

6. Az ember légzőszervrendszere

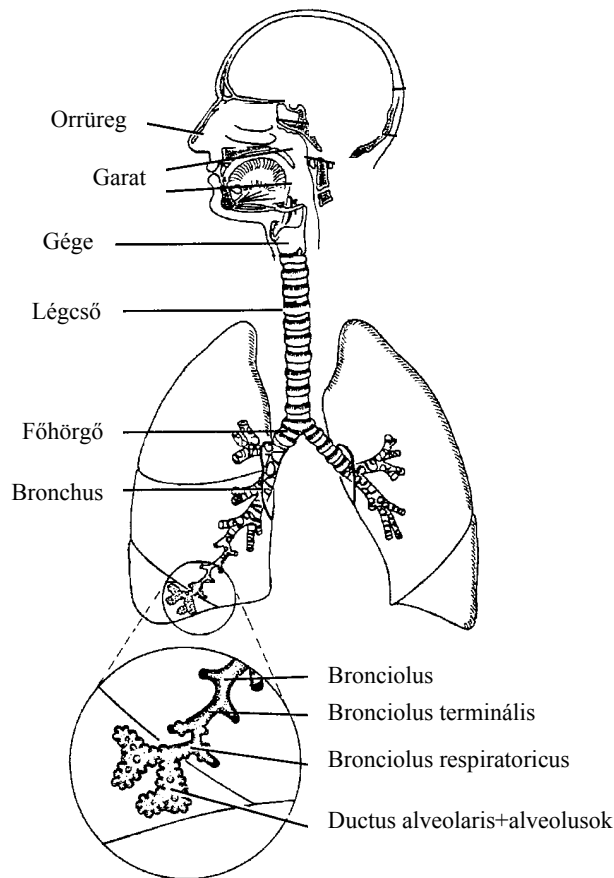
A légzőszervrendszer legfontosabb feladata a gázcsere biztosítása, ami a légzőhólyagokban oxigén vérbe történő leadását és szén-dioxid vérből történő felvételét jelenti. Ezenkívül a tüdő fontos szerepet játszik az alábbi folyamatokban is [Mag02]:

- vérszűrés, amelynek során a vörösvértesteknél nagyobb részecskéket (pl. fehérvérsejtek, fibrinrögök, zsír, csontvelő, tumorsejtek, stb.) ki tudja szűrni igen sűrű és szűk (8-9 μm) kapillárisálózatában;
- vérben jelen lévő és 37 °C-on illékony anyagok (metabolitok) kiürítése a szervezetből;
- képes vérzéscsillapító folyamatokat aktiválni, vagy gátolni, ezáltal a vért, mint folyékony szövetet, szükség szerint a megfelelő állapotban tartani;
- véredényeinek nyitásával és zárásával nyomáskiegyenlítő funkciót is ellát, például akkor, amikor álló testhelyzetet követő fekvő helyzet felvételekor a lábakból kiáramló vért a tüdő felveszi;
- fontos szerepe van a szervezet víz- és sóháztartásában;
- képes számos biológiailag aktív anyagok sokaságának szintézisére, raktározására, elválasztására, inaktiválására és eliminálására;
- képes számos tisztulási mechanizmus segítségével a légzőrendszerbe került idegen anyagok, pl. aeroszol részecskék eltávolítására.

6.1 Az emberi légzőszervrendszer felépítése

A tüdő a mellüregben elhelyezkedő jobb és bal tüdőfélből álló páros szerv, amelynek együttes alakja egy tompított kúphoz hasonló. A jobb tüdőfél felső, középső és alsó lebenyre, a bal felső és alsó lebenyre oszlik. A lebenyek

szegmentumokból állnak, amelyek anatómiai és funkcionális egységeket képeznek. A jobb és bal tüdőfél egyaránt 10-10 szegmentumra tagolódik.



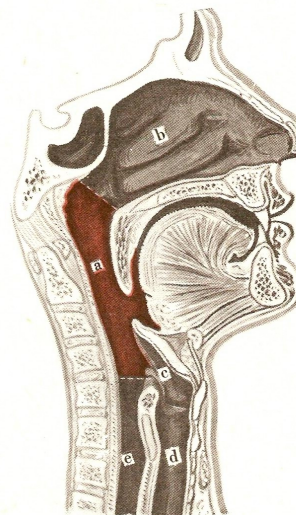
6.1.1. ábra Az emberi légzőszervrendszer légúti szerkezete [ICRP94].

A levegőben lévő aeroszol kiülepedését tekintve a légutakat a következő részekre lehet osztani:

1. **Nasopharingeális tartomány:** ide tartozik az orrüreg, szájüreg, garat és a gége:
 - **Orrüreg:** feladata a beszívott levegő felmelegítése és párasítása, ezáltal megvédi az alsóbb légutakat a kihűléstől és kiszáradástól. Továbbá megtisztítja a levegőt a benne lévő

nagyobb részecskék zömétől, mint például a porszemektől, növényi szálaktól, rovaroktól, stb. Az orrüreg falát nyálkahártya borítja, amelynek elülső részét erős sörteszerű szőrök, míg hátsó részét csillószőrös hengerhám borítja. Természetesen az orrüregnek nemcsak a légzésben van fontos szerepe, hanem a szaglásban és a hangok képzésében is.

- **Szájüreg:** szájon át történő belégzéskor a levegő útja jóval rövidebb, szélesebb és egyenesebb, mint az orrüreg esetén, továbbá itt jóval kisebb mértékben történik meg a levegő felmelegítése, páradúsítása és szűrése.
- **Garat (pharynx):** az orrüreg és szájüreg mögött elhelyezkedő kb. 12 cm hosszú függőlegesen izmos falú cső. A 6.1.2. ábrán is látható, hogy a garat alsó részén helyezkedik el a gégefedő. Ez nyelésnél elzárja a gégebemenet nyílását, ezáltal a táplálék a nyelőcsőbe jut, és megakadályozza, hogy étel kerüljön a légcsőbe.



6.1.2. ábra Garat és környéke: a) garat, b) orrüreg, c) gége, d) légcső, e) nyelőcső [Jel85].

- **Gége (larynx):** a beszívott levegő útja a garat után a gégében folytatódik, amely a hangadó szervünk. Vázát gégeporcok alkotják, belső felszínét nyálkahártya borítja, amelynek hámja csillószőrös hengerhám. Ürege alul és felül tágabb, mintegy

homokóra alakú. A középső beszűkült részén helyezkedik el a két hangszalag, amelynek mozgását a gége izomzata végzi. Belégzésnél a hangszalagok közötti rés (hangrés) kitágul, így a levegő szabadon tud beáramlani, míg kilégzésnél összeszűkül, így lehetővé válik a hangképzés.

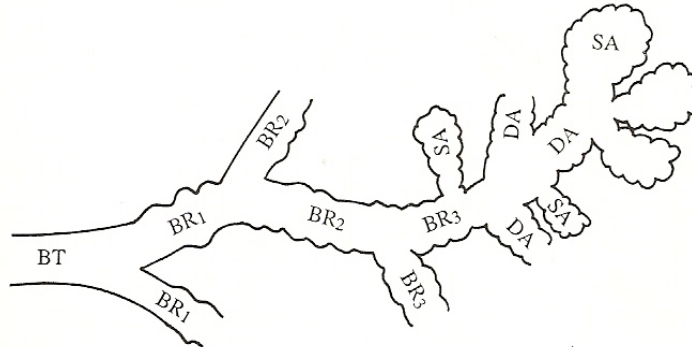
2. **Tracheo-bronchiális rész:** Ezt konduktív légútnak is szokás nevezni, mert nem vesz részt a gázcsereben, hanem a gázoknak a gázcsere helyére és onnan történő elvezetésére szolgál:

- **Légcső (trachea):** a beszívott levegő útja a gégén keresztül vezet a légsőbe. A légső általában 10-12 cm hosszú, 2-3 cm átmérőjű cső. Ezt a csövet 16-20 db elől és oldalt hengeres, hátul belapult D alakú porcgyűrű alkotja, amelyeket gyűrű alakú hártvás részek kötnek össze. Nyálkahártyáját többmagsoros csillószőrös hengerhám képezi, melyek között nyáktermelő kehelysejtek, ill. kisebb számban ún. kefésejtek helyezkednek el. Egy csillószőrös sejt átlagosan mintegy 200 db 3-6 mm hosszúságú és 0,2 mm átmérőjű csillót tartalmaz, amelyeknek a csapási frekvenciája 16-20 csapás másodpercenként és effektív csapásirányuk a garat felé irányul.
- **Főhörgők:** a légső két főhörgőre oszlik, amelyeknek felépítése megegyezik a tracheával. A jobb oldali főhörgő szélesebb és rövidebb, mint a baloldali, ugyanis a jobb kb. 2 cm, míg a bal csak kb. 5 cm után ágazik szét. A jobb főhörgő 25°-os, a bal 45°-os szöget zár be a függőleges középsíkkal. Továbbá a jobb valamivel hátrább fekszik a balnál, és míg a jobbnak csak egyetlen gyenge görbülete van, addig a bal gyengén S alakban kanyarog. Ezáltal a légutakba kerülő fél

mikrométernél nagyobb részecskék könnyebben jutnak a jobb tüdőbe és annak is az alsó, valamint a középső lebenyébe. (Ahol a részecskék kiülepedését elsősorban a diffúzió határozza meg, ott ez már nem igaz.)

- **Bronchusok (hörgők):** A főhörgők először bronchus segmentalisokra ágaznak szét, amelyek száma megegyezik a tüdő-szegmentumok számával. Ezek dichotómiásan ágaznak további bronchusokra, ami azt jelenti, hogy nem egy irányt meg tartó főágra és jóval kisebb mellékágra oszlanak, hanem minden elágazódás közel egyenértékű ágakat eredményez. A bronchusok szerkezete a légcsőhöz és a főhörgőkhöz hasonló, csupán a falukban lévő üvegporcok már nem gyűrűk, hanem szabálytalan, néha elágazó porcos szigetecskék és a faluk felépítésében fokozatosan simaizomszövet és rugalmas kötőszövet válik uralkodóvá.
 - **Bronchiolusok (hörgőcskék):** általában 9-10. légúti generáció után megjelenő 1 mm-nél kisebb átmérőjű légutak, amelyek abban különböznek a bronchusoktól, hogy faluk már nem tartalmaz porcot. Ugyanis itt már nincs szükség falmerevítésre, mert oly módon épülnek be a tüdőszövet szivacszerű rugalmas szövetébe, hogy belégzéskor az egész tüdővel együtt tágulnak, és nincs lehetőségük arra, hogy a külsőnél alacsonyabb nyomás összeesésre bírja őket. A bronchiolusok utolsó légúti generációját bronchiolus terminálisnak nevezzük, amely átlagosan 0,6 mm átmérőjű és a 11-21. generáció valamelyikénél jelenik meg [Raa80].
3. **Pulmonáris (acináris) rész:** ebben a tartományban megy végbe a gázcsere.

A tüdőnek azt az egységét, amelyet egy bronchiolus terminális lát el, acinusnak nevezzük. Egy ilyen acinust mutat a 6.1.3. ábra, amely az alábbi részekből állnak:



6.1.3. ábra Egy acinus felépítése: BR_{1,2,3} a bronchiolus respiratoricus 3 generációja, DA a ductus alveolaris, SA a saccus alveolaris [Mag02].

- **Bronchiolus respiratoricusok:** a bronchiolis terminális két bronchiolus respiratoricusra oszlik, majd további kétszeres elágazás után a bronchiolus respiratoricusok három generációja épül fel. Ezen légutak falát már nem borítja csillós köbhám, hanem helyette megjelennek az alveolusok, ahol a gázcsere történik.
- **Ductus alveolárisok:** a harmadik generációs bronchiolus respiratoricusok ductus alveolarisokra oszlanak, amelyek már teljes mértékben alveolusok határolnak. De ductus alveolarisok eredhetnek első és második generációs bronchiolus respiratoricusokból is. Az oszlások ezen a szinten már nagyon változatosak, ugyanis a kétszeres elágazások mellett nem ritkák a három-, négy- vagy többszörös elágazások sem. A ductus alveolárisok általában 3-9

(átlagosan 4) oszlási generációt mutatnak és átlagosan 0,4 mm átmérőjűek.

- **Tüdőhólyagocskák (alveolusok):** itt történik a gázcseré. Ezek gyakran nem egyedül, hanem lóherelevélszerű csoportokban alkotnak hármast vagy többes alveoluscsoportokat. Ezeket saccus alveolarisoknak nevezzük, amelyek átmérője 0,4 mm. Ezek olyan zsákoknak képzelhetők el, amelyek belső falát apró kráterként borítják a tüdőhólyagocskák. Az alveolusok átmérője 0,2 mm. Az alveolusok falát igen sűrűn behálózzák a kisvérkör hajszálerei. Itt az erekben folyó vért mindössze egy 0,5 μm -es fal választja el a levegőtől. Ebből 0,2 μm -t tüdőhólyagocskák hámja, 0,2 μm -t a tüdőhajszálerek endothelje, és 0,1 μm -t a két réteg közötti közbülső alaphártya és kötőszöveti váz teszi ki. Az alveolusok felületén még egy nagyon vékony (100-200 Å) felületaktív folyadékfilm is található, hogy a felületi feszültség ne roppantsa össze őket. Az alveolusok száma 1 milliárd körül van egy felnőtt tüdőben, amelyek összfelülete, ami a légzőfelületet is jelenti, eléri a 140 m^2 -t. A gázcseré passzív diffúzióval megy végbe, amelyet a vér magas (~46 Hgmm) szén-dioxid és alacsony (~40 Hgmm) oxigén, illetve a tüdőlumen alacsony (~40 Hgmm) szén-dioxid és magas (~100 Hgmm) oxigén parciális nyomásából fakadó gradiens hajt.

6.2 Légzés

Kétféle légzést különböztetünk meg:

- **Külső légzés:** az alveolusokban az előző fejezetben leírt módon történő gázcseré. Ezt tüdőlégzésnek is szokás nevezni.
- **Belső légzés:** a vér leadja a benne lévő oxigént a szöveteknek, ill. a sejteknek és onnan szén-dioxidot vesz fel. Ezt szokás sejt-, vagy szövetlégzésnek is nevezni.

Továbbiakban a légzésen a külső légzést értem.

A légzési ciklus két fő szakaszból áll: a belézésből és a kilézésből. Ezen két folyamat mindegyikét egyaránt követheti rövid ideig tartó légzési szünet.

- **Belézés:** ez egy aktív mechanizmus, ami két folyamatból tevődik össze. Egyrészt a bordaközi izmok összehúzódnak, ami a bordákat hosszirányban megemeli, ezáltal a mellüreg térfogata felfelé és vízszintesen is nő. Másrészt a rekeszizom összehúzódik, ezáltal a mellkas térfogata lefelé is megnő. A két folyamat azt eredményezi, hogy a külső légköri levegő nyomása nagyobb lesz, mint a tüdőn belüli nyomás, aminek következtében a levegő beáramlik, amit a tüdő fala passzívan követ.
- **Kilézés:** ez egy passzív mechanizmus. A bordaközi izmok és a rekeszizom ekkor elernyednek, emiatt a mellkas lefelé mozdul el megnövelve a nyomást a mellkasban, ami a tüdőt saját rugalmasságánál fogva összehúzódnásra készíteti, ezáltal kipréselődik a benne lévő levegő egy része addig, amíg a külső és belső nyomás ki nem egyenlítődik.

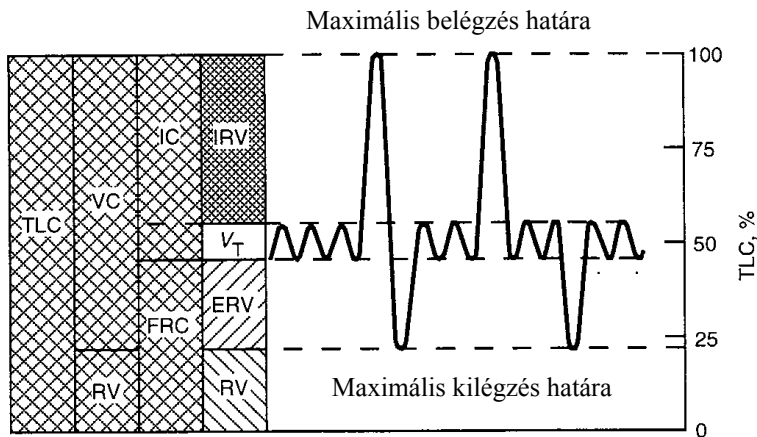
Férfiaknál a hasi légzés, nőknél a mellkasi légzés a jellemző.

A tüdő és a mellkas mechanikai egyensúlyban van, amikor a légzőizmok elernyednek. Ezt az állapotot légzési középállásnak nevezzük. Nyugalmi

állapothoz tartozó úgynevezett normál légzés esetén a légzési periódus a középállásból indul és oda is tér vissza.

6.2.1. ábrán láthatóak a nyugalmi és erőltetett légzési módokhoz tartozó légzési térfogatok, amelyeket az alábbiakban részletezek:

- **Funkcionális maradék kapacitás (FRC=Functional Residual Capacity):** a légzési középállás esetén a tüdőben lévő levegőmennyiség.
- **Légzési vagy respirációs térfogat (V_T =Tidal Volume):** egy légzési ciklus során kicserélt levegőtérfogat, ami ülő pozíciónak megfelelő légzés esetén átlagosan 750 cm^3 .
- **Belégzési tartalék (IRV=Inspiratory Reserve Volume):** normál belégzést követő erőltetett belégzéssel maximálisan belélegezhető levegő térfogata.
- **Kilégzési tartalék (ERV=Expiratory Reserve Volume):** erőltetett kilégzéssel a légzési középálláson túl kilélegezhető maximális levegőmennyiség.
- **Reziduál levegő (RV=Residual Volume):** teljes kilégzés után a tüdőben bennmaradó levegőtérfogat, amely valamelyest feszesen tartja a légzőfelületet és biztosítja a gázcsere folyamatosságát. Ez közel 2 l, és erőltetett légzéssel sem távolítható el.
- **Vitálkapacitás (VC=Vital Capacity):** $ERV+V_T+IRV$, vagyis mély levegő plusz maximális kilégzés.
- **Teljes kapacitás (TLC=Total Lung Capacity):** $VC+RV$, vagyis az a maximális levegőmennyiség, amit a tüdő tartalmazhat.



6.2.1. ábra Légzési térfogatok [ICRP94].

Mindezek mellett holttereket is definiálhatunk, amelyek a gázcsere hatékonyságáról és mértékéről adnak információkat:

- **Anatómiai holttér:** az a levegőmennyiség, amely belégzéskor a konduktív légutakat tölti ki, vagyis ez a levegőmennyiség nem vesz részt a gázcserében. Ez általában a beszívott levegő 30 %-a.
- **Élettani vagy fiziológiás holttér:** ez az anatómiai holttérnél nagyobb levegőmennyiséget foglal magába. Ugyanis ideális tüdőben az összes belélegzett levegőnek direkt az alveolusokba kellene jutnia, míg a kilélegzett levegőnek az alveolusokból származó gázból kellene állnia. A valóságban azonban a belélegzett levegő keveredik az előző kilégzés során az anatómiai holttérben maradt fáradt levegővel, továbbá a kilélegzett alveoláris levegő hígul azzal a friss levegővel, amely a belégzés végén visszamarad a holttérben. Továbbá vannak a tüdőnek rosszabbul szellőztetett részei, amelyek tovább növelik ezt a holtteret. Így végeredményben még kevesebb levegő vesz részt a gázcserében, mintha csak az anatómiai holttér létezne. Az élettani holttér nagysága a fizikai terhelés növelésével csökken.
- **Alveoláris holttér:** az élettani és anatómiai holttér különbsége.

6.3 Asthma bronchiale (asztma)

Már Hippokratész (Kr.e. 460-377) írásaiban is történt említés az asztmáról. A 2. században Aretaeus írt erről a betegségről. Az első átfogó könyvet John Floyer írta 1698-ban.

Az asthma bronchiale definíciója a következő [Mag98]: rohamokban jelentkező, spontán vagy gyógyszerre reversibilis diffúz hörgőobstruktio (hörgőszűkület) által kiváltott nehézlégzés. Az asztmánál fellépő szűkülete, vagy esetleg teljes elzáródása a hörgőknek az alábbi folyamatoknak tulajdoníthatóak:

- légutak simaizomszövetének görcsös összehúzódása (bronchospasmus);
- gyulladás okozta nyálkahártya-duzzanat;
- fokozott nyákképződés, gyulladásos váladék termelődése, nyákdugók képződése.

Az asztma tehát egy olyan gyulladásos betegség, amelyet a szervezet immunrendszerét provokáló stimulusok váltanak ki, amelyek a következők lehetnek:

- allergének:
 - pollenek,
 - állati szőrök,
 - ételek,
 - egyes nehézfémek;
- irritáló gázok:
 - SO₂,
 - O₃,
 - dohányfüst,
 - nitrogén gázok,
 - erős szagok;
- erős fizikai terhelés;

- hideg levegő belégzése;
- sűrű köd;
- légúti vírusfertőzések;
- gastrooesophagealis reflux, amely olyan betegség, amit a nyelőcső alsó záróizmainak elégtelen működése okoz, amelynek eredményeképpen a savas gyomortartalom visszaáramlik a nyelőcsőbe „gyomorégést” előidézve;
- gyógyszerek:
 - nem szteroid gyulladásgátlók (pl. Aspirin),
 - tatrazin,
 - béta-blokkolók;
- szulfitképző anyagok;
- pszichés hatások.

A fellépő tünetek lehetnek állandóak, időszakosak és szezonálisak. A szezonálisak elsősorban a pollen okozta asztmára jellemzőek. Klasszikus panaszok és tünetek a rohamokban jelentkező sípoló légzés, mellkasi nyomásérzés, köhögés és nehézlégzés. Nehézlégzésnél különösen a kilégzés válik nehezzé. Sípolás jellegzetességei az asztma súlyossági fokáról adnak információt:

- **Enyhe asztma:** gyakran csak a kilégzés végén vagy erőltetett kilégzés mellett hallható sípolás.
- **Középsúlyos asztma:** belégzéskor is hallható sípolás.
- **Nagyon súlyos asztma:** sípolás gyengül vagy teljesen megszűnhet.

A köhögés gyakran bevezetője a rohamoknak, ritkábban viszont ez az egyetlen panasz. A köhögés ugyanazon betegnél is lehet időnként száraz, máskor bőséges köpetürítéssel járó. A rohamok közötti időszakban közel normális vagy akár teljesen normális lehet a tüdőműködés és ekkor fizikális eltérés nem észlelhető.