

Légzésélettan az aneszteziológus szemével

Dr. Ambriskó Tamás, PhD, DACVA

Aneszteziológus szakállatorvos, egyetemi tanár
Massey Egyetem, Új-Zéland

A sorozat második részeként a légzés élettanáról esik szó. A keringés mellett a légzés egy másik olyan életfunkció, amelynek megfelelő működését biztosítani kell altatás alatt, mert ha ez nem sikerül, az rövid időn belül a beteg életébe kerülhet. Ahhoz azonban, hogy a légzés funkciót monitorozni és támogatni tudjuk, vagy az adott esetben sürgősségi jelleggel segítséget is tudjunk nyújtani, alaposan ismernünk kell a légzés élettanát.

A légzés legfontosabb funkciója az artériás vér oxigénnel való telítettségének és a szén-dioxid szint normál értéken tartásának biztosítása. A légző szervrendszer a vér-gáz határfelületből és a légutakból áll. A vér-gáz határfelület egy rendkívül vékony és nagy kiterjedésű felület, amit az alveolusok és a tödőkapiillárisok szorosan egymásra fekvő fala képez. Ezen keresztül áramlik az O_2 és CO_2 passzív diffúzió segítségével.

A légutak az orr vagy szájníylásnál kezdődnek, majd a garat, a gége, a légcső és a bronchusok után az alveolusokban végződnek. Ahogy lejjebb haladunk a légutakban az alveolusok felé, a légutak egyre többféle ágaz-

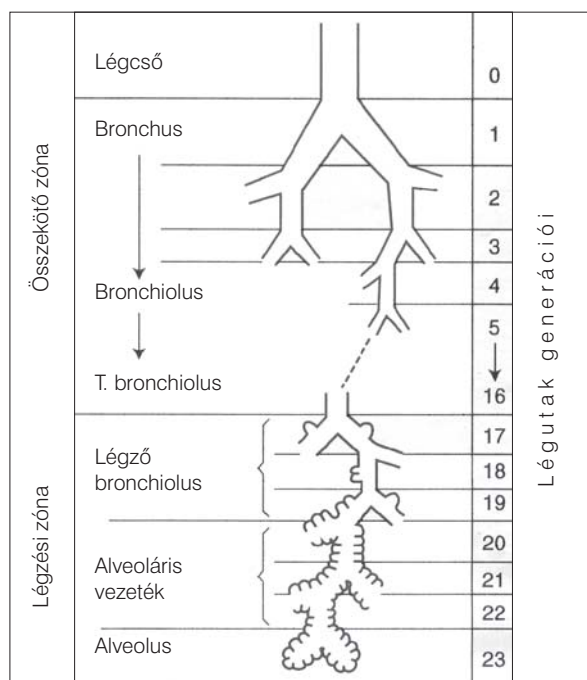
nak el (1. kép), az összesített felületük egyre nagyobb és a gázok áramlása egyre lassabb lesz. Mire a gázok eléri az alveolusokat, a sebességük annyira lelassul, hogy az a diffúzió sebességéhez lesz hasonlítható. Figyeljük meg a képen, hogy a légutak funkció szempontjából összekötő (a terminális bronchiolusok felett) és légzési zónára (a légző bronchiolusok alatt) oszlanak. Az összekötő zónában gázcsere nem történik, ezért ennek teljes térfogata respirációs holt-térnek számít.

A respirációs holt-tér olyan, gázcserere alkalmatlan terület, ahonnan CO_2 vissza-légzése lehetséges. A holt-tér méretével arányosan romlik a légzés hatékonysága. Három fajtája van, az anatómiai, a mechanikai és az

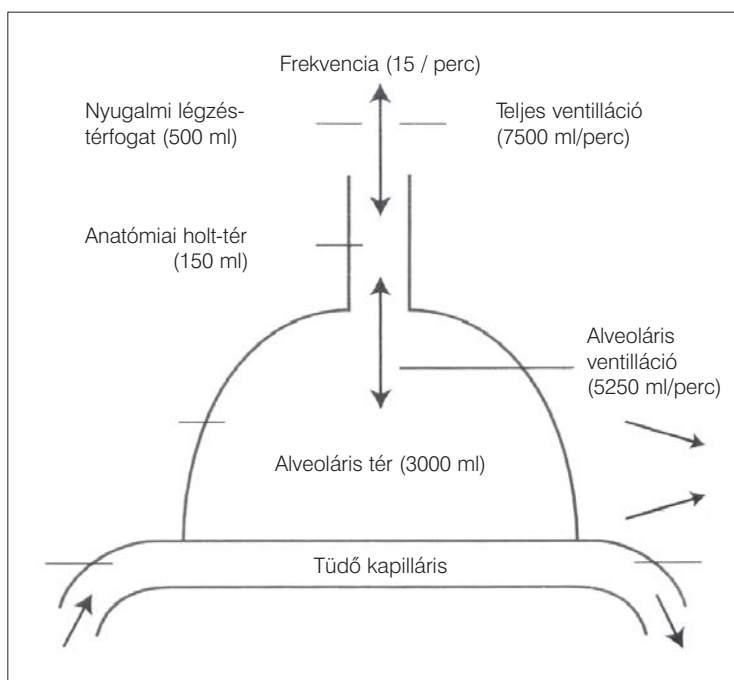
alveoláris holt-tér. Ezek összege adja az összes, más néven fiziológiás holtteret. Némileg talán szerencsétlen az elnevezés, mert a három közül csak az anatómiai holt-tér (lásd összekötő zóna) tekinthető fiziológiásnak. A mechanikai holt-tér a légzőkör Y-darabjától a légcsőtubusig tart. Ennek megértése fontos, mert ha a kettő közé bármi egyebet (pl. légzési monitor adaptereit) helyezünk, annak térfogata növelni fogja a holtteret ami egy kis testmértű (ezért kis légzési térfogatú) állatnál CO_2 retencióhoz vezethet. Amennyiben azonban 100% O_2 -t lélegeztetünk be az állattal, hypoxia létrejötté viszonylag nagy holt-tér megléte esetében sem valószínű. Fontos felismernünk, hogy jól működő áramlás irányító szelepek használatakor az Y-darab kivételével a légzőkör egyéb részei nem tekintendők holt-térnek, mert onnan CO_2 vissza-légzése nem lehetséges. A nem-visszalégző rendszerek (pl. Mapleson-D) használata esetében a megfelelően magas (300-600 ml/kg/perc) frissgáz-áramlás biztosítja, hogy CO_2 visszalégzés ne történjen meg. Amennyiben azonban a frissgáz-áramlás túlzottan alacsony, a nem-visszalégző rendszer térfogata is respirációs holt-térre válhat. Az alveoláris holt-tér fogalma alatt az alveoláris tér olyan részeit értjük, ahol ventiláció folyik, de vérperfúzió nem, vagy alig történik.

Tekintsük át a légutak térfogatának arányait az ember légutainak példáján keresztül (2. kép). Példánk szerint nyugalmi légzés során az ember légzéstérfogata (tidal volume) 500 ml, a légzés frekvenciája pedig percnként 15. Az ábra tetején látható függőleges cső az anatómiai holt-teret (pl. légcső) ábrázolja, aminek térfogata esetünkben 150 ml. Figyeljük meg, hogy az anatómiai

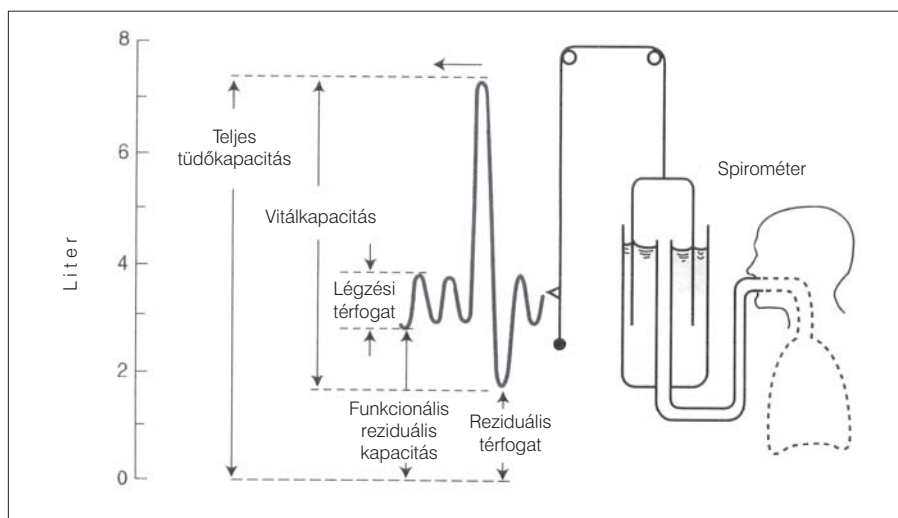
1. kép: Bronchus fa



2. kép: Az ember légutainak térfogata



holt-tér térfogata körülbelül 1/3-a a nyugalmi légzéstartérnek. Ez az arány háziállatainknál is hasonló. Következésképpen a nyugalmi légzéstartérnek csak 2/3-a jut el a harang-alakúnak ábrázolt alveoláris térbe és vesz részt a gázcserében. Ha ezeket a térfogatokat megszorozzuk a percenkénti légzésszámmal (15), akkor az említett térfogaton egy perc alatt átáramló gáz mennyiségét kapjuk meg. A **teljes percventilláció** esetünkben 7500 ml/perc ($500 \text{ ml} \times 15$), ennek azonban csak a 2/3-a hasznosul a gázcserében, ez az **alveoláris ventilláció** ($350 \text{ ml} \times 15 = 5250 \text{ ml/perc}$). Mivel a **holt-tér ventilláció** ($150 \text{ ml} \times 15 = 2250 \text{ ml/perc}$) nem hasznosul, a légzés szempontjából kizárólag az alveoláris ventilláció a meghatározó és ennek mennyisége fordítottan arányos az artériás vér CO_2 tartalmával.



3. kép: Légzési térfogatok

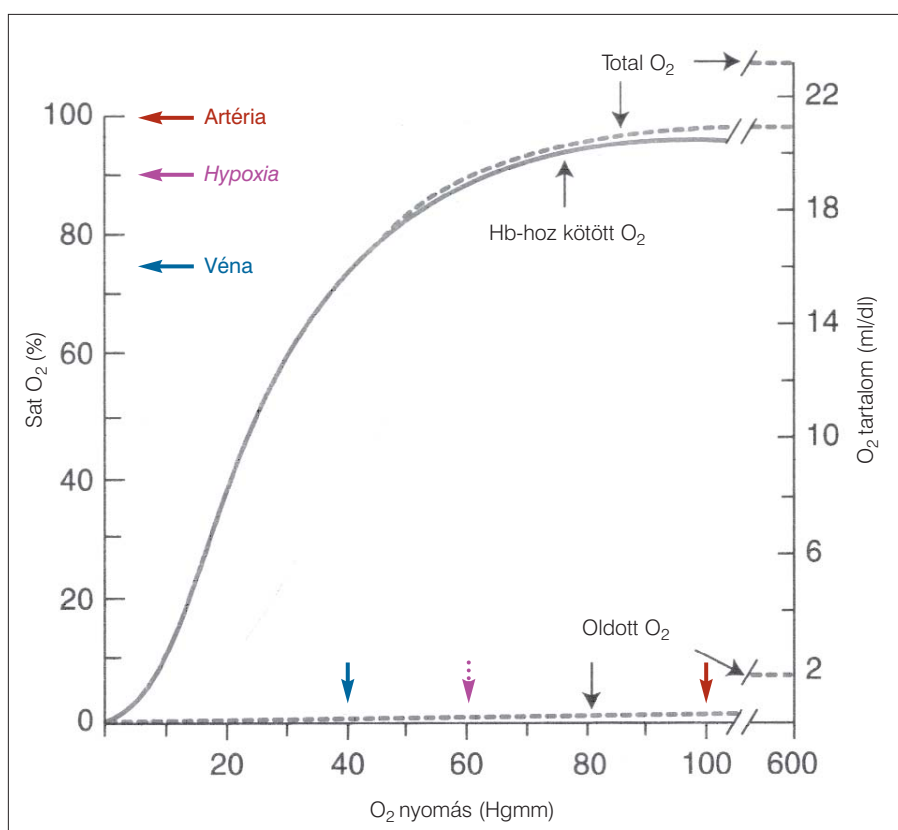
Állatorvosi példaként gondoljuk végig, hogy mi történik, ha egy 1 kg-os macskát intubálunk, majd a tubus adaptere és a légző rendszer közé beiktatjuk egy légzésmonitor adapterét aminek térfogata 5 ml. Tegyük fel, hogy a macska 10 ml-es lélegzeteket vesz. Ennek 1/3-a anatómiai holt-tér ($10 \text{ ml} / 3 = 3,3 \text{ ml}$), 5 ml pedig mechanikai holt-tér. Következésképpen az alveoláris térbe csak 1,7 ml ($10 - 5 - 3,3 = 1,7$) levegő jut el légzésenként, ami nagyon kevés, mert az adapter nélkül 6,7 ml juthatna el. Ha 100% O_2 -t lélegeztetünk be ezzel a macskával, akkor az oxigén szaturációja megtartott lehet, de a CO_2 -ot nem fogja hatékonyan eltávolítani, ezért respirációs acidózis alakul ki. Ha a macska nem alszik mélyen, akkor a légzésszáma nagyon meg fog emelkedni, így próbálja növelni az alveoláris ventillációját. Ha viszont olyan mélyen alszik, hogy a légzési agyközpontja gátlás alatt van, akkor egyre kevesebbet lélegzik, egyre súlyosabb hyperkapnia alakul ki és eközben mi sem vesszük észre, hogy valami nincs rendben. A kardiovaszkuláris szervrendszer is kétféle módon reagálhat a hyperkapniára, egyes esetekben catecholamin szabadulhat fel ezért emelkedik a szívverésszám és a vérnyomás, más esetben viszont bradycardia és alacsony vérnyomás jelentkezik. Biztos diagnózist kapnográfia lehet felállítani, kezelni pedig esetünkben az adapter eltávolításával és befúvós lélegeztetéssel lehet.

A következő példában tekintsük át a különböző **légzési térfogatokat** (3. kép). Nyugalmi be- és kilégzés közötti térfogat a már említett nyugalmi légzéstartér. A maximális belégzéskor a tüdőben lévő gáz térfogatát a teljes tüdőkapacitásnak, a maximális kilégzéskor pedig reziduális térfogatnak hívják. A maximális be- és kilégzés közötti térfogat pedig a vitál kapacitás. Anesztézia szempontjából nagyon fontos a **funkcionális reziduális kapacitás** (FRK), ami a nyugalmi kilégzés végén a tüdőben lévő gáz térfogatát jelenti. Ez a térfogat csökken például vemhesség, elhízás, vagy has terime növekedés (pl. gyo-

morcsavar) esetén. Képzeljük el például, hogy ha egy állatnak megáll a légzése. Ekkor a tüdejében éppen annyi gáz lesz, mint az FRK ezért gázcseréje csak ebből a térfogatból folytatódhat. Következésképpen minél kisebb az FRK, annál **rövidebb ideig tolerálható az apnoe**, vagyis ezeknél az állatoknál az altatás előtti pre-oxigenizáció és a gyors intubáció nagyon fontos. Ha pedig egy ilyen állat altatógázt lélegzik be, akkor a belélegzett gáz kisebb térfogattal (csökkent FRK) keveredik az alveoláris térben, ezért gyorsabban emelkedik az altatószer koncentráció és gyorsabban mélyül az altatás. Ilyen esetben **nagyobb az altatószer túladagolás veszélye**. A harmadik oka annak, hogy miért fontos az FRK

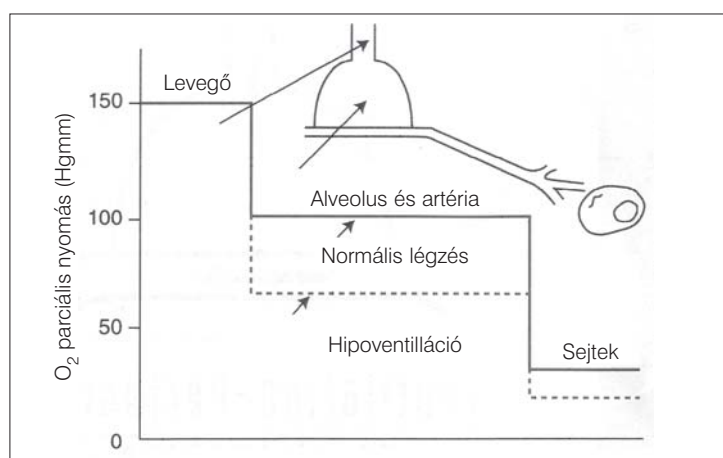
az, hogy kis tüdőterefogat (FRK) esetén az alveolusok egy részének kijárata bezárul. Ezen alveolusok egy része dinamikusan megnyílnak belégzéskor, más részük azonban tartósan zárva maradhat, és az alveolusban rekedt O_2 felszívódása után az alveolus összeesik, ennek következtében **tüdő légtelenség (atelektázia) jön létre**. A lélegeztetés során dinamikusan megnyílnak majd újra bezáruló bronchiolusok „vongalódása” károsítja a tüdő állományát, ami különösen káros tüdőbeteg állatok lélegeztetése esetén. A tüdő légtelenség pedig azt eredményezi, hogy ezeken a tüdő területeken áthaladó vér nem telítődik oxigénnel, és következményesen csökken az artériás vér oxigén szaturá-

4. kép: Az oxigén kötődése a hemoglobinhoz

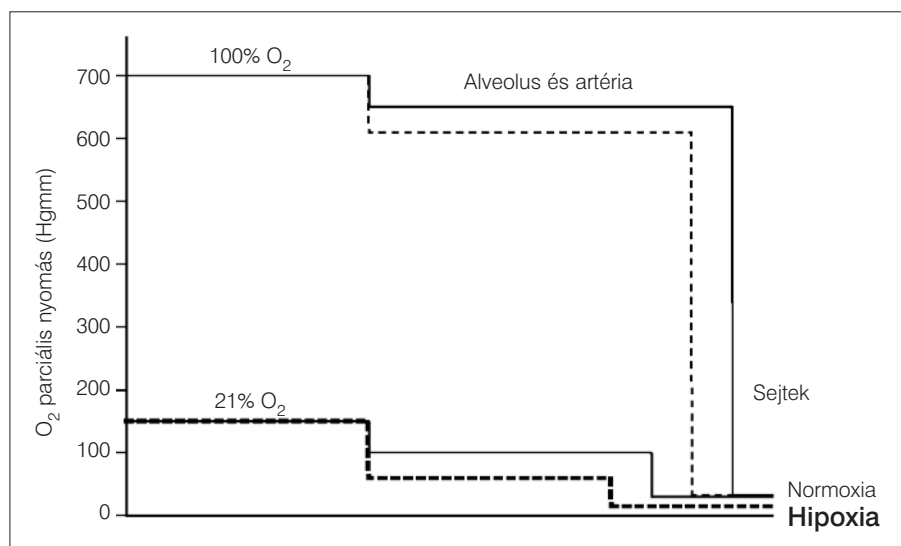




A szerző az altatás monitorozását oktatja egy végzős diáknak a Massey Egyetemen



5a. kép: Az O_2 útja az atmoszférától a sejtekig (levegő belélegzésekor).



5b. kép: Az O_2 útja az atmoszférától a sejtekig (levegő vagy 100% O_2 belélegzésekor). Szaggatott vonal jelöli a hipoventillációt.

ciója. A tüdő légtelenség megelőzése érdekében érdemes kisállatoknál percenként egy a normálisnál nagyobb térfogatú lélegzet adni. Lovaknál pedig ugyanezen okból az altatás kezdetétől fogva folyamatos pozitív nyomású lélegeztetés javasolt. A tüdő légtelenség kezelése már jóval nehezebb. Erre a célra ún.

„recruit maneuver”-t szoktak alkalmazni, ami a humán gyakorlatban 3 egymás utáni egyre emelkedő nyomású lélegeztetés jelent, a belégzés fázisát pedig légzésenként 30-40 másodpercre is elnyújtják. A túl hirtelen alkalmazott nagy nyomás azonban káros (barotrauma vagy volumen trauma) ezért kerülendő.

Az oxigén hemoglobinhoz (Hb) való kötődését az O_2 -Hb disszociációs görbe (4. kép) írja le. Az x-tengelyen a plazmában fizikailag oldott O_2 parciális nyomása szerepel, az y-tengelyen pedig a vér O_2 szaturációja (Sat O_2). Láthatjuk, hogy a kettő kapcsolata nem lineáris. Ha a parciális nyomás 100 Hgmm (artériás vér levegő belélegzése esetén), akkor a Sat O_2 nagyobb, mint 98%. Következésképpen a 98%-nál nagyobb Sat O_2 normális, és egészséges állatnak hiába adunk ennél több oxigént, a szaturáció már nem tud jelentősen emelkedni. Ha viszont a tüdőben csökken az O_2 parciális nyomása, akkor a Sat O_2 eleinte lassan csökken, de ha eléri a 80% értéket, az után már zuhanásszerűen csökken. Definíció szerint a 90% alatti Sat O_2 hipoxiának minősül és kezelendő. Ne várjuk meg, hogy 80%-ot mutasson a pulzoximéter mielőtt kezelnénk az állatot. Az ábra jobb oldalán lévő tengely a vér O_2 tartalmát mutatja.

Az O_2 passzív diffúzióval jut el a légkörből a sejtekig, azon belül a mitokondriumig, ahol a légzési lánc enzimei hasznosítják. A diffúzió hajtó ereje a parciális nyomás csökkenése a légkörtől a mitokondriumig (5a. kép). Az ábrán láthatjuk a normális légzés (folyamatos vonal) és a hypoventilláció (szaggatott vonal) során kialakuló nyomás értékeket. Légköri levegő (21% O_2) belélegzése során a hypoventilláció szöveti hipoxiához vezet. Más a helyzet azonban, ha 100% O_2 -t lélegeztetünk be (5b. kép). Hipoventilláció esetében az előzőhöz hasonló mértékben csökken az alveolusokban és az artériás vérben az O_2 parciális nyomása, de a nyomás abszolút értéke (600 Hgmm) lényegesen magasabb az előzőnél (60 Hgmm). Ha visszagondolunk az O_2 -Hb disszociációs görbére (4. kép) láthatjuk, hogy a vér O_2 tartalma 600 Hgmm parciális nyomás esetében is maximális (Sat O_2 = 100%). Következésképpen 100% O_2 belélegzése esetében hipoxia kialakulása hipoventilláció esetében sem valószínű! Véleményem szerint az altatás rizikójának csökkentése érdekében a leghatékonyabb eszköz az intubálás és a 100% O_2 használata. A vérnyomás kezelése, a modern és drága gyógyszerek használata, a túlادagolás elkerülése mind az O_2 után következnek a fontossági sorrendben.

A cianózis, a nyálkahártyák kékes elszíneződése fontos, azonban nem mindig megbízható klinikai jele lehet a hipoxiának. Ahhoz hogy a cianózis létre jöjjön, legalább 5 mg/dl redukált Hb kell hogy legyen az artériás vérben, ami anémiás állatnál nem mindig lehetséges. További tényezők, amik negatívan befolyásolják a cianózis kiértékelését pl. a szöveti perfúzió romlása (pl. ráharap a nyelvére ébredéskor), pigmentáció, fényviszonyok, szubjektív megítélés. Ennél hasznosabb, ha pulzoximétert alkalmazunk.

Ha altatás során hipoventilláció áll fenn, akkor lélegeztetnünk kell. Tudnunk kell azon-

ban, hogy a pozitív nyomású lélegeztetés csökkentheti a szív teljesítményét és a vérnyomást, ami egy hemodinamikailag instabil betegnél végzetes lehet. Ez különösen káros hipovolémiás betegeknél. Ha lélegeztetés során 60 Hgmm alá csökken a közepes artériás nyomás, akkor a következőket tehetjük:

- Hagyjuk abba a lélegeztetést, vagy csökkentsük a belégzési nyomást és a frekvenciát.
- Adjunk folyadék bólust (10 ml/kg IV).
- Csökkentsük az altatószer koncentrációját.
- Alkalmazzunk inotrópokat (pl. dobutamin, vagy dopamin).

Egészséges állatok lélegeztetésére a következő protokoll alkalmazása javasolt. Megtartott spontán légzés mellett is percenként egy asszisztált belélegeztetés adandó a tüdő légtelenség megelőzése érdekében. Kontrollált lélegeztetés esetén **10-15 légzést adjunk percenként.** A légzési térfogat egyenesen állatfajtól függetlenül **10-15 ml/kg.** A maximális belégzési nyomás 10 kg felett kevesebb mint 20 víz cm, **10 kg alatt pedig kevesebb mint 10 víz cm** legyen. Lélegeztetőgép vásárlása nem feltétlenül indokolt, kézi lélegeztetés is elegendő lehet, csak munkáigényesebb.

Tüdőbeteg állat lélegeztetése ennél nehezebb. A nagy légzés térfogat traumát okozhat, ezért ezeknek a betegeknek adjunk kisebb térfogatot (4-8 ml/kg) **gyakrabban** (max 60 légzés/perc). Apránként emelhetjük a belégzési nyomást (max 35 víz cm) és szükség szerint alkalmazhatunk PEEP-et (Pozitív Végkilégzési Nyomás). A nehéz technika miatt lélegeztetőgép használata és nagyobb gyakorlottság meglehetősen indokolt.

Klinikai összefoglaló

- A respirációs holt-tér méretével arányosan romlik a légzés hatékonysága, ezért ennek minimalizálása indokolt.
- A légzés hatékonysága és a CO₂ eltávolítása érdekében csak az alveoláris ventiláció számít. Az alveoláris ventiláció és az artériás vér CO₂ szintje fordítottan arányos.
- Az artériás vér CO₂ szintje és a légzés jellege között nincs megbízható korreláció.
- Az alacsony tüdőtérfogatú (FRK) betegek érzékenyebbek a hipoxiára (pre-oxigenizáció és gyors intubálás fontos).
- Ne várjuk meg míg a pulzoximéter 80%-ot mutat. Már 90% alatt kezeljük az állatot.
- 100% O₂ belégzése esetében hipoxia kialakulása hipoventilláció esetében sem valószínű. Minden altatott állat megérdemli az oxigént!
- A cianózis nem megbízható jele a hypoxiának. Erre a célra pulzoximéter használata javasolt.
- Pozitív nyomású lélegeztetés csökkentheti a szív teljesítményét és a vérnyomást, ami egy hemodinamikailag instabil betegnél végzetes lehet.



A Pfizer Kft. Állategészségügyi divíziója rajzpályázatot ír ki olyan 3-14 éves gyermekek számára, akiknek szülei, nagyszülei állatorvosi gyakorlatban dolgoznak.

A pályázati rajz témája szabadon választható, de mindenképpen az állatorvoslással, állatgyógyászattal, az állatorvos szülő, nagyszülő munkájával, betegeivel kell, hogy kapcsolatban legyen.

Pályázni lehet A/4-es formátumú, kizárólag fekvő elrendezésű, bármilyen eszközzel (filc, vízfesték, tempera stb.) készült színes rajzzal.

A pályaműveket kizárólag eredetiben, papírképen áll módunkban elfogadni. Egy pályázó csak egy pályaművet adhat be, a pályázatra kizárólag saját készítésű rajzzal lehet jelentkezni.

Az elkészült művek hátoldalára kérjük ráírni a szerző nevét, címét, a kép címét, az elkészítés helyét, dátumát és egy telefonszámot.

A beküldött pályamunkákat a Pfizer Kft. Állategészségügyi divíziójának munkatársai bírálják el, majd archiválják.

A pályázattal kapcsolatos információk a <http://allategeszsegugy.pfizer.hu> honlapon is olvashatóak.

A pályázat beadási határideje: 2008. szeptember 12 (péntek).

A pályamunkákat kérjük, postán (a postára adás legkésőbbi időpontja 2008. szeptember 08., 24.00 óra lehet) feladni, úgy, hogy az alkotást két kartonlap közé helyezve megvédjük azt az esetleges sérülésektől.

Postacím: Pfizer Kft. Állategészségügy, 1123 Budapest, Alkotás utca 53., dr. Kiss Gabriella részére. Személyesen 2008. szeptember 12-ig, munkanapokon, naponta 9-15 óra között. Cím: Pfizer Kft. Állategészségügy, 1123 Budapest, Alkotás utca 53. MOM Park, D épület 3. emelet. Minden beküldött pályamunkát ajándékkal jutalmazunk, a legjobbnak ítélt 12 munka pedig a Pfizer Kft. által készített 2009-es évi falinaptárban kap megjelenési lehetőséget.

A nyertesek számára személyenként 10 db. naptárt és oklevelet is átadunk.

A pályázaton nem vehetnek részt gyógyszerforgalmazó cég alkalmazásában állók, vagy közeli hozzátartozójuk, illetve a Pfizer Kft. dolgozóinak gyermekei, valamint a nem állatorvosi rendelőben, klinikán, kórházban és haszonállattartó telepeken dolgozó állatorvosok gyermekei.

A pályázó a pályázaton való részvételével automatikusan elfogadja, hogy Pfizer Kft. a pályaműveket szabad belátása szerint rangsorolja, a kiválasztott pályaműveket pedig készülő fali naptárjában, poszterein, szórólapjain, egyéb marketing kiadványaiban, internetes megjelenéseiben a szerzők nevének feltüntetése mellett, díjazás fizetése nélkül felhasználhatja.

Minden egyéb felhasználás csak a kép készítőjének előzetes hozzájárulása és a szerzői jogok tiszteletben tartása mellett történhet. A pályázó a Pfizer Kft.-vel, tulajdonosaival, kapcsolt vállalkozásaival, továbbá a Pfizer Kft. képviseletében eljáró harmadik személyekkel szemben a pályázat vagy a pályamű felhasználásával kapcsolatos jogairól kifejezetten lemond.

