

B.102 GENEL BİYOLOJİ

Bölüm 20 Dolaşım ve Solunum

Ders Kitabı: *Biology: Life on Earth*
Audesirk, T., Audesirk, G., Byers, B.E.

Bütün dolaşım sistemleri üç ana kısımdan oluşur:

- **1. Bir sıvı ya da kan;**
taşıma ortamı olarak fonksiyon yapar.
- **2. Bir kanal sistemi veya kan damarları ;**
kanı vücutta dolaştırır.
- **3. Bir pompa ya da kalp;**
kan dolaşımını sağlar.

Hayvanlarda iki tip dolaşım sistemi vardır.

1. Açık dolaşım sistemi,
2. Kapalı dolaşım sistemi.

Omurgalı Dolaşım Sisteminin Fonksiyonları

1. Akciğer veya solungaçlardan O₂'i dokulara, dokulardan CO₂'i akciğer veya solungaçlara taşımak.
2. Sindirim sisteminden gelen besin maddelerini bütün vücut hücrelerine dağıtmak.
3. Atık ürünler ve toksik maddeleri karaciğere taşımak ve burada etkisiz hale getirerek, boşaltım için böbreklere ulaştırmak.
4. Salgı bezleri ve organlar tarafından oluşturulan hormonları gerekli olan dokulara dağıtmak.
5. Vücut sıcaklığını düzenlemek (kan akış hızını ayarlayarak yapar).
6. Pıhtılaşma mekanizmalarıyla kan kaybını önlemek.
7. Lökosit ve antikorları dolaştırarak vücudu bakteri ve virüslere karşı korumak.

Omurgalı Kalbinin Özellikleri ve Fonksiyonları

- Dolaşım sistemi kalp olmaksızın çalışmaz. Hayat boyunca kanın vücutta dolaşması gerekir. Omurgalı kalbi çok güçlü kasılma yeteneğinde olan kaslara sahiptir. **Atrium (kulakçık)** ismi verilen odacıklar kanı toplar. Atrium kasılması kanı **ventrikuluslara (karıncık)** gönderir. Ventrikulus da kasılarak kanı vücuda pompalar. Omurgalı evrimi süresince kalp kompleksleşmiş ve temiz kanla kirli kanın birbirinden ayrılması şeklinde gelişme olmuştur.
- Balıkların kalbi tek bir atrium ve tek bir ventrikulustan ibarettir. Ventrikulustan pompalanan kan önce solungaç kılcak damarlarına ulaşır. Burada temizlenir ve vücutta dolaşmaya devam eder.
- Evrim süresince amfibiler balıklardan, sürüngenler de amfibilerden köken almışlardır. Böylece üç odacıklı kalbe doğru geçiş olmuştur. Amfibi ve sürüngenlerde kalp 3 gözlüdür. Vücuttan gelen kirli kan sağ atriuma, akciğerlerden gelen kan sol atriuma toplanır. Her iki atrium tek bir ventrikulusa boşalır. Burada karışma olsa bile kirli kan ventrikulusun sağ kısmında kalma eğilimindedir ve akciğerlere ulaşan damarlara pompalanır, temiz kan ise ventrikulusun sol kısmında kalır ve vücuda pompalanır. Sürüngenlerdeki ayrılma ventrikulusun sağ kısmı ile sol kısmı arasındaki kısmi bir duvarla sağlanır.
- Sıcakkanlı kuş ve memeliler 4 odacıklı kalbe sahiptirler. Temiz ve kirli kan birbirlerinden tamamen ayrılır. Bu ayrılmayı sağ ve sol ventrikuluslar sağlar Dokulara ulaşan kan mümkün olan en yüksek oksijen seviyesine sahiptir.

- **atrium : kulakçık**
- **ventrikulus : karıncık**
- **pulmoner dolaşım : küçük dolaşım**
- **sistemik dolaşım : büyük dolaşım**
- **vena kava : kalbe kanı getiren büyük toplardamar**
- **aort : kalpten kanı götüren büyük atardamar**

Omurgalı Kalbi

- **Omurgalı kalbinin kasılması elektrik impulsları tarafından kontrol edilir.** İnsan, diğer memeliler ve kuşların kalbi herbiri iki odacıklı olan iki ayrı pompa olarak düşünülebilir. Her bir pompada, bir atrium yer alır, önce kanı depolar onu vücuda pompalayan bir ventrikulusa geçirir.
- Bir pompa akciğer dolaşımı içindir ve sağ atrium ve ventrikulus (**küçük dolaşım=pulmoner dolaşım**) dan oluşur. Vücuda oksijeni bırakmış olan kan **süperior vena kava** denilen büyük bir venle sağ atriuma boşaltılır. Ven (vena) kalbe doğru kan taşıyan damardır. Sağ atrium kasılır ve kanı sağ ventrikulusa transfer eder. Sağ ventrikulusun kasılması oksijenini bırakmış kanı pulmoner **arterler** (kanı kalpten uzağa taşıyan damarlar) aracılığıyla akciğerlere gönderir.
- Diğer pompa sol atrium ve ventrikulusdan oluşur ve **büyük dolaşımı (= sistemik dolaşım)** etkiler. Akciğerlerde yeni oksijenlenmiş kan pulmoner venlerle sol atriuma girer ve sol ventrikulusa geçirilir. Kalbin en kaslı odası olan sol ventrikulusun güçlü kasılmaları temiz kanı büyük bir arter olan **aorta** iterek vücudun uç noktalarına ulaştırır.

- **kardiyak devri**
- ***sistolik basınç***
- ***diyastolik basınç***
- **Atriyovenriküler kapakçıklar**
 - triküspid (üç noktalı) kapak sağ ventrikulus ve sağ atriumu ayırır;
 - biküspid (iki noktalı) kapak sol atrium ve sol ventrikulus arasında yer alır.
- **semilunar (yarımay) kapakçıklar**

İki adet, biri pulmoner arter ve diğeri aort girişinde bulunur

Kardiyak Siklus (Kalp Devri-Döngüsü)

- **Atriumların ve Ventrikulusların Koordineli Kasılmaları Kardiyak Devrini Oluşturur.**
- Kalp odacıklarının değişen kasılma ve gevşemelerine **kardiyak devri** denir. İki atrium aynı anda kasılır ve kanı ventrikuluslara boşaltır. Sonra iki ventrikulus aynı anda kasılır ve kanı kalpten çıkan arterlere iter. Sonra hem atriumlar hem de ventrikuluslar devir tekrarlanmadan önce kısa bir an gevşer.
- Normal dinlenen kalp hızında kardiyak devir bir saniyeden daha az bir sürede sonlanır. Kan basıncını belirlemede iki okumanın yüksek olanı (**sistolik basınç**) ventrikular kasılma sırasında ölçülür ve **diastolik basınç** denilen düşük okuma ise kasılmalar arasında ölçülür.

Kalp Kapakçıkları

- **Kapaklar kanın belli bir yönde akmasını sağlar**
- Kalp ve damarlar içinde kanın akışının devamı için dört odacığın aktivitesinin koordinasyonu önemlidir. Ventrikuluslar kasıldığı zaman, kan arterlerin içine yönelmek zorundadır, atriumlara geri dönmemelidir. Kan bir kere arterlere girince, kalp gevşediği zaman geri akışı engellenmelidir. Bu problemler dört basit tek yönlü kapakçıklarla çözülür. Bir yöndeki basınç onları açar, fakat ters yöndeki basınç onları sıkıca kapanmaya zorlar.
- **Atrioventrikular kapakçıklar** atriumları ventrikuluslardan ayırır; *triküspid kapak* (Latince anlamı "üç noktalı" kapak) sağ ventrikulus ve sağ atriumu ayırır; ve *biküspid kapak* (Latince "iki noktalı") sol atrium ve sol ventrikulus arasında yer alır. *Mitral kapak* da denir.
- İki adet **semilunar kapakçık** (Latince "yarımay") ventriküller kasıldığı zaman kanın pulmoner arter ve aorta girmesini sağlar ve ventrikül gevşediği zaman kanın geri dönmesini engeller.

Pacemaker

- **Elektrik impulsları kalp kasılmalarını koordine eder.**
- Diğer bir önemli nokta, odacıkları oluşturan kas hücrelerinin düzgün ve koordineli çalışmasının sağlanmasıdır. Kas hücreleri kasılmayı sağlayan elektrik sinyalleri oluşturur. Her bir kalp kas hücresi diğerinin plazma zarındaki aralıklı birleşme yerleriyle (gap junctions) doğrudan haberleşirler. Bu bağlantı porları, kasılmayı sağlayan elektrik sinyallerinin kas hücreleri arasında serbestçe ve hızla geçmesini sağlar.
- Kalbin kasılması bir **pacemaker** tarafından başlatılır ve koordine edilir. **Pacemaker** düzenli hızda spontan elektrik sinyalleri oluşturan özelleşmiş kalp kası hücrelerinin bir grubudur. Sinir sistemi bu sinyallerin hızını değiştirilebilmesine rağmen, pacemaker kas hücrelerinin kendileri tarafından başlatılır.
- Kalbin primer pacemakere **sinoatrial (SA) düğümüdür**, sağ atrium duvarında bulunur. SA düğümünden sinyaller hem sağ hem de sol atriumlara hızla dağılır ve atriumların senkronize kasılmasını sağlar.

Pacemaker

- Son önemli nokta ise dört odacığın hepsinin koordineli kasılmasıdır. Atriümler önce kasılmalı ve kanı ventrikulusa boşaltmalıdır ki ventrikuluslar kasılırken atriümler tekrar dolabilsin. Bu yüzden, atriümlerin ve ventrikulusların kasılmaları arasında bir gecikme olmak zorundadır.
- SA nodülünde, elektrik impulsu bir kasılma dalgası yaratır, bu kasılma dalgası atriüm ve ventrikuluslar arasındaki uyarılmamış doku bariyerine ulaşınca kadar atriüm kasları boyunca sürüklenir. Burada uyarı **atrioventrikular (AV) düğümüne** sevk edilir, AV düğümü sağ atriümün altında yer alan özelleşmiş kas hücrelerinin küçük bir grubudur.
- İmpuls AV düğümünde geciktirilir, atriümler kasıldıktan sonra yaklaşık 0,1 saniye için ventrikular kasılma ertelenir. Bu gecikme ventrikular kasılma başlamadan önce ventrikuluslara kan transferini tamamlamak için atriümlere zaman verir.
- AV düğümünden, kasılma sinyali **uyarılabilir fibril bölgeleri** boyunca iki ventrikulusun tabanına yayılır. İmpuls bu fibrillerden hızla haberleşen kas fibrillerine geçer ve ventrikulusların uyumlu kasılmasını sağlar.

Sinir Sistemi ve Hormonlar Kalp Hızını Etkiler.

- SA düğümü dakikada yaklaşık 100 vuruşluk bir düzenli ritmi sürdürür. Buna karşın kalp hızı sinir implusları ve hormonlarla önemli derecede değiştirilir.
- İstirahat durumundaki bir bireyde, parasempatik sinir sisteminin aktivitesi istirahat periyodu boyunca fonksiyon yapar ve kalp atışını dakikada 70'e düşürür.
- Egzersiz ve stres kaslara daha fazla kan akışı için bir talep yaratır. Parasempatik etki azalır, sempatik sinir sistemi kalp atışını hızlandırır.
- Epinefrin hormonu (adrenalin olarak da bilinir) korku ve beklenmeyen olaylara karşı bütün vücudu harekete geçirerek kalp atışını artırır. Astronotlar aya ayak bastıklarında, istirahat halinde olmalarına rağmen kalp atış hızları dakikada 170 kadardı.

KANIN FONKSİYONLARI VE ÖZELLİKLERİ NELERDİR?

- Kan, besin maddelerini, gazları, hormonları ve artık maddeleri vücutta dolaştıran ortamdır. Başlıca iki ana kısımdan oluşur.
 1. **Plazma** olarak bilinen sıvı kısım.
 2. **Özelleşmiş hücreler** (*kırmızı kan hücreleri, beyaz kan hücreleri, kan pulcukları*), bunlar plazma içinde bulunurlar.
- Ortalama olarak kanın hücresel bileşeni kanın % 40-45' ini oluşturur. % 55-60'lık kısmı ise plazmadır.
- Ortalama bir insanda 5-6 litre kan bulunur. Bu da toplam vücut ağırlığının %8'ine karşılık gelir.

Plazma İçinde Protein, Tuz, Besin Maddeleri ve Atıkların Bulunduğu Bir Sıvıdır.

- Saman renkli plazmanın yaklaşık % 90'ı sudur. Bunun içinde çözülmüş maddeler bulunur. Bu maddeler proteinler, hormonlar, besinler (glukoz, vitamin, aminoasit, lipitler), gazlar (CO_2, O_2), tuzlar (sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum tuzları) ve üre gibi atık maddelerdir.
- Bu maddelerden en fazla bulunan plazma proteinleridir. Bunlar:
- **Albuminler:** Kanın ozmotik basıncının sürdürülmesine yardımcı olurlar. (Plazma zarının içinden suyun akışını kontrol ederler)
- **Globulinler:** Besin maddelerini taşırlar, immün sistemde rol oynarlar.
- **Fibrinojen:** Kanın pıhtılaşmasında rol oynar.

Kırmızı Kan Hücreleri Akciğerlerden Dokulara Oksijen (O₂) Taşır.

- **Eritrositler** adı verilen oksijen taşıyan kırmızı kan hücreleri bütün kan hücrelerinin yaklaşık %99'unu oluştururlar. Eritrositler dişilerde kan volümünün %40'ını erkeklerde %45'ini oluşturur. Bir mm³ kanda yaklaşık 5 milyon eritrosit bulunur. Bir kırmızı kan hücresi baş parmak ile işaret parmağı arasında sıkıştırılmış bir topa benzer. Bikonkav şekil eritrositlere daha büyük yüzey sağlar. Böylece oksijen taşıma kapasitesini artırır.
- Kırmızı kan hücrelerinin bu rengi **hemoglobinle** sağlanır. Demir içeren bu büyük protein her bir kan hücresinin 1/3'ünü işgal eder ve kanın O₂'ninin %97'sini taşır.
- Her bir hemoglobin molekülü **hem** grubu olarak bilinen bir pigment bulundurur. Hem grubu bir tane demir atomuna sahiptir. Bir hemoglobin molekülü 4 molekül O₂ bağlayabilir.
- Hemoglobin O₂'i akciğer kılcal damarlarında bağlar ve onu hücrelere taşır. Hemoglobin O₂'i hücrelere bıraktıktan sonra hemoglobinin bir kısmı CO₂'i bağlar ve akciğerlere taşır.

Kırmızı Kan Hücrelerinin Ömrü Nispeten Kısadır.

- Kırmızı kan hücreleri kemik iliğinde üretilirler. Gelişme sırasında memelilerde bu hücreler çekirdeklerini ve bölünme yeteneğini kaybederler. Kanda hücresel materyallerini sentezleyemedikleri için kısa bir süre yaşamaları gerekir. Yaklaşık 120 gün kadar yaşarlar. Her saniyede 2 milyon kadar kırmızı kan hücresi ölür ve yerlerini yenileri alır. Ölen ve hasar gören kırmızı kan hücreleri dolaşımdan uzaklaştırılırlar ve karaciğer ve dalakta parçalanırlar ve demirleri serbest kalır. Bu demir kemik iliklerine taşınır ve burada hemoglobinin ve yeni kırmızı kan hücrelerinin oluşumunda kullanılır.

Negatif Geribildirim Kırmızı Kan Hücresi Sayısını Düzenler.

- Kandaki eritrosit sayısı negatif feedbackle yeterli bir seviyede tutulur. Bu işte **eritropoietin** hormonu fonksiyon yapar. Bu hormon O₂ yokluğuna cevap olarak böbrekler tarafından üretilir. Bu oksijen yokluğuna kan kaybı, hemoglobinin yetersiz üretimi, yükseklik ya da akciğer hastalıkları sebep olabilir. Hormon kemik iliğinde yeni eritrositlerin üretimini hızlandırır. Yeterli O₂ seviyesine ulaşıldığında eritropoietin üretimi inhibe edilir ve eritrosit üretimi normale döner.

Kan Grupları Eritrosit Zarlarında Yer Alan Spesifik Proteinlerle Belirlenir.

- Eritrosit hücre membranlarında spesifik proteinlerin bulunup bulunmamasına göre kan A, B, AB ya da 0 olarak sınıflandırılır. Kan grupları kalıtır.
- Eritrosit membranında bulunan başka bir protein ise Rh faktörüdür. Eğer faktör protein varsa kan Rh pozitif, yoksa Rh negatif olarak tanımlanır.
- Rh⁺ kan Rh⁻ bireye nakledilirse Rh⁺ proteine karşı antikor üretimini tetikler. Daha sonra antikorlar Rh⁺ eritrositlere saldırır ve onları tahrip ederler.
- Rh⁻ kadınla Rh⁺ erkeğin çocukları Rh⁺ olacaktır. Çünkü Rh⁺ kan dominant özelliktir. İlk Rh⁺ çocuk annenin kanında antikor üretimini tetikler. Bu bir hastalık nedeni değildir. Buna karşın bunu takip eden Rh⁺ çocuklar **eritroblastosis fetalis**le doğacaklardır. Bu şartlarda annenin kanında daha önceki doğumda oluşan antikorlar fetusu işgal edecek ve eritrositlere saldıracaklardır. Bebeğe ciddi anemiye sebep olacaktır. Bu durumdan şimdi Rh antikorlarının oluşumunu engelleyen bir maddenin enjeksiyonuyla kaçınılabiliyor.

Lökositler Hastalıklara Karşı Vücudun Savunmasına Yardımcı Olur.

- Beş farklı **lökosit** (beyaz kan hücreleri) tipi vardır. Lökositler kemik iliklerinde üretilirler. Bu hücreler boyanma özelliklerine, boyutlarına ve nukleuslarının şekline göre birbirinden ayrılırlar.
- Beyaz kan hücrelerinin fonksiyonu vücudu yabancı istilacılara karşı korumaktır, istila yerine gitmek için dolaşım sistemini kullanırlar.
- Örneğin, monositler ve **nötrofiller** kılcal damarlar üzerinden yaralı dokulara göç ederler. **Monositler** kılcal damarı terk ettikten sonra makrofajlara dönüşürler. Bu hücreler amöboid (sitoplazmik bacaklarla) hareket ederler ve yabancı partikülleri yutarlar. Makrofajlar ve nötrofiller kanser hücreleri gibi yabancı hücreler ve bakterilerle beslenirler. Bu hücreler savaş sırasında ölürler ve yara bölgesinde irin oluşur.
- **Lenfositler** antikor üretirler ve hastalıklara karşı bağışıklık oluştururlar. Lenfositleri oluşturan hücreler kemik iliğinden timus, dalak ve lenf düğümleri gibi lenfatik dokulara göç ederler. Eozinofillerin oluşturulması parazitik enfeksiyonlarla uyarılır. **Eozinofil** paraziti öldüren maddeler salgılar. **Bazofiller** histamin gibi kan pıhtılaşmasını inhibe eden maddeler üretirler. *Histamin* allerjik reaksiyonlara, doku tahriplerine ve mikrobiyal faaliyetlerle mücadeleye katılan bir kimyasal maddedir.

Kan pulcukları (Trombositler) Kan Pıhtılaşmasına Yardım Eden Hücre Parçalarıdır.

- **Trombositler** tam hücreler değildirler, **megakaryosit** adı verilen büyük hücrelerin parçalarıdır. Megakaryositler kemik iliğinde kalırlar ve burada sitoplazmasından zarla çevrili parçalar kopar. Bunlar kana geçerler. Kan pıhtılaşmasında rol oynarlar. Eritrositler gibi trombositlerin de çekirdekleri yoktur. 10-12 gün kadar yaşarlar.
- **Kan pıhtılaşması** kompleks bir işlemdir. Plazmadaki trombositler ve diğer faktörler düzensiz bir yüzeyle kontakt kurdukları zaman pıhtılaşma başlar. Yaralı bir kan damarının çeperine trombositler tutunur ve açıklığı kısmen kapatır. Trombositler ve yaralı doku plazma proteinleriyle kompleks olayları başlatır. Bu olaylar **trombin** enziminin üretilmesiyle sonuçlanır. Trombin *fibrinojen* proteinini **fibrine** çevirir. Fibrin molekülleri birbirine yapışırlar ve fibroz bir ağ oluştururlar. Bu ağ eritrositleri yakalar böylece pıhtının yoğunluğu artar.

Kan Damarlarının Yapısı ve Fonksiyonları Nelerdir?

- Kan,
- kalbi terk ettikten sonra arterlere,
- arterlerden arteriollere,
- arteriollerden kılcal damarlara,
- kılcal damarlardan venüllere,
- venüllerden venlere seyahat eder,
- ve bu yolla kalbe döner.

Arter ve Arterioller Kanı Kalpten Uzaklara Taşıyan Kalın Duvarlı Damarlardır.

- Kan, kalpten ilk önce **arterlere** (atardamarlara) girer. Bunlar düz kas ve elastik doku içeren kalın duvarlara sahiptirler.
- Arterler **arteriol** adı verilen daha küçük çaplı damarlara dallanır. Arterioller kanın vücut içinde nasıl dağıtılacağını belirlemede başlıca rolü oynar.

Kılcal Damarlar Mikroskobik Damarlardır. Bu Damarlar Kan ve Vücut Hücreleri Arasında Besin ve Atık Maddelerin Alışverişini Sağlar.

- Kılcal damarlar(kapillerler) difüzyona uygun özelliktedirler.
- Kanla hücreler arasında atıklar, besin maddeleri, gazlar ve hormonların alışverişi kılcal damarların çeperlerinden yapılır. Kılcal damarların duvarları tek hücre tabakasından oluşmaktadır. Bir çok besin maddeleri, O₂ ve CO₂ kılcal damar plazma zarlarından difüzyonla kolaylıkla geçebilir. Tuzlar ve bazı yüklü moleküller (bazı küçük proteinler dahil) kılcal damar plazma membranı içinden ya da komşu kılcal damar hücreleri arasından geçer. Kılcal damarlar içindeki basınç, kapiller ve dokular etrafındaki boşluklara devamlı olarak kan plazmasından sıvı sızmasına neden olur.
- Bu sıvıya **intersitisyel sıvı** denir ve büyük çoğunluğu sudur, bu su içinde kandan gelen **besin maddeleri, hormonlar, gazlar, artık maddeler ve küçük proteinler** çözülmüş olarak bulunur. Büyük plazma proteinleri, eritrositler ve trombositler kılcal damarları aşamazlar. Bu nedenle bunlar intersitisyel sıvıda bulunmazlar. Lökositler kılcal damar hücreleri arasındaki açıklıklardan geçebilirler. Kılcal damarlarla hücreler arasındaki alışveriş bu sıvıdan yapılır.
- Kılcal damarlar o kadar dardır ki, eritrositler içinde tek sıralı halde akarlar. Böylece bütün kan kılcal damar duvarlarına çok yakın geçer, burada madde alışverişi yapılır. İnsanda 80.600 km.den daha fazla kılcal damar bulunmaktadır.

Venler ve Venüller Kanı Kalbe Geri Taşırlar.

- CO₂ ve diğer hücresel atıkları taşıyan kan, kılcal damarlardan **venül** ismi verilen daha büyük damarlara akar, daha sonra daha **büyük venlere** geçerler. Toplar damarların duvarları daha dar, daha az kassıdır ve atar damarlardan daha fazla genişlerler. Toplar damarlardaki kan basıncı düşük olduğu için, egzersiz ve nefes alma sırasında iskelet kasındaki kasılmalar kanın kalbe dönüşünde yardımcı olmalıdır. Bu kas hareketleri venleri sıkıştırır ve kanı ileriye doğru iter.
- Toplar damarlar **tek yönlü kapakçıklar**la donanmıştır, bu kanın kalbe doğru akmasını sağlar. İnsan uzun süre oturduğunda ya da ayakta durduğunda, kan aktivitesi olmayacak bu da kanın bacaklarda toplanmasına yol açacaktır. Böyle uzun süreli inaktif periyot, varislere neden olur.
- Eğer kan basıncı düşerse (örneğin; yoğun bir kanamadan sonra) venler bunu düzeltmeye yardım edebilir. Sinir sistemi ven duvarındaki düz kasların kasılmasını otomatik olarak uyarır. Bu etki, venlerin iç hacmini azaltarak kan basıncını yükseltir, kanın kalbe dönüşünü hızlandırır.

Arterioller Kan Akışının Dağılımını Kontrol Eder.

- Arteriollerin kassı duvarları, sinirlerin, hormonların ve yakın dokularda üretilen kimyasalların etkisi altındadır.
- Arterioller bu yüzden besledikleri doku ve organların gereksinimlerine göre kasılır veya gevşerler.
- Korku durumlarında sempatik sinir sistemi aktive olur ve arteriollerin düz kaslarını kasılması için uyarır. Bu kasılma kan basıncını bütünüyle artırır, fakat selektif kasılma da kanı yeniden kalbe ve kaslara yönlendirir.

Lenf Sisteminin Yapısı ve Fonksiyonu

- Lenf sistemi, **lenf kapillerleri** ve dolaşım sistemine boşalan daha **büyük damarlar**, **lenf düğümleri**, **timus** ve **dalaktan** oluşur. Dolaşım sisteminin bir parçası olmamasına rağmen onunla yakın ilişki içindedir. Lenf sisteminin çeşitli fonksiyonları vardır.
 1. Kılcal damarlardan sızan çözünmüş madde ve fazla sıvıyı uzaklaştırır,
 2. İnce bağırsaktan emilen yağları kan dolaşımına taşır,
 3. Bakteri ve virüsleri lökositlerle buluşturarak vücut savunmasında rol oynar.

Lenf Damarları Dolaşım Sistemin Damarlarına Benzerler.

- Kan kılcal damarları gibi, lenf kılcal damarları da kompleks bir şebeke oluştururlar.
- Kan kılcal damarlarının aksine, lenf kılcal damarlarının duvarları tek yönlü kapak gibi etkin olan, aralarında açıklıklar bulunan hücrelerden ibarettir.
- Bu açıklıklar sıvı ile birlikte nispeten büyük partiküllerin lenf kılcal damarlarına taşınmasına imkan verir.
- Kan kılcal damarlarının aksine, lenf kılcal damarları vücut dokularında kör uçlu sonlanırlar. Lenf kılcal damarlarıyla toplanan materyaller büyük lenf damarlarına toplanır. Büyük lenf damarları, kan toplardamarlarında olduğu gibi kaslı duvarlara sahiptir, fakat lenfin akışı çevredeki kasların kasılmasıyla sağlanır.
- Kan toplar damarlarında olduğu gibi akışın yönü tek yönlü kapakçıklarla düzenlenir.

Lenfatik Sistem Sıvıları Kana Geri Taşır

- Ortalama bir kişide günde 3 litreden daha fazla sıvı, kan kılcal damarlarını terk eder ve tekrar absorbe edilir. Lenf sisteminin bir fonksiyonu da fazla sıvıları ve maddeleri kana döndürmektir.
- İntersitisyal sıvı birikirken, oluşan basınç lenf kılcal damarlarındaki açıklıklardan sıvıyı kılcal damarlara iter. Lenf Sistemi **lenf** adı verilen bu sıvıyı dolaşıma geri taşır.

Lenfatik Sistem İnce Bağırsaktaki Yağları Kana Taşır

- İnce bağırsaklar lenf kılcal damarlarıyla zengin bir şekilde beslenmektedir. Sindirilen yağların absorpsiyonundan sonra, bağırsak hücreleri yağ globüllerinin çoğunu intersitisyal sıvıya bırakırlar.
- Bu yağ damlaları kan kılcal damarlarından geçemeyecek kadar büyüktürler, fakat lenf kılcal damarlarındaki açıklıklardan kolaylıkla geçebilirler.
- Daha sonra vena kava'ya toplanır ve buradan kalbe ulaşırlar. Yağlı bir yemekten sonra lenf sıvısının %1'i kadarını yağ oluşturulabilir.

Lenfatik Sistem Vücudu Hastalıklara Karşı Savunmaya Yardım Eder

- Diğer rolleri yanında, lenfatik sistem vücudu bakteri ve virüs gibi yabancı istilacılara karşı savunmaya yardım eder.
- Solunum, sindirim ve üriner (boşaltım) bölgelerin duvarlarında çok sayıda lenfosit içeren bağ doku parçaları vardır. Bu parçaların en büyüğü ağzın arka boşluğunda yer alan **tonsil** (bademcik) lerdir. Büyük lenf damarları yaklaşık 2.5 cm uzunluğunda fasulye şeklinde olan ve **lenf düğümleri** adı verilen yapılarda sonlanırlar.
- **Lenf**, lenf düğümleri içinde duvarında makrofajlar sıralanmış olan kanallara itilir. Lenfositler de lenf düğümlerinde üretilir. Hem makrofajlar hem de lenfositler bakteri ve virüs gibi yabancı partikülleri tanır ve parçalarlar. Bu işlem sırasında kendileri de ölürlür. Kabakulak gibi bazı hastalıklarda görülen lenf düğümlerinin ağırlı şişmesi, ölen lenfosit ve makrofajların artması sonucudur.
- Timus ve dalağın genellikle lenf sisteminin bir parçası olduğu düşünülür. **Timus** lenfositleri üreten bir organdır ve kalbin biraz üstünde, göğüs kemiğinin altında yer alır. Timus özellikle bebeklerde ve çocuklarda aktiftir fakat büyüdükçe boyutları ve önemi azalır.
- **Dalak** diğer bir lenfosit üreten organdır, abdominal (karın) boşluğun sol tarafında mide ve diyafram arasında yer alır. Lenf düğümleri lenfi filtre ederken, dalak kandan yabancı partikülleri parçalayan makrofajları, lenfositleri ve yaşlanmış eritrositleri filtre eder.

SOLUNUM

- Hücresel solunum şeker gibi besinlerdeki enerjiyi vücut hücreleri tarafından kullanılabilir olan ATP'ye dönüştürdüğü için, bu işlem devamlı bir oksijen kaynağına gereksinim duyar ve artık ürün olarak CO₂ oluşturur.
- Nefes alıp verme hücresel solunumu nasıl destekler?
- Akciğerlerin içi nasıl görünür ve gaz değişimi için nasıl adapte olur?
- Akciğerler niçin vücudumuzun içindedir? Akciğerler niçin vücudumuzun dışı yerine zaten havaya maruz bırakılan vücudumuzun içindedir?
- Suda yaşayan hayvanlar, nasıl nefes alırlar?
- Bu bölümde solunum sisteminin özelleşmiş yapılarını açıklayacağız. Gaz değişimi için çeşitli adaptasyonlarla başlayacağız, akciğer kullanmayanları sonra omurgalılarda akciğer solunumuna geçişi, insan solunum sistemini vurgulayarak açıklayacağız.

Gaz Değişiminde Evrimsel Adaptasyonlar

- Dolaşım sisteminin başlıca fonksiyonu, dokulara oksijen taşımak ve dokulardaki karbondioksiti uzaklaştırmaktır. Bunu kolaylaştırmak için, dolaşım sistemi, özelleşmiş solunum sistemiyle yakın ilişki içindedir.

Solunum Sistemleri Diffüzyonla Gaz Değişimini Kolaylaştırır.

- O₂ ve CO₂ gazları hücre zarından difüzyonla geçer.
- Hayvan solunum sistemleri çok çeşitli olmasına rağmen, bunların hepsi kolaylaştırılmış difüzyonun iki özelliğini paylaşır:
 - 1. Solunum yüzeyi nemli olmalıdır.** Çünkü gazlar hücre içine veya dışına difüze olacakları zaman suda çözünmek zorundadır.
 - 2. Solunum sistemi, yeterince gaz değişimi sağlamak için geniş bir yüzey alanına sahip olmak zorundadır.**

Nemli çevrelerde yaşayan bazı hayvanların özelleşmiş solunum yapıları yoktur.

- Nemli çevrelerde yaşayan bazı hayvanlar özelleşmiş solunum yapıları olmaksızın gaz değişimini yapabilirler. Onların vücutlarının dış yüzeyi gazların diffüzyonu için uygun bir yüzey alanı sağlar. Eğer vücut son derece küçük ve uzunsa, mikroskobik nematod kurtlarında olduğu gibi, gazların vücudun tüm hücrelerine ulaşması için sadece kısa bir mesafeyi geçmesi gerekir. Alternatif olarak, bir hayvanın vücudu ince ve yassılaştırmış olabilir, diffüzyon için geniş bir yüzey sağlar. Yassı kurtlarda, çoğu hücre gazların içlerine diffüze olabileceği nemli deriye yakındır.
- Eğer enerji talebi yeterince düşükse, diffüzyonla nispeten yavaş olan gaz değişim oranı daha büyük ve daha kalın olan vücutlar için bile yeterli olabilir. Örneğin, deniz anası oldukça büyüktür, fakat onların yüzeyden uzak olan hücreleri nispeten hareketsizdir ve az oksijene ihtiyaç duyarlar.

Nemli çevrelerde yaşayan bazı hayvanların özelleşmiş solunum yapıları yoktur.

- Gaz değişimi için diğer bir adaptasyon çevreyi (yani suyu) tüm vücut hücrelerinin yakınına getirmek ve vücut hücreleri ve su arasında doğrudan gaz değişimini sağlamaktır. Örneğin süngerlerde deniz suyu onların vücutları içindeki kanallarda dolaşır, deniz suyunu hücrelerinin hepsinin yanına getirir .
- Bazı hayvanlar iyi gelişmiş dolaşım sistemleriyle difüzyon yaptıkları geniş deri yüzeylerini birleştirirler. Örneğin toprak solucanında, gazlar nemli deriden geçerler ve etkili bir dolaşım sistemiyle bütün vücuda dağıtırlar. Deri kapillerlerindeki kan deriye difüze olan oksijeni hızla götürür, alınan oksijen sayesinde konsantrasyon gradiyentini devam ettirir. Solucanın uzun vücudu onun iç hacmine oranla geniş bir deri yüzeyi sağlar ve solucanın yavaş metabolizması nispeten az oksijen ister. Deri bir gaz değişim organı olarak etkin kalmak için nemli kalmak zorundadır, kuru bir toprak solucanı boğulur (tıkanır).

Solunum Sistemleri Diffüzyonla Gaz Değişimini Kolaylaştırır

Büyük hacimde akış (bulk flow) sırasında, sıvılar veya gazlar, yüksek basınçlı alanlardan düşük basınçlı alanlara hareket eder. Büyük hacimde akış, diffüzyonla zıttır, diffüzyonda moleküller yüksek konsantrasyondan düşük konsantrasyonlu alanlara ayrı ayrı hareket ederler. Genel olarak, solunum sistemlerindeki gaz değişimi aşağıdaki evrelerde olur:

1. Oksijen içeren su veya hava, genellikle solunum kası hareketleriyle kolaylaştırılmış kaba akışla (bulk flow), solunum yüzeyinin öbür tarafına geçirilir.
2. Oksijen ve karbondioksit solunum yüzeyinde difüzyonla değiştirilir, oksijen dolaşım sisteminin kapillerlerine taşınır ve karbondioksit uzaklaştırılır.
3. Gazlar, solunum sistemi ve dokular arasında, kalp tarafından vücuda pompalanan kanın kaba akışıyla taşınır.
4. Gazlar, doku ve dolaşım sistemi arasında difüzyonla değiştirilir. Dokularda, konsantrasyon gradiyentleri boyunca oksijen kapillerlerin dışına, karbondioksit içine difüze olur.

Solungaçlar Sulu Çevrelerde Gaz Değişimini Kolaylaştırır.

Solungaçlar, suda yaşayan bir çok hayvanın solunum yapısıdır. Solungaçlar, yüzey alanını arttırmak için dallanmış veya katlanmıştır. Solungaç büyüklüğü çevrelerindeki suyun oksijen miktarıyla belirlenir. Örneğin, durgun suda yaşayanların solungaçları, iyi havalanmış suda yaşayanlarıkinden daha büyüktür. Solungaçların ince dış zarlarının hemen altında yoğun kapiller ağı bulunur. Bu kapillerler, kanı yüzeyin yakınına getirirler, burada gaz değişimi gerçekleşir.

Balık solungaçları operkulum denilen koruyucu bir kemik kapakla kaplıdır. Operkulum, ince solungaç zarlarının yırtıcı hayvanlar tarafından kemirilmesini engeller, ve vücuda şekil vererek balığın daha hızlı yüzmesini sağlar.

Balıklar ağızlarına su pompalayarak solungaçları üzerinde devamlı bir akım yaratır ve bunu operkular açıklığının içine fışkıtır. Balıklar ağızlarını açmak suretiyle yüzerek su akışını arttırabilirler; bazı hızlı yüzücüler, turna ve bazı köpekbalıkları özellikle solungaçlarını havalandırmak için yüzerler. Solungaçlar suyun dışında işe yaramazlar, çünkü havaya çıkınca kurur ve bozulurlar. Bu yüzden karada yaşayan hayvanlar evrimleşirken onların solunum organları hem kurumaktan korunmalı hem de desteklenmelidir.

Karada Yaşayan Hayvanlar İç Solunum Yapılarına Sahiptir.

- Karada yaşayan hayvanlar, sulu çevreye göre oksijence daha zengin olan atmosferde yaşarlar, fakat kuru havadan oksijen alınması özel zorluklar ortaya koyar. Tüm solunum yüzeyleri nemli kalmak zorundadır, çünkü gazlar membranı geçmek için suda çözünmek zorundadır.
- Bu yüzden kara hayvanları nemlendirilmiş, desteklenmiş ve kurumaktan korunmuş solunum yüzey yapıları geliştirmiştir. Doğal seleksiyon, böceklerde **trake** ve omurgalılarda **akciğerler** gibi çeşitli karasal solunum yapıları geliştirmiştir.

Böcekler Trakeler Aracılığı ile Solunum Yaparlar.

- Böcekler, havayı vücut hücrelerine doğrudan taşıyan ve **trakeler** adı verilen geniş olarak dallanmış iç tüpler sistemini kullanır. **Kitin** ile desteklenmiş olan trakeler, vücut dokularına dağılmış olan daha küçük kanallara (**trakeoller**) dallanmıştır ve gaz değişimini sağlarlar.
- Hava **spiracle** denilen ve abdomenin her iki tarafında yer alan bir dizi açıklıktan trakelere girer. Spiracle'ler (delikler) açılıp kapanmalarını sağlayan vanalara sahiptir.

Bir Çok Karasal Omurgalı, Akciğerleri Aracılığı ile Solunum Yapar.

- **Akciğerler**, vücut içinde korunmuş olan nemli ve ince solunum yüzeyleri içeren odalardır, burada su kaybı azaltılmış ve vücut duvarı destek sağlamıştır.
- İlk omurgalı akciğeri bir tatlı su balığında görülmüştür ve sindirim kanalının bir dış kesesinden oluşmuştur. Bu basit akciğerde, gaz değişimi, oksijence fakir durgun suda yaşayan balığa yardım eder.
- Sucul ve karasal yaşam arasındaki sınırdaki sınırdaki yaşayan amfibiler, larval evrede solungaçları, daha karasal olan ergin formda ise akciğerleri kullanırlar. Örneğin tamamen sucul olan **iribaş**, karasal olan kurbağaya gelişirken solungaçlarını akciğerlere değiştirir. Kurbağalar ve semenderler, solunum yüzeyine bir destek olarak nemli derilerini de kullanırlar.

- Reptillerin pulları, derideki su kaybını azaltır ve reptillerin kuru çevrelerde yaşamasını sağlar. Fakat pullar, deride gazların diffüzyonunu da azaltır, bu yüzden reptillerin akciğerleri amfibilerinkinden daha iyi gelişmiştir.
- Kuşlar ve memeliler, sadece akciğerleriyle nefes alırlar. Kuşların akciğerleri, son derece etkili gaz değişimini sağlayan özel adaptasyonlar geliştirmiştir, bu da uçuş için gerekli olan fazla enerjiyi sağlar. Bir kuş nefes alırken, hava onun akciğerlerine dolar, oksijen burada alınır ve aynı anda hava keselerine hava dolar, bu hava keselerinin bazıları akciğerlerin arkasında yer alır.
- Kuş nefes verirken, keselerdeki hava akciğerlere geri verilir ve soluk verirken bile kuşa ekstra oksijen sağlar. Kese gibi olan diğer omurgalı akciğerlerinin tersine, kuş akciğerleri **parabronş** denilen içi boş ince duvarlı tüplerle doludur, bunlar havanın her iki yönde geçişini sağlar

İnsan Solunum Sisteminin Özellikleri ve Fonksiyonları

- İnsanlarda ve akciğerlerle soluyan diğer omurgalılardaki solunum sistemi iki kısma ayrılabilir:

1. Taşıyıcı Kısım

2. Gaz Değişim Kısım

Solunum Sisteminin Taşıyıcı Kısmı Havayı Akciğerlere Taşır.

Ağız veya burundan giren hava, burun ve ağız boşluğundan geçerek ortak bir oda olan **farinkse** (yutak), sonra da **larinkse** (gırtlak) geçer. Larinks açıklığı, kıkırdakla desteklenmiş bir doku olan **epiglottis** tarafından korunur. Normal nefes alma sırasında, epiglottis yukarı doğru eğilimlidir, havanın larinkse serbestçe girmesini sağlar. Yutma sırasında, epiglottis aşağı doğru eğilimlidir ve larinksi kapatır, besin maddelerini özofagusa yöneltir.

- Larinks içinde, kaslar tarafından kontrol edilen elastik doku bantları olan **ses telleri** vardır. Kasların kasılması, ses tellerinin, açık olan larinksi kısmen tıkamasına sebep olur, böylece dışarı verilen hava bunların titreşmesine sebep olur, konuşma ve şarkı söyleme tonlarını oluşturur. Tonlar, tellerin gerilmesiyle ses perdesini değiştirebilir, dil ve dudakların hareketiyle kelimelere dönüştürülebilir.
- Solunan hava, larinksten trakeye geçer, **trake** sert kıkırdaklı, yarı halkasal bantlarla desteklenmiş duvarları olan esnek bir tüptür.
- Trake, göğüs içinde, **bronş** adını alan iki büyük dala ayrılır, her biri bir akciğere gider.
- Akciğer içinde, her bir bronş tekrar tekrar **bronşçuk** denilen daha küçük tüplere dallanır.
- Bronşçuklar son olarak mikroskobik alveollere ulaşır, **alveoller** gaz değişiminin olduğu ince hava keseleridir

- Hava, taşıyıcı sistemi geçişi sırasında
- ısıtılır
- nemlendirilir
- temizlenir

(havayla gelen toz ve bakterilerin çoğu, solunum yolundaki hücreler tarafından salgılanan **mukus** tarafından tutulur. Mukus ve onun tuttuğu kalıntılar bronşçuk, bronş ve trakelerin duvarındaki **siller** tarafından yukarıya, farinkse doğru sürekli olarak süpürülür. Mukus farinkse ulaştığında öksürükle çıkarılır veya yutulur. Sigara içmek silleri paralize ederek bu temizleme işlemine zarar verir).

Gaz Değişimi Alveollerde Olur

- Akciğerler, solunum yüzey alanını artırmak için düzenlenmiştir. Bronşçuklar, havayı ince yapılar olan alveollere taşır, bu alveoller solunum yüzeyinin hemen hemen tamamını oluşturur.
- Her bir akciğer 1,5 - 2,5 milyon alveolden oluşur.
- 0,2 mm çapındaki bu mikroskobik odacıklar akciğer dokusuna sünger kalıbı görüntüsü verir.
- İnce duvarlı alveoller, küçük hava kabarcıklarına benzer ve difüzyon için büyük yüzey alanı sağlar-yaklaşık 75 m² olan bu alan yetişkin bir insanın toplam deri yüzey alanının 80 katıdır.
- Her bronşçuğun sonunda, üzüm salkımı gibi bir demet olan alveoller, tamamen kılcal damarlarla sarılmıştır.

Hem alveol duvarı hem de kapiller duvarı sadece bir hücre kalınlığındadır, yani hava, kapillerlerdeki kana çok yakındır.

Alveolleri oluşturan akciğer hücreleri ince tabakalı bir sıvıyla kaplı olduğu için nemli kalır.

Gazlar bu sıvıda çözünerek alveolleri ve kapiller zarlarını geçerler

- Kan, vücut dokularını dolaştıktan sonra kalp tarafından akciğerlere pompalanır. Alveollerin çevresine gelen kan oksijence fakirdir ve karbondioksitçe zengindir.
- Alveollerde oksijen, konsantrasyonun yüksek olduğu havadan konsantrasyonun düşük olduğu kana geçer.
- Bunun tersine, karbondioksit konsantrasyonunun yüksek olduğu kandan konsantrasyonunun daha düşük olduğu alveollerdeki havaya geçer.
- Akciğerlerde karbondioksitten arınmış olan oksijenli kan, kalbe geri döner ve oradan vücut dokularına pompalanır.
- Dokularda oksijen konsantrasyonu kandakinden düşüktür, bu yüzden oksijen hücrelere geçer. Hücrelerde oluşan karbondioksit kana geçer

Oksijen ve Karbondioksit Farklı Mekanizmalarla Taşınır.

- Kanda oksijen, kırmızı kan hücrelerindeki **hemoglobine** gevşek ve reverzibl olarak bağlanır. Her bir hemoglobin molekülü, dört oksijen molekülü bağlayabilir. Kanla taşınan oksijenin hemen hemen tamamı hemoglobine bağlanmıştır. Hemoglobin sayesinde kanımız oksijenin plazmada çözünmüş olarak taşınmasından 70 kat daha fazla oksijen taşır.
- Hemoglobin oksijen bağlayınca proteinde hafif bir şekil değişikliği olur ve rengi değişir. Oksijensiz kan koyu vişne çürüğü kırmızısı rengindedir ve deri içinde mavimsi görünür; oksijenli kan açık kiraz kırmızısıdır.
- Karbonmonoksit (CO) gazı oldukça toksiktir, çünkü o oksijenin yerine bağlanarak hemoglobini "tutuklar" ve bağlanma gücü 200 kattan daha fazladır. CO içeren hemoglobin de açık kırmızı renktedir. Fakat oksijen transportu yapamaz. Hava gazından boğulan kurbanların çoğunun dudakları ve tırnak dipleri mavimsidir, CO kurbanlarının dudakları ve tırnak dipleri ise normalden daha açık kırmızıdır.

Oksijen ve Karbondioksit Farklı Mekanizmalarla Taşınır.

Karbondioksit üç farklı yolla taşınır:

- Kırmızı kan hücrelerinde bulunan bir enzim olan ***karbonik anhidraz*** varlığında, karbondioksitin % 70'i HCO_3^- iyonu oluşturmak için suyla reaksiyona girer, bikarbonat iyonu sonra difüzyonla plazmaya geçer.
- Karbondioksitin yaklaşık % 20'si akciğerlere geri dönmek için oksijenini dokulara bırakmış olan hemoglobine bağlanır.
- Geri kalan % 10 karbondioksit olarak plazmada çözünmüş olarak kalır .

Hava Aktif Olarak Alınır Pasif Olarak Verilir.

- Akciğerlerin dış tarafı olan **göğüs boşluğu**, üstten boyun kasları ve bağ dokusuyla, alttan kubbe şeklinde olan kas yapısındaki **diyafra**mla sarılmıştır ve hava geçirmez.
- Akciğerleri çevreleyen ve koruyan, göğüs duvarı içindeki **kaburga kafes**tir. Kaburga kafesinin iç duvarı ve akciğerlerin çevresinde çift katlı akciğer zarı (**pleural membran**) vardır. Bu zarlar, akciğerler ve göğüs duvarı arasında hava geçirmez bir conta oluşturur.

Nefes alma (soluma) iki basamakta gerçekleşir:

- 1. Hava akciğerlere aktif olarak çekildiği zaman **inhalasyon** (nefes alma)
- 2. Hava akciğerlerden pasif olarak çıkarıldığı zaman **ekshalasyon** (nefes verme)

İnhalasyon - Ekshalasyon

- Nefes alma göğüs kafesinin genişlemesiyle meydana gelir. Bunun olması için diyafram kasları kasılır, diyafram aşağı doğru çekilir. Ayrıca kaburga kasları da kasılır, kaburgalar yukarıya ve dışarıya doğru yükselir. Göğüs boşluğu genişlediği zaman akciğerler de onunla beraber genişler, çünkü göğsün iç duvarına karşın bir vakum onları sıkıca bir arada tutar (Eğer göğüs delinirse ve akciğer zarları ile akciğer arasına hava sızarsa akciğer söner, çöker). Akciğerler genişlerken onların artan hacmi havanın akciğere çekilmesi için kısmi bir vakum oluşturur.
- Nefes verme nefes almayı sağlayan kaslar gevşediği zaman otomatik olarak gerçekleşir. Gevşeyen diyafram yukarıya doğru kubbeleşir, kaburgalar aşağıya ve içeriye doğru iner, göğüs boşluğunun hacmi azalır ve hava akciğerlerin dışına itilir.
- Abdominal kasların kasılmasıyla daha fazla hava dışarı itilebilir. Nefes verdikten sonra akciğerlerde hala hava bulunur. Bu hava ince alveollerin sönmesini engeller ve solunum sisteminin taşıyıcı kısmı içindeki boşlukları doldurur.
- Normal bir nefes solunum sistemi içine sadece yaklaşık 500 mililitre hava taşır. Bunun yaklaşık 350 mililitresi gaz değişimi için alveollere ulaşır. Egzersiz sırasında alınan daha derin nefes bu hacmi birkaç kat arttırır.

Solunum Hızı Beynin Solunum Merkezi Tarafından Kontrol Edilir.

- Nefes alma, bilinçli düşünmeksizin ritmik olarak ve otomatik olarak gerçekleşir.
- Fakat kalp kaslarının aksine, solunumda kullanılan kaslar kendi kendine aktive olamazlar, her bir kasılma sinir hücrelerinden gelen impulslarla uyarılır.
- Bu impulslar omuriliğin hemen üstündeki medullada yer alan **solunum merkezinden** çıkar.
- Solunum merkezindeki sinir hücreleri, solunum kaslarının kasılma ve gevşemelerini sağlayan devirsel impuls çıkışları oluşturur.

- Solunum merkezi, bir kaç kaynaktan bilgi alır ve vücudun değişen gereksinimlerini karşılamak için solunum hızını ve hacmini ayarlar.
- Medulladaki CO₂ reseptörleri tarafından izlendiğinden, solunum hızı, kandaki CO₂ in sabit seviyesini devam ettirmek için düzenlenir.
- Solunum hızı O₂ konsantrasyonundaki değişikliklere daha az duyarlıdır. Fakat, eğer kandaki oksijen seviyesi aşırı bir şekilde düşerse aort ve karotis arterlerindeki reseptörler solunum merkezini uyarır.
- Koşma gibi yorucu bir aktiviteye başladığınız zaman solunum hızındaki artış kan gaz seviyesindeki herhangi bir artıştan önce olur. Açıkça, ağır egzersiz sırasında, daha yüksek beyin merkezleri kasları uyardığı zaman, aynı anda solunum hızını artırmak için solunum merkezini de uyarırlar. Solunum aktivitesi karbondioksit konsantrasyonunu izleyen reseptörler tarafından "ince ince ayarlanır".