



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE MEDICINA

INTERCAMBIO GASEOSO

Dra. Tatiana Reyes.
Programa de Fisiopatología,
Instituto de Ciencias Biomédicas

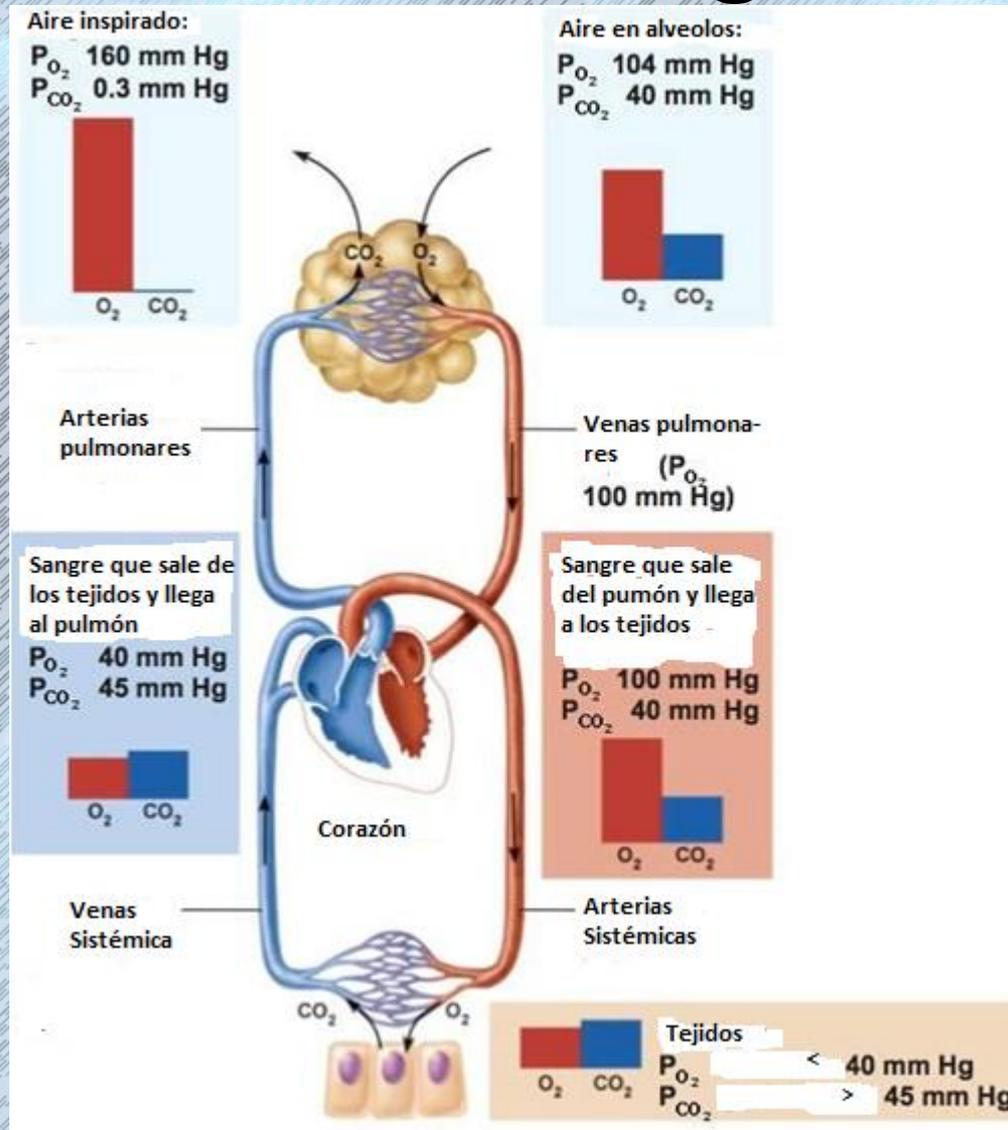
CONTENIDOS

- Ventilación alveolar
- Intercambio gaseoso
- Insuficiencia respiratoria

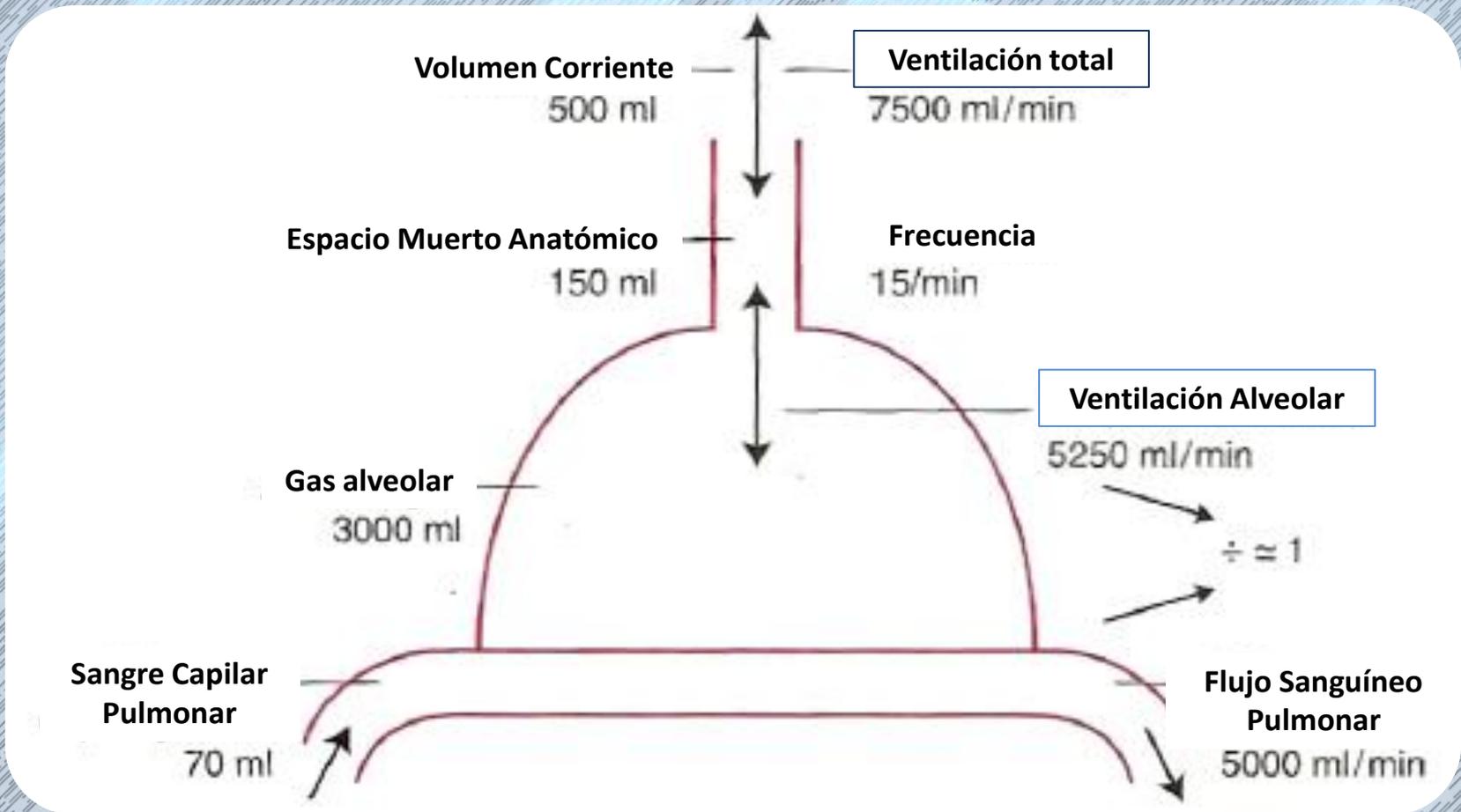
MECANISMOS DE INSUFICIENCIA RESPIRATORIA

1. Hipoventilación
2. Alteración V/Q
3. Alteración de la difusión
4. Shunt
5. Disminución de la fracción inspirada de oxígeno

Intercambio gaseoso



VOLUMENES Y FLUJOS PULMONARES EN REPOSO



EJERCICIO: medir ventilación alveolar

Medir volumen de espacio muerto

$$V' = FR \times VC$$

$$7,5 \text{ L/min} = 15/\text{min} \times 0,5 \text{ L}$$

$$V'_A = FR \times (V_T - V_D)$$

$$5,25 \text{ L/min} = 15/\text{min} \times (0,5 \text{ L} - 0,15 \text{ L})$$

$$V_T = V_D + V_A$$

$$V_T \times FR = V_D \times FR + V_A \times FR$$

$$FR + V_A \times FR$$

$$V'_T = V'_D + V'_A$$

$$V'_A = V'_T - V'_D$$

Concentración de CO₂ espirado

$$V'_{CO_2} = V'_A \times \%CO_2 / 100$$

$$V'_A = V'_{CO_2} \times 100 / \%CO_2$$

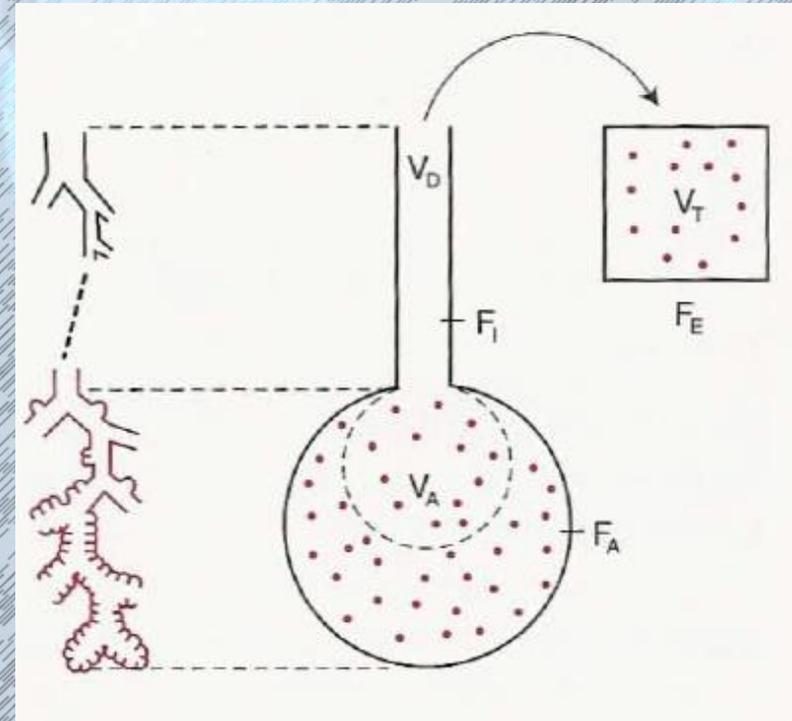
$$F_{CO_2} = \%CO_2 / 100$$

$$V'_A = V'_{CO_2} \times F_{CO_2}$$

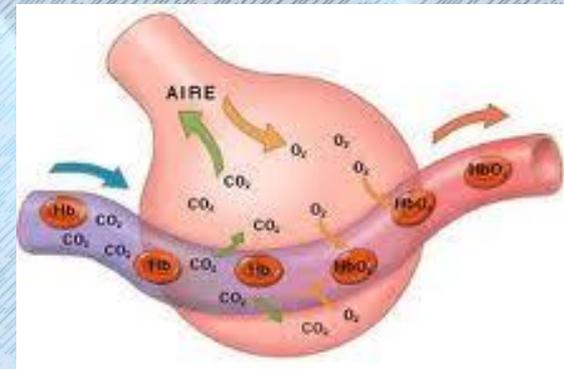
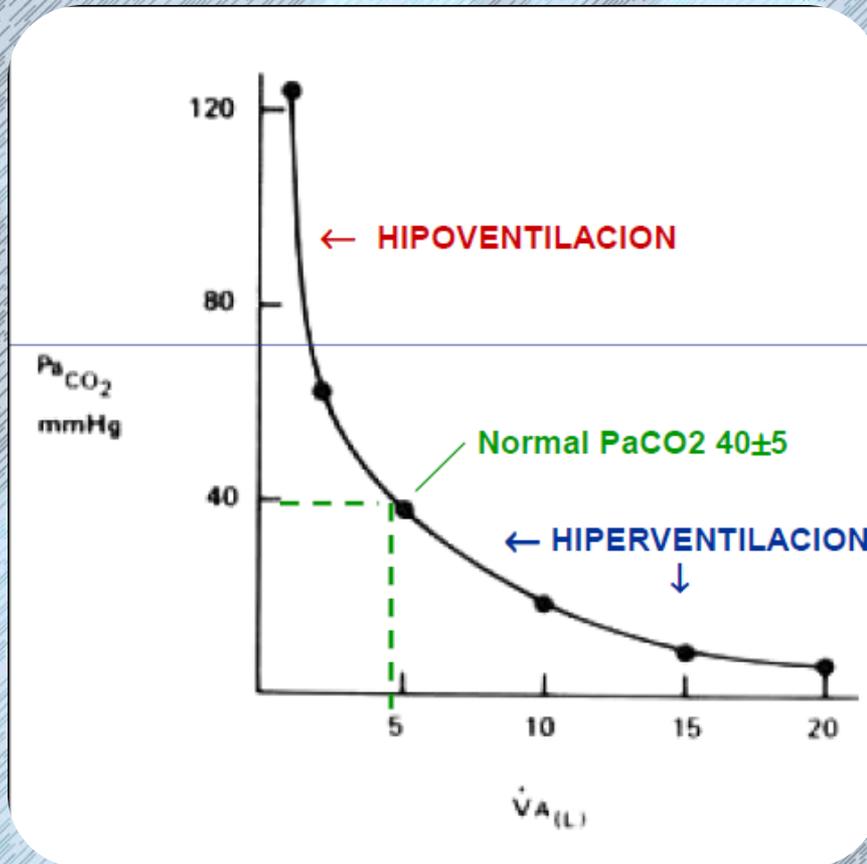
$$P_{CO_2} = F_{CO_2} \times K$$

$$V'_A = (V'_{CO_2} / P_{CO_2}) \times K$$

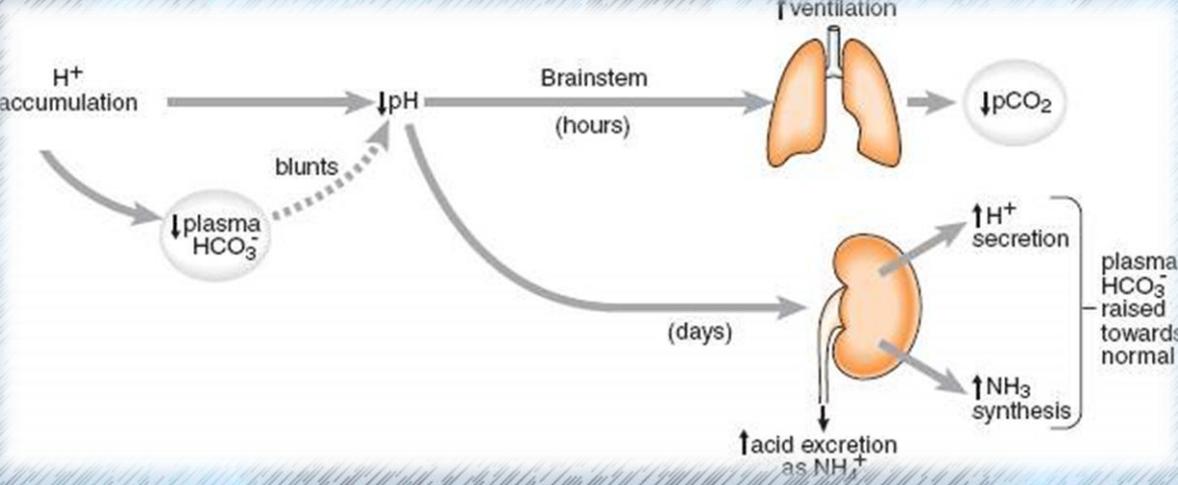
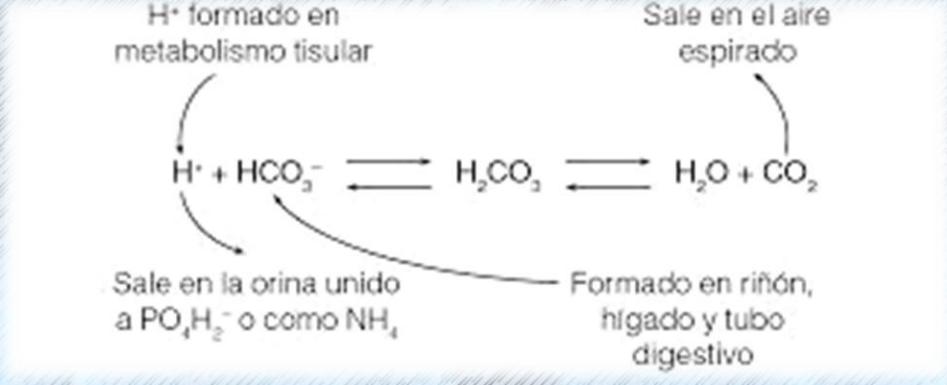
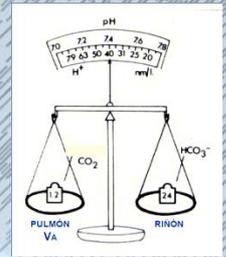
$P_{ACO_2} \sim P_{aCO_2}$

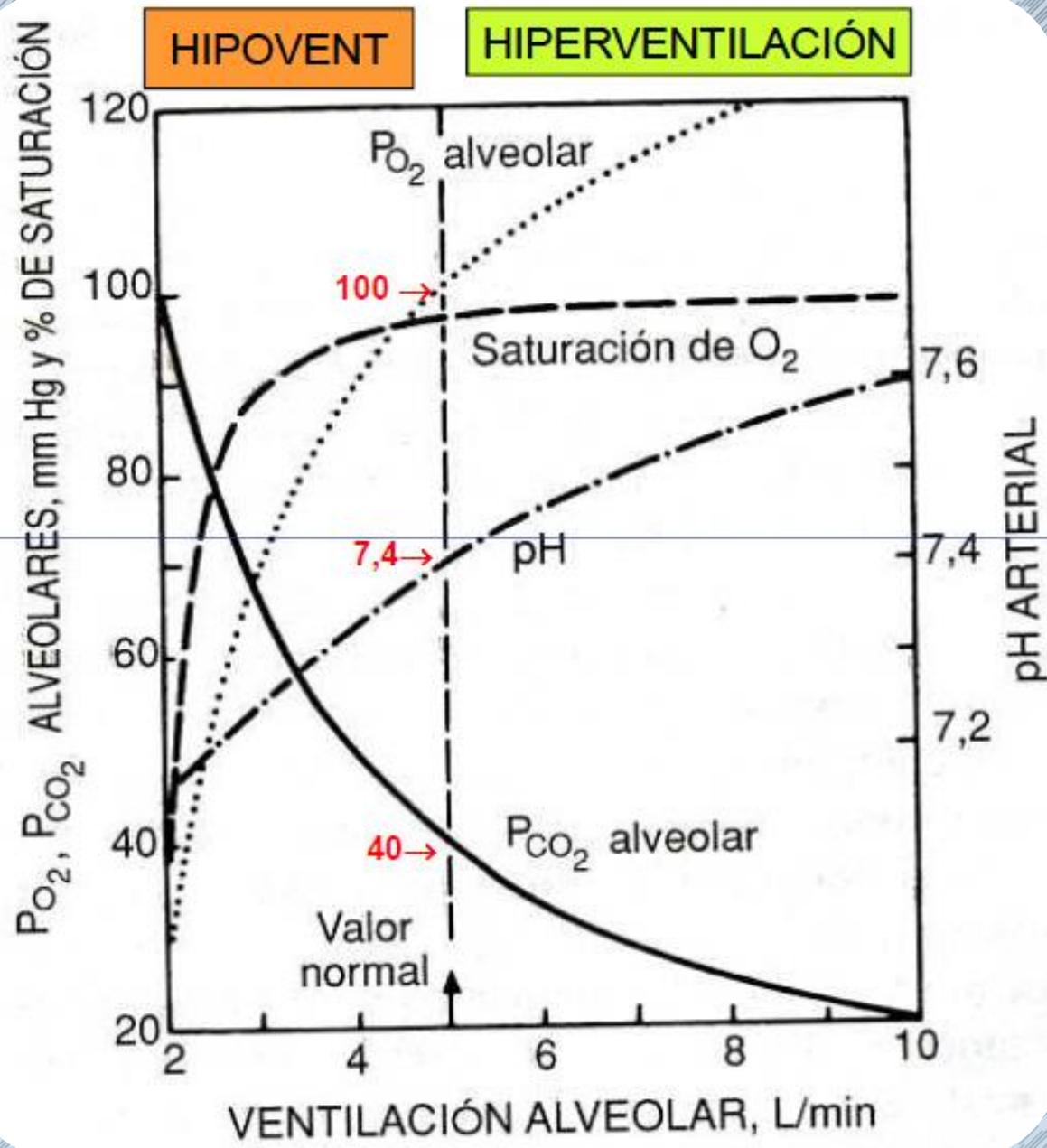


PaCO₂: ÍNDICE DE VENTILACIÓN ALVEOLAR



BALANCE ACIDO-BASE





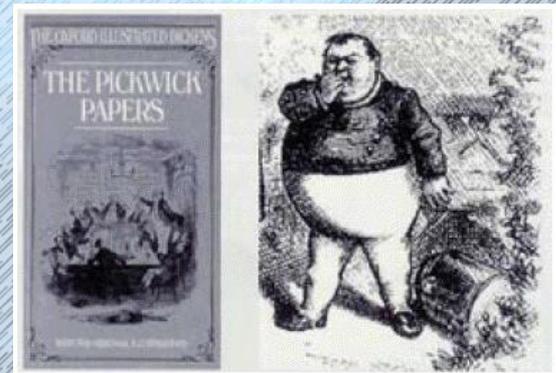
VENTILACIÓN ALVEOLAR, L/min

CAUSAS DE HIPOVENTILACIÓN ALVEOLAR

Localización	Alteración
Centro respiratorio y bulbo	Hipoventilación alveolar primaria
Médula espinal	Sección medular
Nervios de músculos respiratorios	Parálisis frénica
Neuronas del asta anterior	Poliomielitis
Unión neuromuscular	Miastenia gravis
Músculos respiratorios	Distrofia muscular, parálisis de músculos respiratorios
Caja torácica	Síndrome de obesidad e hipoventilación, xifoesciosis
Vías aéreas	EPOC, Fibrosis quística, SAHOS

SÍNDROME DE PICKWICK

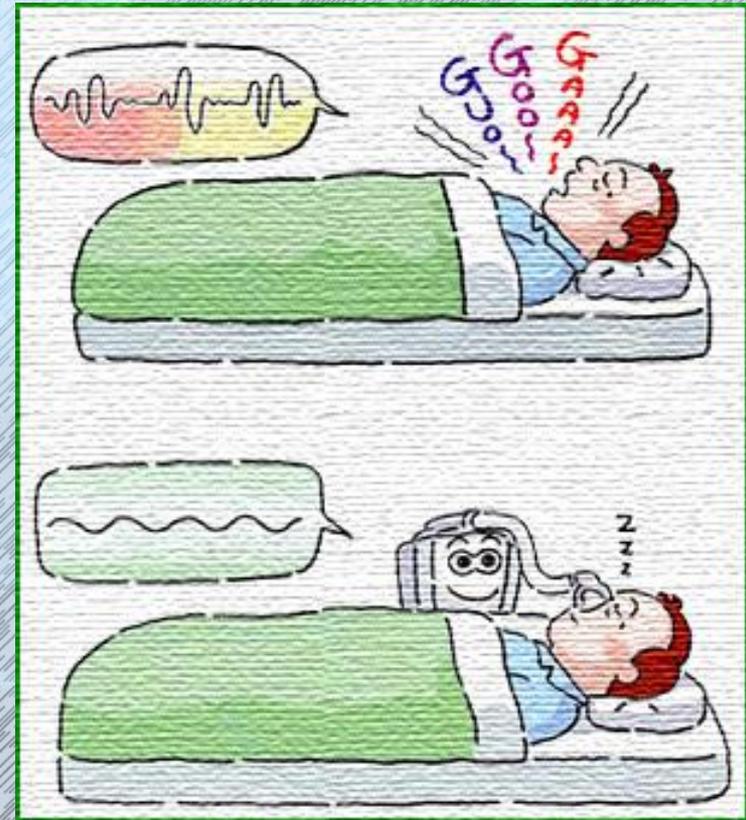
- Obesidad, somnolencia y apetito excesivo.
- Débil respuesta ventilatoria al CO_2 ($<2,5$ L/min/mmHg PaCO_2)



- “Niño obeso y rubicundo que se quedaba dormido al llamar a la puerta...”. Charles Dickens en “The Pickwick Papers” (1837)

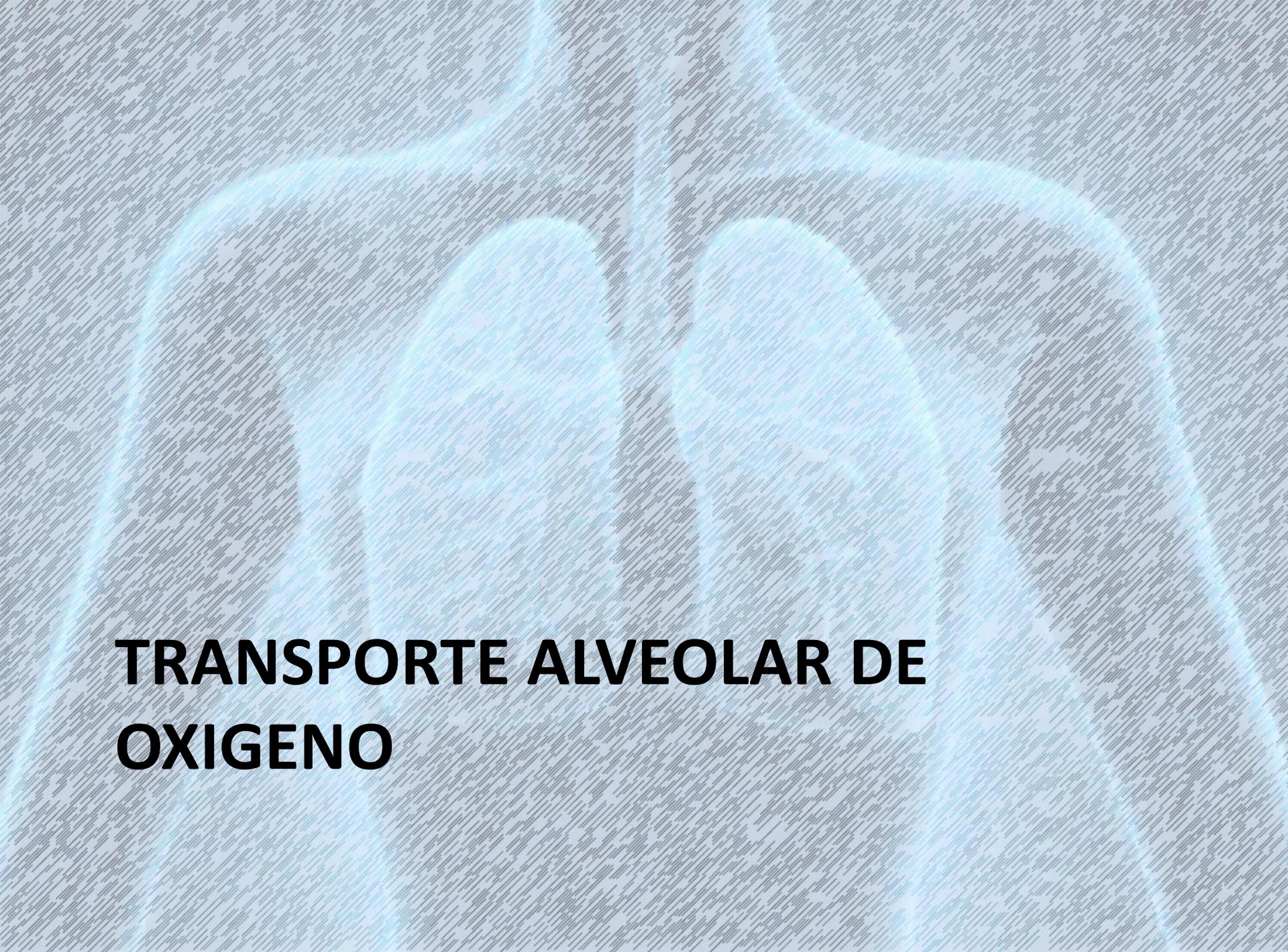
SÍNDROME DE APNEA HIPOAPNEA DEL SUEÑO (SAHOS)

- Colapso repetitivo de la vía aérea superior durante el sueño REM
- Hipoxemia y fragmentación del sueño
- Ronquidos e hipersomnolencia diurna
- Ex. Físico: obesidad), \uparrow perímetro cervical, (IMC $>$ 25 kg/m²), hipertensión arterial, obstrucción nasal o faríngea
- Polisomnografía \rightarrow Σ Apneas e Hipopneas \geq 5 horas de sueño



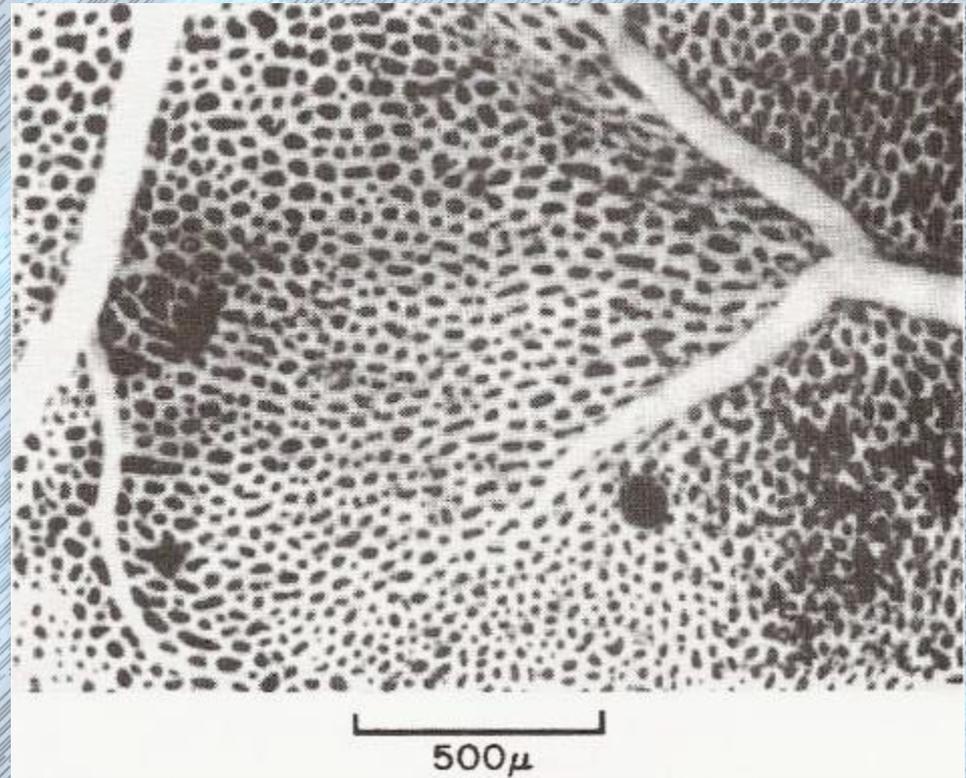
CAUSAS DE HIPERVENTILACIÓN ALVEOLAR

- 1. Ansiedad**
- 2. Lesiones del sistema nervioso central**
 - Meningitis, encefalitis, AVE, traumatismo.
- 3. Hormonas y drogas**
 - Epinefrina, norepinefrina, progesterona, Salicilatos, beta adrenérgicos, metilxantinas.
- 4. Aumento del metabolismo: Hipertiroidismo y fiebre.**
- 5. Dolor**
- 6. Alteraciones del transporte gaseoso**
 - Hipoxemia, hipercapnia, shock, anemia.
- 7. Acidosis metabólica**
- 8. Estimulación refleja**
 - Colapso alveolar (atelectasia/neumotórax), hipertensión arterial pulmonar, inhalación de gases irritantes, aumento de volumen intersticial del pulmón

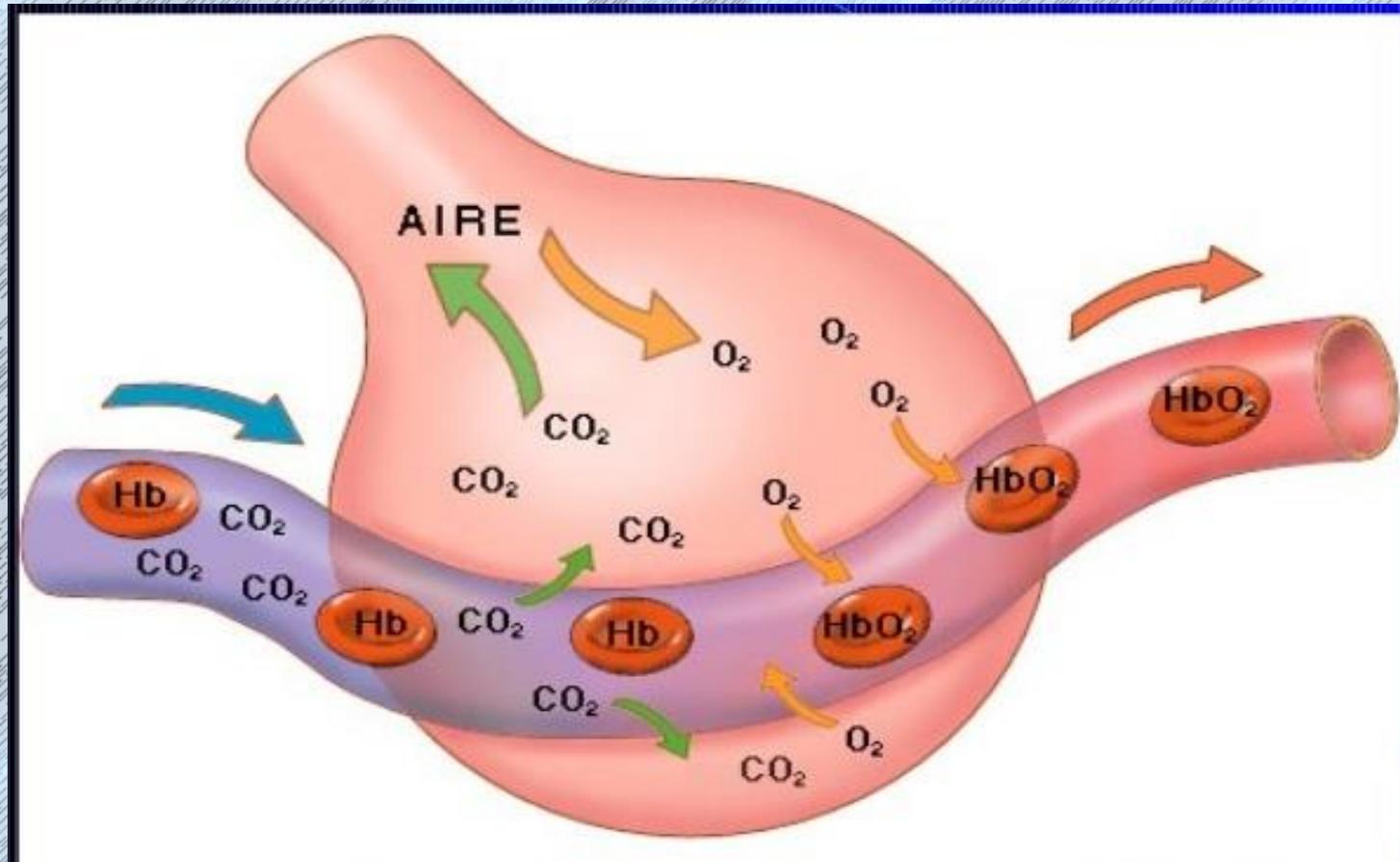


TRANSPORTE ALVEOLAR DE OXIGENO

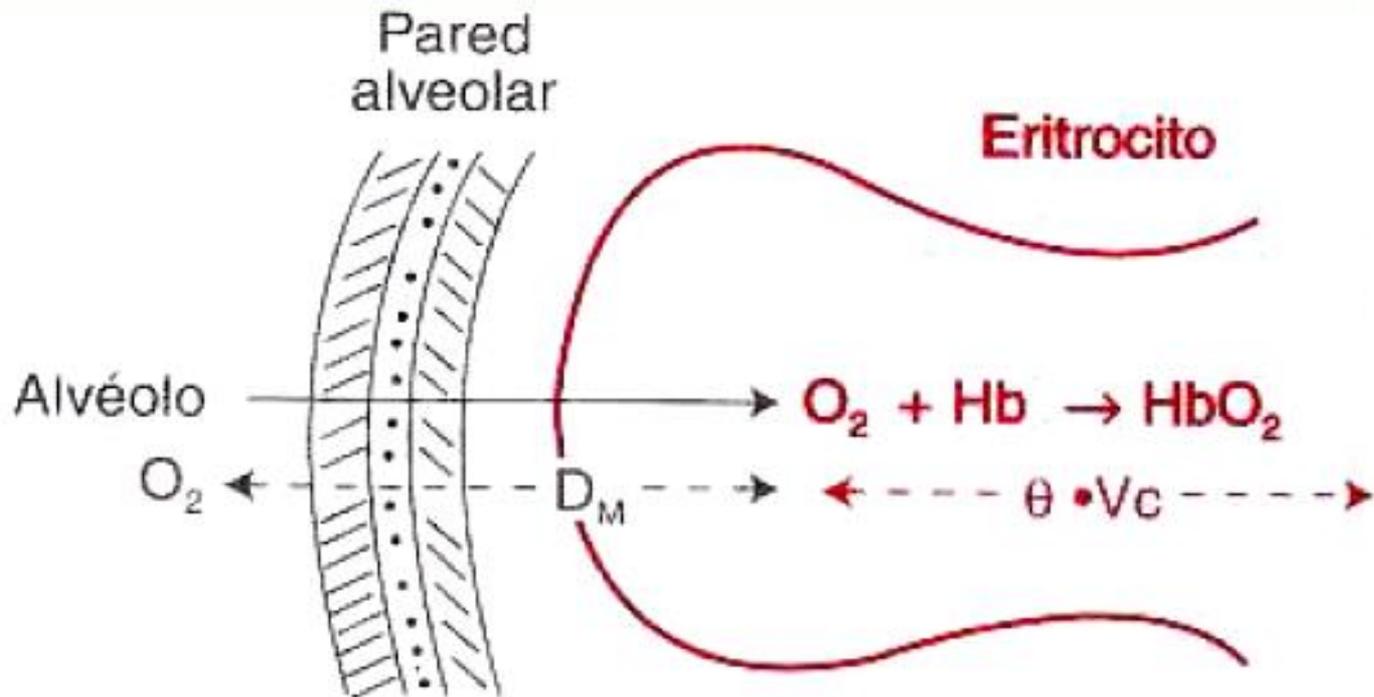
BARRERA ALVEOLO CAPILAR



INTERCAMBIO GASEOSO ALVEOLO CAPILAR



COMPONENTES DE LA CAPACIDAD DE DIFUSIÓN DE DIFUSIÓN



$$\frac{1}{D_L} = \frac{1}{D_M} + \frac{1}{\theta \cdot Vc}$$

$$\frac{1}{D_L} = \frac{1}{D_M} + \frac{\theta \cdot \Delta C}{1}$$

Factores determinantes de la difusión de gases a nivel alvéolo - capilar

Factores de la barrera

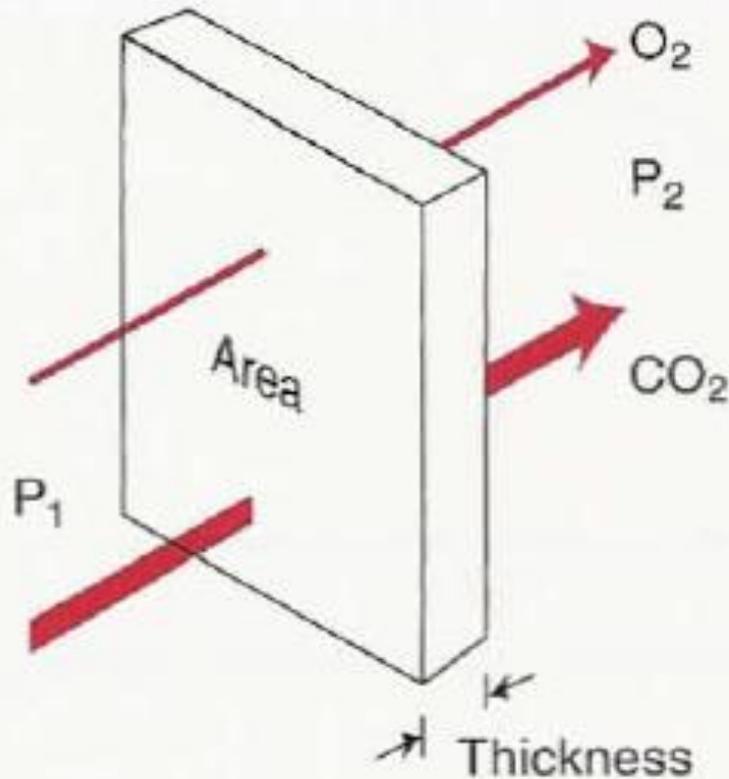
- Área de intercambio: A
- D presión parcial: DPp
- Cd \Rightarrow solubilidad /VPM
- Grosor : t

$$DM \Rightarrow \frac{A \cdot DPp \cdot Cd}{t}$$

Factores sanguíneos

- Volumen de sangre capilar : Vc
- Índice de reacción del gas con hemoglobina: Θ
[ml gas/min /ml de sangre/mmHg]
- Difusión efectiva = $\Theta \cdot Vc$

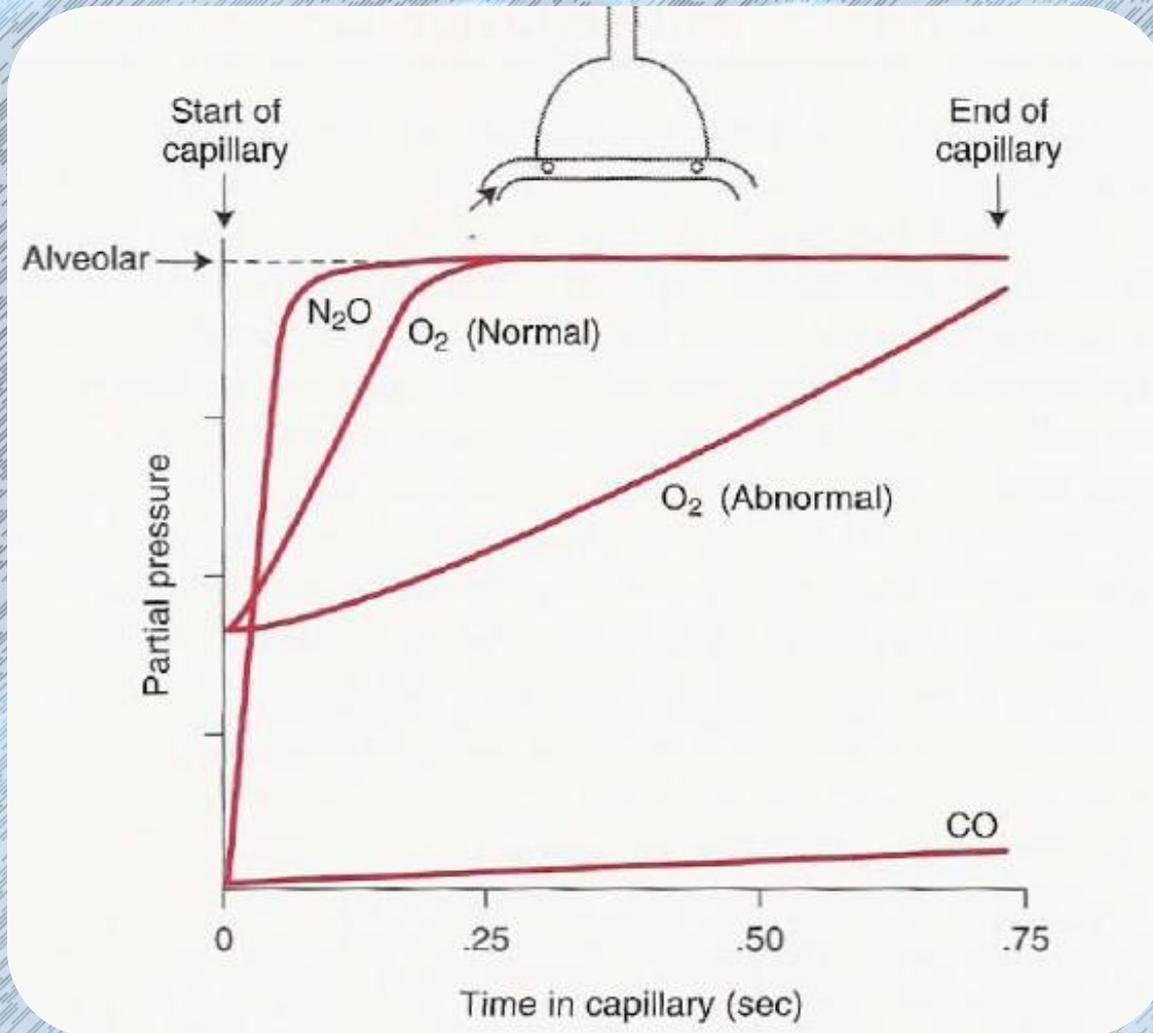
DIFUSIÓN A TRAVÉS DE UN LÁMINA DE TEJIDO



$$\dot{V}_{\text{gas}} \propto \frac{A}{l} \cdot D \cdot (P_1 - P_2)$$

$$D \propto \frac{\text{Sol}}{\sqrt{MW}}$$

PASO DE GASES AL CAPILAR PULMONAR



Time in capillary (sec)

Ejemplo: Fibrosis Pulmonar Idiopática

En qué consiste

Los alvéolos pulmonares son sustituidos por tejido fibrótico (cicatrizal), lo que hace que el pulmón se vuelva rígido y que el intercambio de oxígeno se realice con dificultad.

Sintomas

Disnea
(falta de aire)

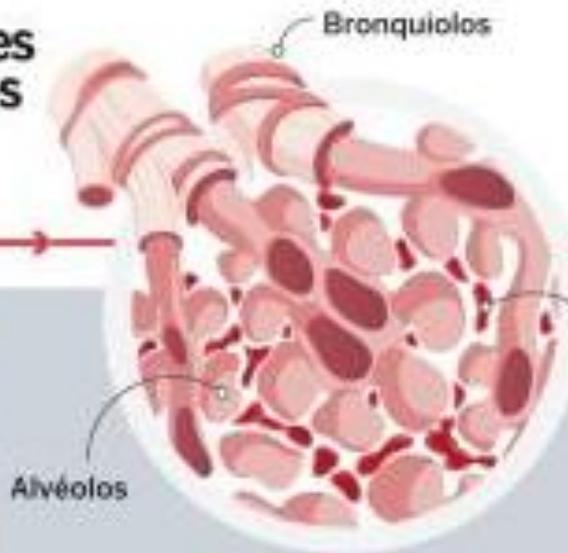
Fatiga

Tos
seca

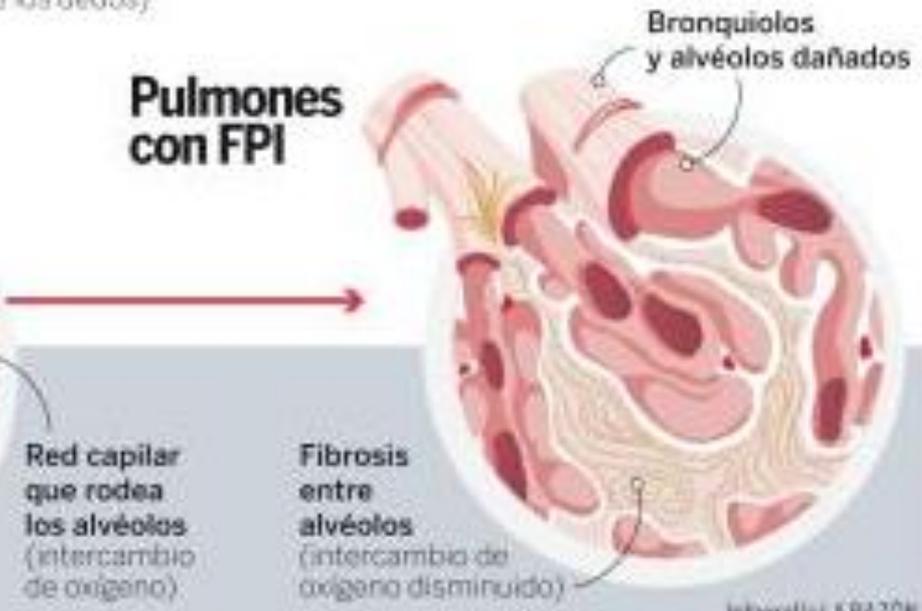
Sonidos crepitantes
en la auscultación

Más del 25% sufre dedos
en forma de palillo de tambor
(engrosamiento del extremo
de los dedos).

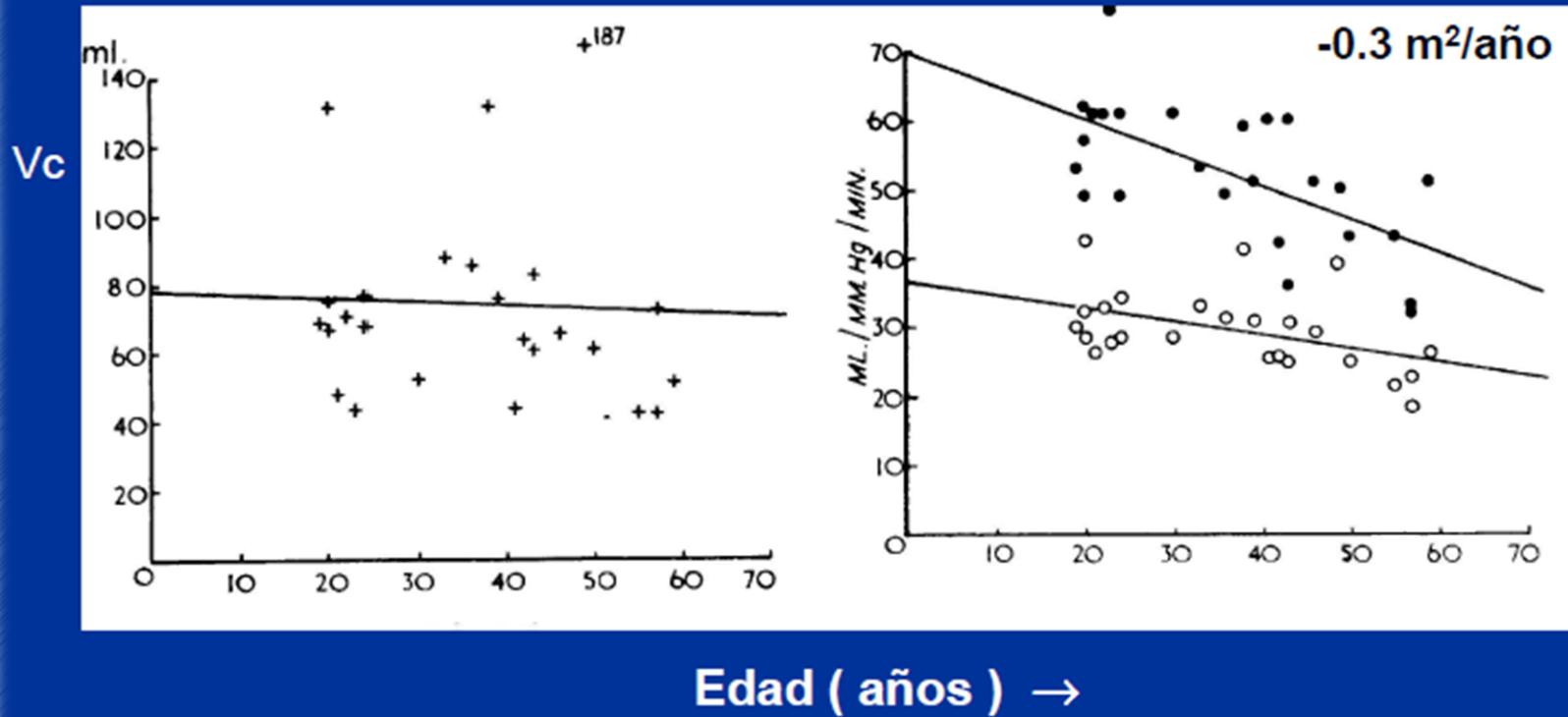
Pulmones normales



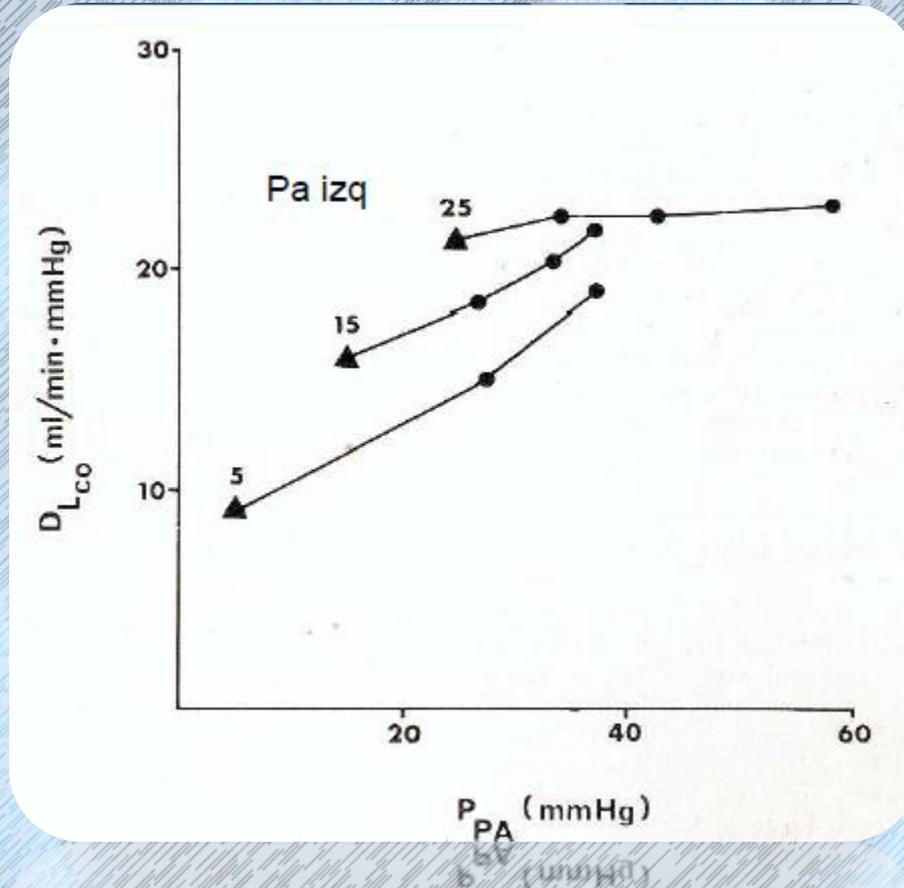
Pulmones con FPI



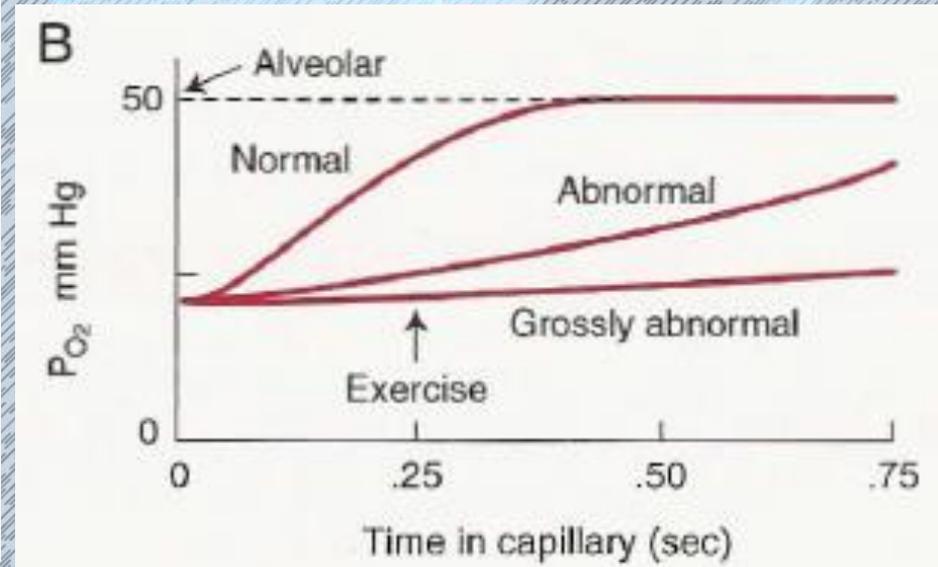
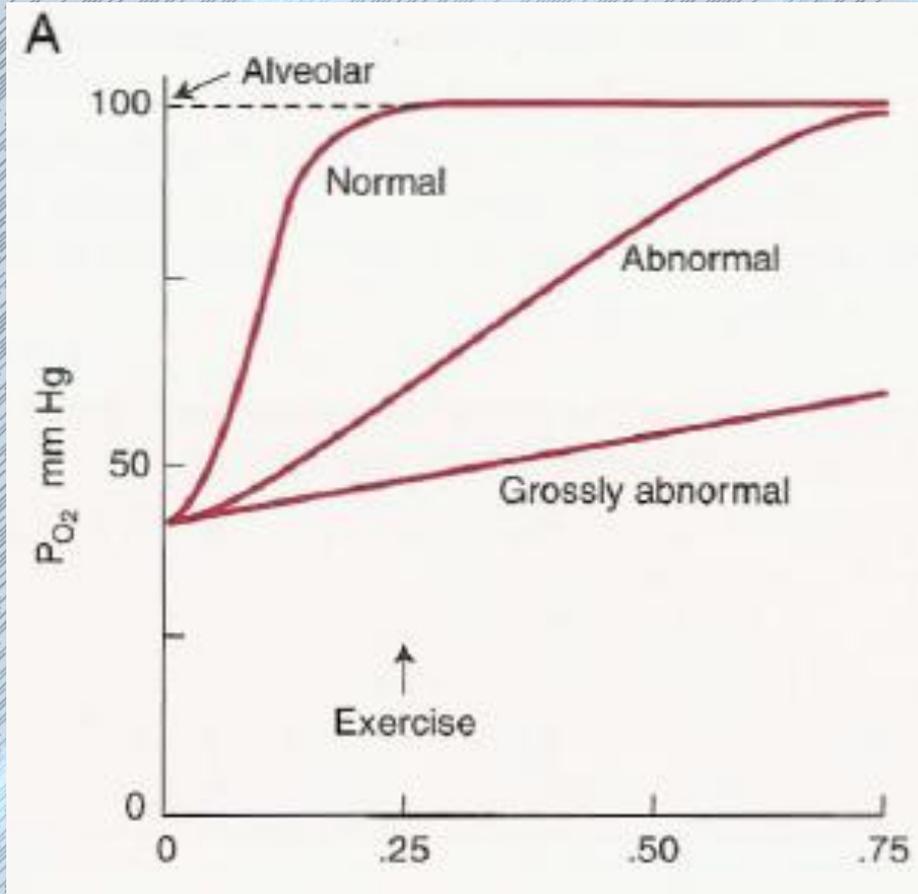
Relación entre edad versus capacidad pulmonar y volumen de sangre en el capilar pulmonar



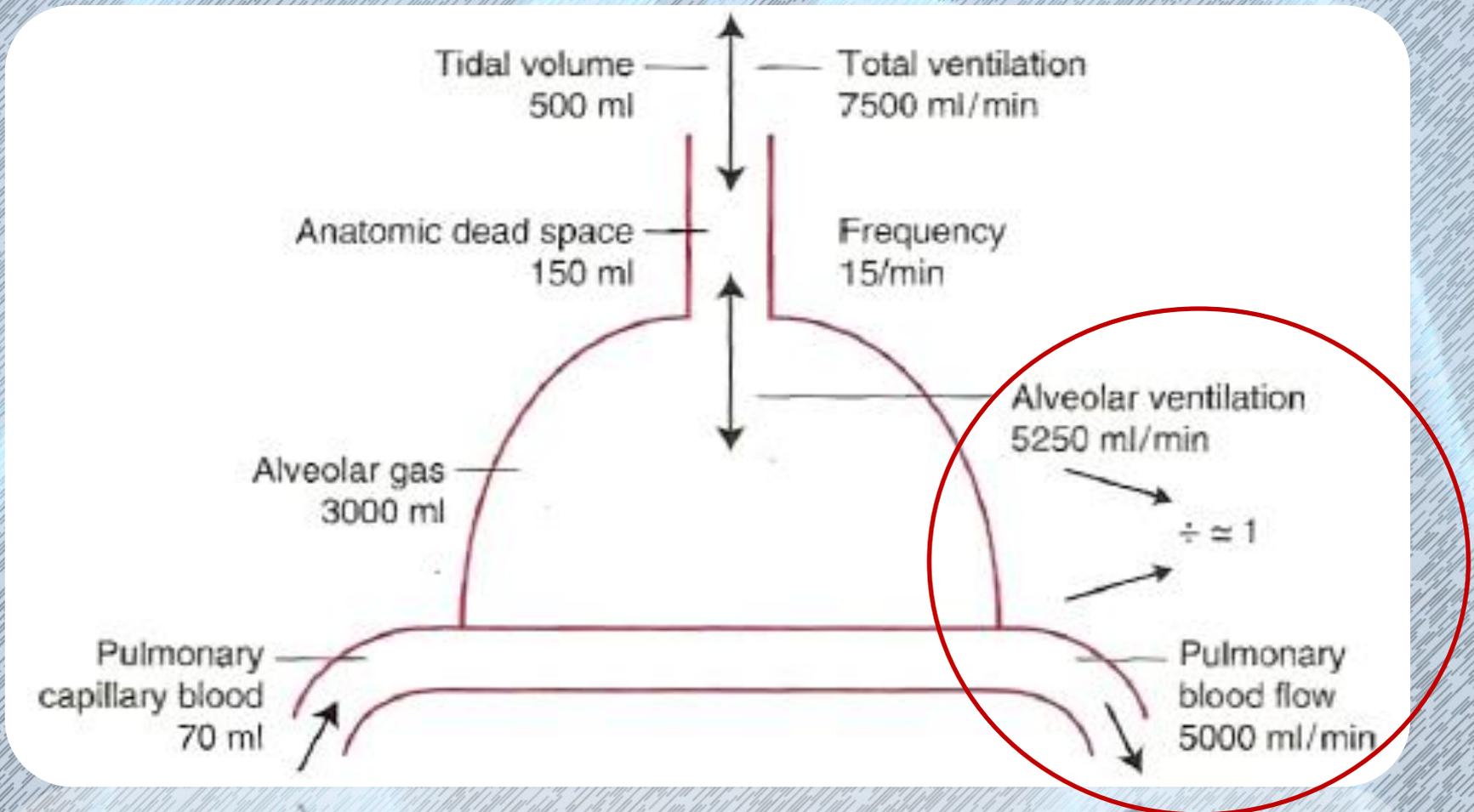
Efectos de cambios en la presión media de arteria pulmonar y en la presión de aurícula izquierda sobre la difusión con CO



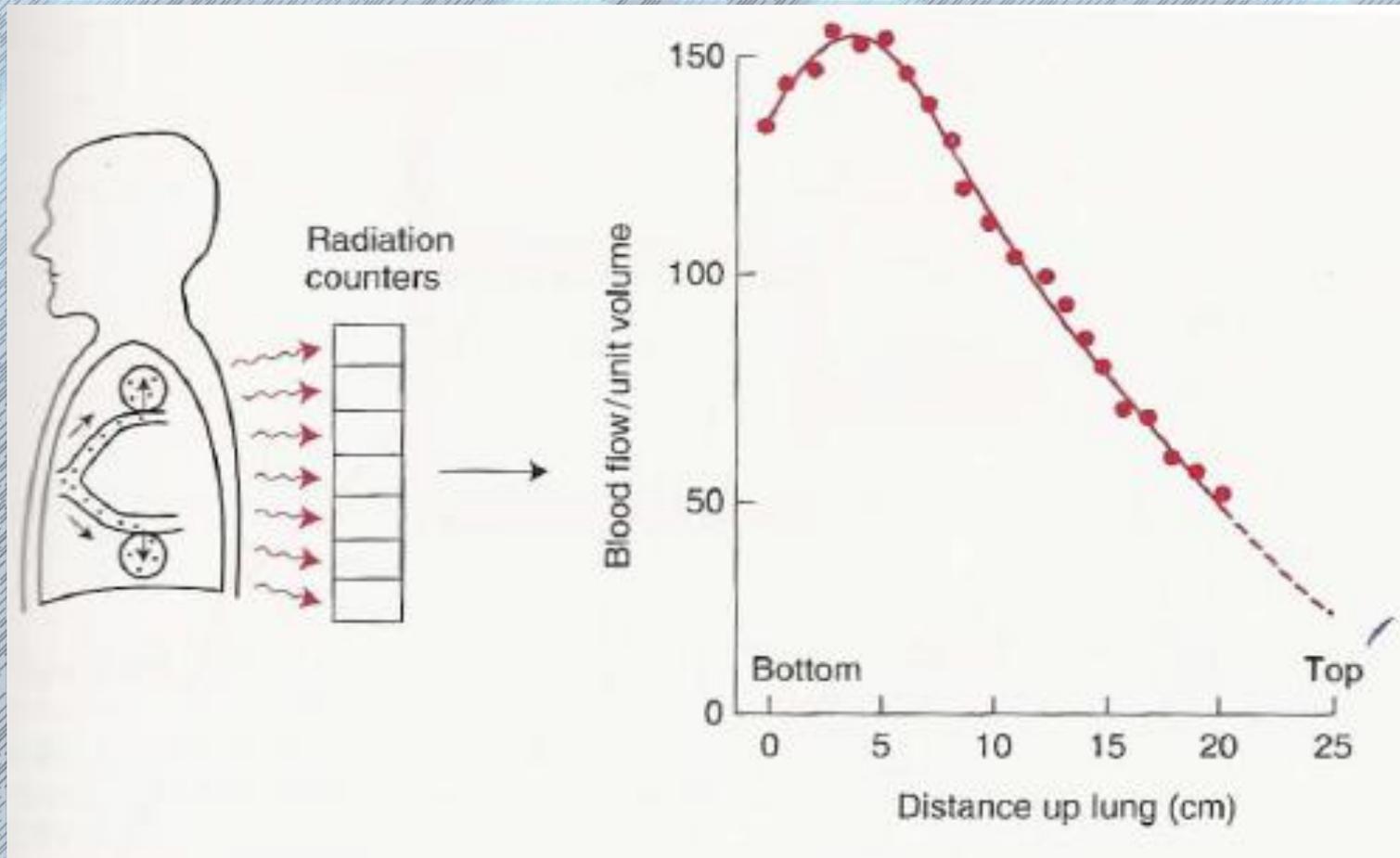
INTERCAMBIO GASEOS ALVEOLO CAPILAR: EJERCICIO, P_{O_2}



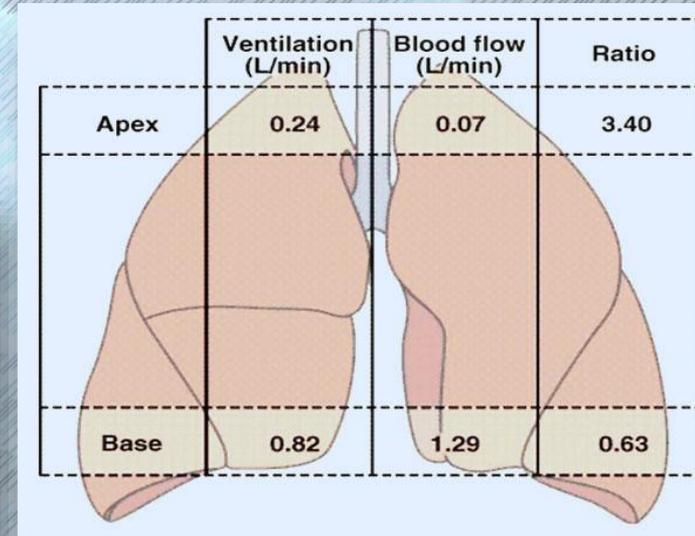
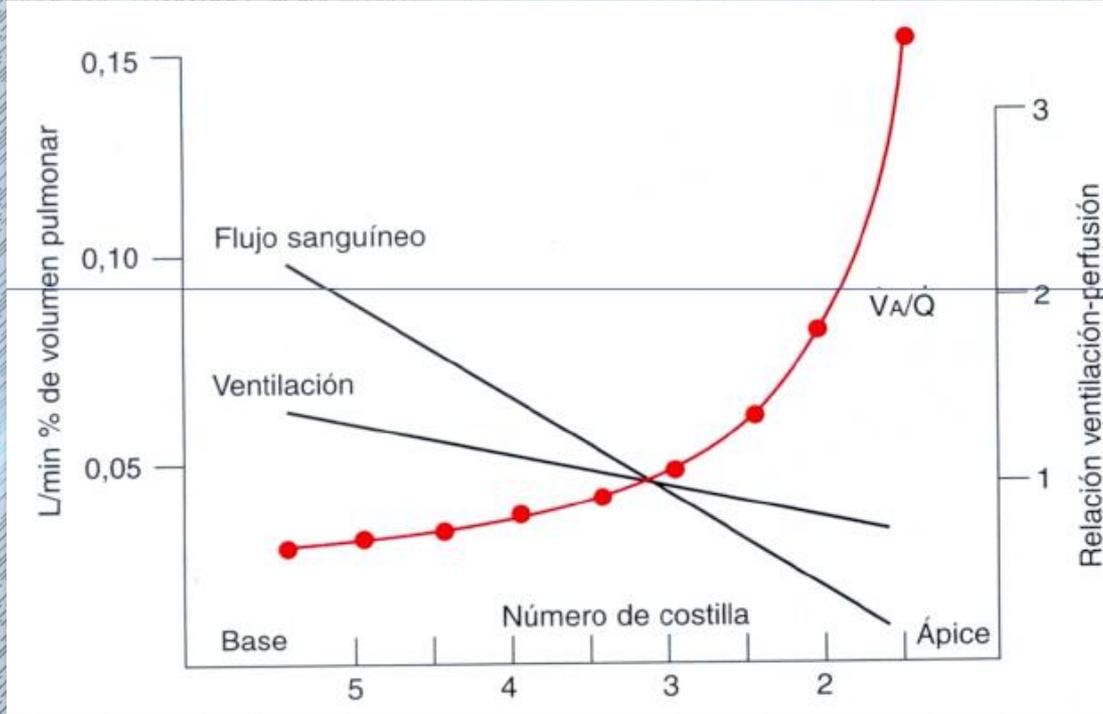
RELACION VENTILACIÓN CIRCULACIÓN



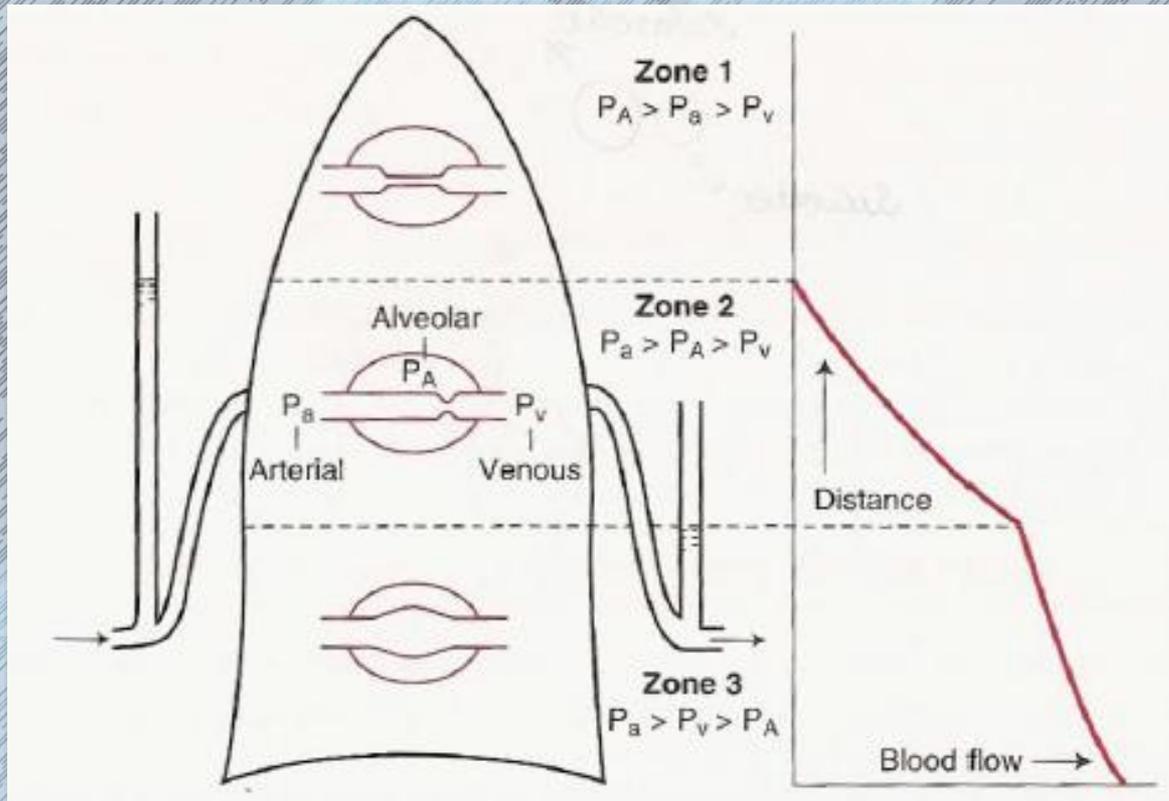
EFFECTO DE LA GRAVEDAD SOBRE LA CIRCULACIÓN PULMONAR



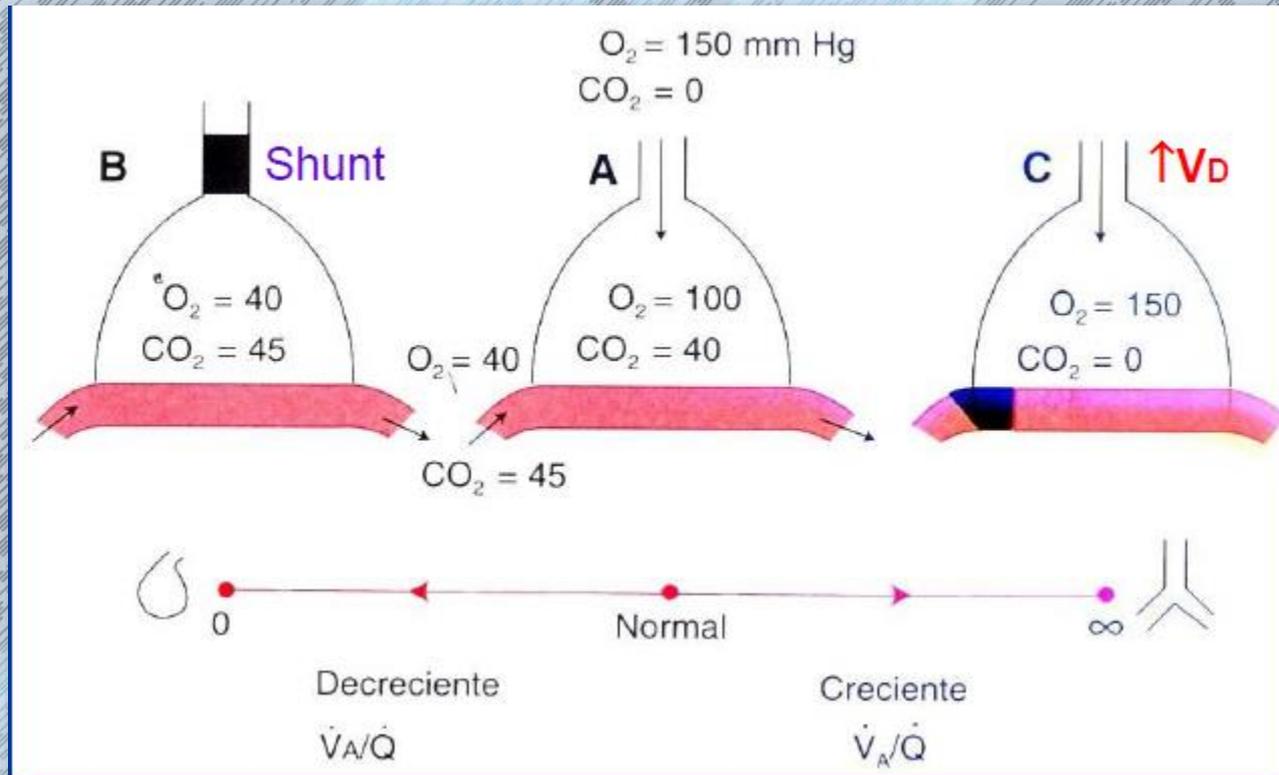
Distribución de la ventilación y flujo sanguíneo en el pulmón en posición vertical



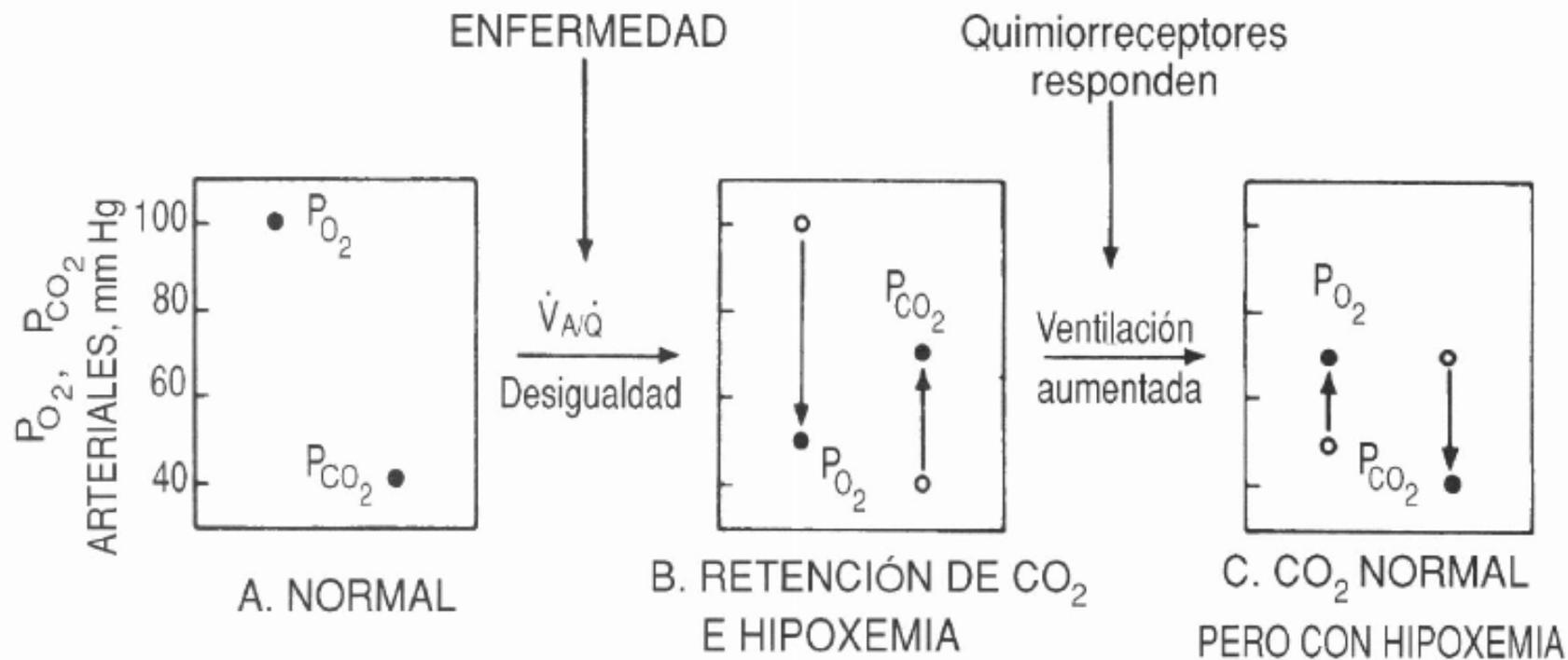
EFFECTO DE LA GRAVEDAD SOBRE LA CIRCULACIÓN PULMONAR



RELACIÓN V'/Q' : NORMAL, DISMINUIDA Y AUMENTADA



EVOLUCIÓN DE PaO₂ y PaCO₂ EN DESIGUALDAD V'/Q'



Regulación de la relación V'/Q'

Hipoxia e hipercapnia
alveolar



Vasoconstricción
pulmonar

v'/Q'



v'/q'

Hipocapnia
alveolar



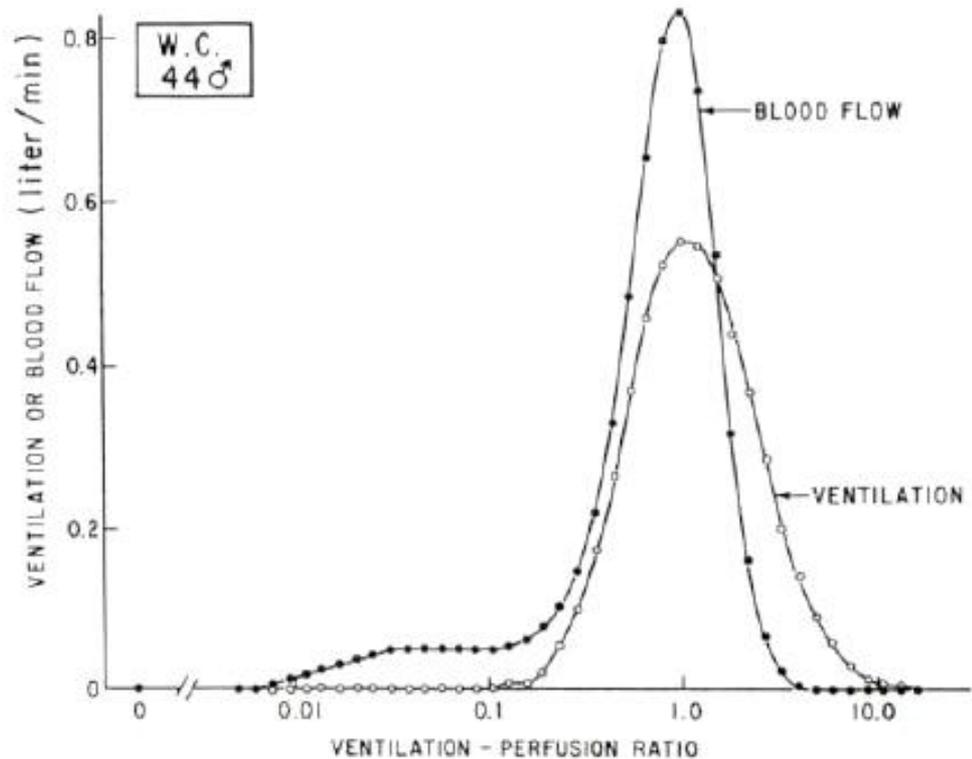
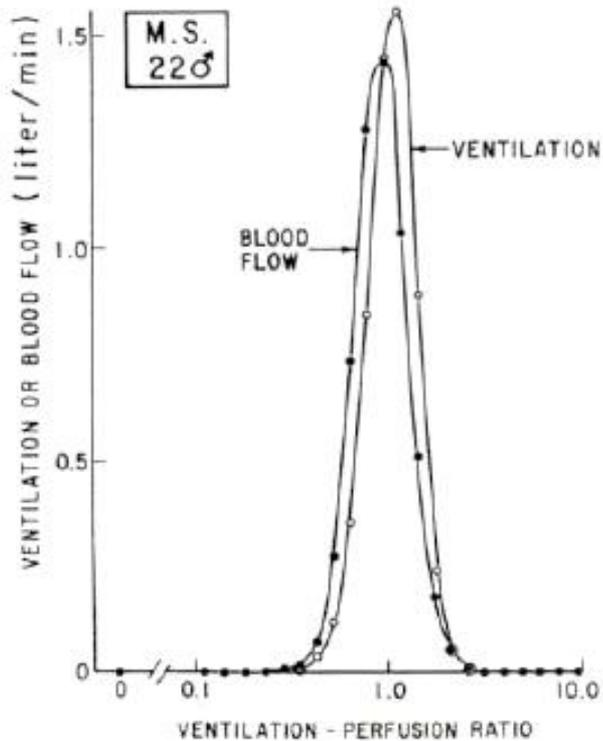
Broncoconstricción

V'/q'

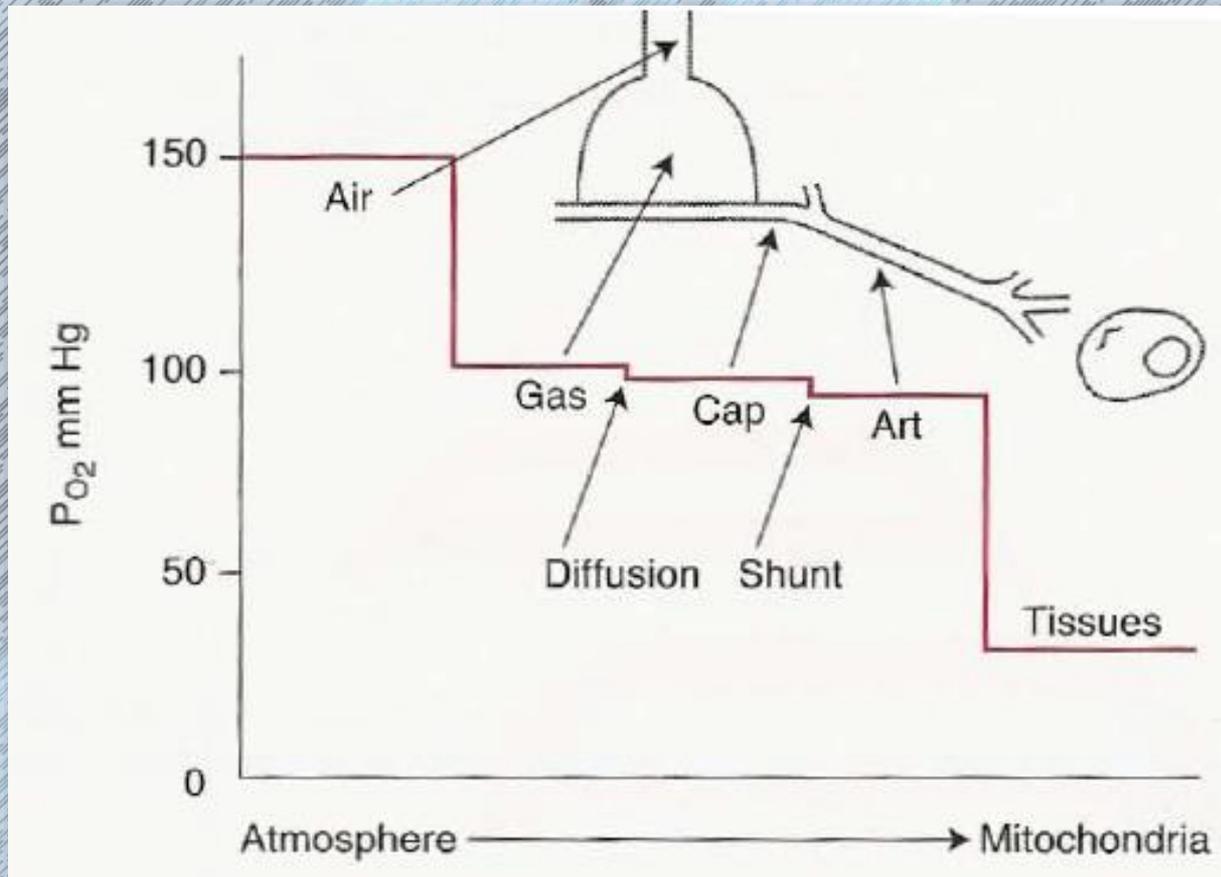


v'/q'

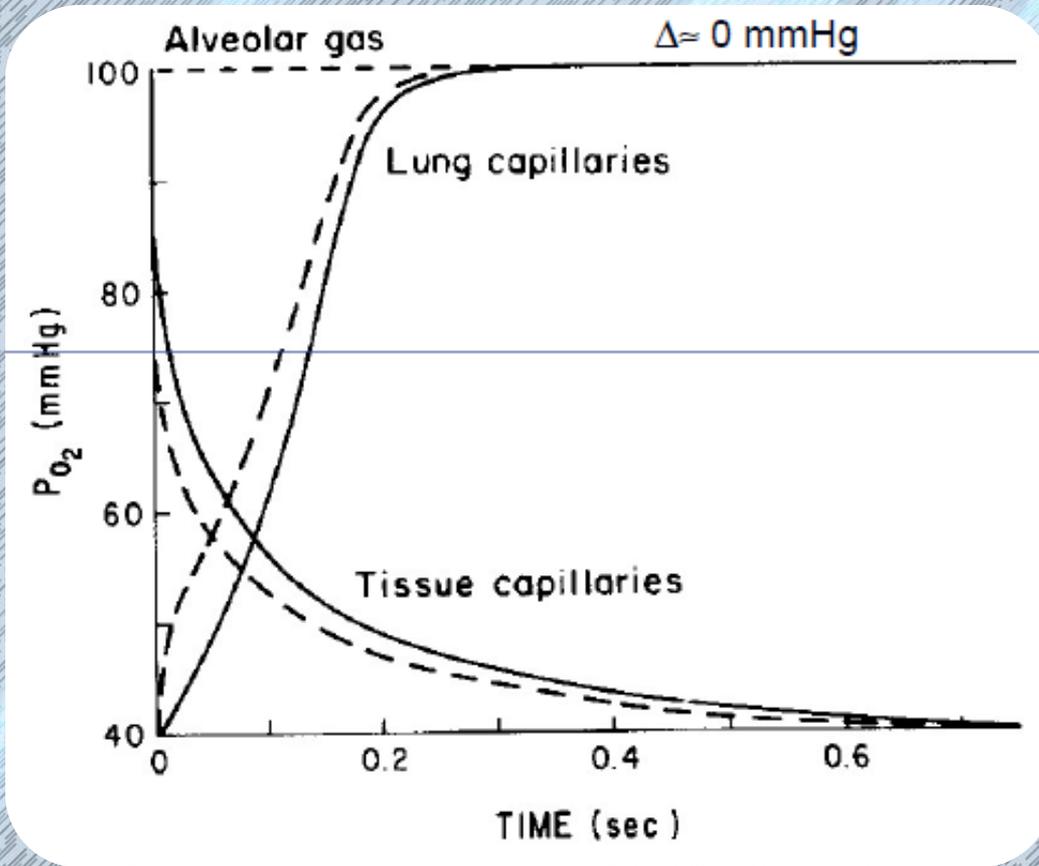
Edad y la relación V'/Q'



Gradientes de PO₂ desde el aire hasta los tejidos



Equilibrio de la P_{O_2} al transitar la sangre por los capilares alveolares y tisulares



La difusión de O_2 es más lenta a nivel de los capilares tisulares que en los alveolares pues existe un menor gradiente de PO_2



INSUFICIENCIA RESPIRATORIA

Insuficiencia respiratoria: Definición

- “Estado en el cual la $PaO_2 < 60$ mm Hg con o sin una $PaCO_2 > 45$ mm Hg”
- Condiciones:
 - En reposo a nivel del mar
 - Respirando aire ambiental
 - Ausencia de shunt extrapulmonar (D \rightarrow I)
 - Ausencia de compensación respiratoria de una alcalosis metabólica

**INSUFICIENCIA
RESPIRATORI**

A

**FALLA
PULMONAR**

**Falla
intercambio
gaseoso**

**HIPOXEMIA
& normo/hipocapnia**

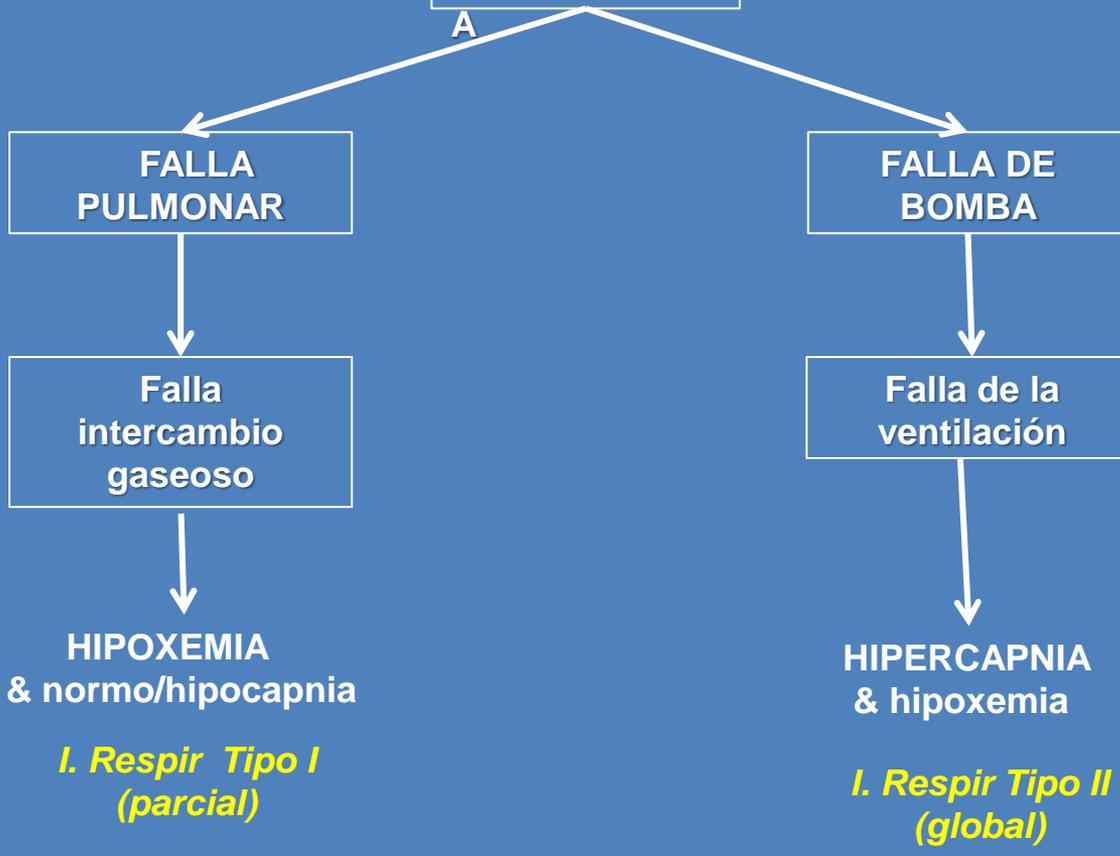
***I. Respir Tipo I
(parcial)***

**FALLA DE
BOMBA**

**Falla de la
ventilación**

**HIPERCAPNIA
& hipoxemia**

***I. Respir Tipo II
(global)***



Insuficiencia Respiratoria: índices del intercambio gaseoso pulmonar

- $P_{(A-a)O_2} = 2,5 + 0,2$ (edad en años) mm Hg

- $P_{aO_2} / P_{AO_2} = 0,8$ (IR < 0,7)

- $P_{aO_2}/F_{iO_2} > 350$ mm Hg (IR < 300) 

Causas habituales de alteración del intercambio gaseoso pulmonar *

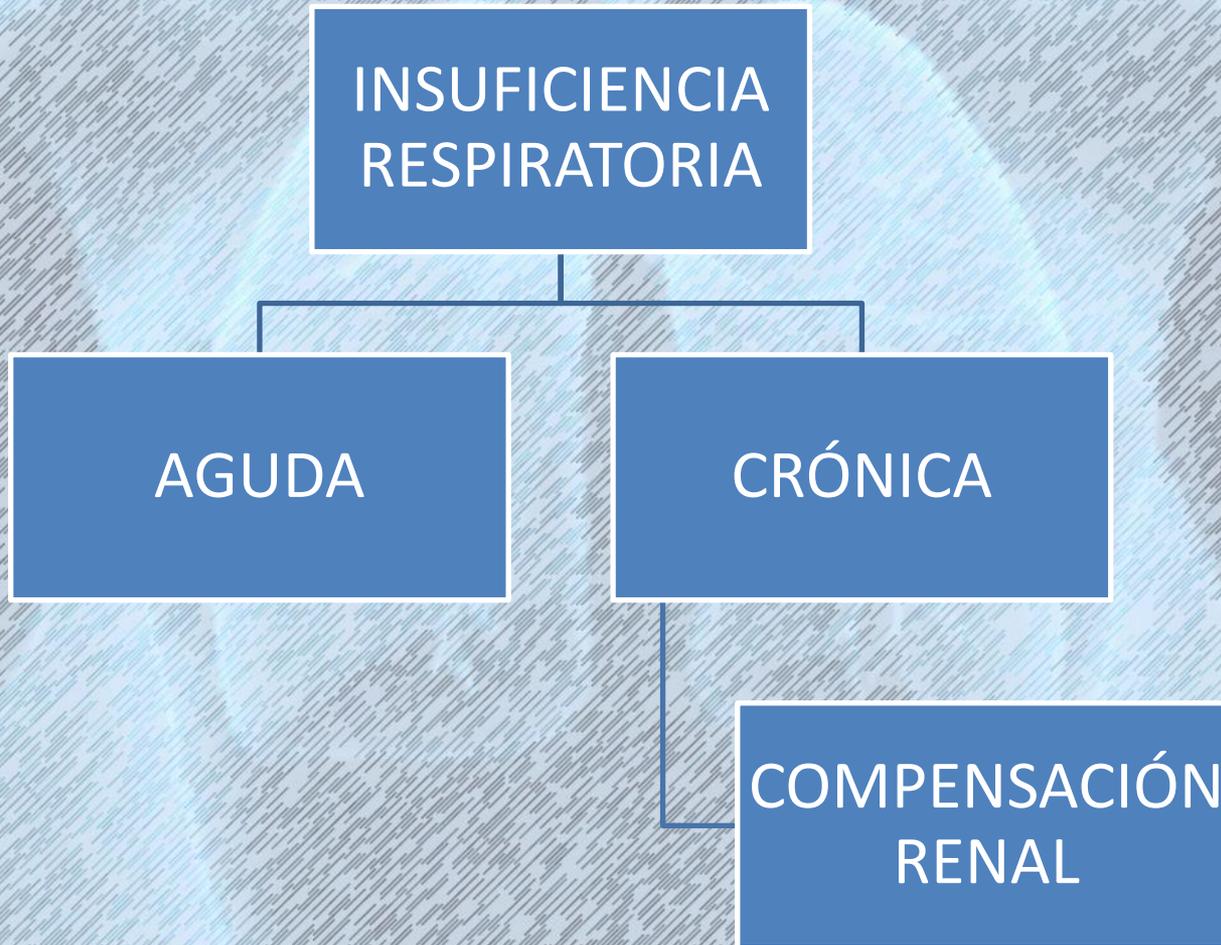
- Hipoxemia postoperatoria
- Neumonía, bronconeumonía y atelectasia
- Asma bronquial
- Edema pulmonar
- Tromboembolismo pulmonar
- Bronquiolitis y S. Bronquial obstructivo
- Fibrosis pulmonar

* [Desigualdad V'/Q' + alteración difusional]

La administración de O₂ puede aumentar la hipercapnia en enfermos con EPOC porque:

- Disminuye el estímulo ventilatorio al mejorar la hipoxemia
- Aumenta la desigualdad de la relación V'/Q' al disminuir la vasoconstricción en zonas hipoventiladas del pulmón
- Aumenta la oxigenación de la hemoglobina, ya que la Hb oxigenada transporta menos CO₂ que la Hb desoxigenada (Efecto Haldane).

INSUFICIENCIA RESPIRATORIA



Gracias ...

