

# A légzési gázok szállítása, a légzőrendszer szerveződése, a légzés szabályozása



# A levegő összetétele

## parciális nyomás, tenzió, gázok oldékonysága

	belélegzett levegő	kilélegzett levegő
$N_2$	78.09%	78%
$O_2$	20.95%	15-18%
$CO_2$	0.03%	4-5%
argon	0.93%	0.93%
vízpára	változó	telített

### Nyomásviszonyok:

légnomás tengerszinten: 760 Hg mm;  $O_2$  parciális nyomása: 159 Hgmm  
légnomás 6000 m-en: 360 Hg mm;  $O_2$  parciális nyomása 80 Hgmm

parciális nyomás: egy gázkeverék esetében a keverék össznyomásából az adott gázra eső nyomásérték

tenzió: oldott gáz nyomása, azonos a vele egyensúlyban levő gázfázisban a gáz parciális nyomásával

### Vízoldhatóság légköri nyomásnál:

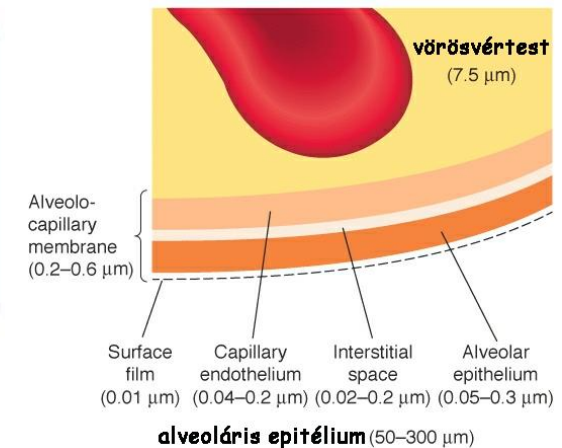
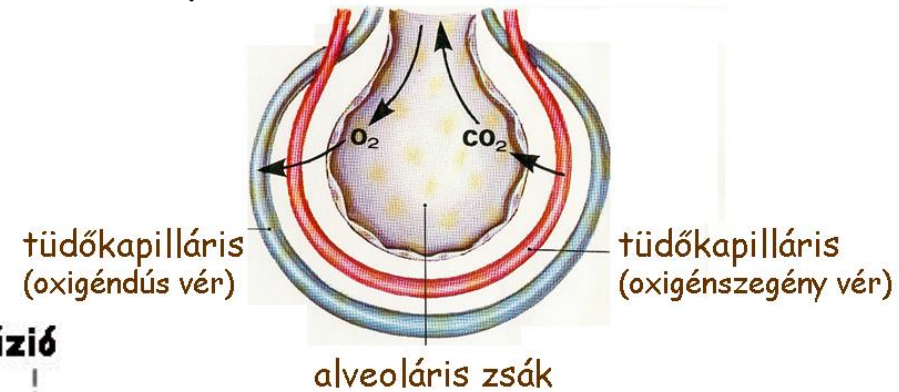
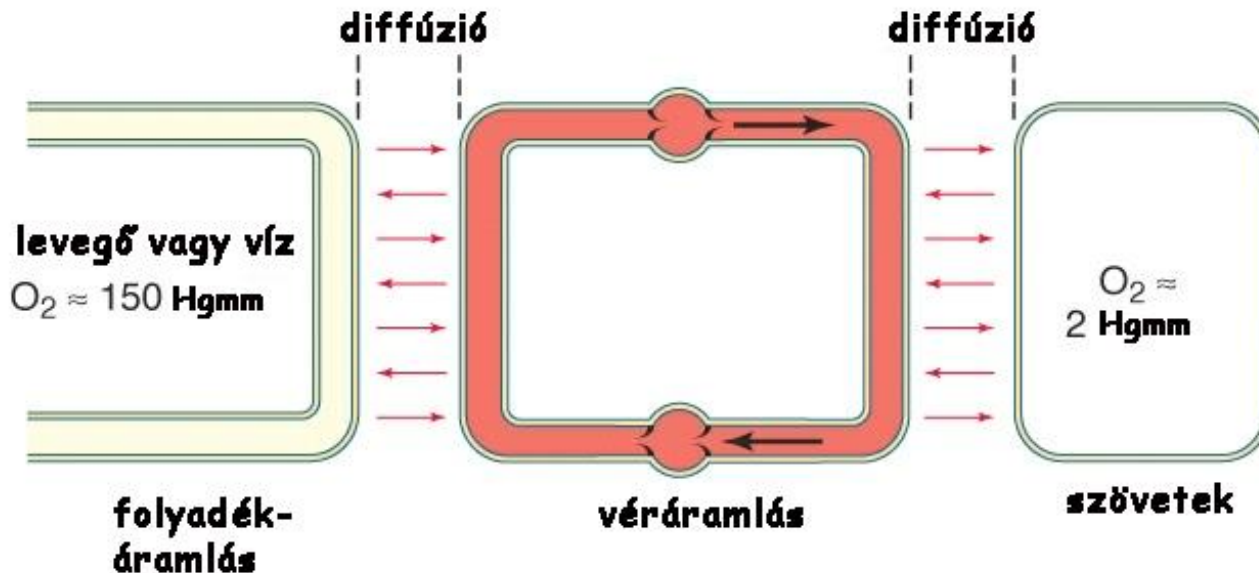
$N_2$  16.9 ml / 1000 ml víz  
 $O_2$  34.19 ml / 1000 ml víz (nagyon alacsony!)  
 $CO_2$  11019 ml / 1000 ml víz

# A légzés funkciója

- **oxigén-ellátás és hőleadás**
  - gázcsere: az  $O_2$  és  $CO_2$  kicserélődése
  - külső légzés: tüdő alveolusok → vér
  - belső légzés: vér → szövetek
  - biológiai oxidáció: biokémiai folyamatok (glikolízis, citromsav-ciklus, terminális oxidáció)
    - ATP és NADH képződés
    - $2C_6H_{12}O_6 + 9O_2 = 12CO_2 + 6H_2O$  (+72-76 ATP)
- **a légzés szerve szárazföldi gerincesekben a tüdő**
  - 12-15 légvétel/perc (ember)
  - 500 ml levegő/légvétel
  - 6-8 l levegő/perc, ebből 250 ml  $O_2$  felvétele és 200 ml  $CO_2$  leadása
  - fizikai munka: akár 4000 (!) ml  $O_2$ -re is szükség lehet
  - 300 millió alveolus
  - 50-100 m<sup>2</sup> légzőfelület a gázcserére

# A légzési gázok cseréje

- a légzési gázok cseréje passzív folyamat (diffúzió)
- a gáz arra megy, amerre kevesebb van belőle (alacsonyabb parciális nyomás illetve tenzió)
- a gázcsere sebessége (intenzitása) függ:
  - ✓ mekkora a grádiens (parciális nyomás illetve tenzió különbség)
  - ✓ adott gáz molekulája milyen méretű és mennyire oldódik vízben
  - ✓ mekkora a kicserélődési felület
  - ✓ milyen messzire kell eldiffundálni



# Vörösvértest (vvt) képzés és lebomlás

- ❑ képzés: vörös csontvelő
- ❑ lebontás: máj, lép, vörös csontvelő
- ❑ vvt (illetve hemoglobin) képzéshez szükséges faktorok:

## → vas

- hemoglobin „hem” részéhez

## → B<sub>12</sub> vitamin

- ✓ vízoldékony; állati eredetű táplálékokban, a bélből való felszívódásához ún. „intrinsic faktor” szükséges
- ✓ májban raktározódik, ha felszívódási zavar miatt hiányzik (ált. nincs intrinsic faktor) akkor hiánytünetek csak 3-6 év múlva (régén: „májdiéta”, „májterápia”)
- ✓ **hiányában a vvt képzés gyakorlatilag leáll („vészes vérszegénység”)**

## → B<sub>6</sub> vitamin

- vízoldékony
- olyan enzimek koenzime, amelyek a hemoglobin-szintézishez szükségesek

## → folsav (B9 vitamin)

- ❖ vízoldékony; zöldségek, élesztő, máj, vese tartalmazza
- ❖ alapvetően fontos a DNS szintéziséhez, javításához és metilációjához

## → eritropoetin

- főleg vesében termelődik, hipoxia hatására

# Hemoglobin lebomlás

- tönkrement/sérült vörösvértesteket a makrofágok bekebelezik

porfirin gyűrű felhasad → **verdoglobin** (zöld)



lehasad a vas és a globin → **biliverdin** (zöld)



globin redukálódik → **bilirubin** (sárga)



bilirubin kilép a makrofágokból, vérplazmában albuminhoz kötődik



bilirubin-albumin komplexet megkötik a májsejtek



a májban a bilirubin úgy módosul, hogy jobban oldódjon vízben  
(bilirubin-diglukoronid)



**bilirubin-diglukoronid** aztán az epébe, majd a bélbe kerül



bélben baktériumok oxidálják-redukálják → **urobilinogének**  
(színtelenek) → **szterkobilin** (barna, ez adja a széklet színét)

- bilirubin és származékai gyűjtőnéven az **epefestékek**

# Hemoglobin és mioglobin

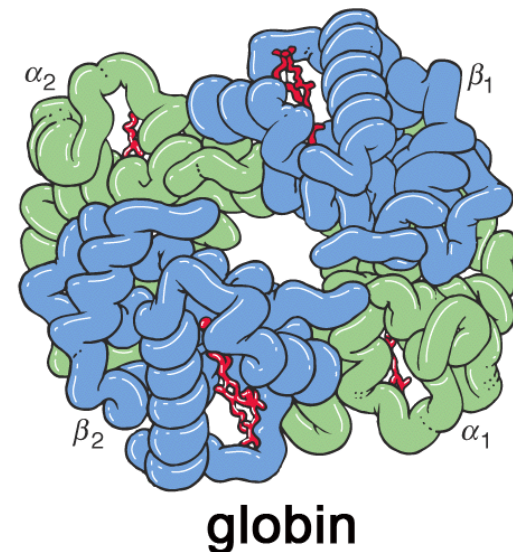
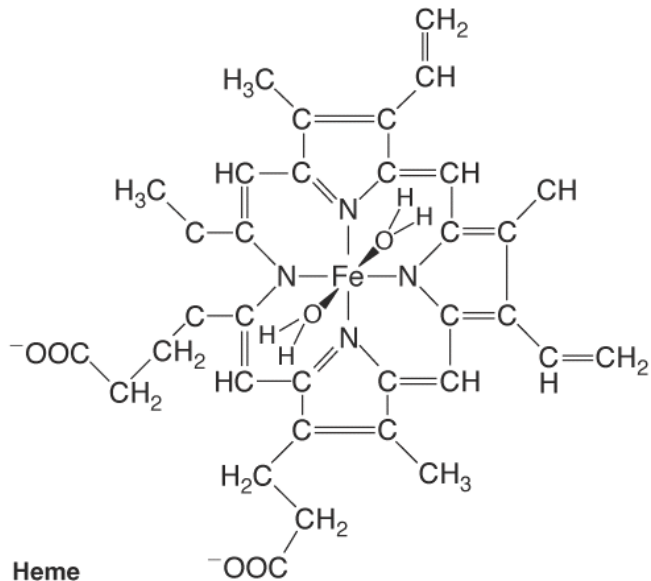
az oxigén oldékonysága vízben nagyon kicsi, így speciális oxigénkötő illetve oxigénszállító molekulák kellene

## hemoglobin

- ❖ vörösvértestekben
- ❖ 4 fehérjelánc (globin) + vastartalmú porfirinváz (hem)
- ❖ **oxigén és szén-dioxid szállítás**

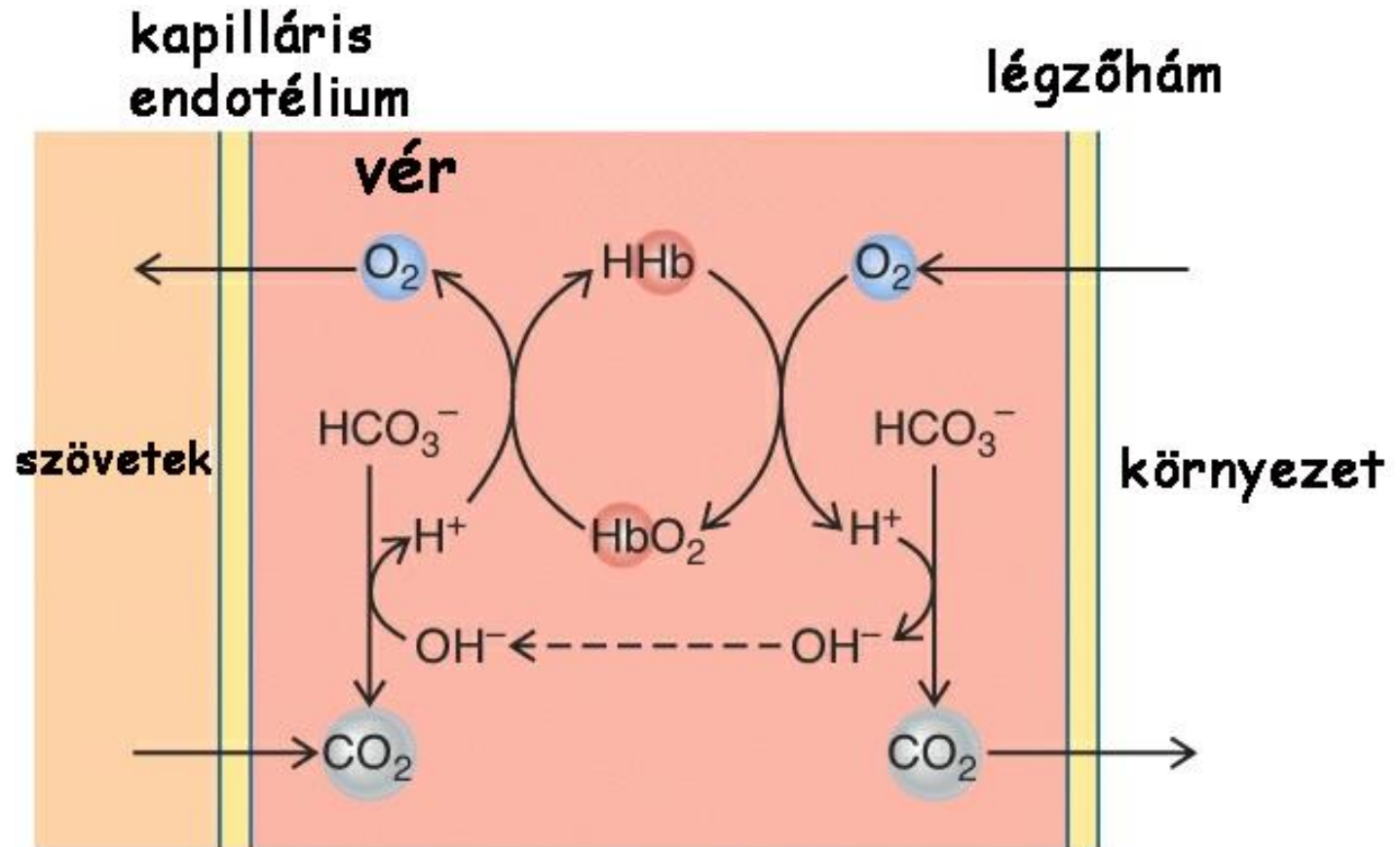
## mioglobin

- izomsejtekben
- 1 fehérjelánc (globin) + vastartalmú porfirinváz (hem)
- **oxigén tárolása** a feladata



# A vér oxigénkötő képessége I.

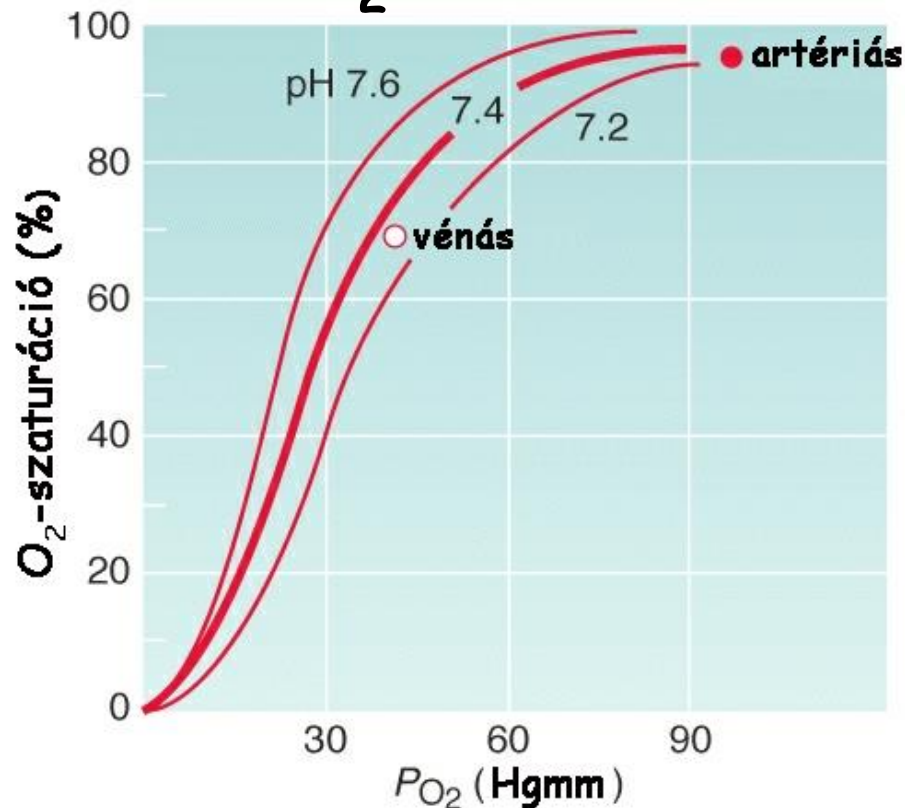
a vér oxigéntartalmának 98,5 %-át szállítja a hemoglobin, 1,5 %-a oldva van a vérplazmában





# A vér oxigénkötő képessége II.

## - az $O_2$ -tenzió hatása



- ❖ 4 molekula oxigén reverzibilis megkötése/hemoglobin molekula
- ❖ a két vegyértékű vas köti meg az oxigént → oxihemoglobin
- ❖ oxigént nem kötő hemoglobin → deoxihemoglobin
- ❖ szaturáció: telítettség ( $[\text{oxigenált hemoglobin}]/[\text{összes hemoglobin}] \cdot 100$ )
- ❖ hemoglobin a vörösvértestben, oxigén a vérplazmában: az oxigénkötés mértéke attól függ, hogy milyen a vér oxigén-tenziója

# A vér oxigénkötő képessége III.

## - $\text{CO}_2$ , pH és a hőmérséklet hatása

### $\text{CO}_2$ hatása - a Bohr-effektus

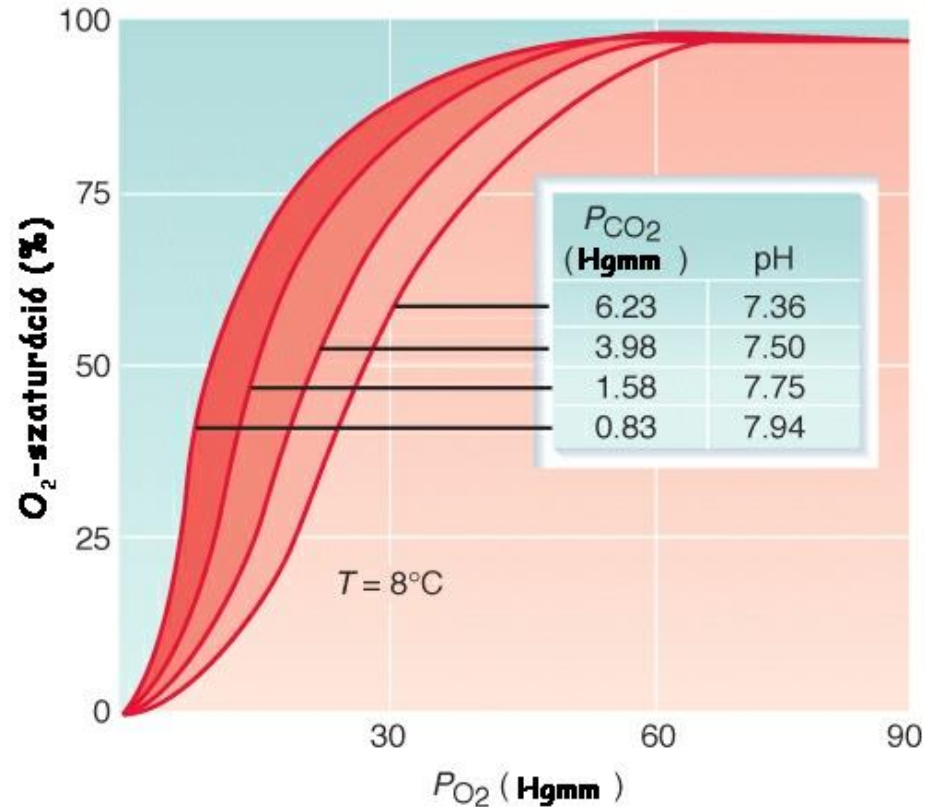
- ❖  $\text{CO}_2$  jelenlétében a hemoglobin  $\text{O}_2$ -szaturációja csökken
- ❖ a „hibásak” igazából a  $\text{H}^+$ -ok (oldott  $\text{CO}_2$ -ből szénsav lesz, amely disszociál)
- ❖ a  $\text{H}^+$ -ok kötődnek a hemoglobinhoz és megváltoztatják az  $\text{O}_2$ -affinitást
- ❖ akkor lényeges, ha alacsony az  $\text{O}_2$ -tenzió (80 Hgmm alatt)

### hőmérséklet hatása

- 37-40 °C között a hőemelkedéssel a telítettség csökken
- a csökkenés alacsony  $\text{O}_2$ -tenzió (80 Hgmm alatt) mellett jelentős

### aktív szövet:

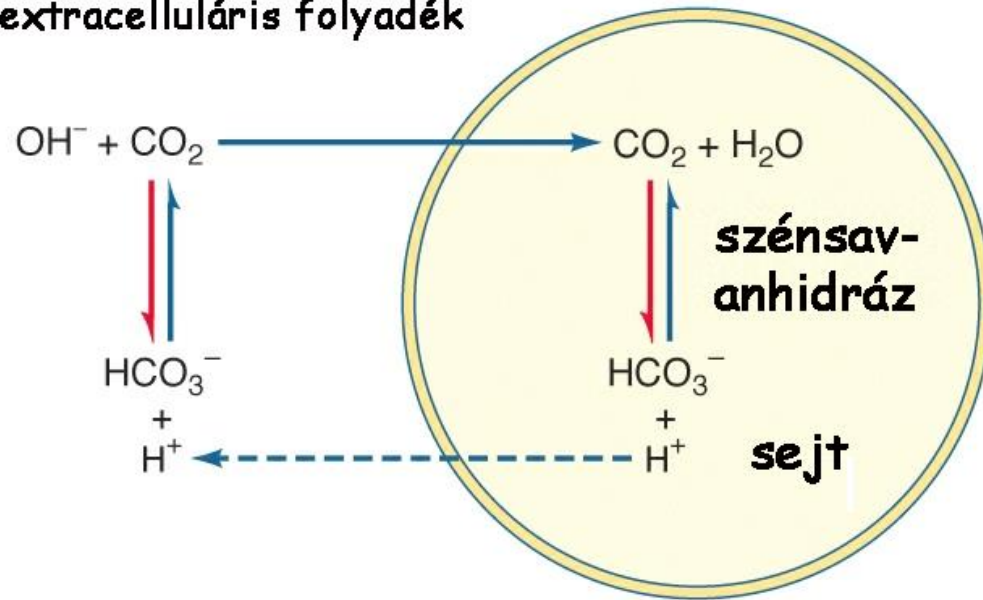
- sok  $\text{O}_2$  kell neki
- nő benne a hőmérséklet és a  $\text{CO}_2$ -tenzió, a pH csökken → deszaturáció nő → adott  $\text{O}_2$ -tenzió mellett a hemoglobin több  $\text{O}_2$ -t tud leadni



# A szén-dioxid szállítása és leadása I.

- artériás vér  $\text{CO}_2$ -tenziója 40 Hgmm, vénásé 46 Hgmm
- 70 %  $\text{HCO}_3^-$ , 23 % karbamino-hemoglobin formájában, 7 % oldva

extracelluláris folyadék

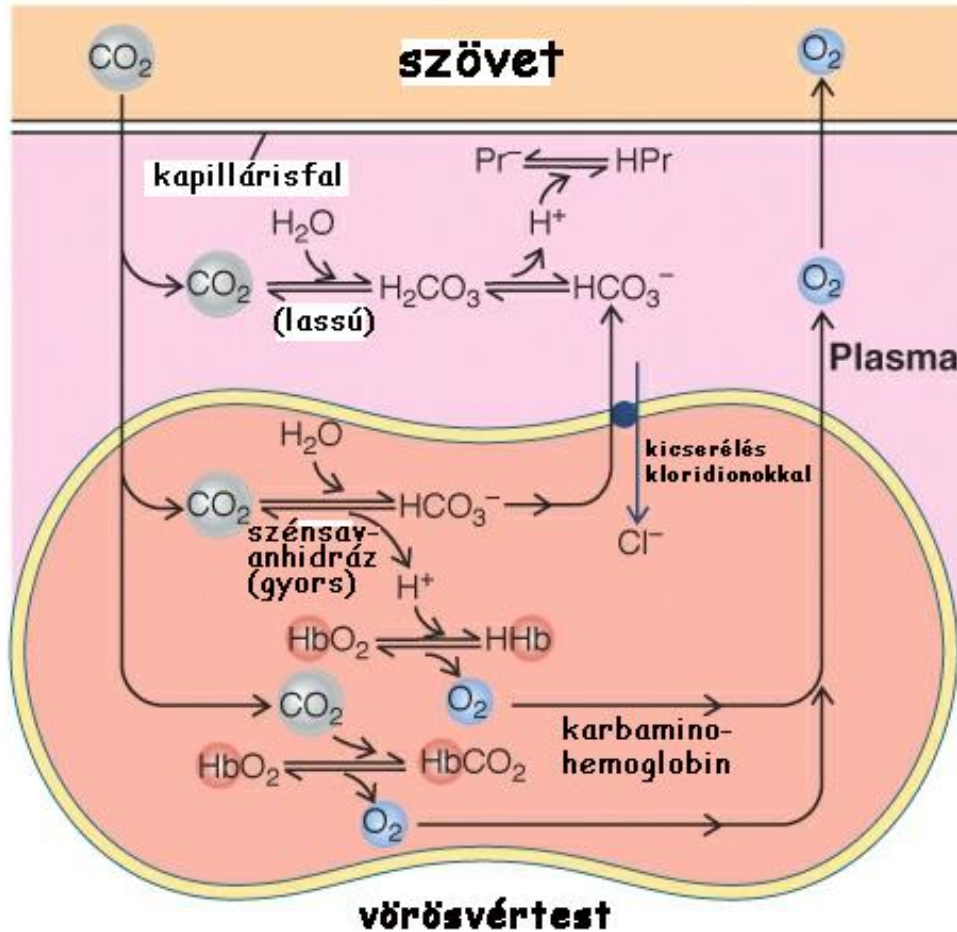


## Hemoglobin A:

- ❖  $\alpha_2\beta_2$ -tetramer, 4 oxigénmolekula megkötése a vasatomok (két vegyértékű, ferrovas) által (oxihemoglobin)
- ❖  $\text{CO}_2$  szállítása (karbamino-hemoglobin formájában, a vér teljes  $\text{CO}_2$ -tartalmának 23 %-a szállítódik így)
- ❖ a szén-monoxid (CO) 200-szor nagyobb affinitással kötődik a hemoglobinhoz, mint az oxigén és a komplex disszociációja is sokkal lassabb → CO-mérgezéskor tehát a hemoglobin nagy része kiesik az  $\text{O}_2$ -szállításból → fulladás

# A szén-dioxid szállítása és leadása II.

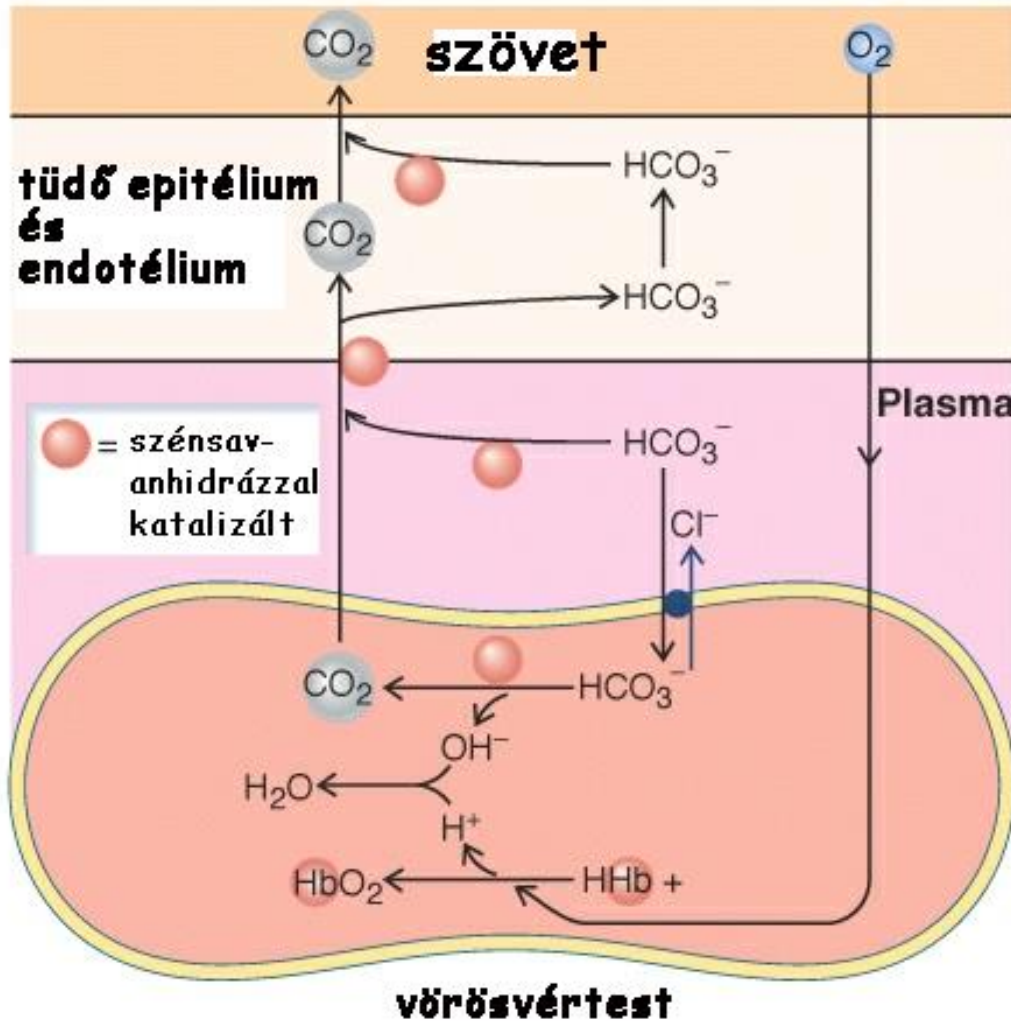
## A szöveteknél lejátszódó gázcsere



- vér CO<sub>2</sub>: egyenletesen oszlik el a vörösvértestek és a vérplazma között
- oldott CO<sub>2</sub> vizes közegben szénsavvá alakul
- a szénsavvá alakulás spontán módon nagyon lassú, enzimmel (szénsav-anhidráz) már nagyon gyors
- vörösvértestek: szénsav disszociál, H<sup>+</sup>-okat hemoglobin megköti, a HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> folyamatosan keletkezhet
- a sejten belül sok lesz a HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, ezt transzporter kicseréli kloridionra
- a CO<sub>2</sub> → bikarbonát átalakulás elősegíti, hogy a kapillárisokban az oxihemoglobin leadja az oxigént

# A szén-dioxid szállítása és leadása III.

## A tüdőnél lejátszódó gázcsere



- ellentétes folyamatok, mint a többi szövetnél
- a vörösvértest transzportere a plazma HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>-okat cseréli ki a sejten belüli kloridionokra



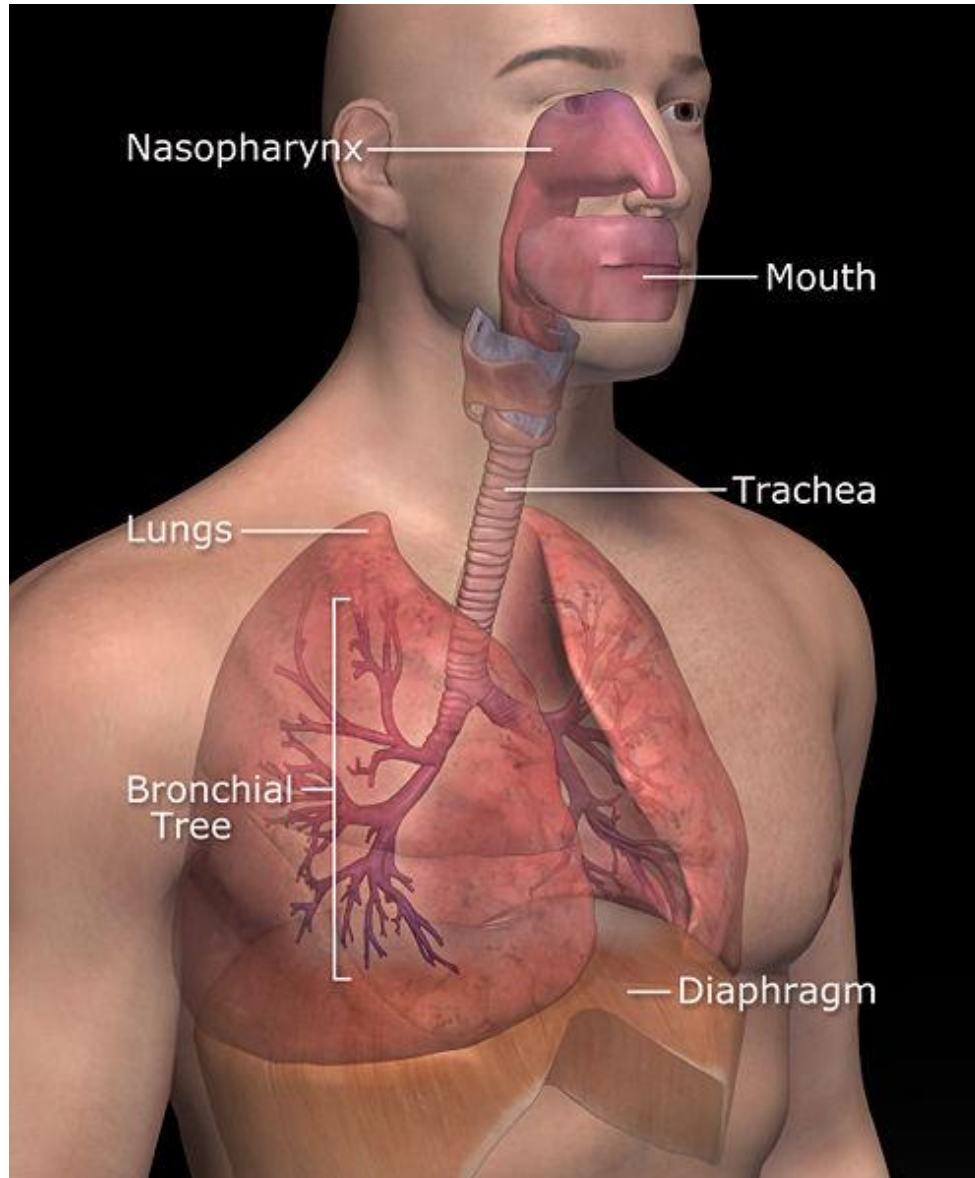
a felvett HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>-ok folyamatosan CO<sub>2</sub>-vé alakulnak



CO<sub>2</sub> átdiffundál a membránokon az alveoláris térbe (aztán kilélegezzük)

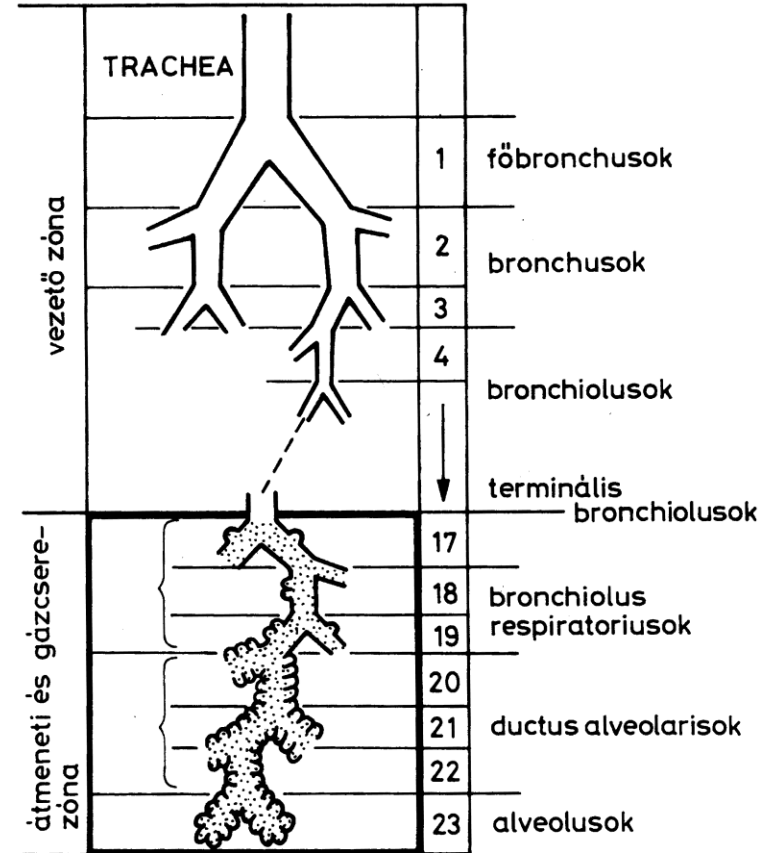
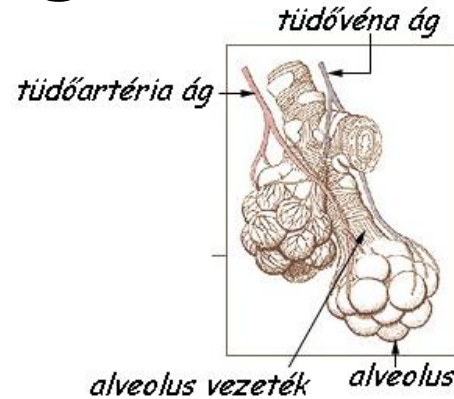


# A légzőrendszer felépítése



# A légzőszervek anatómiája

- orr
- garat - gége
  - gégefedő
  - hangszalag
- légcső (trachea)
- tüdő
  - főhörgők
    - „C” alakú porc
  - hörgők (bronchi lobales, b. segmentales)
    - porcdarabok, kevés simaizom
  - hörgőcskék (bronchioli, b. terminales, b. respiratoricus)
    - csak simaizom
  - légvezetékek és léghólyagocskák (alveolusok)
    - csak itt folyik gázcsere
- mellhártya
  - ⇒ **parietális lemez:** mellkasfalat borítja
  - ⇒ **viszcerális lemez:** tüdőt borítja
  - ⇒ lemezek között folyadék (pleurafolyadék)
    - ✚ funkciója: **adhézió** (a két lemez szétválaszthatatlan, csak elcsúszni tudnak egymáson) és **nedvesítés**



## Holtterek:

### anatómiai holttér (~ 150 ml):

- a vezető zónában maradó levegő nem vesz részt a gázcserében
- emiatt ~500 ml belélegzett levegőből csak ~350 ml vesz részt gázcserében

### alveoláris holttér:

- ❑ az összeesett vagy elzáródott alveolusok nem vesznek részt a gázcserében

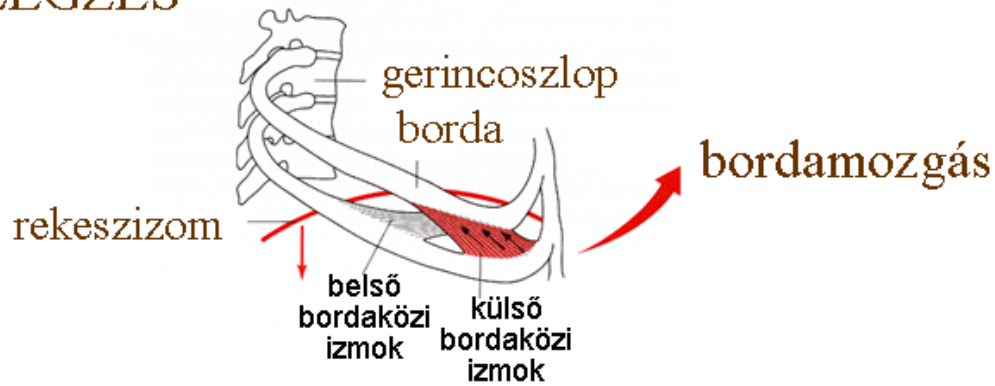
# A légzési funkciót jellemző orvosi kifejezések

<i>AZ ÁLLAPOT NEVE</i>	<i>JELLEMZŐI</i>
eupnoe	nyugalmi légzés, 500 ml, 14-16/perc
polypnoe, tachypnoe	szapora légvételek
hyperpnoe	a nyugalmat meghaladó percventilláció
dyspnoe	erőlködő, „nehézlégzés” légszomjjal
apnoe	légzési szünet
apneusis	a mellkas tartósan belégzésben marad
hyperventilatio	a légcsere meghaladja az anyagcsere által adott szintet; $P_{aCO_2}$ alacsony
hypoventilatio	a légcsere alacsonyabb az anyagcsere szintnél; $P_{aCO_2} \uparrow$ , $P_{aO_2} \downarrow$

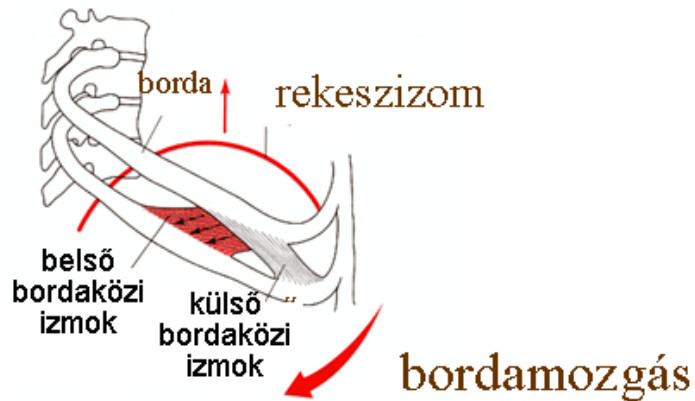


# A légzőizmok működése, légzőmozgások

## BELÉGZÉS



## KILÉGZÉS



## belégzés

- aktív folyamat, izomösszehúzódnak kell hozzá
- rekeszizom összehúzódik, 1-2 cm-el lesüllyed a hasüreg felé
- hasizmok közben reflexesen ellazulnak
- külső bordaközi izmok összehúzódnak → alsó bordák megemelkednek

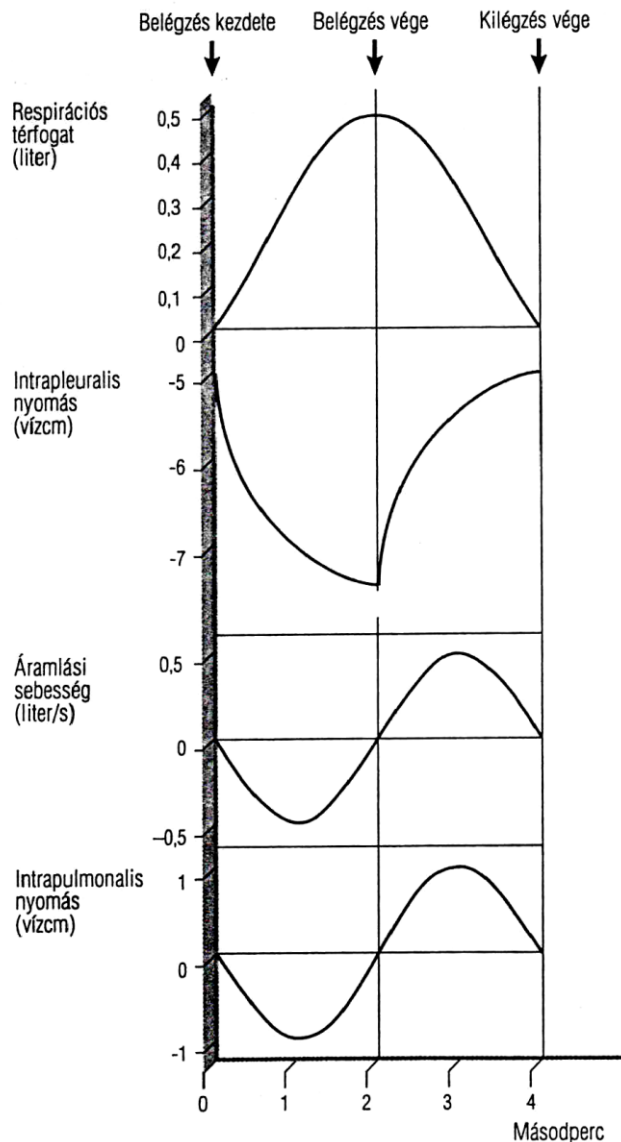
## kilégzés

- ❖ nyugodt légzésnél teljesen passzív folyamat
- ❖ erőltetett kilégzés már aktív: hasizmok és belső bordaközi izmok összehúzódása

# Légzőmozgások I.

- a gázok mozgásának alapfeltétele a mellkasfal és a tüdő elválaszthatatlan együttműködése
- mellkas: tágulási tendencia
  - a mellkas nagyobb térfogatú „akar lenni”, mint ami az összekapcsolt mellkas-tüdő rendszerben lehetséges
  - légzésszünetben a legerősebb (mikor a tüdőben az FRC térfogat van jelen)
- tüdő: összehúzódsi (retrakciós tendencia)
  - a tüdő tágulékonysága határozza meg (**compliance: egységnyi nyomásváltozás által létrehozott térfogatváltozás**)
  - a tágulékonyság a hámsejtek alatti kötőszövet rosttartalmától függ (rugalmas rostok és kollagén rostok)
- felületi feszültség kérdése:
  - légutak hámját vékony folyadékréteg borítja, amely a tüdőben lévő gázkeverékkel érintkezik
  - a folyadék-gáz fázishatáron felületi feszültség lép fel → a légút ürege „össze akar esni”
  - alveolusok: vékony fal, hajlamosak az összeesésre, így **akkora tüdőszöveten belüli illetve „keresztüli” (transmuralis) nyomás kell, hogy az alveolusok megnyíljanak**
  - **surfactant:**
    - o felületi feszültséget csökkentő anyag, amelyet a 2. típusú alveoláris pneumociták termelnek
    - o surfactant molekulák mennyisége/felület belégzés során csökken, kilégzés alatt nő → alveolus összeesést kivédi, mikor csökken a transmuralis nyomás
    - o felsír az újszülött: megnyílnak az addig zárt alveolusok - ehhez megfelelő mennyiségű surfactant kell

# Légzőmozgások II.



14-7. ábra

Intrapleurális és intrapulmonális nyomásváltozások a légzési ciklus alatt

Comroe, J. H. (1979): Physiology of Respiration, 2. kiadás, Year Book Medical Publisher, Chicago–New York 10-5. ábra alapján

## Légzésszünet:

- mellkas tágulási és tüdő összehúzódási „hajlama” egyensúlyban van
- a két pleuralemez nem tud elválni egymástól, de a mellkas kifelé, míg a tüdő befelé húzza őket → **pleuralemezek közötti nyomás (intrapleurális nyomás)** az atmoszférásnál kisebb lesz → ez lesz a **transmurális nyomás**, ami megnyitja illetve nyitva tartja az alveolusokat
- az intrapleurális nyomás áttevéődik a mellkas vékony falú képleteire → ez a **mellüri nyomás** („negatív mellüri nyomás”, mert kisebb az atmoszférás nyomásnál)

## Légmell (pneumothorax)

- a pleura két lemeze elválik egymástól → a tüdő összeesik, a mellkas viszont kitágul („hajlamuk szerint” viselkednek)
- oka: a két lemez közé levegő került (mellkasfal vagy tüdő sérülése)

# A légzési gázok összetétele

parciális nyomás (Hgmm)(%)	levegő be	alveolusok	artériák	vénák (illetve tüdőkapilláris legeleje)	levegő ki
$O_2$	<b>158 (21)</b>	<b>100 (13)</b>	<b>95 (13)</b>	<b>40 (6)</b>	<b>116 (15)</b>
$CO_2$	<b>0,3 (0,0004)</b>	<b>40 (5)</b>	<b>40 (5)</b>	<b>46 (7)</b>	<b>32 (4)</b>
$H_2O$	<b>5,7 (0,008)</b>	<b>47 (6)</b>	<b>47 (6)</b>	<b>47 (7)</b>	<b>47 (6)</b>
$N_2$ és egyéb	<b>596 (78)</b>	<b>573 (76)</b>	<b>573 (76)</b>	<b>573 (80)</b>	<b>565 (75)</b>

normál légnyomás: 760 Hgmm

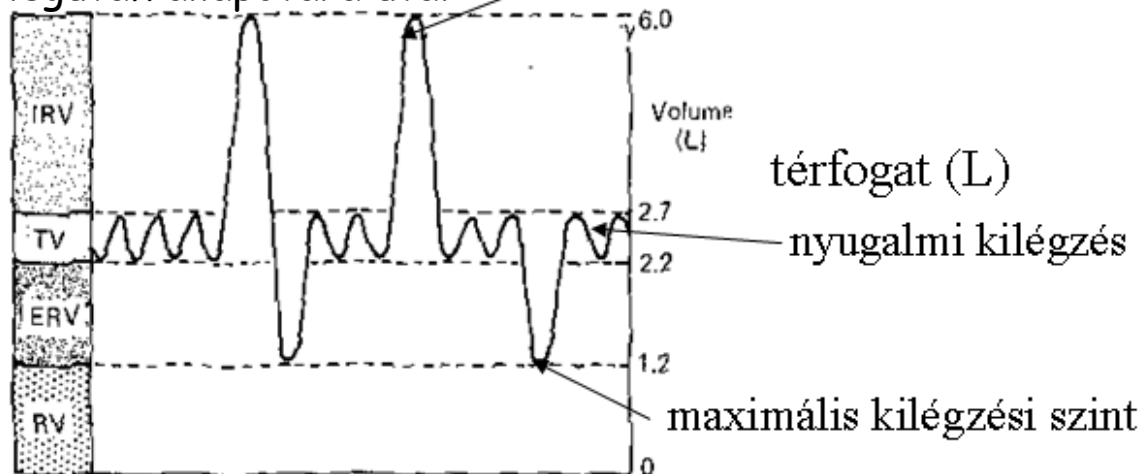
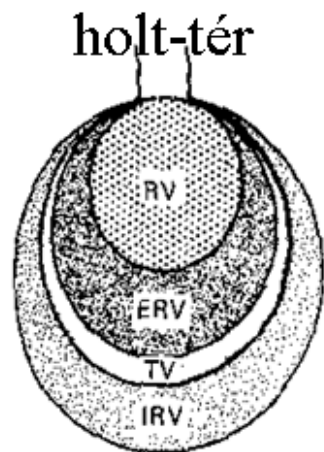
# Légzési térfogatok, vitálkapacitás

**spirometria:** a légzési térfogatok vizsgálata orvosi célból

**légzési térfogatok:**

➤ **statikus:** időfüggetlen, a légzőizmok állapotára utal

➤ **dinamikus:** időfüggő, a légutak állapotára utal



**TV (TIDAL VOLUME):** nyugalmi belégzési térfogat ~ 500 ml

❖ nyugodt légzés során egy légvétel alkalmával megmozgatott levegőmennyiség

**IRV (INSPIRATORY RESERVE VOLUME):** belégzési rezerv térfogat ~ 1900-3100 ml

➤ nyugodt belégzést követően erőltetett belégzéssel beszívható további levegőmennyiség

**ERV (EXPIRATORY RESERVE VOLUME):** kilégzési rezerv térfogat ~ 800-1200 ml

▪ nyugodt kilégzést követően erőltetett kilégzéssel a tüdőből még kilélegezhető térfogat

**vitálkapacitás:** TV + IRV + ERV ~ 3200-4800 ml

▪ maximális belégzést követően maximális kilégzéssel kifújható levegő térfogata

**RV (RESIDUAL VOLUME):** REZIDUÁLIS TÉRFOGAT - ~ 1000 ml

maximális kilégzést követően a tüdőben állandóan megmaradó térfogat; a tüdő összeesését akadályozza meg

**FRC (funkcionális reziduális kapacitás):** RV + ERV ~ 1800-2400 ml

✓ nyugodt kilégzés végén a tüdőben maradó gáztérfogat

**TLC (TOTAL LUNG CAPACITY):** teljes tüdőkapacitás; IRV + ERV + TV + RV - ~6000 ml

# A tüdő térfogatfrakció értékei

## A tüdő térfogatfrakciói

	Fiatal, 20-30 év közötti férfi, 1,7 m <sup>2</sup>	Fiatal, 20-30 év közötti nő, 1,6 m <sup>2</sup>
Reziduális térfogat (RV)	1200 ml	1000 ml
Expiratoricus rezerv (ERV)	1200 ml	800 ml
Funkcionális reziduális kapacitás (FRC)	2400 ml	1800 ml
Inspiratoricus rezerv (IRV)	3100 ml	1900 ml
Vitálkapacitás (VC)	4800 ml	3200 ml
Totálkapacitás (TLC)	6000 ml	4200 ml
(RV/TLC) × 100	20%	24%

Az értékek Comroe, J. H. Jr. al.: The Lung, 1962-es kiadás alapján.

# Az egyes szervek oxigénfogyasztása

**Szív:** perctérfogat 5 %-a  
 $O_2$ -fogyasztás 12 %-a

**Agy:** perctérfogat 15 %-a  
 $O_2$ -fogyasztás 20 %-a

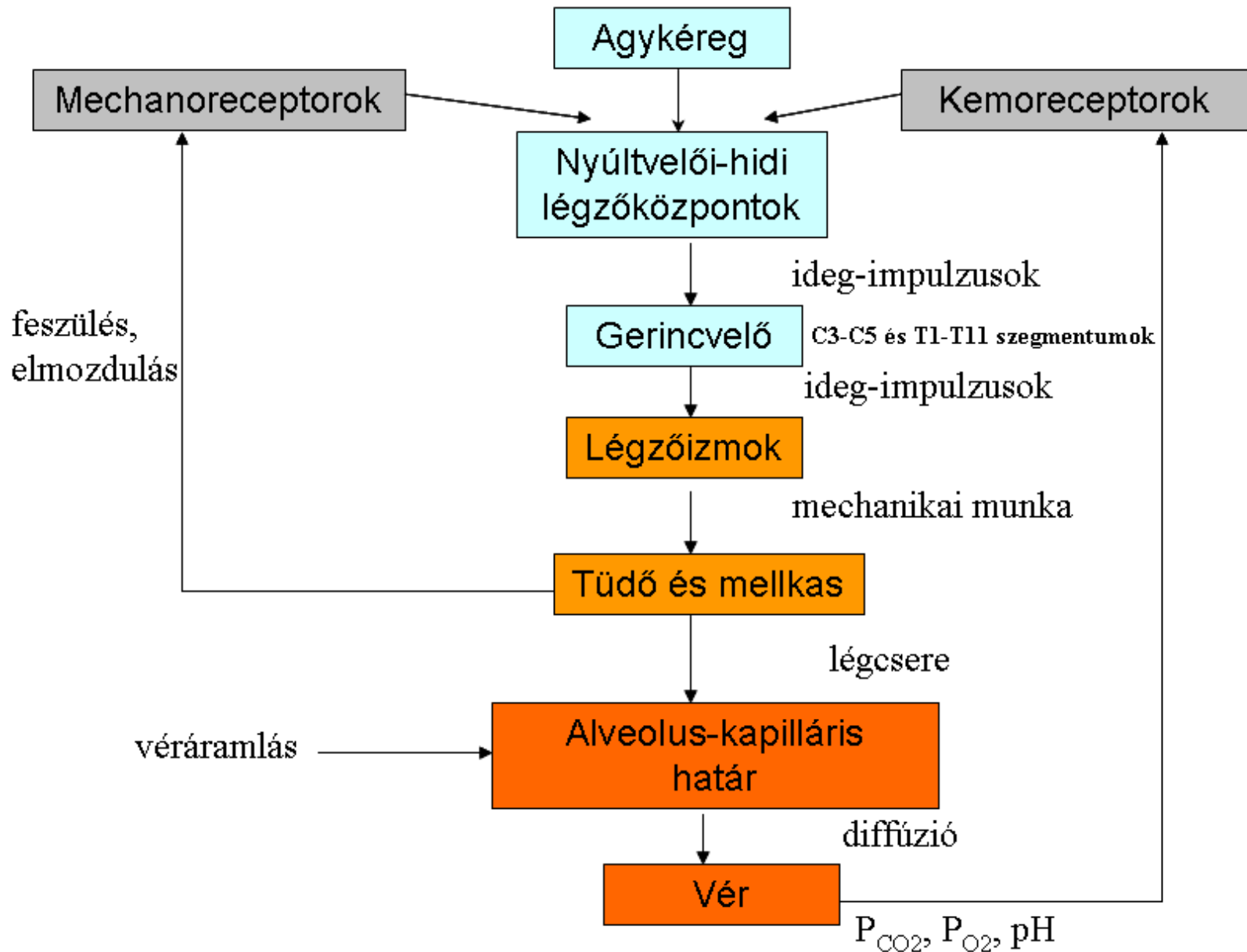
**Izom:** perctérfogat 15 %-a  
 $O_2$ -fogyasztás 20 % (80 is lehet)

**Vese:** perctérfogat 22 %-a  
 $O_2$ -fogyasztás 7 %-a

**Máj:** perctérfogat 28 %-a (arteria hepatica 20-30  
vena porta hepatica 70-80 %)  
 $O_2$ -fogyasztás 20 %-a

**Bőr:** perctérfogat 5 %-a  
 $O_2$ -fogyasztás 12 %-a

# A légzésszabályozás sémája

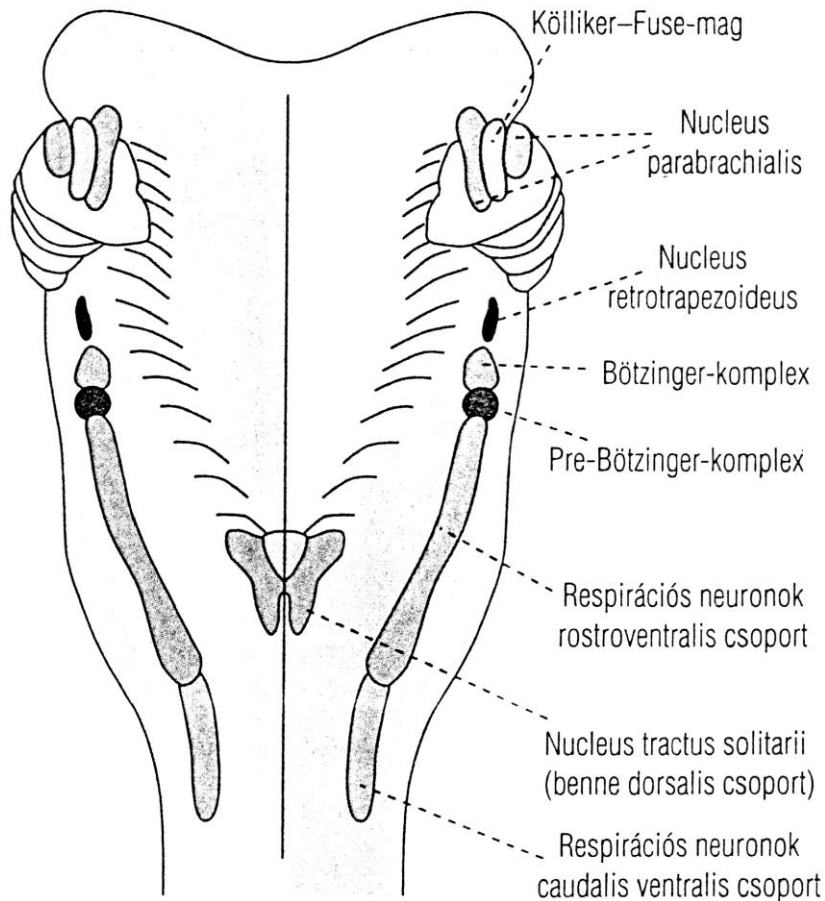




# A légzés szabályozása - légzőközpontok I.

- ❖ a központi idegrendszeri légzőközpontok a centrális és perifériás receptorokból érkező ingerek alapján működnek
- ❖ légzőközpontok a kardiovaszkuláris szabályozásban és a nyelés szervezésében szereplő központokkal szomszédosan → összehangolódás
- ❖ belégzés alatt aktív neuronok:
  - 1. a) ventrolaterális neuroncsoport (VRG) mediális része  
b) dorzális neuroncsoport (DRG) (nyúltvelő, n. tractus solitarii környéke)
  - 2. a) ventrolaterális neuroncsoport (VRG) rostralis része (Bötzinger komplex)  
b) nucleus tractus solitarii gátló sejtjei GV (vagus és glossopharyngeus)
  - 3. híd n. parabrachialis medialis és a Kölliker-Fuse mag
    - belégzés/kilégzés váltásban játszanak szerepet
- ❖ kilégzés alatt aktív neuronok:
  - ventrolaterális neuroncsoport (VRG) kaudális része (nucleus retrofacialis és nucleus retroambiguus)

# A légzés szabályozása - légzőközpontok II.



14-13. ábra

Az agytörzsi respirációs neuroncsoportok elhelyezkedése

- „légzőközpontok”: nyúltvelői és hídi neuroncsoportok, amelyek hálózatba vannak szervezve (komplex aktiválási-gátlási folyamatok)
- a légzésszabályozó neuronok zöme gátló (GABAerg és glicinerg)
- újszülött:
  - ❖ nyúltvelői központok egy részének (pre-Bötzinger komplex) van spontán aktivitása
- felnőtt:
  - hídi és nyúltvelői neuronoknak együtt kell működniük, hogy elnyomják a spontán nyúltvelői ritmust (ami felnőttben is a pre-Bötzinger komplexből „jön”)
  - hídi neuronok sérülése, hypoxiája: spontán nyúltvelői ritmus nincs elnyomva → kapkodó légzés („gaspig”; hirtelen belégzés, aztán hosszú légzésszünet)

# Légzés-és keringésszabályozás - kemoreceptorok I.

## Kemoreceptorok

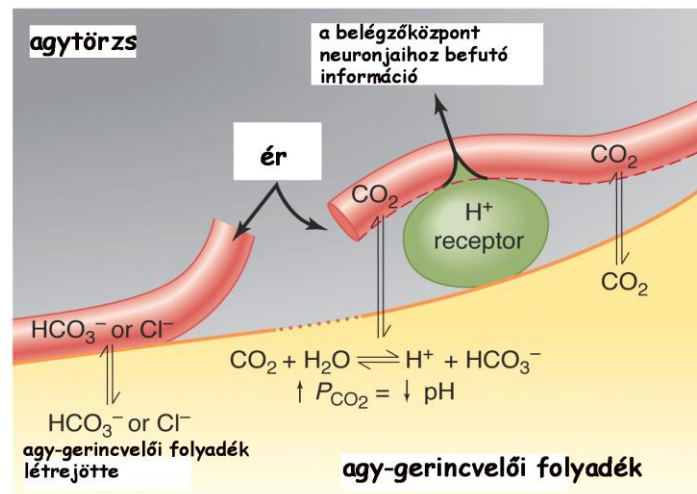
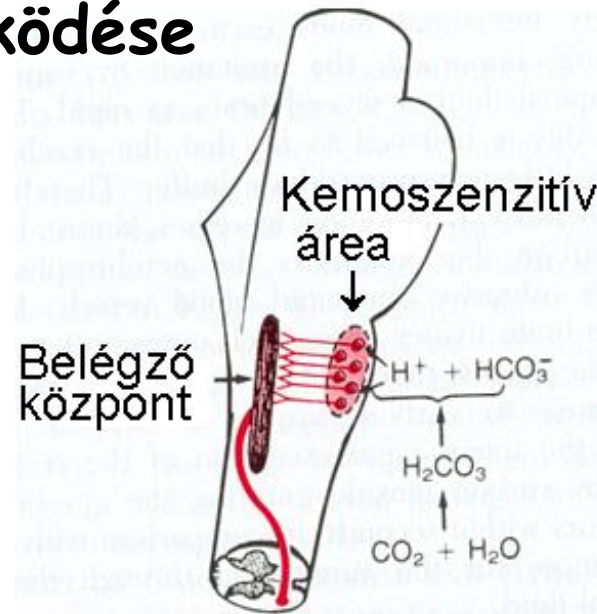
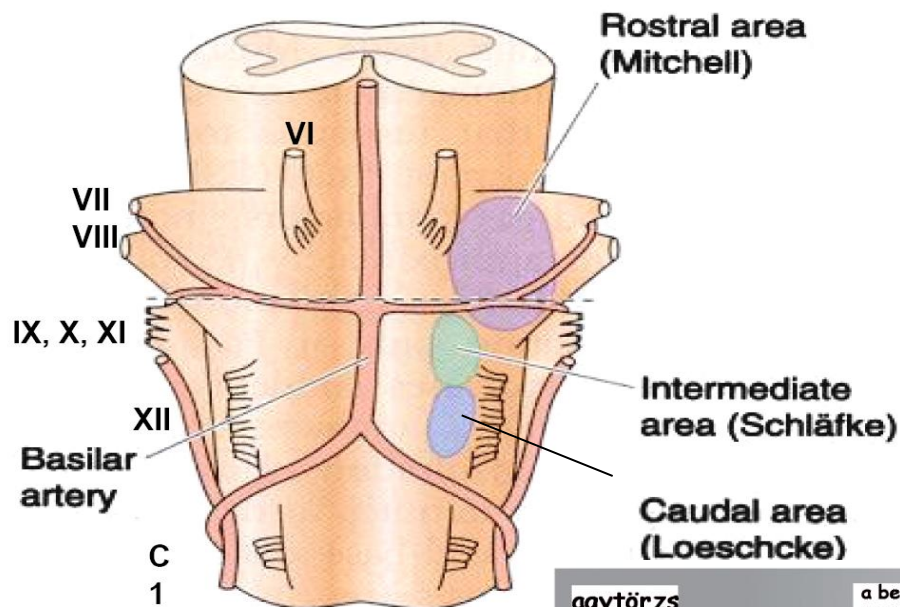
### •centrális kemoreceptorok

- ❖ a nyúltvelő ventrális felszínén ill. annak közelében
- ❖ az agy-gerincvelői folyadék (liquor cerebrospinalis)  $H^+$ -koncentrációját (pH) érzékelik, amely direkt módon függ az artériás vér  $CO_2$ -tenziójától, ha a  $HCO_3^-$  szintje állandó
- ❖ (Miért?  $CO_2$  könnyen átjut a vér-agy gáton, amely viszont  $H^+$ -okra nem áteresztő  $\rightarrow CO_2$  a liquor-ban szénsavvá alakul, amely aztán disszociál  $H^+$ -okra és  $HCO_3^-$ -okra  $\rightarrow$  ha több a  $H^+$  a liquor-ban, akkor több a  $CO_2$  a vérben)
- ❖ gyorsan és hatékonyan érzékelik a vér  $CO_2$ -szintjének változásait, de a magas  $CO_2$ -szinthez (hiperkapnia) néhány óra után adaptálódnak (ekkor már a liquor  $HCO_3^-$ -koncentrációja is megnő)

### •perifériás kemoreceptorok

- glomus caroticum, glomus aorticum
- a n. glossopharyngeuson (n.IX.) és a n. vaguson (n.X.) keresztül kapcsolat a „belégző központokkal”
- vér  $O_2$  csökkenése (hipoxia, hipovolémia), pH emelkedése,  $CO_2$  emelkedése,  $K^+$  emelkedése az ingerük
- nem adaptálódnak a tartósan magas  $CO_2$ -szinthez, tartós hiperkapniában az egyetlen belégzési inger a hipoxia ( $CO_2$ -mérgezés !)

# Légzés-és keringésszabályozás - kemoreceptorok II. centrális kemoreceptorok elhelyezkedése és működése



# Légzés-és keringésszabályozás - receptorok

## A tüdőafferensek szerepe (nervus vagus rostjai)

### Lassan adaptálódó feszítési receptorok

- ❖ légutak falában, a simaizomsejtek között
- ❖ a tüdőszövet feszülését érzékelik, amely egyre nagyobb mértékű a belégzés folyamán
- ❖ **HERING-BREUER reflex**: a tüdőszövet adott mértékű feszülésekor a belégzés reflexesen gátlódik és megindul a kilégzés. A reflex része a bronchodilatatio is.

### Gyorsan adaptálódó receptorok („irritáns receptorok”)

- ✓ a légutakat bélelő hámsejtek között
- ✓ füst, por, kémiai anyagok (hisztamin, prosztaglandinok) + a tüdő extrém inflációja ingerli őket
- ✓ fokozott ventiláció, bronchoconstrictio, nyákszekréció, köhögés

### Juxtacapillaris (J) receptorok

- ❖ tüdőkapillárisok közelében, szabad idegvégződéses, C idegrostok
- ❖ a vérben levő kémiai anyagokkal hozhatók ingerületbe (hisztamin; kapszaicin: **erőspaprika!**; szerotonin; prosztaglandinok stb.) + tüdő és légutak extrém inflációjával
- ❖ ezen receptorok ingerlésével kiváltható az ún. **kemoreflex**: légzésszünet (apnoe), aztán gyors, felületes légzés + bronchoconstrictio + nyákszekréció

# Reflexes és akaratlagos légzőmozgások I.

- reflexes apnoé: kemoreflex
- akaratlagos apnoé:
  - agykéregből leszálló gátló hatásokra
  - védekező funkció: ne lélegezzünk be vizet vagy irritáló anyagokat (por, füst)
- izommunka
  - $O_2$  felhasználás megsokszorozódik,  $CO_2$  termelés szintén
  - már az munka megkezdése előtt fokozódhat a légzés kérgi mozgatóközpontok kollaterálisainak és a proprioceptorok serkentő hatására
  - kis-közepes fokú izommunka:
    - kezdetén azonnal fokozódik a légzés, majd lassabb ritmusú emelkedés, ami állandósul
    - a kezdeti, gyors fokozódás idegi eredetű
    - a későbbi elnyújtott emelkedés a kemoreceptorok ingerületein alapul: a vérplazma  $K^+$ -tartalmának növekedése lehet az inger a fokozott légzésre (izomösszehúzódás: sok  $K^+$  lép ki az izomrostokból → vérplazma  $K^+$ -szintje nő)
  - extrém nagyfokú izommunka:
    - ❑ annyira fokozódhat a légzés, hogy az artériás vér  $CO_2$  tenziója a nyugalmi alá csökkenhet, az  $O_2$ -tenzió még nőhet is (!)
    - ❑ az a fokú (izom)teljesítmény, ami ezt kiváltja, az ún. „anaerob küszöb”
    - ❑ izmok már anaerob módon tejsavat termelnek → vér pH csökken (acidózis) → perifériás kemoreceptorokat ingerli → ezek fenntartják továbbra is a hiperventillációt

# Reflexes és akaratlagos légzőmozgások II.

## hányás

- védekező reakció
  - 1) öklendezéssel kezdődik: a gyomortartalom bejut a nyelőcsőbe, majd visszajut a gyomorba
  - 2) duodenum visszatolja a gyomorba a béltartalmat, közben zárul a hangrész
  - 3) mély belégzés-szerű aktus, de a hangrész zárva → tüdőben a nyomás a légköri nyomás alá süllyed
  - 4) közben a hasizmok összehúzódnak → hasúri nyomás megnő
  - 5) a tüdő és a hasüreg közti nyomáskülönbség miatt a nyelőcső alsó záróizma nyit → a beltartalom a nyelőcsőbe kerül
  - 6) a folyamat többször ismétlődik, aztán egy ponton a kilégzőizmok aktiválódnak → hasizmok összehúzódnása a rekeszizmot a mellüregbe nyomja, megnyílik a nyelőcső felső záróizma → a nyelőcső tartalma a szájon (plusz néha orron át is...) távozik
- hányási centrumok a nyúltvelőben (pl. area postrema: „kemoreceptor trigger zóna” - nincs vér-agy gát)

# Reflexes és akaratlagos légzőmozgások III.

## köhögés

- ❖ lehet akaratlagos és akaratlan is
- ❖ köhögési reflex: belégzés → erőltetett kilégzési manőver zárt hangrész mellett → hangrész kinyílásakor erőltetetten távozik a levegő a tüdőből
- ❖ jellegzetes hang

## tüsszentés:

- orrnyálkahártya ingerlésére
- hirtelen hőmérsékletcsökkenésre
- hideg levegő belélegzésekor
- vírusfertőzéseknel
- nagyon tele van a gyomor
- nagyon erős fénybe nézéskor (→ fotikus tüsszentő reflex)

## lihegés

## didergés