

## 18. GAIA: ARNASKETAREN FISILOGIA

### 1. ARNAS MEKANIKA

#### 1.a) Arnasketa

Biriketan ematen den gasen elkartrukea aztertuko dugu, ez arnasketa zelularra.

Arnasketan barnebilduak dauden prozesuak 2 dira:

1. O<sub>2</sub>-ren transferentzia atmosferatik zeluletara
2. CO<sub>2</sub>-aren kanporaketa zeluletatik atmosferara

Eboluzioan, arnasketa egiteko era bat baino gehiago existitu da:

- Organismo zelulabakar: Arnasketa difusio sinplez burutu (mikroorganismoak)
- Org. zelulanitz: Azalean zehar arnastu (esponjak, zelentereoak...)
- Org. zelulanitz konplexu: Azaletik eta arnas aparatu bidez (igelak...)
- Gizakia: Arnas aparatuaren bidez

#### 1.b) Arnasketaren aldiak

Arnasketan, arnas aparatuak eta odol-aparatuak hartzen dute parte. Hiru arnasketa aldia bereizten dira, eta hirurak modu egokian eman behar dira gasen elkartrukea egokia izan dadin. Baten batek huts egiten badu, arnasketa oztopatua egongo da.

1. **Aireztapena**: Airea atmosferatik albeoloetara sartzeko (eta ateratzeko) aldia. Arnas maiztasunak eta arnas bolumen arruntak baldintzatuko dute aireztapen prozesua.
2. **Hedapena**: O<sub>2</sub> albeoloetatik, mintz albeolo-kapilarrean zehar, odol kapilarretara igarotzen den aldia (eta CO<sub>2</sub>-aren kontrako bidea).
3. **Garraioa**: Odoletik zeluletarainoko tartea (eta kontrako bidea).

#### 1.d) Arnas aparatuaren osagaiak

Arnas aparatua bularraldean eta sabelaldean kokatzen da eta hainbat egiturek osatzen dute: sudur-hodiak, orofaringea, laringea, zintzurrestea, birikak, bronkioak eta albeoloak.

#### **Birikak** (bi daude)

2 egitura dituzte:

- Airebideak (hodi hutsak dira)
- Zuhaitz baskularra (arteria, bena eta kapilarrez osatua)

Airebideen hodiak adarkatuz doazen heinean, haien diametroa geroz eta txikiagoa egiten da. Zuhaitz baskularra osatzen duten arteriek, benek eta kapilarrek hodiekin batera adarkatzen doaz

## Albeoloak

Milioika albeolo daude (300-500M). Albeoloak kapilarrez inguratuak daude, izan ere, gas-trukea bertan ematen da. Mintz oso mehea dute eta inbaginazioez daude eratuak azalera totala handitzeko helburuarekin (75 m<sup>2</sup>). Jaiotzen garenetik nerabegarora arte, albeoloen kopurua handituz doa baina, heldutasunean, soilik haien azalera handitzen da.

### 1.e) Birikien aireztapena

Aireztapenak bi fase ditu, **arnasgora** eta **arnasbehera**. Hala ere, aireztapena nola ematen den ikusteko, lehenik eta behin 2 egitura deskribatu behar ditugu; diafragma eta pleura:

#### **Diafragma**

Arnasketa gertatzeko muskulurik garrantzitsuenak da. Kupula itxura du eta behe saihestezurrei eta bularrezurrari lotua dago. Muskulu eskeletikoz osatua dago eta oso mehea da.

#### **Pleura** (andaerri)

Birikak eta barrunbe torazikoa estaltzen dituen mintz edo zaku serosoa da. Bi atal ditu:

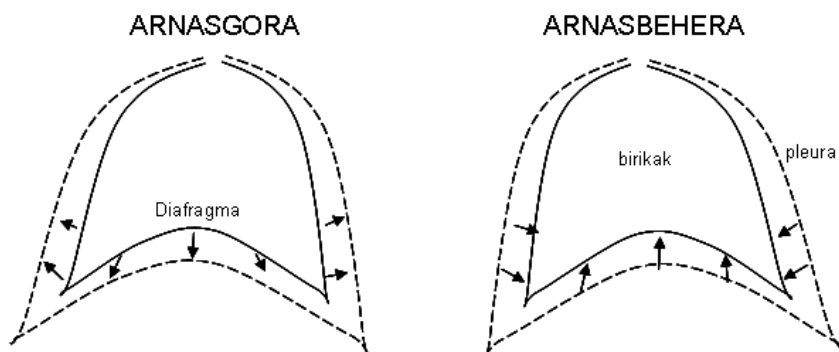
- Saihets-pleura: toraxeko barrunbea estaltzen du
- Birika-pleura: birikaren alde estaltzen du

Mintzen tartean (espazio pleuralean), labaingarria den likido pleurala dago eta haren eginkizuna da saihesten eta biriken arteko igurzketa edo marruskadura ekiditea.

### ARNASGORA (Prozesu **aktiboa**)

1. Diafragma uzkuartzen denean, barrunbe torazikoa zabaltzen edo hedatzen da eta ondorioz, birikak berez puze dira. Barrunbe torazikoaren bolumen-handipen hura bi gertaerengatik ematen da:

- Alde batetik, diafragmaren uzkurketak sabelaldea behera bultzatzen du eta ondorioz, barrunbe torazikoa plano bertikalean handitzen da.
- Bestaldetik, diafragma sabelaldea behera bultzatzen duenean, hein berean, saihestak ere kanpora bultzatuko ditu, eta horrek bolumen torazikoa are gehiago handitzea ekarriko du.

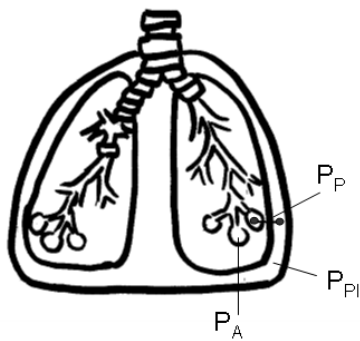


2. Barrunbe torazikoa hermetikoa denez, barrunbe horren bolumena handitzean, **presio pleurala** txikiagoa egiten da (espazio pleuralaren barneko presioa txikiagoa egiten da). Hau da, birikaren eta toraxeko hormaren artean dagoen tartea handitzen da eta beraz, tarte horretan dagoen likidoak espazio gehiago edukiko duenez zabaltzeko, haren presioa txikiagoa izango da.

## ARNAS PRESIOAK

Arnasketan eragiten duten presioak oso txikiak dira eta horregatik “cmH<sub>2</sub>O”-tan adierazten dira (1 cmH<sub>2</sub>O = 0,74 mmHg). Presio atmosferikoa 760 mmHg da, baina arnasketarako presio erlatiboak erabiltzen direnez, presio atmosferikoa ( $P_{atm}$ ) = 0 cmH<sub>2</sub>O izango dela kontsideratuko dugu.

- (-) Arnas presioak zeinu **negatiboa** badu, presio atmosferikoa baino txikiagoa dela esan nahiko du (adb: arnasgoran, albeoloen presioa -2 cmH<sub>2</sub>O = 756,6 mmHg izan daiteke, hau da,  $P_{atm}$  baino 2 cmH<sub>2</sub>O gutxiago).
- (+) Arnas presioak zeinu **positiboa** badu, presio atmosferikoa baino handiagoa dela esan nahiko du (adb: arnasbeheran, albeoloen presioa 3 cmH<sub>2</sub>O = 762,1 mmHg izan daiteke, hau da,  $P_{atm}$  baino 3 cmH<sub>2</sub>O gehiago).



Hiru presio garrantzitsu ezagutu behar ditugu arnasketa mekanismoa ulertzeko:

$P_A$ : Albeoloetako presioa

$P_{Pl}$ : Pleurako presioa (presio pleurala)

$P_p$ : Birikien zeharreko presioa (transpulmonary pressure)

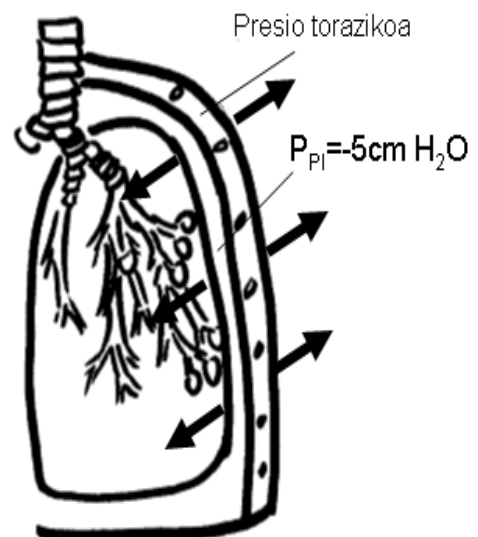
$$P_p = P_A - P_{Pl}$$

## Presio pleurala negatiboa da beti. Zergatik?

Birikak zein toraxeko hormak elastikoak dira, hau da, luzatu eta gero, lehenengo egoerara bueltatzeko gaitasuna dute. Arnasbehera bukatzen denean, birika zein toraxeko horma hein berdinean daude zabalduak baina kontrako noranzkoan (bi indarrak berdinak dira baina kontrako noranzkoan). Bi indar horiek eragiten dute  $P_{Pl}$  negatibo izatea:

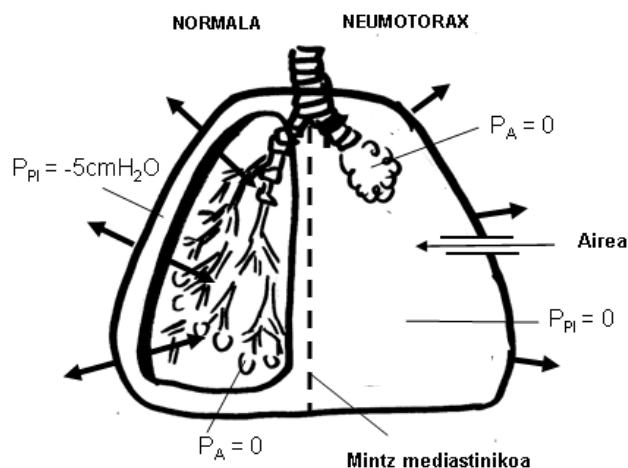
- Alde batetik, birika erlaxatzen da eta “barrura” tiratzen du
- Bestaldetik, toraxaren horma erlaxatzen da eta “kanpora” tiratzen du

Beraz, birikaren eta toraxeko hormaren artean dagoen tarte (barrunbe pleurala) handitzen da eta, tarte horretan dagoen likidoaren presioa presio atmosferikoa baino txikiagoa bihurtuko da; negatiboa, alegia.



## NEUMOTORAX

Aurrean azaldu dugun “kontrako noranzkoan dauden bi indarrak”, erraz ulertzen dira neumotorax gertatzean ikusten den atzera-egite elastikoa aztertzean: Toraxeko pareta edo birika zulatzen denean, neumotorax gertatzen da. Momentu horretan, presio pleurala nulua bihurtzen da ( $P_{pl} = 0$ ; atmosferikoaren berdina, alegia). Albeoloetako presioa ere atmosferikoaren berdina da ( $P_A = 0$ ) eta beraz, birikien zeharreko presioa  $P_p = P_A - P_{pl}$  ere 0 izango da. Horren ondorioz, birika, atzera-egite elastikoaren ondorioz, kolapsatu egingo da. Hala ere, mintz mediastinikoak eragotziko du beste birikaren kolapsoa.



3. Arnasgorarekin jarraituz, orain arte ikusi dugu pleurako presioa ( $P_{pl}$ ) jaisten joaten dela eta horrek eragingo du birikien zeharreko presioa ( $P_p$ ) igotzea:

- Alde batetik, arnasbehera eta gero  $P_A = 0$  zen (birikak erabat erlaxatuak daude eta presio atmosferikoaren berdina da albeolotan topatzen dugun presioa)
- Momentu horretan,  $P_{pl} = -5 \text{ cmH}_2\text{O}$  da, beraz,  $P_p = P_A - P_{pl}$  eginez:  $P_p = 5 \text{ cmH}_2\text{O}$  izango da (positiboa, beraz).  $P_p$  positibo horrek mantentzen ditu birikak airearekin. Izan ere, albeoloetako presioa ( $P_A$ ) pleurakoa ( $P_{pl}$ ) baino handiagoa denez, albeoloetako airea pleurara pasatzeko joera izango du, presioak berdintzera jotzeko existitzen den joeragatik. Hala ere, albeoloak eta pleura ez daudenez kontaktuan, inoiz ez da albeoloko airea pleurara pasako, baina aireak duen pasatzeko tendentzia horrek eragingo du albeoloak beti airearekin egotea.

4. Bigarren eta hirugarren puntuetan azaldu dugun bezala, barrunbe torazikoa handitzeak  $P_{pl}$  jaistea dakar eta ondorioz,  $P_p$  gehiago handiatuko da. Beraz, barrunbe torazikoa handitzen bada, albeoloek bolumena handitzeko leku gehiago edukiko dute eta horregatik albeoloek ere beraien barne-espazioa handituko dute (hedatuko dira).

5. Albeoloetako espazioa handitzen bada, espazio gehiagorako, aire bolumen berdina dagoenez, albeoloetako presioa ( $P_A$ ) txikituko da ( $P_A = 0 \text{ cmH}_2\text{O}$  zenez, orain negatibo bihurtuko da, hau da, atmosferako presioa baino txikiagoa  $\approx -2 \text{ cmH}_2\text{O}$ ). Ondorioz, ahoa ( $P_{atm}$ ) eta albeoloen ( $P_A$ ) artean, presio diferentzia sortuko da  $P_{atm} - P_A > 0$ .

6. Presioek berdintzeko joera dutenez, airea ahotik albeoloetara sartuko da  $P_A = P_{atm}$  izan arte. Aire sarrera hori izango da arnasgora.

**ARNASBEHERA** (Prozesu **pasiboa**)

1. Arnasgoran erabili diren muskuluak erlaxatzen dira eta ondorioz, saihetsak (kutxa) jaisten dira.
2. Barrunbe torazikoa txikitzen denez, Ppl igotzen da (ez da horren negatiboa izango), ondorioz, Pp txikitzen da eta azkenik, birikak eta albeoloak estutu edo konprimituko dira.
3. Espazio txikiagorako, aire bolumen berdina dagoenez, presio albeolarra handituko da ( $P_A \approx 3 \text{ cmH}_2\text{O}$ ) eta momentu horretan  $P_A > P_{\text{atm}}$  denez, airea kanporanzko bidea hartuko du  $P_A = P_{\text{atm}}$  egin arte.

Arnasgora behartuan (adb: kirolean): diafragmaz gain, kanpoko saihets arteko muskuluak, eskalenoa eta esternokleidomastoidea erabiltzen dira.

Arnasbehera behartuan: diafragmaz gain, sabelaldeko muskuluak eta barneko saihets arteko muskuluak erabiltzen dira.

**1.f) Presio-bolumen kurbak**

Biriketako airebideak eta zuhaitz baskularra elastina- eta kolageno-zuntzez inguratuak daude eta zuntz horiek, besteak beste, biriken ezaugarri elastikoak mugatuko dituzte:

**Elastina**: Distentsioa gertatzeko ahalmena handitzen du (luzapena / estiramendua).

**Kolagenoa**: Luzapena (estiramendua) mugatzen du. Luzapenaren kontra egiten du.

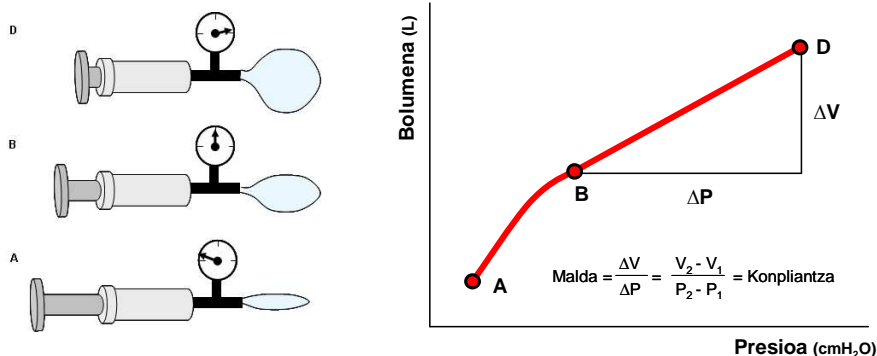
Biriken ezaugarri elastikoak hiru dira:

1. **Distentsibilitatea**: Birikak puzteko duen erraztasuna
2. **Zurruntasuna**: Birikak luzamenduari aurre egiteko duen gaitasuna
3. **Atzera-egite elastikoa** (uzkurtze): Hedatutako edo zabaldutako birika oreka-egoerara bueltatzeko duen gaitasuna.

Presio-bolumen kurbak ezaugarri elastikoak neurtzeko erabiltzen dira. Hau da, birikan ematen den bolumen aldaketa neurtzen badugu gertatzen den presio aldaketekiko eta, presio-bolumen kurba baten bidez grafikoki irudikatzen badugu, birika horren ezaugarri elastikoak ezagutuko ditugu.

**Puxikaren analogia**

Imajinatu hustuta dagoen puxika bat puztu nahi dugula (A) eta sartuko diogun presioa neurtzen dugula. Irudikatuko bagenu nola aldatzen den puxikaren bolumena sartutako presioarekiko (B-tik D-ra), ondoko grafiko bat lotuko genuke:



## KONPLIANTZA

Distentsibilitatea adierazten duen neurri bat da (birikarena kasu honetan), izan ere, aztertuz zenbat aldatzen den birikaren bolumena egindako presioarekiko, lortuko dugu jakin birika batek distentsibilitate altuagoa ala txikiagoa duen.

$$C_p = \frac{\Delta \text{ bolumena}}{\Delta \text{ presioa}} = \text{Lerro zuzenaren malda}$$

Beraz, konpliantza ezagutuz, birikaren elastizitatean egon daitezkeen arazoak detekta ditzakegu:

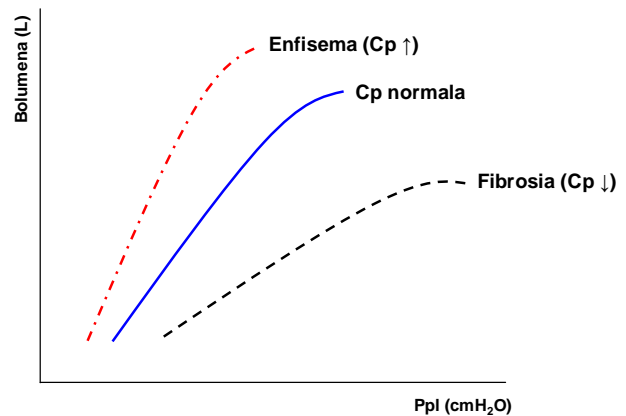
**Enfisema:** Ehun elastikoa kaltetua agertzen da gehiegizko luzamenduagatik

**Konpliantza normala:** birika osasuntsua

**Fibrosia:** birika zurruna, distentsio-ahalmen txarra

**C<sub>p</sub> ↑:** Lan gehiago egin behar da airea kanporatzeko. Hedapena (espantsioa) erraztua dago ΔP ↓

**C<sub>p</sub> ↓:** Lan gehiago egin behar da (ΔP ↑) bolumen berdina sartzeko



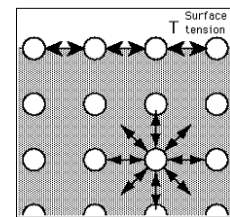
### 1.g) Albeoloetako gainazal-tentsioa

Aurrean azaldu dugun bezala, distentsibilitate kurbek (konpliantza-kurbek) dituzten ezaugarriak biriken “indar elastikoek” mugatzen dituzte. Indar horiek bi zatitan banatu ditzakegu:

- Biriken ehunaren “indar elastikoak” (elastina- eta kolageno-zuntzak; aurreko atalean ikusi duguna).
- Albeoloen horma inguratzen duen likidoaren gainazal-tentsioak sortzen dituen “indar elastikoak”. Azken hori da ondoren aztertuko duguna.

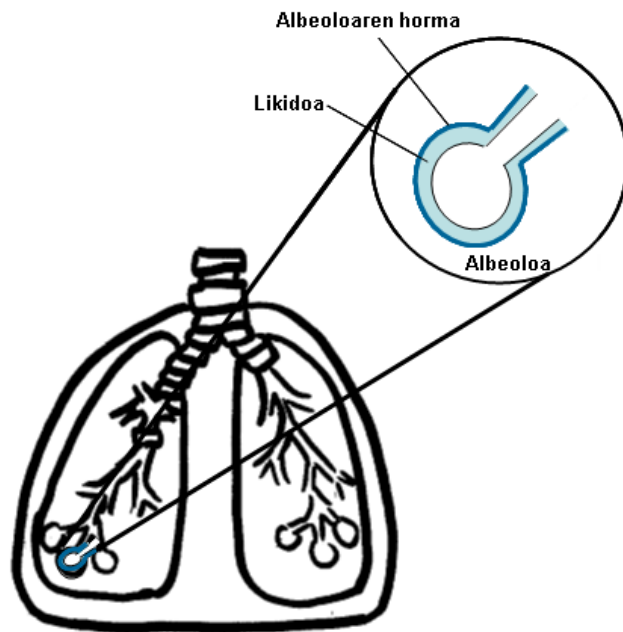
#### Zer da gainazal-tentsioa?

Gainazal-tentsioa likidoen ezaugarri fisikoa da. Ur likidoaren gainazaleko molekulak elkarrekiko erakarpen handiagoa dute, airean dauden molekulak baino. Gainazaleko ur molekulak biltzeko joera dute eta “azal” bat bezala sortzen dute.

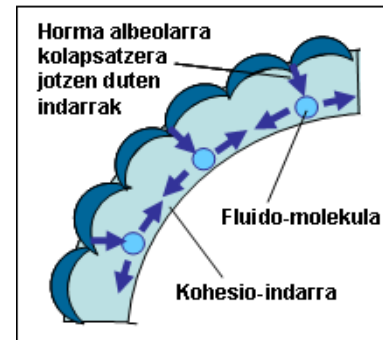


**Zer da albeoloetako gainazal-tentsioa?** Albeoloetako barne-hormak gaineztatzen duen ur molekulak biltzeko joera dute airearekin kontaktuan daudelako. Uraren gainazaleko tentsioak indarra sortzen du albeoloan, barrurantz, eta ondorioz, albeoloak kolapsatzeko joera hartzen du, bere azalera txikitzen delarik. (**Irudia:** surfaktanterik gabe).

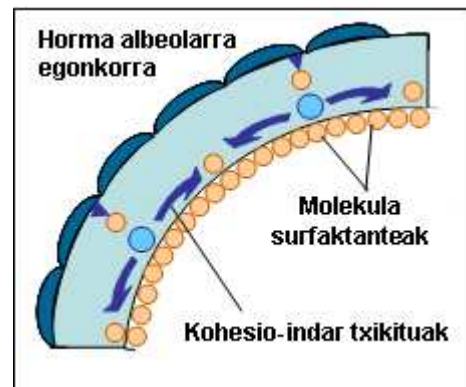
**Zergatik, orduan, albeoloak ez dira kolapsatzen?** Surfaktanteagatik. Surfaktantea lipoproteina bat da. Albeoloen gainazala surfaktantez estalita dago. Surfaktante molekulak ur molekulen artean tartekatzen dira eta, horrela, albeoloen likidoaren gainazal-tentsioa txikitu egiten da eta distentsio ahalmena handitzen da. (**Irudia:** surfaktantearekin).



### SURFAKTENTERIK GABE



### SURFAKTANTEAREKIN



#### Gaixotasun hialinoa

Jaioberri goiztiarrei, 32. asteen gertatzen zaien gaixotasuna da, surfaktanterik ez dutelako. Horren ondorioz, lan gehiegi egin behar dute arnasteko eta hipoxemiarako arriskua sortzen da. Konponbidea oxigenoterapia eta surfaktante ematea da.

## 2. GASEN ARNAS DIFUSIOA (hedapena)

Hasieran aipatu dugun bezala, arnasketan, arnas aparatuak eta odol-aparatuak hartzen dute parte eta, bi aparatu horien bateratzea mintz albeolo-kapilarrean ematen da.

Biriketan, airearen bi mugimendu mota existitzen dira:

- **Konbekzioa:** Orain arte ikusi dugun mugimendua non, airea presio gradienteagatik heltzen den albeoloetara.
- **Difusioa:** Mintzean zeharreko kontzentrazio gradienteagatik ematen den gasen elkartrukea albeoloen eta kapilarren artean.

### 2.a) Gasen elkartrukea

Gasen difusioa (barreiadura) baldintzatzen duten aldagaiak Fick-en legea bezala ezagutzen den ondoko formularen bidez aztertzen dira:

$$V_{(gasa)} = \frac{A \cdot S \cdot (P_1 - P_2) \cdot T}{d \cdot \sqrt{PM}}$$

**V: Difusio abiadura** edo fluxua

**A: Trukerako azalera**

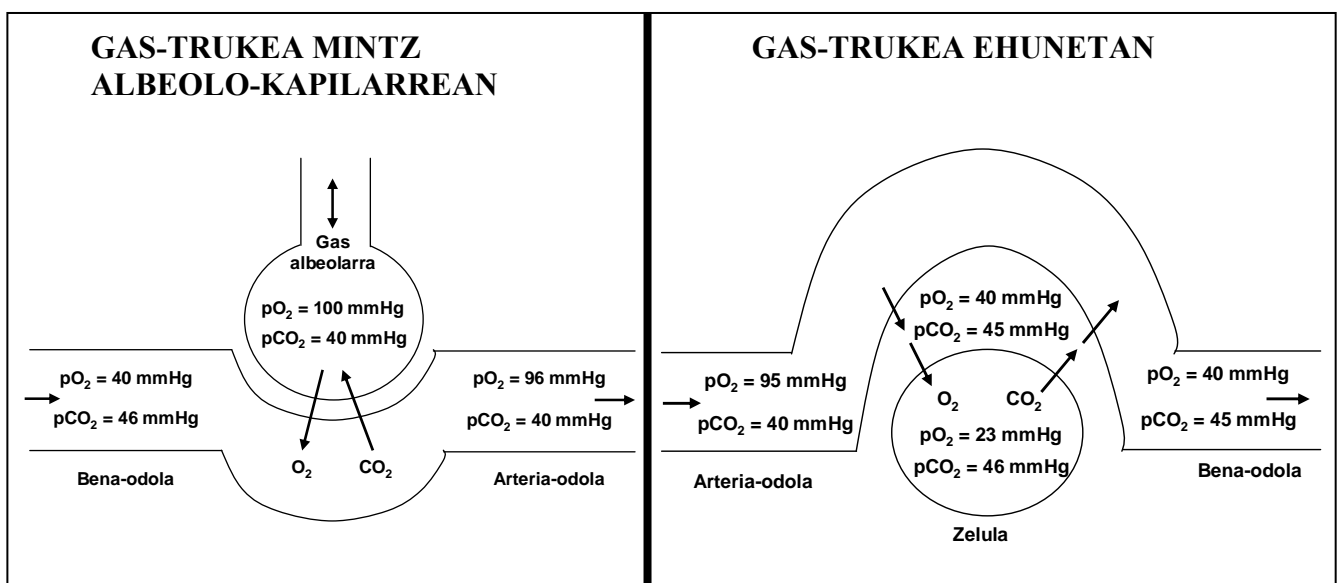
- Difusioa errazago emateko ahalik eta handiena izatea komeni da (albeoiek batez beste 75 m<sup>2</sup> inguruko azalera dute).

**S/√PM: Disfusio koefizientea**

- Gas bakoitzerako desberdina da: O<sub>2</sub>=0,024; CO<sub>2</sub>=0,58; CO=0,018; N<sub>2</sub>=0,012...

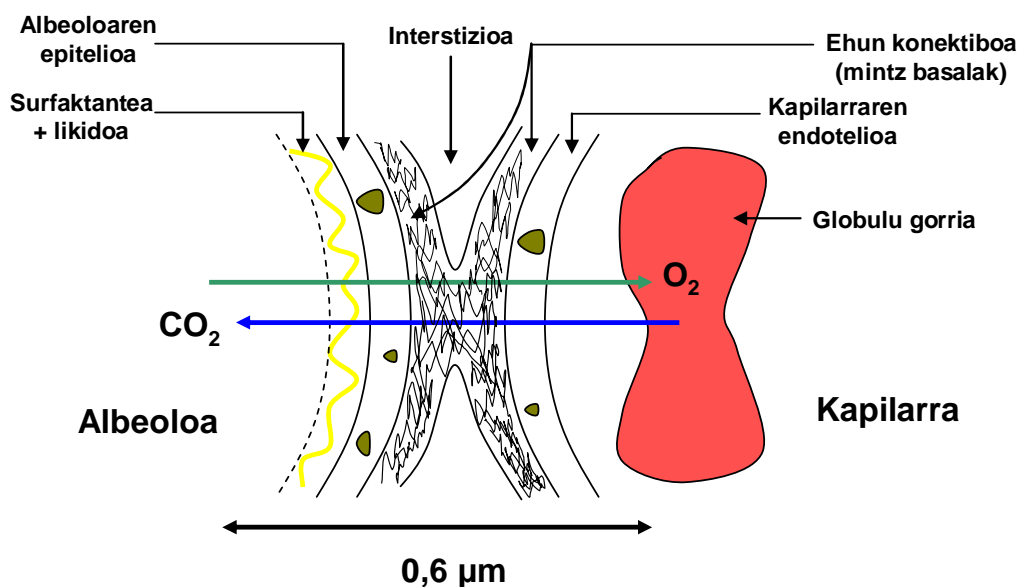
**(P<sub>1</sub> - P<sub>2</sub>) = ΔP: Albeolo eta kapilarraren arteko presio gradientea.**

- Difusioa presioak berdintzen diren arte gertatzen da
- Globulu gorri bakoitzak 0,75 sg inguru ukitzen du mintz albeolo-kapilarra. Difusioa gertatzeko, denbora horren herena behar da, beraz, globulu gorriak nahikoa denbora du gasak bereganatzeko.



**d: Distantzia** (mintzaren lodiera).

- Ahalik eta mehe bada, elkartruketa errazago gertatuko da.
- Mintz albeolo-kapilarra irudikatzen duen ondorengo marrazkian ikus dezakegu zein den gasek zeharkatu behar duten bidea (distantzia):





## 2.b) Aireztapen / Perfusio (zatiketa)

Gas-trukea modu egokian emateko, airea albeoloetara heltzen den heinean, aireko gasek odolera pasatzeko, gas bakoitzaren presioaren diferentzia mantendu beharko da. Gas horien mugimendua presio-gradientearen alde gertatuko da. Beraz, gasen elkartruke hori bakarrik gertatuko da baldin eta odola mugimenduan bada, hau da, odol-fluxua bada. Zeren eta soilik odol berria heltzen bada momenturo, mantenduko da gasen presio-gradiente albeolo eta odolaren artean eta, orduan bai, odolean gasen berriztapen konstantea gertatuko da.

Era berean, kontrako prozesurako, hau da, gasak odoletik albeoloko airera pasatzeko, odol-fluxua eta aireztapen egokiak egon beharko dira gasen gradienteak mantentzeko. Horregatik, gasen elkartrukea ondo gertatzen ari den jakiteko, aireztapen albeolarra ( $V_A$ ) eta odol-fluxuaren ( $Q$ ) arteko zatiketa egin ohi da.

$$\frac{V_A}{Q} = \frac{\text{Aireztapen albeolarra}}{\text{Odol-fluxua (perfusioa)}}$$

Zatiketaren arabera, gas-trukerik ez da egongo ondorengo kasuetan:

- **Aireztapenik ez dagoenean:**  $V_A = 0$  denean:  $0/Q = 0$
- **Odol-fluxurik ez dagoenean:**  $Q = 0$  denean:  $V_A/0 = \infty$

Pertsona osasuntsuan (zutik),  $V_A = 4$  L/min eta  $Q = 5$  L/min da, beraz,  $V_A/Q = 0,8$

Orain arte, albeolo guztietan aireztapen eta odol-fluxu berdina dagoela kontsideratu dugu. Baina ez da egia, izan ere, A eta Q aldakorrak dira birikan zehar grabitatearen eraginagatik. Irudian ikus dezakegu nola aldatzen diren A eta Q birikaren behealdean goialderaino:

- Goialdean:  $V_A > Q$
- Behealdean:  $V_A < Q$
- Eraginkortasun handiena birikaren erdialdean topatzen dugu
- **Kirola** egitean, adibidez, goialdeko odol-fluxua ( $Q$ ) handitzen dugu eta  $V_A/Q$  normala edukiko dugu goialdean.
- **Tabakismoak** aireztapena txikitzen du ( $V_A \downarrow$ ) eta  $V_A/Q \approx 0$  bihurtuko da, bronkioen eragozpena erakarrit.

