

RESPIRATIONSFYSIOLOGI

Gasutbyte och gastransport



Ingela Hammar
Sektionen för fysiologi

LIVSVIKTIG. Ska man bara träna en sak i livet så tränas på många sätt – men det är viktigt att få

Det absolut viktigaste vid bålträning är att hitta trycket i bälten, för att aktivera rätt muskler. Båltrycket skapas när vi får ett slutet trycksystem i kroppen. Det kan ta ett tag att lära sig hitta rätt tryck och här kan det underlätta att få hjälp från en personlig tränare, men det går också att göra på egen hand.

– Det gäller att se till att magen har tryck inifrån och ut, säger Björn Rhodin. Innan man börjar övningen ska man tömma magen på luft och därefter trycka till på samma sätt som om man bajsar eller hostar. Då hittar man rätt tryck. Det här gäller alla bålövningar, kvalitet ska gå före kvantitet. Då blir skaderisken mindre och effekten större.

Patient dog av för mycket syrgas

17.44 Jonathan Norberg



DELA

En patient på Akademiska sjukhuset i Uppsala har dött efter att ha fått för mycket syrgas för sina andningsbesvär, rapporterar nyhetsbyrån Siren.

Patienten fick en för hög dos i ett halvt dygn, och blev till slut medvetslös av för mycket koldioxid i blodet.

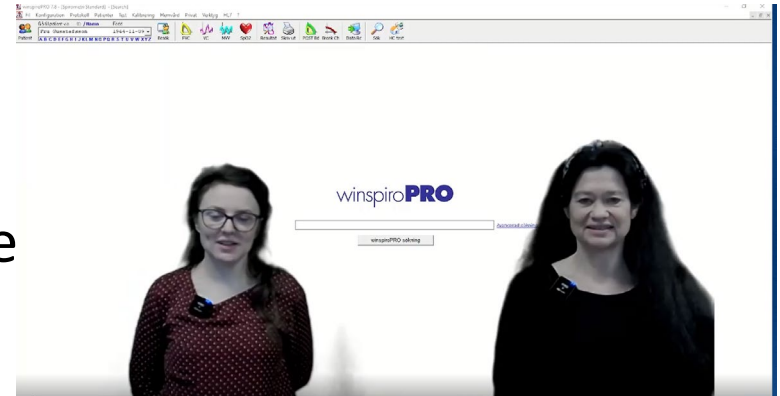
Kort senare avlider personen.

Händelsen är nu anmäld enligt lex Maria.

Laboration Spirometri

Inför spirometrilaborationen:

- Labhandledning och schema
(Canvas: Block 6/Laboration spirome
- Videofilm x2 labgenomgång
(Canvas:Spirometri lab film)



Laborationen genomförs med flödesspirometer – turbin / flöde

- statisk spirometri: volym
- dynamisk spirometri: flöde

Labgenomgång/demonstration i helklass



LABORATION: SCHEMA GRUPPVIS

16-okt	Grupp
11.30-12.30	15,16
12.30-13.30	1,2
13.30-14.30	3,4
14.30-15.30	5,6

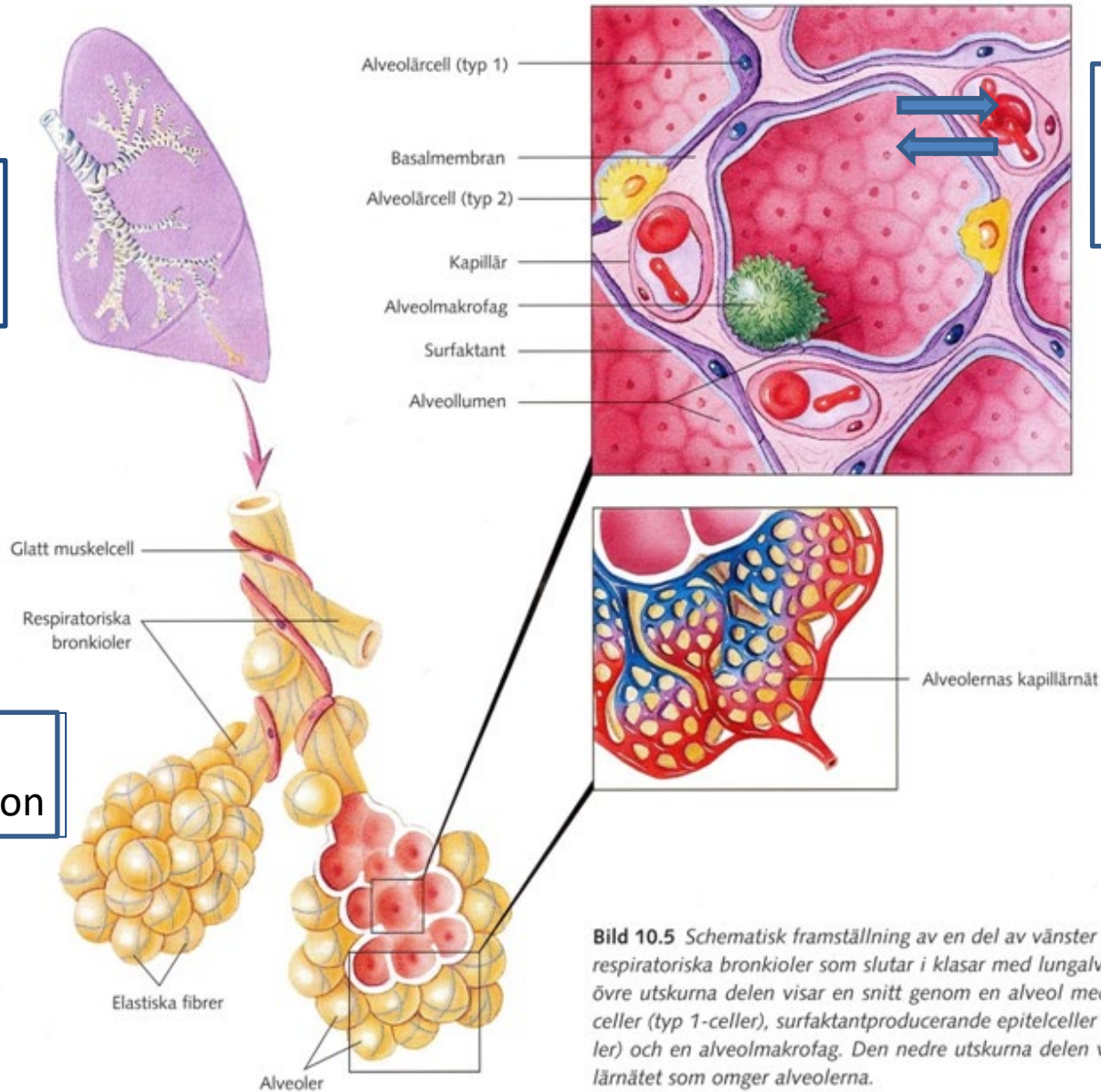
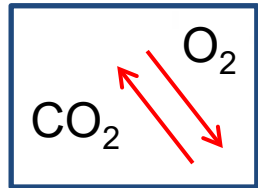
17-okt	Grupp
09.00-10.00	7,8
10.00-11.00	9,10,
11.00-12.00	11,12
12.00-13.00	13,14

Laborationsschema

Vi samlas i sal N Wedel(2409 E) för en kort genomgång enligt schemat och sedan genomför ni laborationen i direkt anslutning till denna. Notera att det här är ett obligatoriskt moment och att ni behöver skriva upp er på närvarolistan.

Om ni inte kan närvara vid ordinarie tillfälle kommer det finnas möjlighet att delta i ett uppsamlingstillfälle (demonstration) i maj. Till detta ersättningsmoment måste man anmäla sig på Canvas!

Lungans anatomi



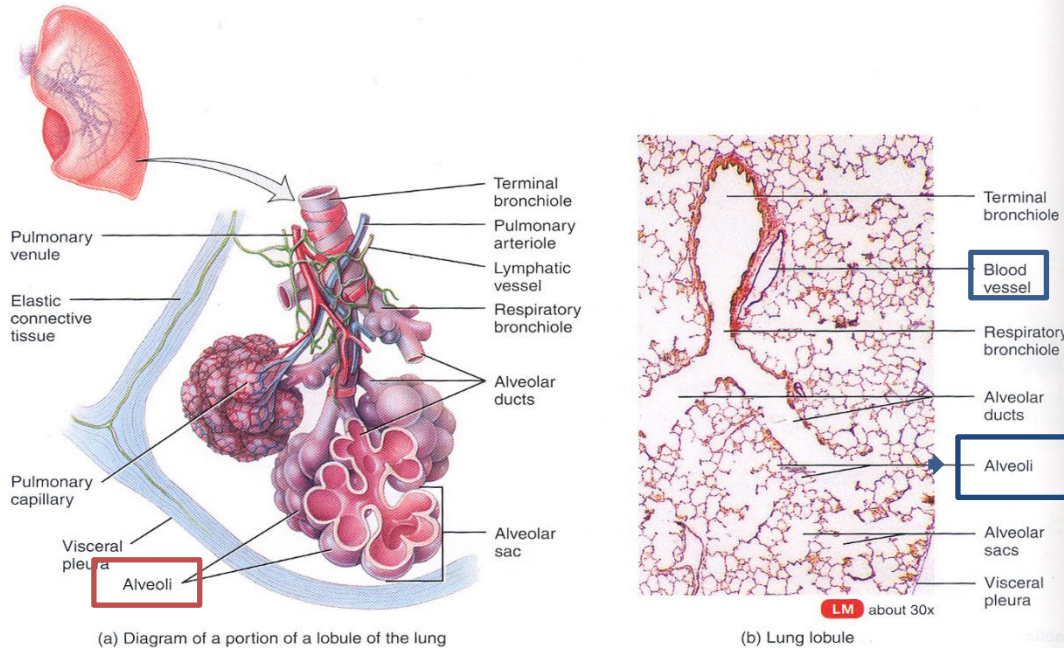
Respiratoriskt
membran
(300 nm)

Ledande zon
Respiratorisk zon

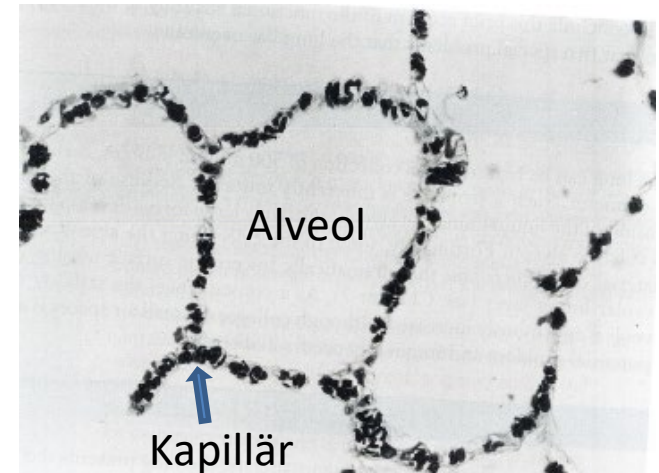
Bild 10.5 Schematisk framställning av en del av vänster lunga med respiratoriska bronkioler som slutar i klasar med lungalveoler. Den övre utskurna delen visar en snitt genom en alveol med alveolarceller (typ 1-celler), surfaktantproducerande epitelceller (typ 2-celler) och en alveolmakrofag. Den nedre utskurna delen visar kapillärnätet som omger alveolerna.

Alveolerna – specialanpassade för gasutbytet

Figure 22.10
Microscopic anatomy of a lobule of the lungs.



Alveolar sacs consist of two or more alveoli that share a common opening into an alveolar duct.



Gasutbytet sker i alveolerna över det respiratoriska membranet:

- O₂ från alveolen tas upp i blodet
- CO₂ i blodet tas upp i alveolerna

Många alveoler ger en mycket stor yta över vilken gasutbytet kan ske
Respiratoriska membranet tunt – kort diffusionsavstånd

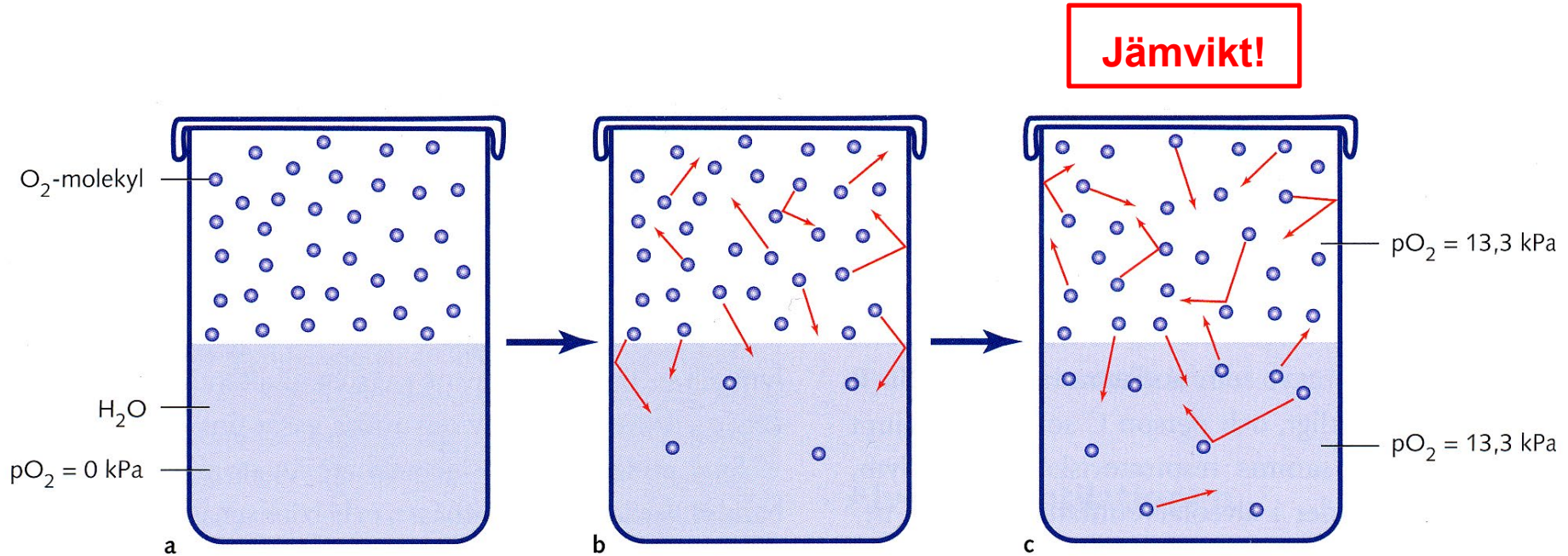
Partialtryck – vad är det?

	ATMOSFÄR		ALVEOLER	
Gas	%	kPa	%	kPa
N ₂	78,6	79	74,2	74,2
O ₂	20,9	21	13,3	13,3
CO ₂	0,04	0,04	5,3	5,3
H ₂ O	0,46	0,5	6,3	6,3

Partialtrycket för en gas är det deltryck som gasen utövar. Dvs i luften finns 20% syre alltså utgör syrets partialtryck 20% av det totala lufttrycket eller 20 kPa då lufttrycket är 100 kPa.

Partialtrycket för en gas i en vätska definieras utifrån gasens partialtryck i den gasblandning som vätskan står i jämvikt med. Dvs om vi ställer fram en skål med vatten och låter den stå tills jämvikt har uppnåtts så kommer partialtrycket för syre i vattnet att vara 20 kPa, precis som i luften.

Partialtryck av gas i vätska – Henrys lag



Koncentration av gas i vätskan
(anges som ml gas / 100 ml blod):

Löslighetskonstant

(varierar med typ av gas och typ av vätska)

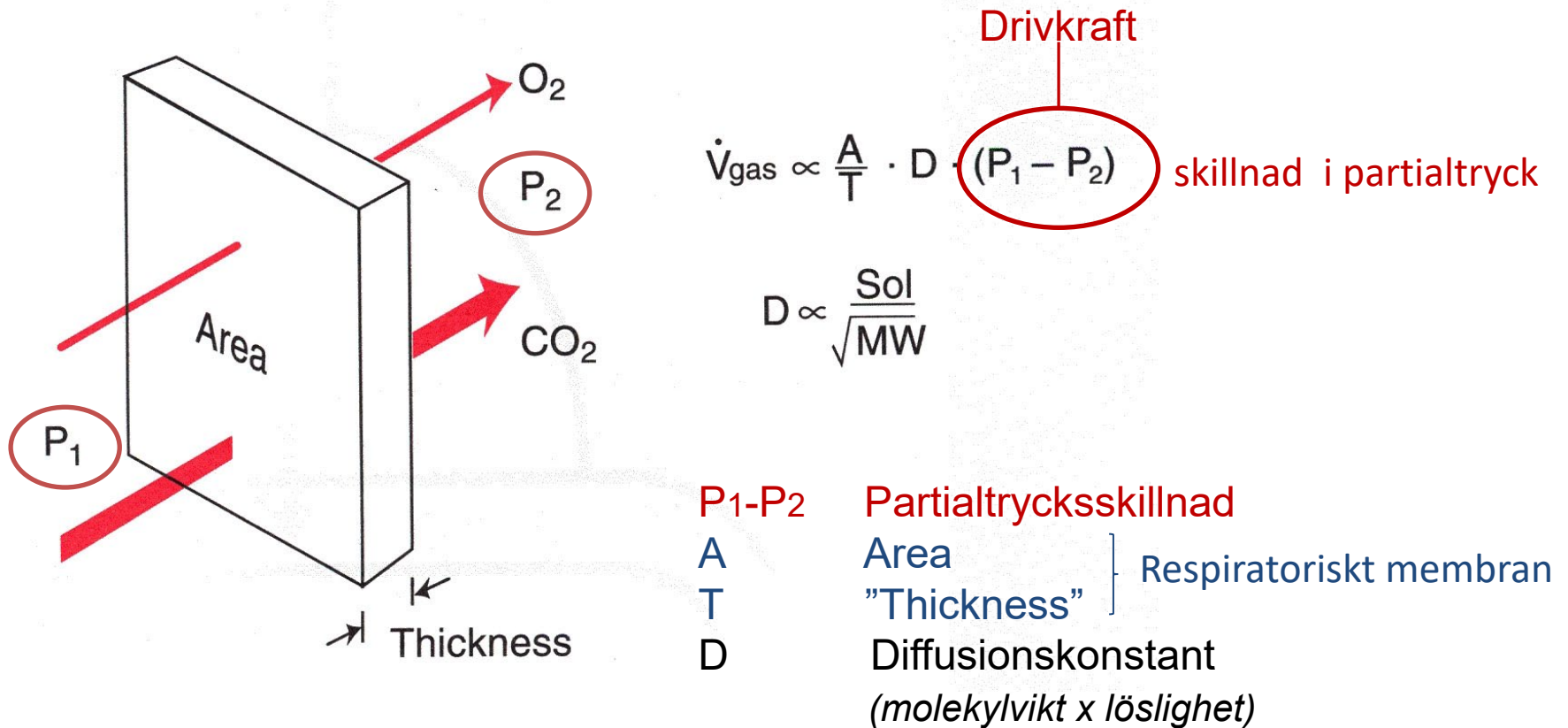
$$C = k \times P_{\text{gas}}$$

Partialtryck

Gas(syrgas) i gasfas (luft) skall lösas i vätskefas (blod)

Gas i lungans alveoler kan bara lösas i blodet till jämvikt

Gasutbyte - Diffusion – Ficks lag



Enligt Ficks lag: "Bra": stor area (A) liten vägg tjocklek (T)

Det respiratoriska membranet är specialanpassat för gasutbyte: stor area (många alveoler) och kort diffusionsavstånd (tunt respiratoriskt membran)

CO₂ transport genom membrankanaler?

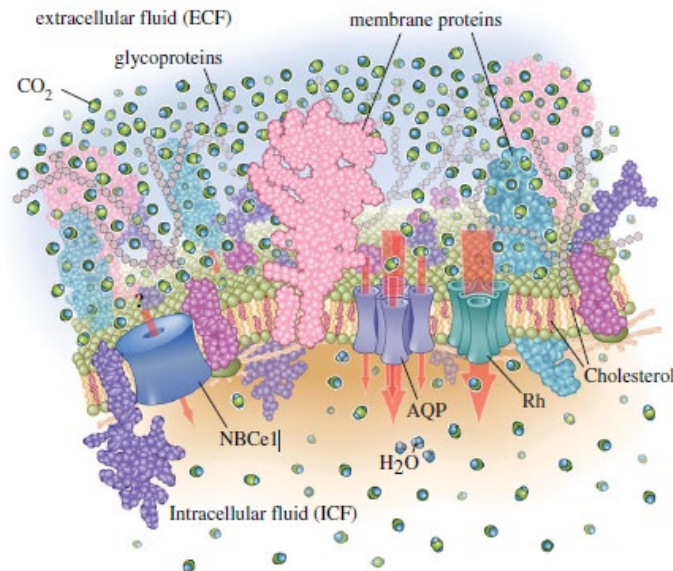
Carbon dioxide transport across membranes

Carbon dioxide (CO₂) movement across cellular membranes is passive and governed by Fick's law of diffusion. Until recently, we believed that gases cross biological membranes exclusively by dissolving in and then diffusing through membrane lipid. However, the observation that some membranes are CO₂ impermeable led to the discovery of a gas molecule moving through a channel; namely, CO₂ diffusion through aquaporin-1 (AQP1). Later work demonstrated CO₂ diffusion through rhesus (Rh) proteins

Indikationer på att CO₂ förutom diffusion också kan passera genom specifika kanaler

Aquaporiner kandidater för detta
Uttrycks i erytrocyter

Gäller också transport av O₂ över erytrocytmembran?



**INTERFACE
FOCUS**

royalsocietypublishing.org/journal/rsfs

Review



Cite this article: Midenkova M *et al.* 2021
Carbon dioxide transport across membranes.
Interface Focus 11: 20200090.
<https://doi.org/10.1098/rsfs.2020.0090>

Partialtryck – vad händer i alveolen?

ATMOSFÄR			ALVEOLER	
Gas	%	kPa	%	kPa
N ₂	78,6	79	74,2	74,2
O ₂	20,9	21	13,3	13,3
CO ₂	0,04	0,04	5,3	5,3
H ₂ O	0,46	0,5	6,3	6,3

1) Inandad luft mättas med vattenånga – förändrar partialtrycken för övriga gaser (i luft 0,5 kPa, i alveolen 6,3 kPa)

2) I alveolen sker ett gasutbyte över det respiratoriska membranet till jämvikt

3) Ojämn ventilation/perfusion av lungan

Partialtrycket i alveolen reflekterar dessa processer (p_{O_2} 13,3 kPa, CO_2 5,3 kPa)

Gasblandning i en "medel-alveol"

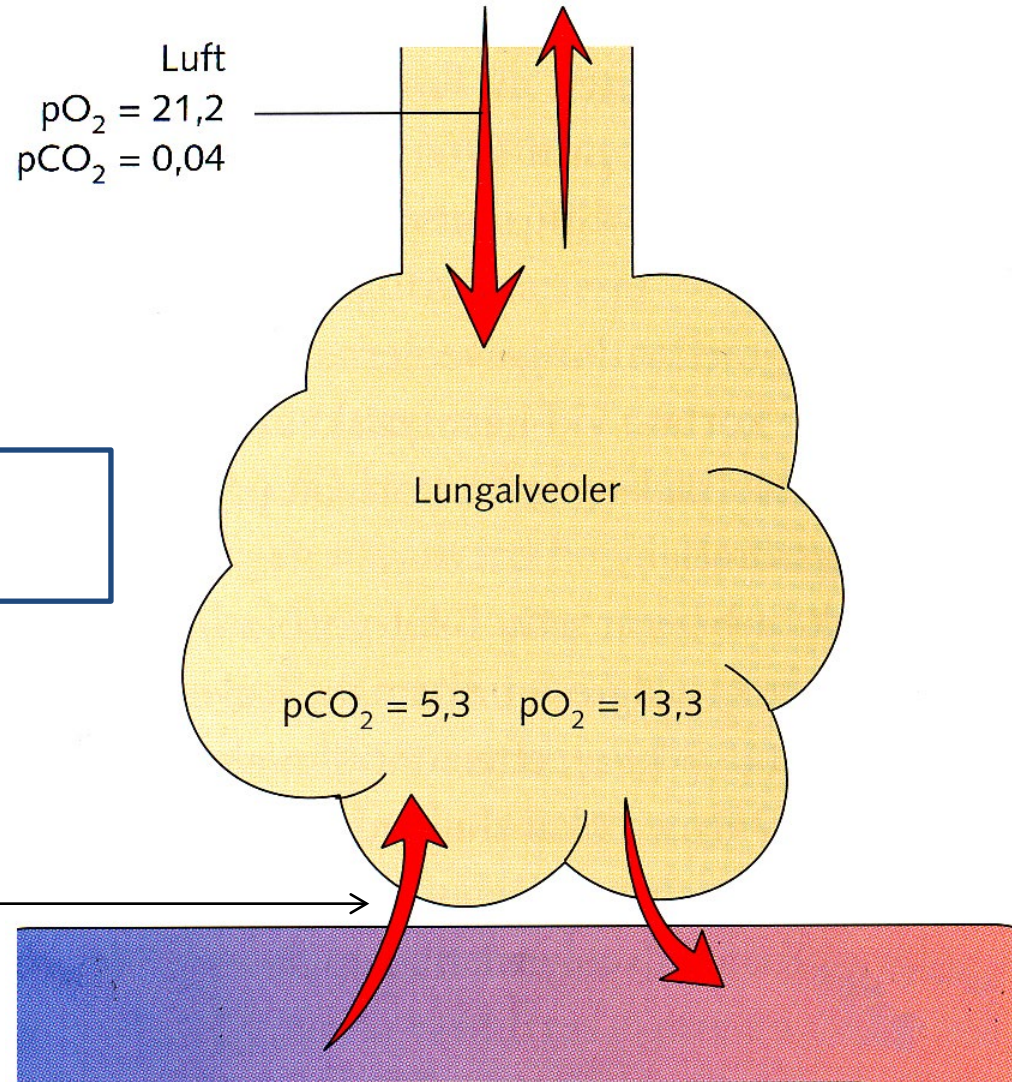
Partialtryck av gas i **gasblandning**
= gasens "andel" av det totala trycket

t.ex. luft vid marknivå 100kPa
21 % O₂ => **pO₂ 21 kPa**

Havsytan: 100 kPa
O₂=21%=21 kPa
+ vattenånga= **19,7kPa till alveolen**

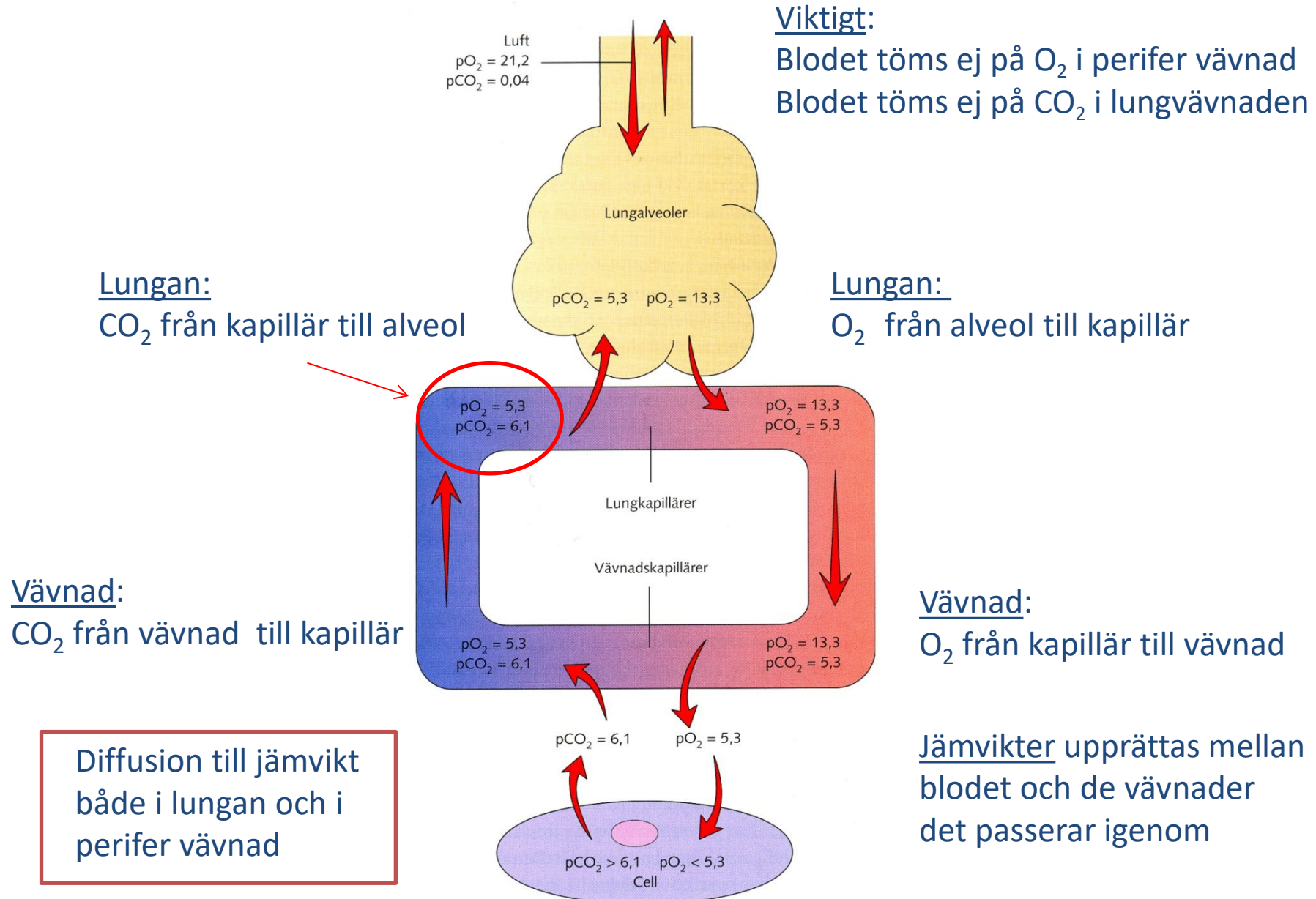
Anfuktning + ojämna ventilation i lungan
= **13,3kPa i alveolen**

pCO₂ och pO₂ i alveolen påverkas
av ändrad ventilation!



Alveolmembran + kapillärmembran

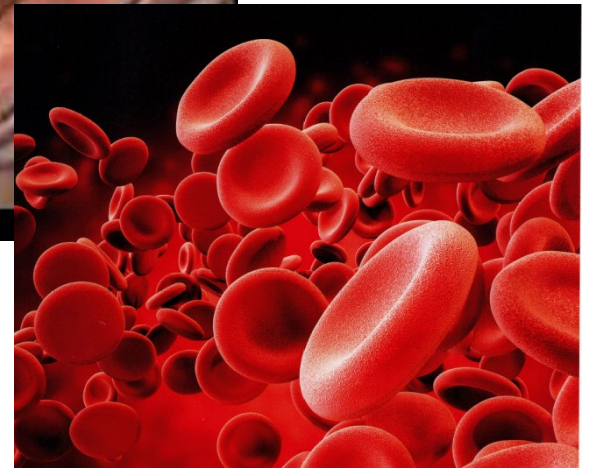
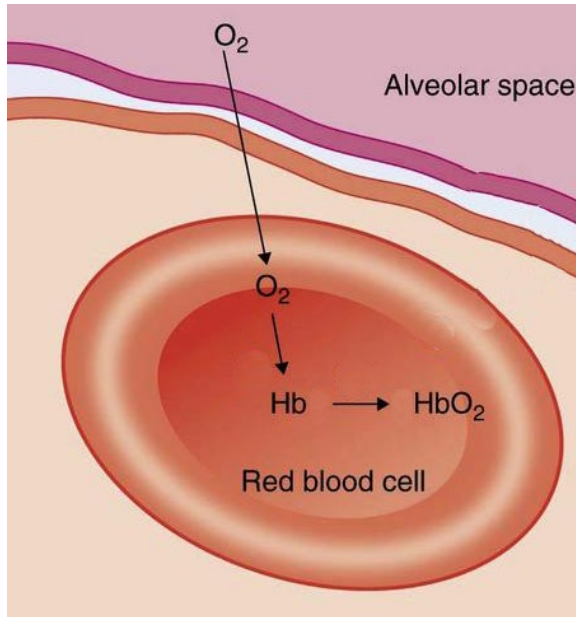
Gasutbyte & jämvikter i lungor & perifer vävnad



Transport av syrgas

Mängden fysikaliskt löst syrgas räcker inte för att tillgodose syrgasbehovet.

Transportsystem behövs för att förse vävnaderna med syrgas ➡ Hemoglobin



Syrgas transporteras i blodet på två olika sätt:

- 1) Bundet till hemoglobin i röda blodkroppar (HbO₂)
- 2) Fysikaliskt löst i blodet (pO₂)

Diffusion + bindning till Hb tar ungefär 0.2 sek

O₂ koncentration = fysikaliskt löst + bundet till Hb

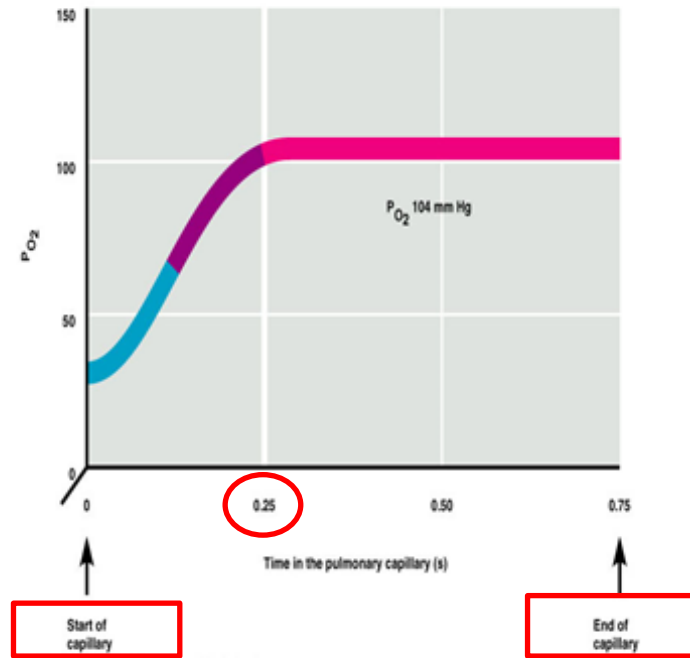
Syresättning av blod i lungkapillär

Vi syresätter blodet (O_2 binder till hemoglobinet) mycket effektivt

I en frisk lunga i vila tar det 0,25 s till dess allt hemoglobin är mättat, dvs en tredjedel av den tid blodet passerar över alveolen.

Ger god marginal fullgott syreupptag vid ökat blodflöde såsom uppkommer vid arbete

Syresättning av blodet

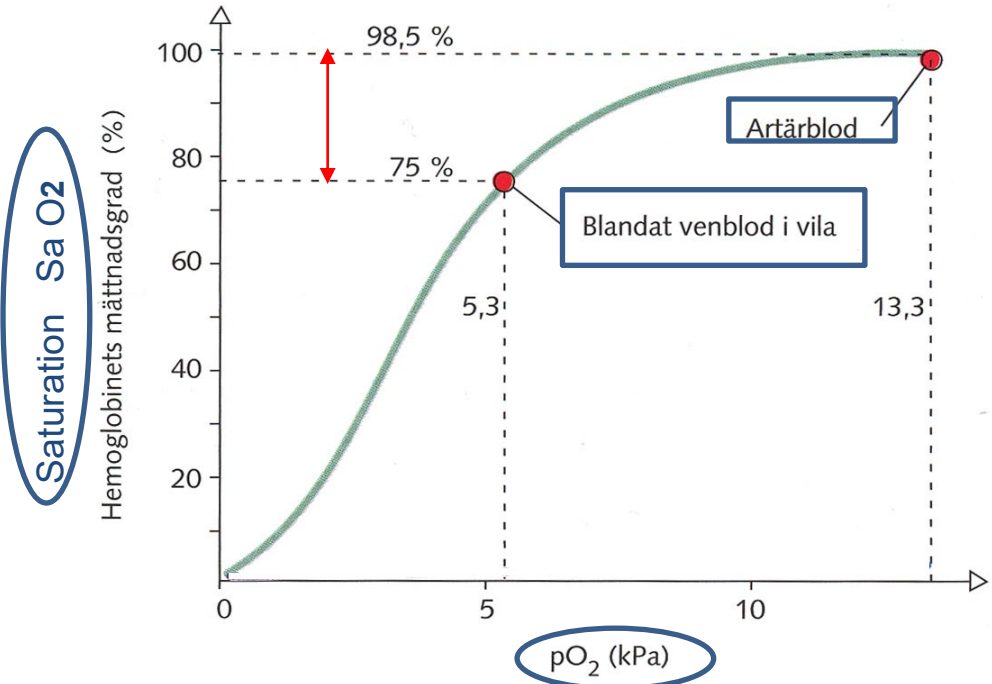


Copyright © 2004 Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

Saturation (mättnad)



Hemoglobinmolekyl



Saturation : hur stor andel av Hb:s inbindningsställen för O₂ som är upptagna
100% mättnad = alla fyra inbindningsställen bundit in O₂

Mängd syrgas i blod bestäms av: Saturation och mängd hemoglobin
O₂ koncentration = fysikaliskt löst + bundet till Hb

Anemi/blodbrist: för få bärare men 100% saturation

Faktorer som påverkar syrgasinnehållet i artärblod

Hb koncentration

♀ 115-147 g/l
♂ 131-163 g/l

Saturation

≈ 98%

Könsskillnader finns
hos många däggdjur.
Ej associerat med nivå
av erythropoietin
Skillnad kvarstår post-
menopausalt

Bundet till Hb: $15\text{g Hb}/100\text{ml blod} \times 1,34\text{ ml O}_2/\text{gHb} = 20,0\text{ml O}_2 / 100\text{ml blod}$

Fysikaliskt löst: $0,3\text{ml O}_2 / 100\text{ml blod}$

 $\Sigma \quad 20,3\text{ml O}_2 / 100\text{ml blod}$

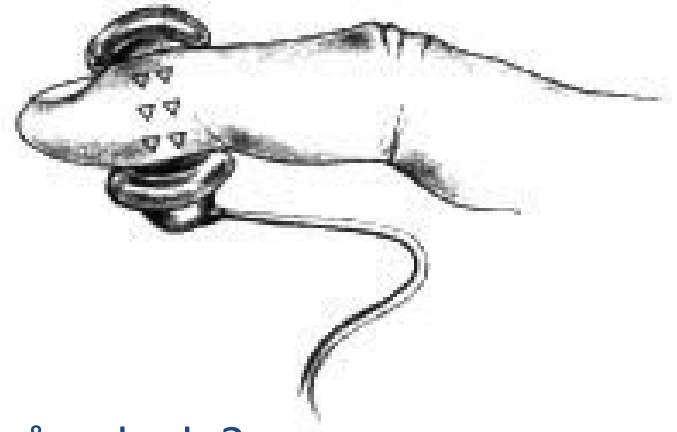
Hb: Mängd hemoglobin (kapillärprov, venprov)
pO₂: Partialtryck/ diffusionsfunktion (artärprov , A. radialis)
SaO₂: Hemoglobinetts mättnad (pulsoximeter)

Klinik: viktigt mäta rätt parameter!

Mätning av syrgassaturation



*Pulsoximeter: spektrofotometri
Mäter bara pulserande blod
Mäter absorbans (oxiderat respektive
reducerat Hb har olika absorbans)*



När kan O_2 koncentration eller saturation vara påverkade?

O_2 koncentration:

-Anemi ("blodbrist"; brist på röda blodkroppar/hemoglobin)
(brist på järn/folsyra, blödning i tarmkanalen)

Saturation:

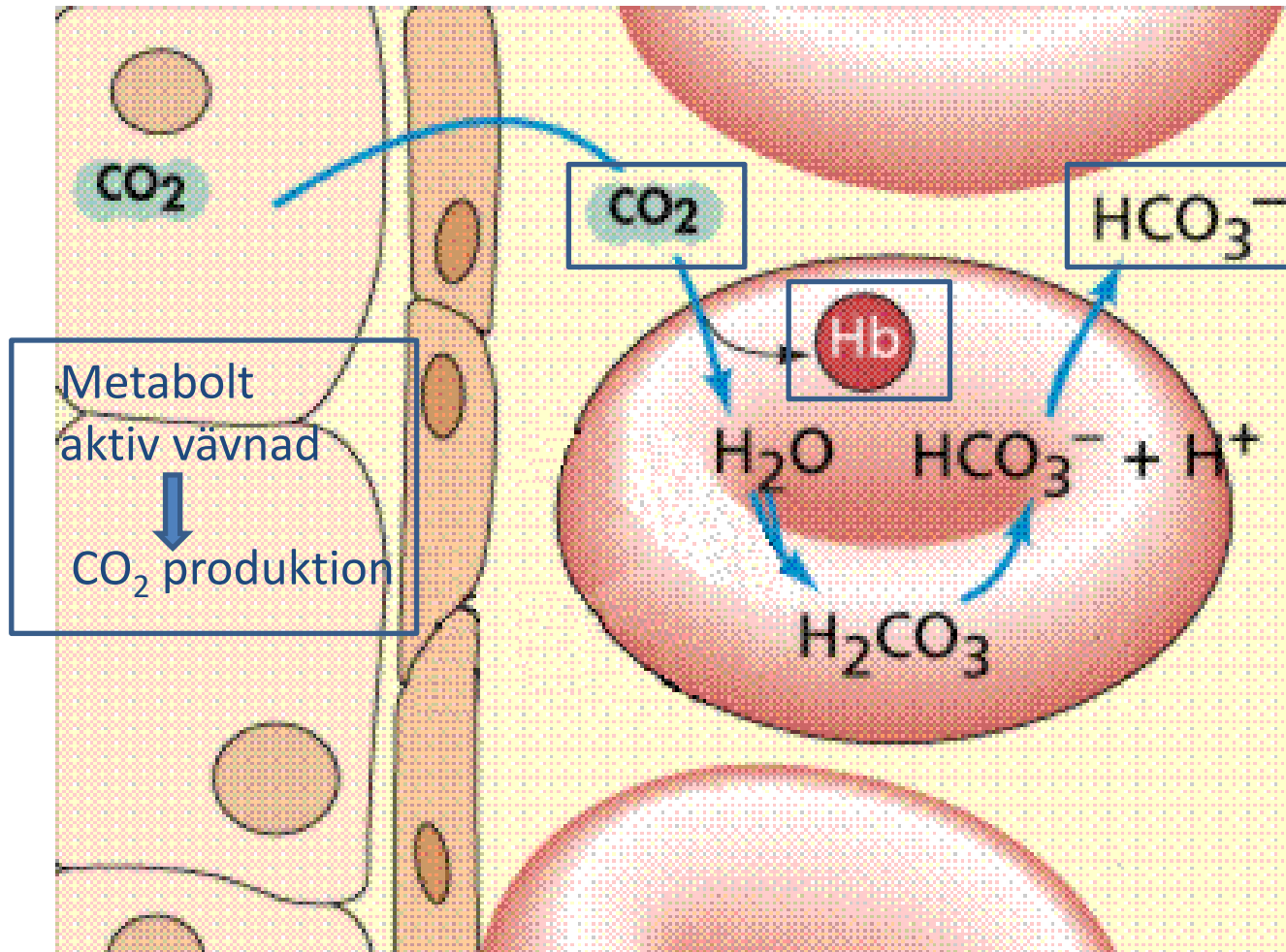
-Lungrelaterat ex diffusionsstörning eller astma

Transport av koldioxid

Koldioxid bildas i kroppens celler vid metabolism

Koldioxid transporteras från vävnaden med blodet till alveolerna

Koldioxid lämnar kroppen vid utandning eller via urinutsöndring

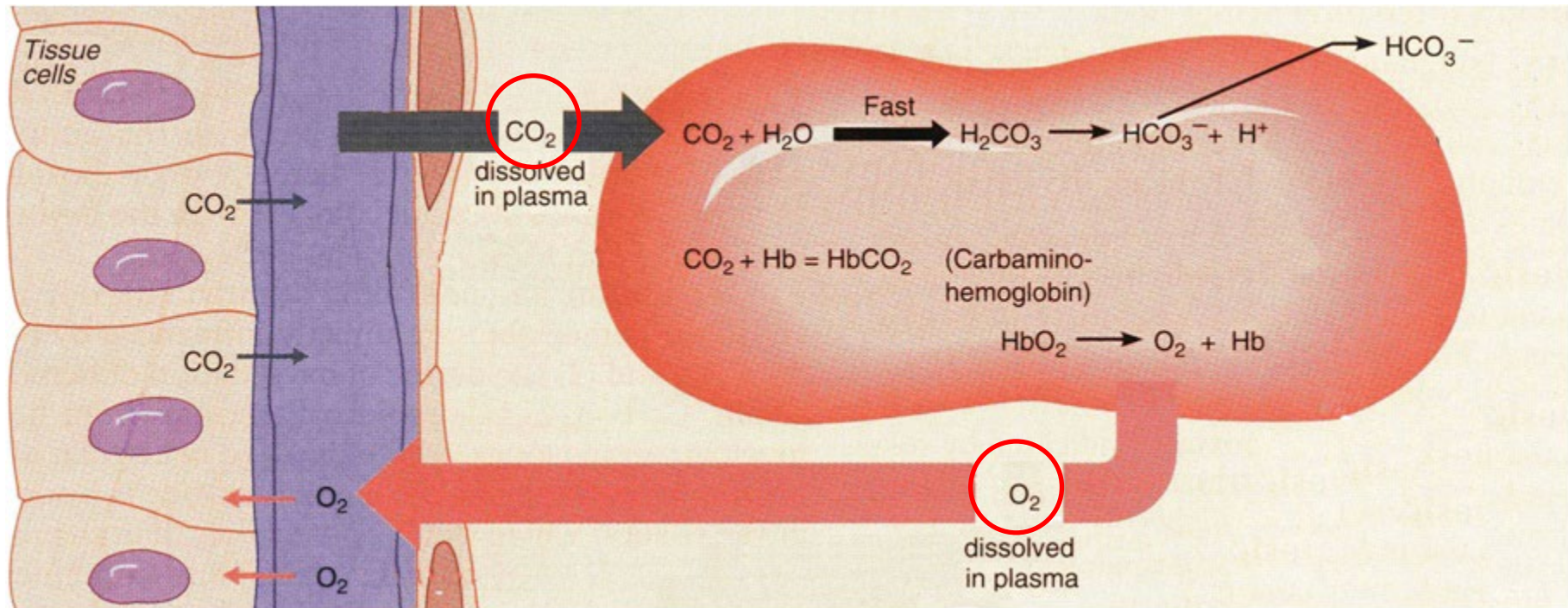


- Bikarbonat
(bildas i RBK via karbanhydras/
kloridshift;
största andelen)

- Bundet till Hb

- Fysikaliskt löst i
blod

Gasutbyte i perifer vävnad



Fysikaliskt lösta gaser i blodet (O_2 , CO_2) kan ses som jämvikter mellan transportsystem – blod – vävnad

- CO_2 går från vävnad till plasma längs sin koncentration (partialtrycks) –gradient.
- O_2 går längs sin koncentrationsgradient ut till vävnaden.

➡ **Jämvikt**, fysikaliskt löst gas //vävnad, fysikaliskt löst gas // transportsystemen

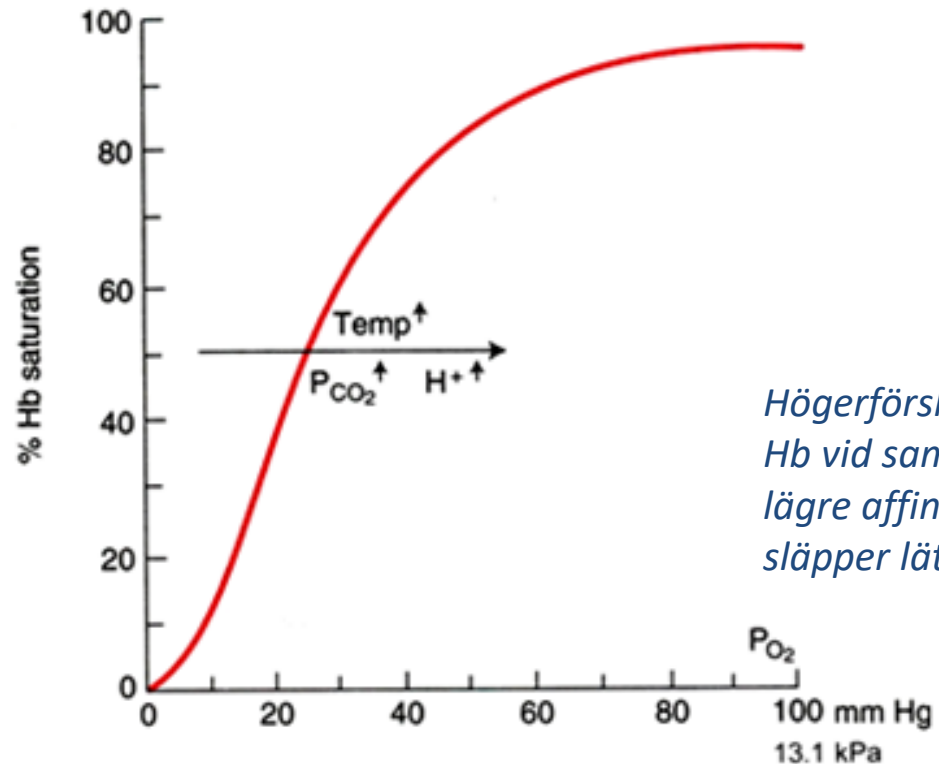
Arbete: öppning av fler kapillärer (diffusionsavståndet minskar / diffusionsytan ökar)
vävnadens pO_2 är lägre (större syrgasextraktion)

Bohr-effekten

Hemoglobinetts syreaffinitet beror på miljön – dess egenskaper anpassas efter omgivningen
Hb avger mer O_2 (minskad affinitet) i miljöer med:

- lägre pH (laktat)
- högre temperatur
- högre CO_2 koncentration

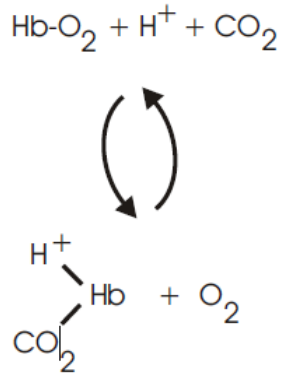
som t.ex. i en arbetande muskel



Syrgasavgivning till perifer vävnad sker i den branta fasen av dissociationskurvan

En liten sänkning av partialtrycket leder till att stora mängder syrgas dissocierar från Hb

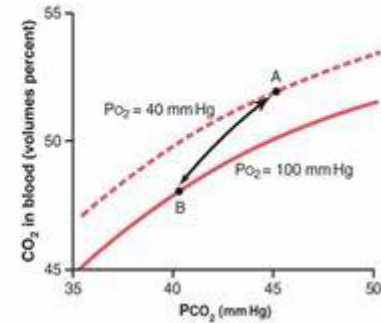
Haldane-effekt



The Haldane Effect

Binding of O₂ to Hb reduces Hb CO₂ affinity

- Deoxygenation of the blood increases its ability to carry carbon dioxide
- Conversely, oxygenated blood has a reduced capacity for carbon dioxide.



Mängden löst CO₂ i blodet beror på hemoglobinetts mättnad
m a p syrgas

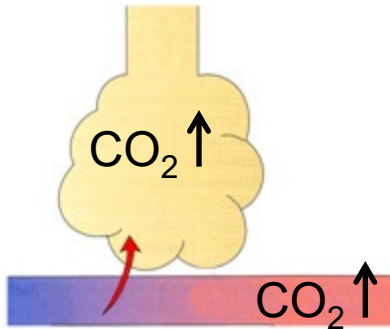
Ju mindre HbO₂ ju mer löst CO₂ dvs att ju mer hemoglobin
avlastar syrgas till perifer vävnad, ju mer CO₂ kan transporteras

”.....när Hb avlastar syre till perifer vävnad, så underlättas upptaget av koldioxid från
samma vävnad till blodbanan....”

Transporten av CO₂ i blod är kopplad till blodets pH



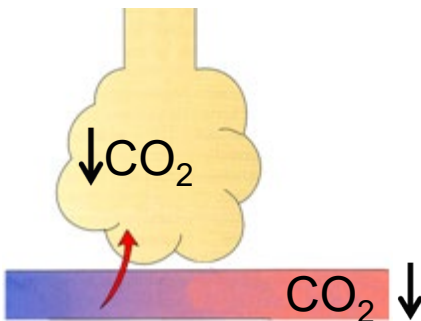
Ventilation ↓



↑

⇒ ↑ Acidos (pH-sänkning)

Ventilation ↑



↓

⇐ ↓ Alkalos (pH-höjning)

Reglering av pH: respiration och njurar
Viktigt vid narkos/respirator

Lung – och systemkretslopp

Lungskretsloppet (lilla kretsloppet) är ett lågtryckskretslopp

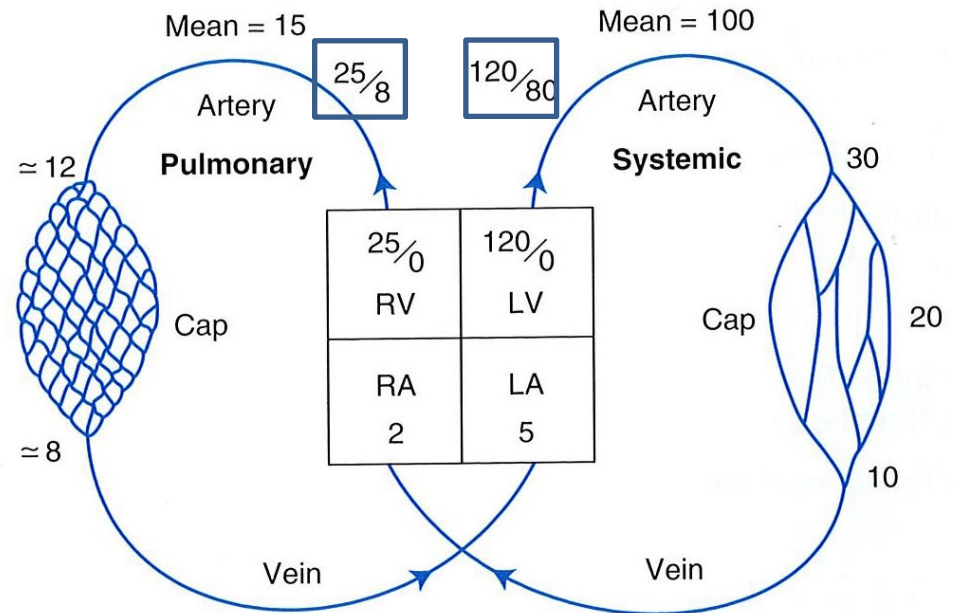
Lungan: ett enda organ

Ligger på samma höjd som hjärtat

➔ Ej perfundera ovanför lungspetshöjd

➔ Ej distribuera blod

➔ Saknar prekapillära resistenskärl

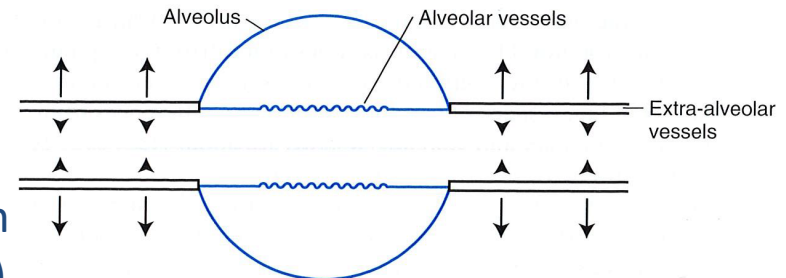


Kapillärerna runt alveolerna mycket tunt membran

Omges eg. enbart av gas – tryck utanför kapillär

det samma som alveoltryck

Om högre än kapillärtryck: kollaps

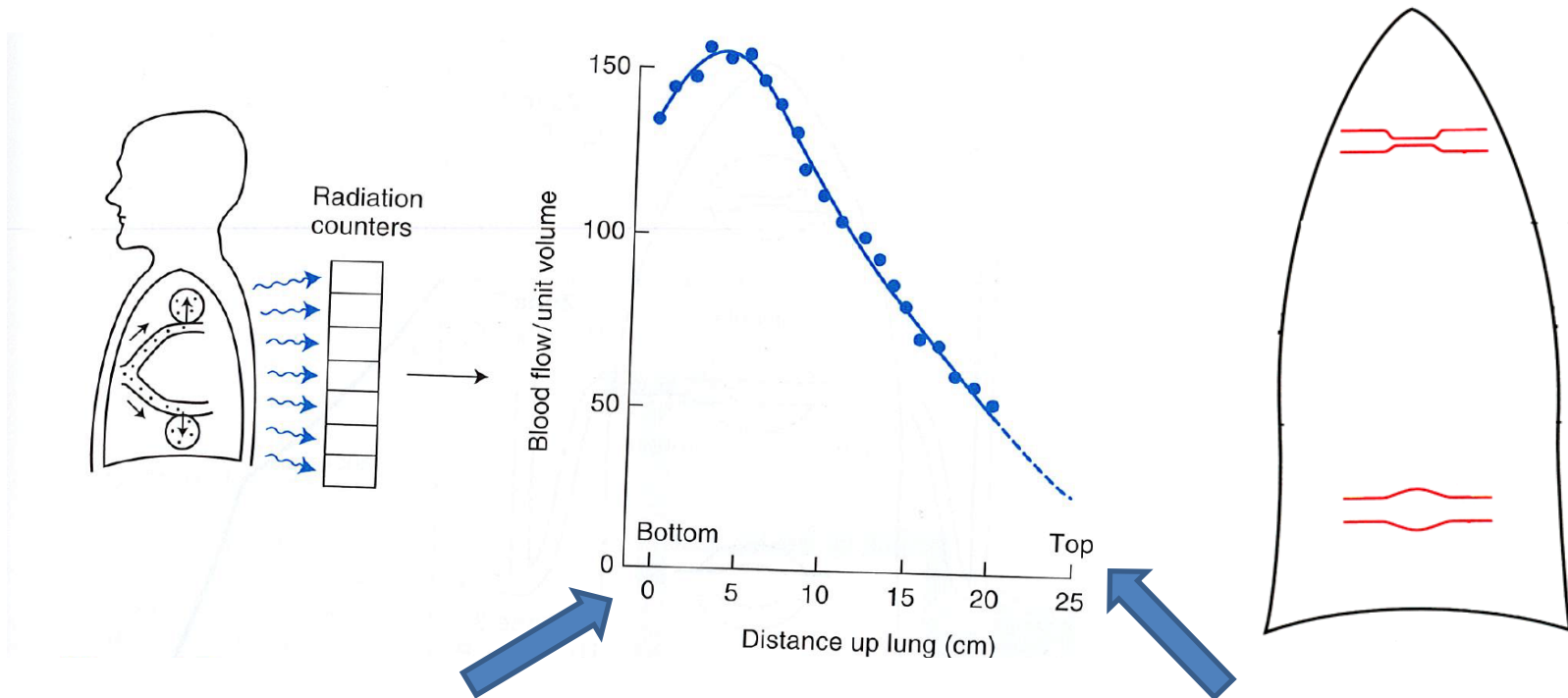


Extraalveolära kärl: artärer och vener i lungparenkym

Påverkas av lungvolym (elastiska fibrer i parenkymet)

Cirkulation i vila – gravitationseffekter

Hos en stående person är ventilation/volym störst basalt, och minskar apikalt
Lågt perfusionsstryck: Sämre perfusion av lungans apikala delar, speciellt i vila



Högre hydrostatiskt tryck
i basala delar av lungan
=> Kapillärer vidgas
=> Högre blodflöde

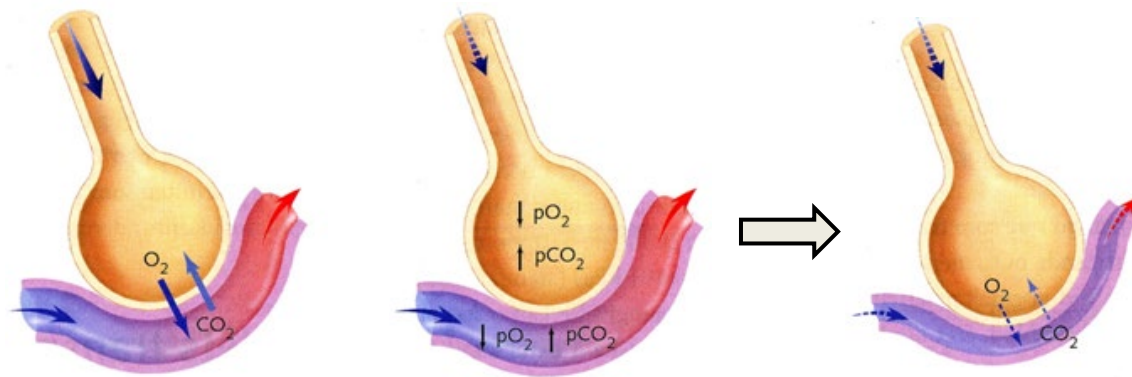
Lägre hydrostatiskt tryck
i apikala delar av lungan
=> Kapillärer smalnar av
=> Lägre blodflöde

Passiva mekanismer!

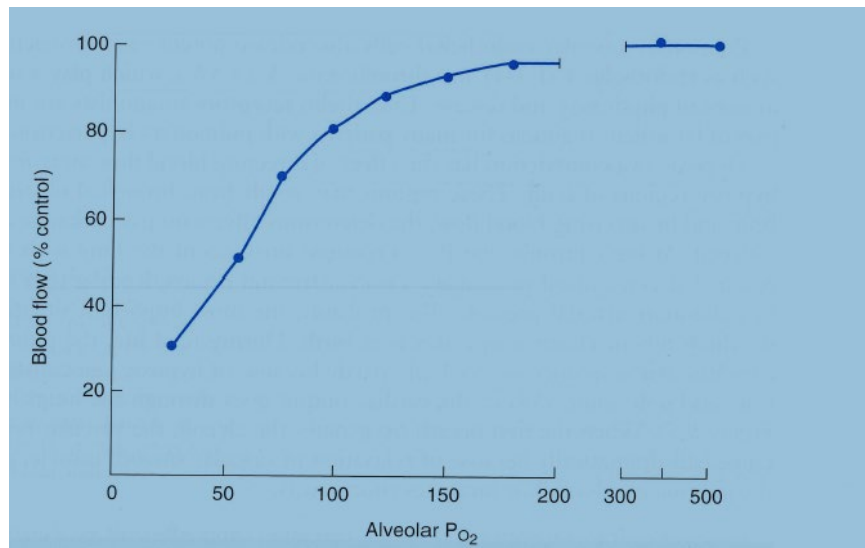
Lokal reglering - Hypoxisk pulmonell vasokonstriktion

Blodflödet shuntas undan från dåligt ventilerade alveoler.

Blodflödet riktas till väl ventilerade alveoler.



Försämrad ventilation
av alveol leder till
vasokonstriktion



Minskat alveolärt pO_2 leder till kontraktion
av glatt muskulatur i blodkärl
Oklar mekanism (NO? TXA_2 ?) men sannolikt
lokalt initierad kärlreaktion

- Bronkialkonstriktion
- Hög höjd – generell kärlkonstriktion i lungan
- Perinatalfysiologi (lågt blodflöde i lungan
före födsel, högt motstånd i
lungkretsloppet)

Aktiva mekanismer!

Att läsa mer själva

Respiration

- Gastransport
- Lungcirkulation
- Ventilation-perfusionsanpassning

Läs i kompendiet:

- Bohreffekt
- Haldaneeffekt
- Blodflöde-tryckförhållande
- Ventilation/perfusionsanpassning

Historic Vids  @historyinmemes · 2h
Cough syrup produced in Baltimore in 1888.

...

