunum

- Papağanlarda, burun boşluğu, infraorbital boşluk, kafatası ve hava keseleri arasındaki serbest iletişim, sinüs enfeksiyonlarının tedavisini ve drenajını oldukça zorlaştırır. Genellikle enfeksiyon, infraorbital sinüsün derisinin ve deri altı dokularının hemen altında, yüzeysel olarak gözün ön ve alt kısmındaki şişlikler ile kendini belli eder.



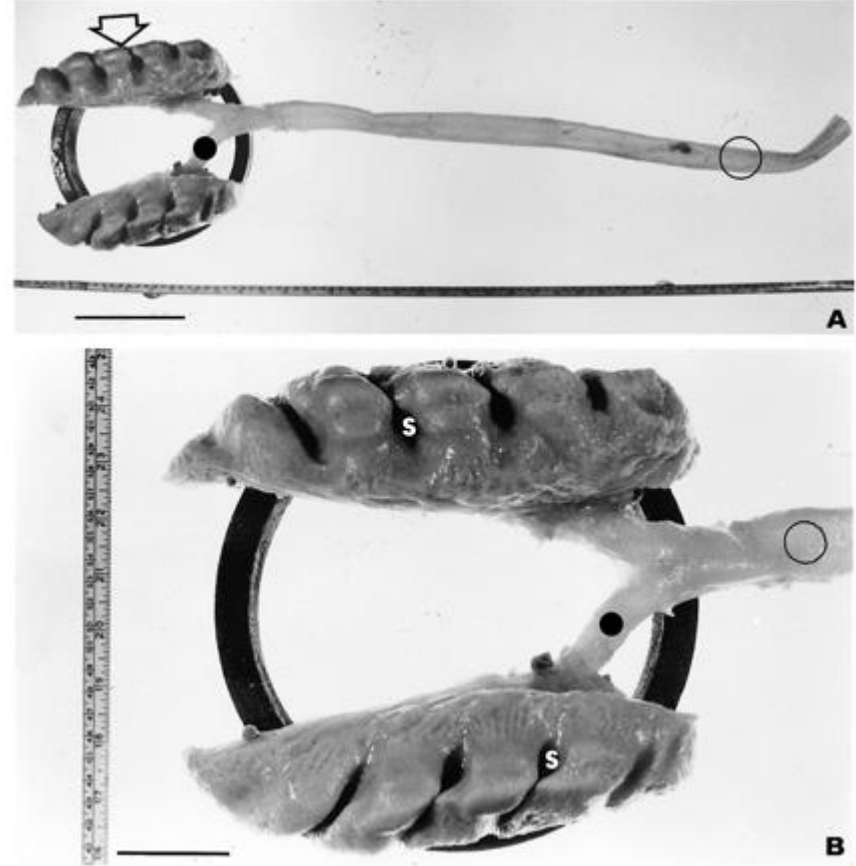
Solunum

- Trake, syrinks bölgesinde daraldığı için burası tohumlar veya mantar granülomları gibi yabancı cisimlerin sıkça tıkanıklığa neden olduğu bir bölgedir. Ses değişiklikleri gösteren kuşlarda syrinks endoskopik olarak incelenmelidir. Ses değişikliklerinin diğer yaygın nedenleri arasında syrinks üzerine baskı yapan guatr veya çevredeki interklavikular hava kesesinin hasarı yer alabilir.
- Erkek ördeklerde, sese rezonans kazandırmak amacıyla trakeal syrinks kemiksi bir bulla (osseous bulla) şeklindedir. Bu yapı, ventrodorsal görüntülemelerde torasik girişin sol tarafında radyografik olarak görülebilir ve monomorfik türlerde cinsiyet ayrımı için kullanılabilir.



Akciğerler

- ✓ Kuşların akciğerleri özellikle iyi uçucularda mükemmel bir solunum organı olarak görev yapar.
- ✓ Akciğerler küçüktür ve memelilerde olduğu gibi serbest bir şekilde göğüs boşluğunda durmazlar.
- ✓ Gövde boşluğunun duvarlarına yapışık ve omurganın yanlarında, kaburgaların ara boşluklarına gömülmüş halde bulunurlar.

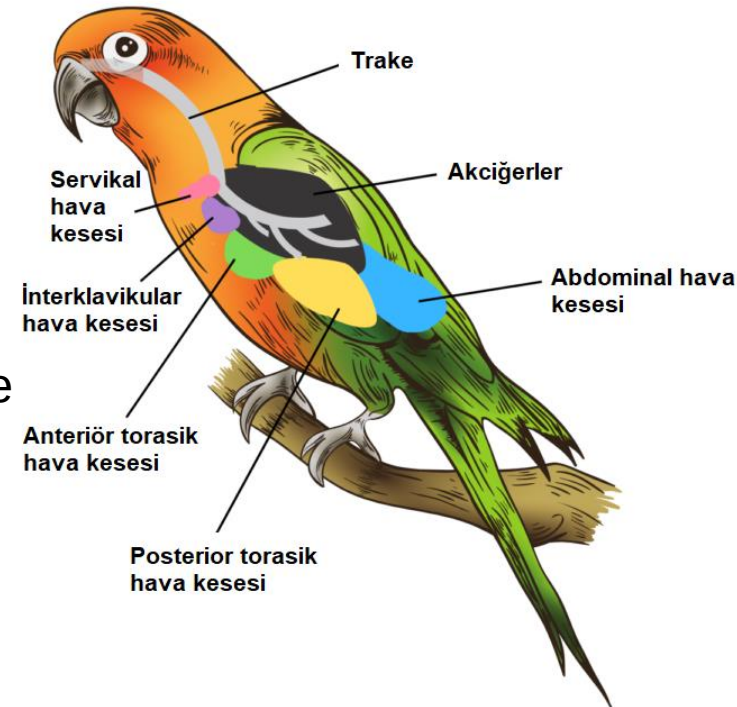


(Maina and Nathaniel 2001)

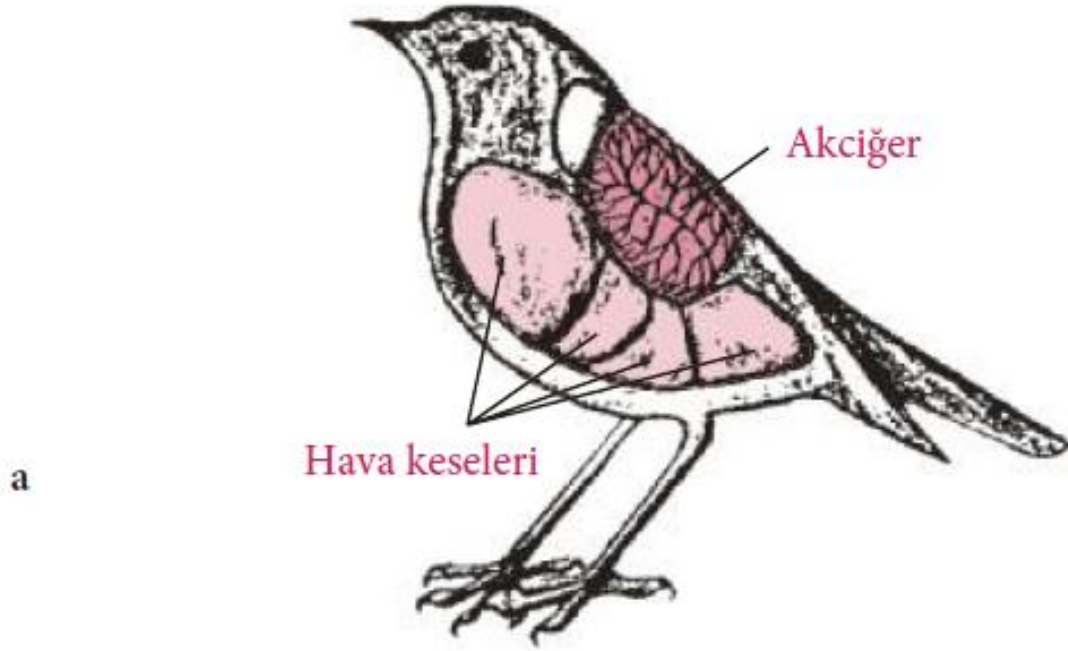
Hava Keseleri

Kuşların hava keseleri (*Sacci pneumatici*), akciğerler ile bağlantılı ince zar şeklinde torbacıklar olup bir körük gibi havanın akciğerlerden sürekli akışını sağlarlar. Hava keslerinde gaz değişimi olmaz.

Bu keselerin «solunum motoru» olma temel görevleri yanında ses oluşumunda da rol oynarlar. Yüksek frekanslı ekspirasyonlar (soluk verme) ile sirinkste kuşun ötüşü modüle edilir. Hava keselerinin üçüncü önemli işlevi ise buharlaşma yoluyla ısı salınımını sağlamak ve bu suretle termoregülasyona katılmaktır.

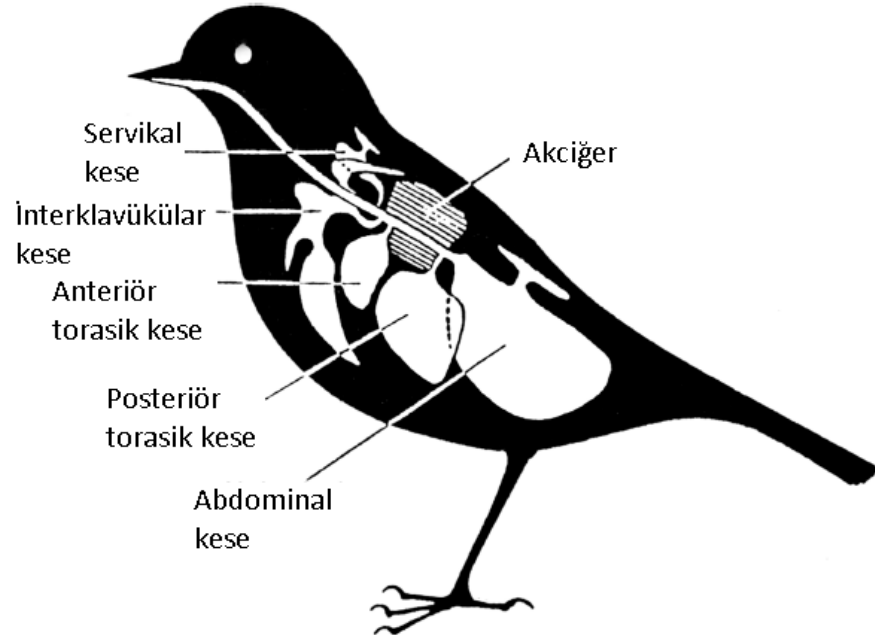


Hava Keseleri



Kuşların göğüs-karın alanında akciğerlerin ve birkaç büyük hava kesesinin yerleşimi.

Hava Keseleri



Akciğerin bronşiyal borularından birçok hava kesesi çıkmaktadır. Bunlar; boyun, göğüs ve karın kısımlarına doğru uzanır. Çoğu kuş türünde 9 hava kesesi vardır: **1 interklaviküler** kese ve her biri çift olmak üzere **servikal, anterior torasik, posterior torasik ve abdominal keseler**.

Hava Keseleri

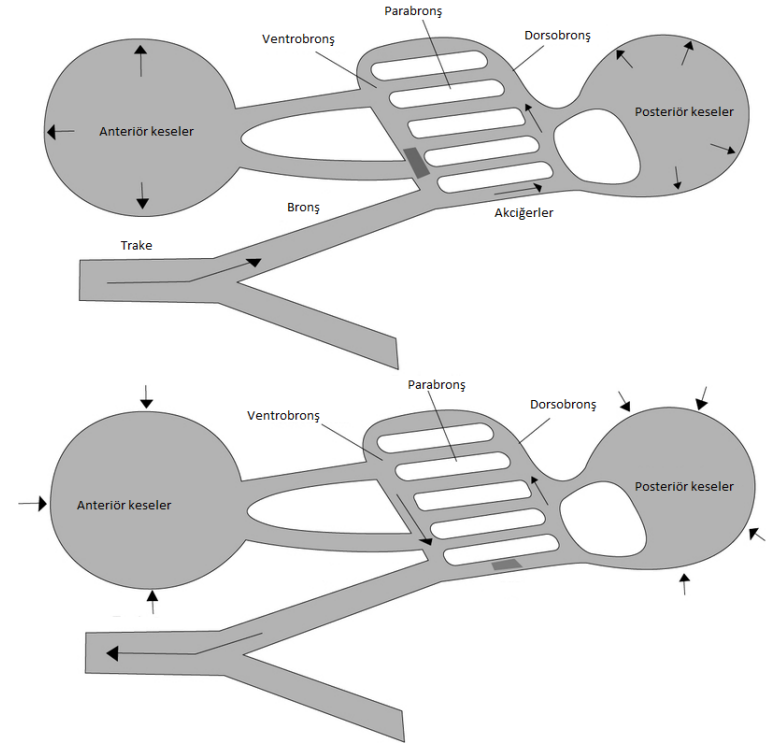
Fonksiyonel olarak iki hava kesesi sistemi ayırt edilir:

1. Kranial hava keseleri sistemi:

İnterklaviküler kese, servikal keseler ve anterior torasik keseler tarafından oluşturulur. Bu keseler medioventral sekonder bronşlar (ana bronşların orta ve aşağı doğru uzanan dalları) ile bağlantılıdır. Genellikle sadece şiddetli solunum sırasında aktiftirler.

2. Kaudal hava keseleri sistemi:

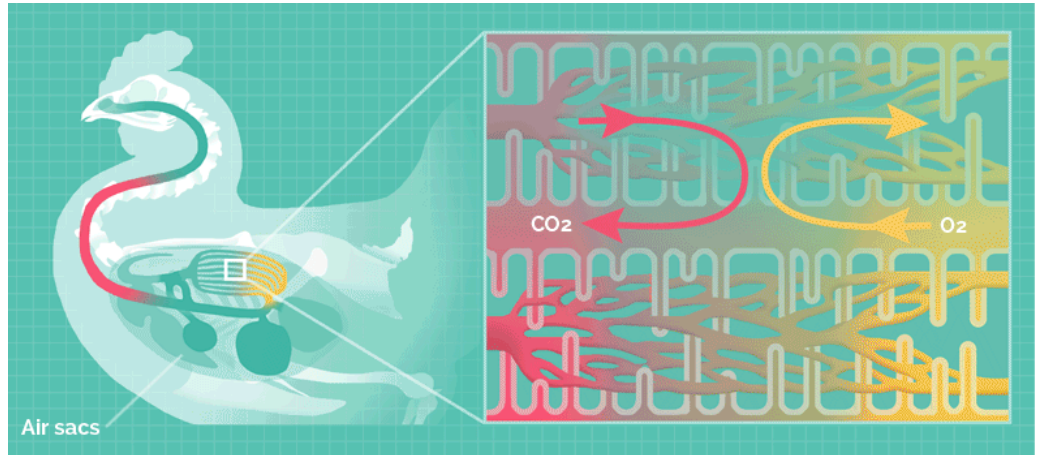
Posterior torasik ve abdominal hava keselerce oluşturulur. Bu keseler lateroventral sekonder bronşlar ve doğrudan ana bronş ile bağlantılıdırlar.



Solunum

Kuşların hava keseleri vardır, bu hava keseleri havayı depolar ve hareketsiz olan akciğerden geçişini sağlar.

Memelilerden farklı olarak akciğerlerde hava sadece tek bir yönde akar. Hava keseleri sayesinde kuşlar ekspirasyon sırasında da oksijen alırlar.



Kuşlar, akciğerlerindeki daha verimli gaz değişimi nedeniyle memelilere göre çok daha yüksek irtifalarda bile nefes alabilirler.

Solunum

Kuşlarda göğüs kafesinin yapısı, akciğerlerin yerleşimi ve solunum işlemi memeli hayvanlardan farklıdır.

Bir kuşun soluk alışı ve havanın akciğerden akışı diyafram aracılığıyla olmaz.

Kuşlarda solunum; vücut boşluğunun büyüklüğünü artıran yada azaltan göğüs kafesinin kas kontraksiyonları ile kontrol edilir.

KUŞLARDA DİYAFRAM YOKTUR!

Bunun yerine bazı kuşlarda bağ dokudan yapılmış ince bir membran bulunur ve bu da vücut duvarına bağlanmıştır.



Solunum Sisteminde Hava Akımı



DENEY

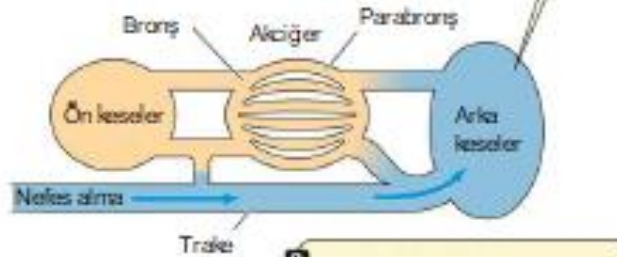
Soru: Bir kuşun akciğerinde hava akışı nasıldır?

Yöntem: Kuşun solunum sisteminin farklı noktalarına oksijen sensörleri koyulur. Kuş tidal hacmi teneffüs ederken saf oksijen verilir, daha sonraki tidal hacim sırasında normal hava solutulur.

Sonuç

1. Tidal hacim

1 Saf oksijen ile işaretli tidal hacim direkt arka keseye gidiyor.

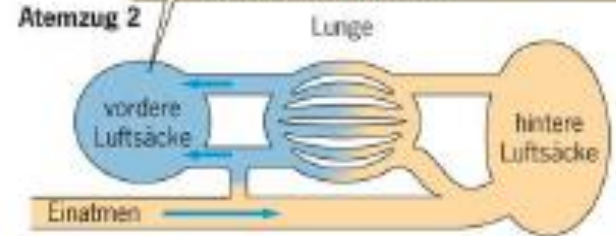


2 Nefes vermede işaretli hava akciğere geçiyor



DENEY

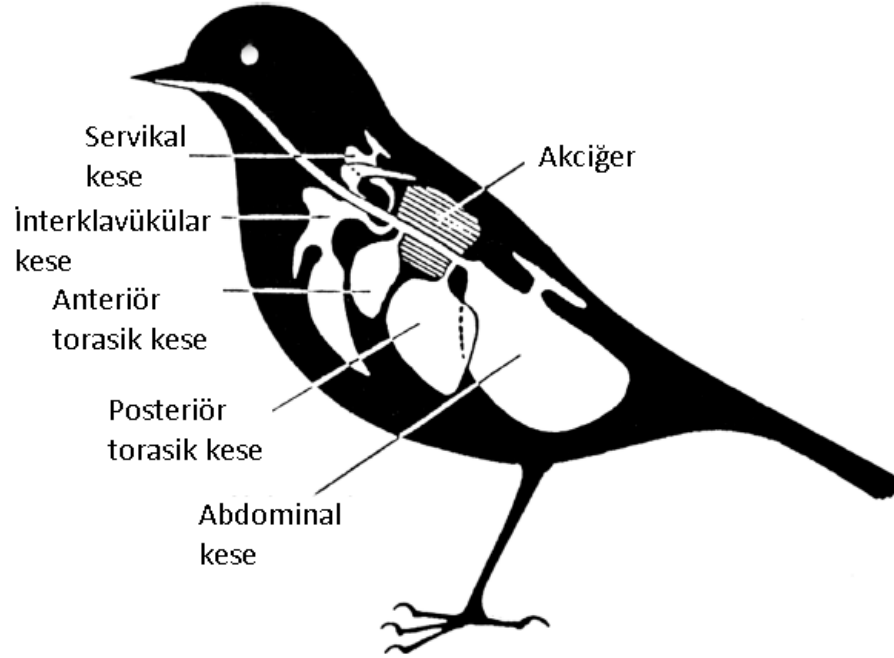
3 Bir sonraki nefes almada işaretli tidal hacim akciğerden ön keselere geçer



4 Nihayetinde saf oksijenle işaretli tidal hacim bir sonraki nefes vermede dışarı atılır.

Hava arka keselerden ön keselere doğru akarken akciğerlerden de geçmiş olur (Hava akışı tek yönlüdür!)
Hava her biri nefes alma ve verme fazlarını içeren iki döngü ile kuş solunum sisteminden dışarı çıkar.

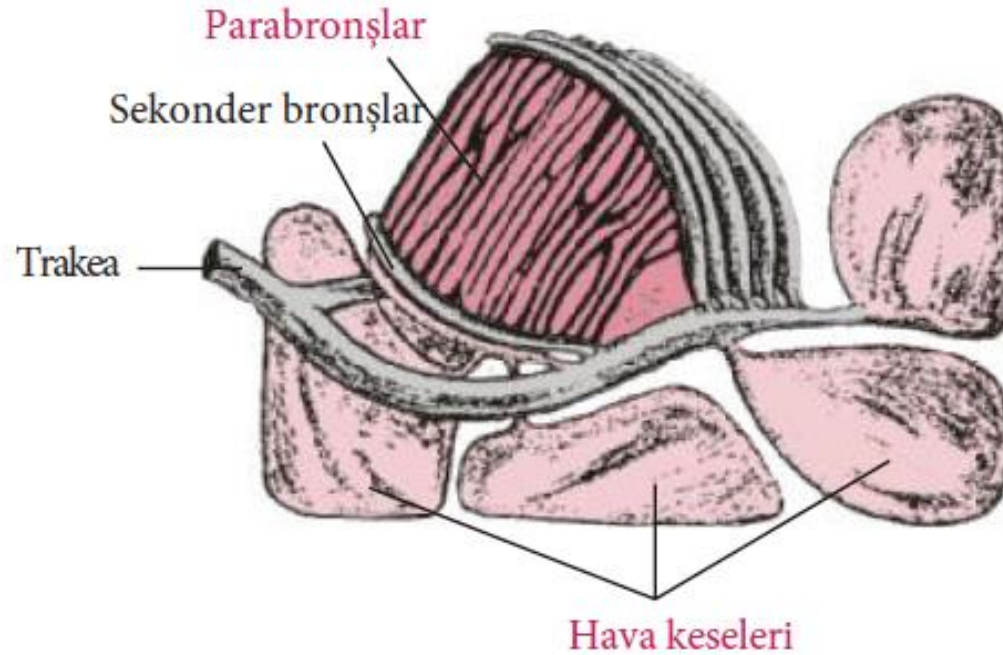
Solunum



Ön keselerinde CO_2 'den zengin hava bulunurken, arka hava keselerinde O_2 'den zengin hava bulunur.

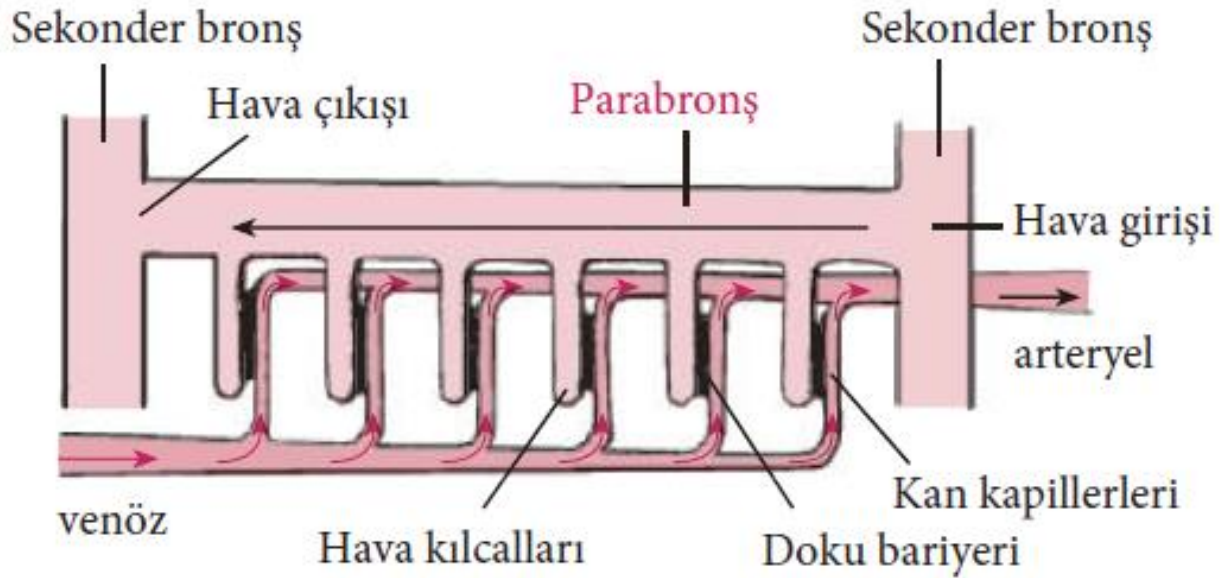
HAVA KESELERİNDE HAVA DEĞİŞİMİ OLMAZ!

Solunum



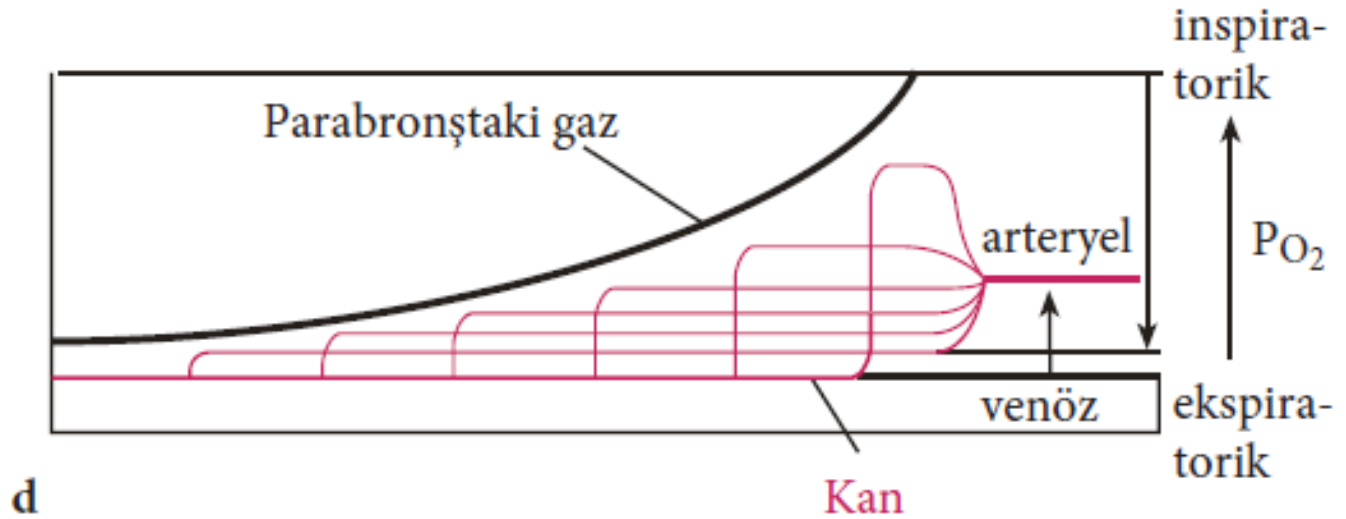
Trakea iki ana bronşa ayrılır, bunlar da sekonder bronşlara dallanır. Sekonder bronşlarda gaz alış-verişinin yapıldığı çok sayıda parabronşlar ile bağlantı kurarlar.

Solunum



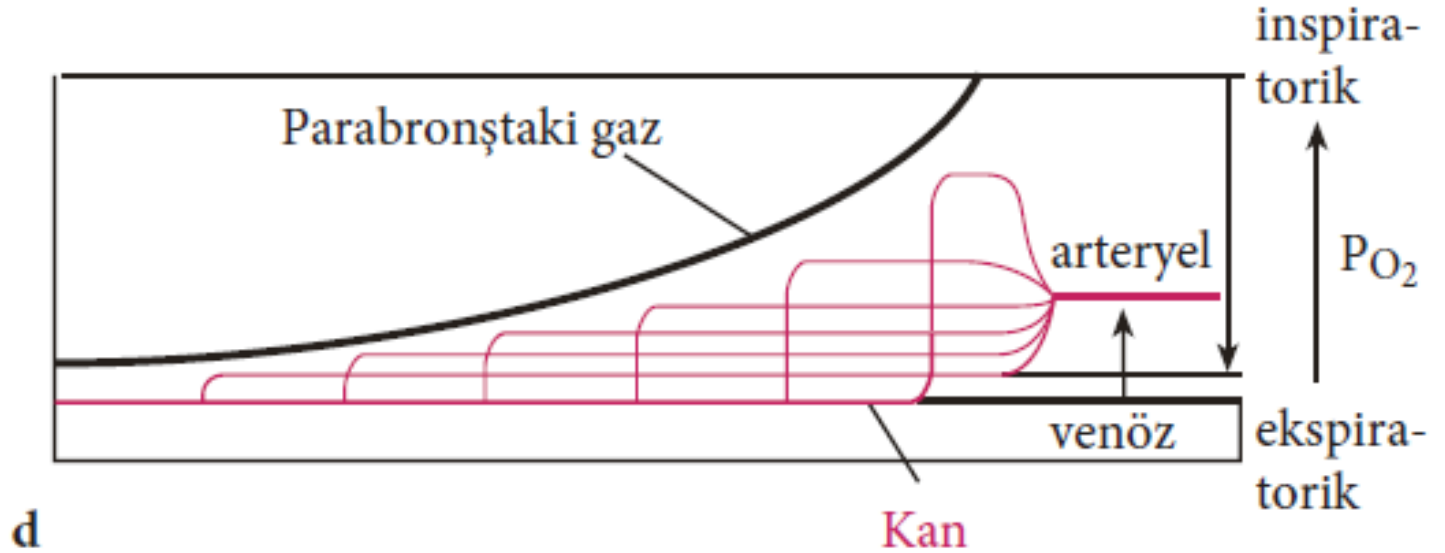
(Dorsal) sekonder bronştan hava tek yönlü olarak parabronşlar boyunca (ventral) sekonder bronşlara akar. Parabronşların lümeninden birçok hava kılcalı uzanır ve bunlar kan kılcal damarlarıyla yakın temas halindedir. Kan ve hava kapillerleri arasındaki ince bariyer üzerinden difüzyonla gaz değişimi gerçekleşir. Gaz akımı ve kan akımının yönleri birbirine çaprazdır.

Solunum



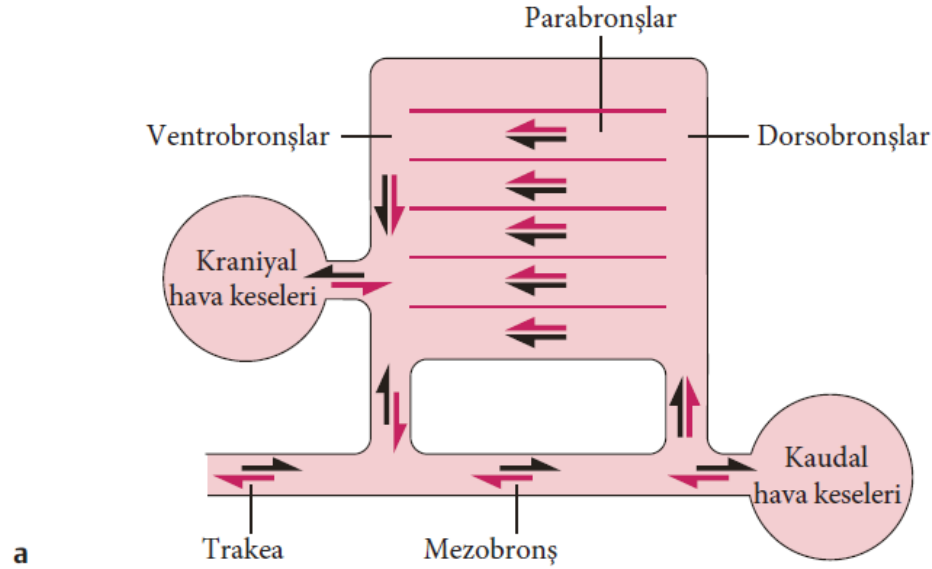
Kuşlardaki pulmoner gaz değişimi, memeli akciğinin "havuz sisteminin" aksine, arteriyel P_{O_2} 'nin ekspiratuar P_{O_2} 'den daha yüksek olmasını sağlayan oldukça verimli "çapraz akım" prensibine göre gerçekleşir!

Solunum



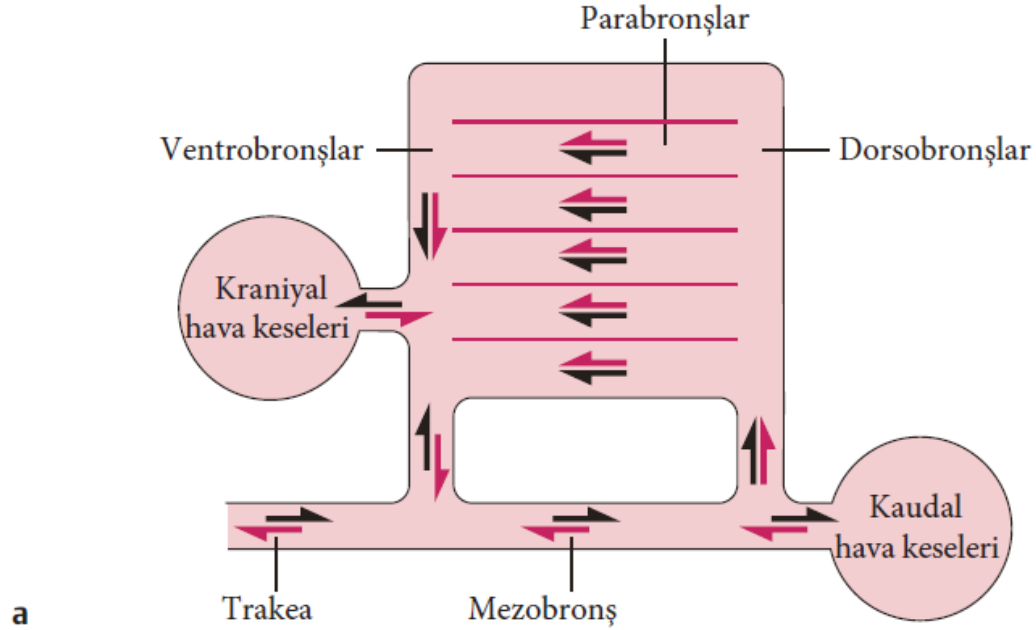
Üstteki şekilde parabronştaki gazda (üst siyah eğri) ve bireysel kan kılcal damarlarındaki kanda (kırmızı çizgiler) O_2 kısmi basınç eğrilerinin seyri görülmektedir. En sağdaki kılcal damarlar en yüksek O_2 kısmi basıncına ulaşırlar, çünkü bunlar parabronşların başlangıcındaki henüz kullanılmamış taze hava ile temas ederler. Sonuç olarak, kapillar kanın karışmasından sonra oluşan arteriyel P_{O_2} ekspiratorik P_{O_2} 'den daha yüksektir, bu nedenle çapraz akım sistemi memeli akciğerindeki havuz sisteminden daha verimli bir gaz değişim sistemidir.

Solunum



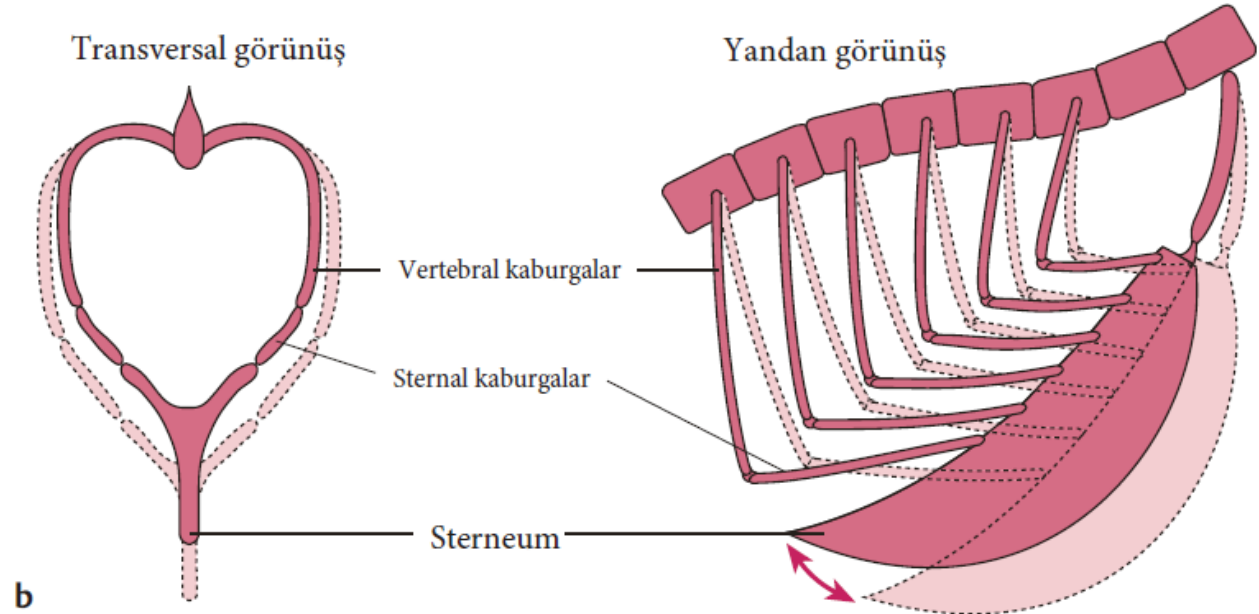
Oklar, kuş akciğerindeki **parabronşların ventilasyon** prensibini göstermektedir. Okun siyah yarısı: **inspirasyon**, trakea ve mezobronş yoluyla dorsobronşlar ve kaudal hava keselerine olan hava akımını göstermektedir. Okun kırmızı yarısı: **ekspirasyon**, kaudal hava keselerinden dorsobronşlara ve mezobronşlar yoluyla dışarıya olan hava akımını göstermektedir. İnspirasyon ve ekspirasyon fazlarında temiz hava dorsobronşlardan parabronşlar yoluyla aynı yönde ventrobronşlara akar. Ventilasyonda kranial hava keseleri kaudal hava keselerine göre daha az önemlidir.

Solunum



Kuş akciğerinin özel bir avantajı, taze havanın parabronşlar boyunca hem inspirasyon hem de ekspirasyon sırasında akması ve bu akımın her zaman aynı yönde olmasıdır! Kuşların akciğerleri hava kılcallarına sahip parabronşlardan oluşmuştur. Taze hava sekonder bronş yoluyla parabronşlara akar. Ventilasyon, akciğerlerin çevresindeki hava keseleri sistemindeki hacim değişiklikleri tarafından gerçekleştirilir.

Solunum



b Ventilasyon sırasında kuşların göğüs kafesi hareketleri. İki eklemlle birbirine bağlı kaburgalar (vertebral ve sternal kaburgalar) inspirasyon sırasında göğüs iç boşluğunu yanlara ve özellikle ventrale doğru genişletir. Kesikli çizgiler: inspirasyon pozisyonu, düz çizgiler: ekspirasyon pozisyonu. Çift ok, inspirasyon ve ekspirasyon arasında sternumun kaudal ucunun hareketini göstermektedir. Böylece göğüs boşluğu genişler ve bilhassa kaudal hava keselerinin hacminde artış olur.

Solunum

Kuşlar dinlenme sırasında memelilerdekine benzer bir arteriyel P_{O_2} değerine sahiptir (80-100 mmHg). Buna karşın P_{a,CO_2} değeri biraz daha düşük olup 25 ila 40 mmHg arasında bulunur. Bu durumda 7,45 ile 7,6 arasındaki pHa değeriyle respiratorik bir alkaloz söz konusudur. Aynı vücut ağırlığında dinlenme koşullarında kuşlar memelilerden daha yüksek bir ventilasyona sahiptir. Bu da P_{a,CO_2} 'deki hafif hiperventilasyonu anlaşılır kılar. Koşma ve uçuş gibi fiziksel aktiviteler sırasında kuşlar belirgin şekilde hiperventilasyon gösterir, yani P_{a,CO_2} çok belirgin şekilde azalır. Bu durum kuşların ısı kaybetmesine hizmet eder, hatta bazı türlerde bu amaçla polipne yapılır. Bazı kuş türleri 6.000 metreye kadar veya ekstrem durumlarda 8.000 metreye kadar olan oldukça yüksek irtifalarda uçabilir. Böyle yüksek irtifalarda hüküm süren hipoksik koşullar altında bile kuşlar belirgin hiperventilasyon yapar ve P_{a,CO_2} değeri 8 mmHg'nin altına kadar düşer. Bu kuş türleri hem hipokapniyi hem de çok şiddetli hipoksiyi memelilere kıyasla çok daha iyi tolere ederler.

Solunum

Kuşlarda solunumun **regülasyonu** Glomus caroticum (zellikle O₂'ye duyarlıdır), akciğerlerdeki CO₂ sensörleri ve beyindeki pH ve CO₂ sensörleri aracılığıyla gerçekleştirilir. Fiziksel aktiviteye solunum uyumunun sağlanması için memelilerdekine benzer mekanizmalar vardır. Birlikte innervasyon, yani fiziksel aktivitenin başlangıcında yüksek beyin bölgeleri tarafından solunum merkezinin aktivasyonu ve Reafferenz prensibi-ne göre kaslardaki kimyasal ve mekanik sensörlerden solunum merkezine periferik bilgilerin ulaştırılması kuşlardaki solunumun regülasyonunda da etkili görünmektedir.

KISACA

- Kuşlarda diyafram bulunmaz.
- Trakea (soluk borusu), memelilere göre daha uzun ve daha geniştir; bu da daha fazla ölü boşluk oluşturur.
- Trakeanın ikiye ayrıldığı noktada yer alan syrinx, yabancı cisim tıkanmalarının sık görüldüğü bir bölgedir.
- Kuşlar, gaz değişimini havalandırmadan ayırarak, ince bir kan–hava bariyeri, çapraz akım değişimi ve akışa dayalı sistem sayesinde oksijen emilimini artırmışlardır.
- Hava keseleri yalnızca havalandırma işlevi görür; damar yapıları zayıf olduğundan özellikle kaudal hava keseleri enfeksiyonlara yatkındır.
- Hava kesesi kanülasyonu, tıkayıcı dispne (nefes darlığı) vakalarında hayat kurtarıcı olabilir.



Teşekkürler