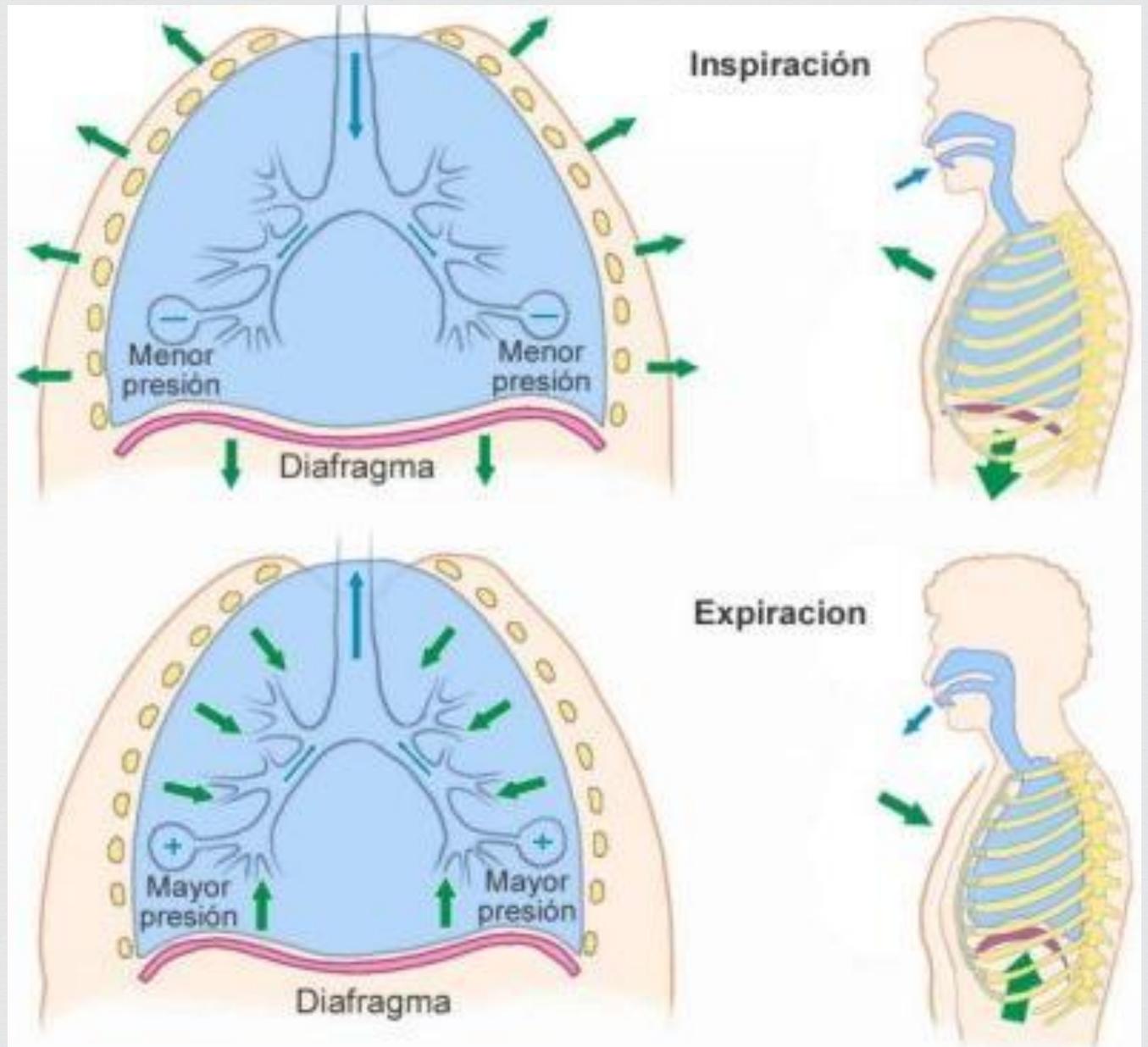


Respuestas pulmonares con el ejercicio

*José Carlos Giraldo T. MD
Esp. Medicina Deportiva
Mg en Fisiología*

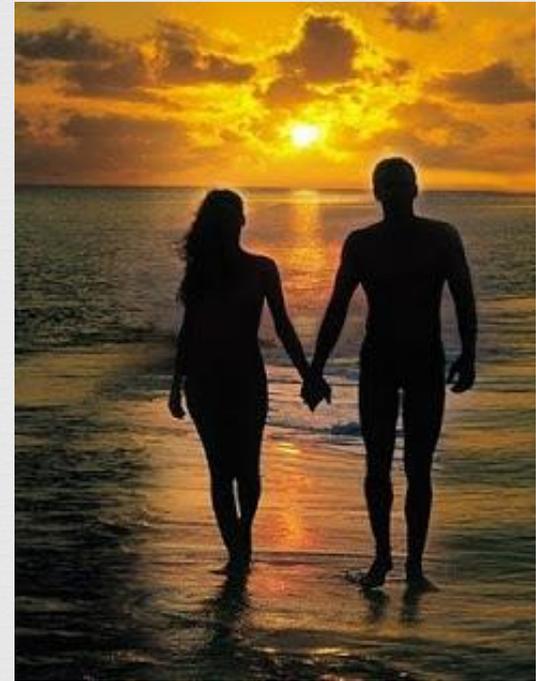
*Carlos Eduardo Nieto G. MD
Esp. Medicina Deportiva
Esp: Salud Ocupacional*

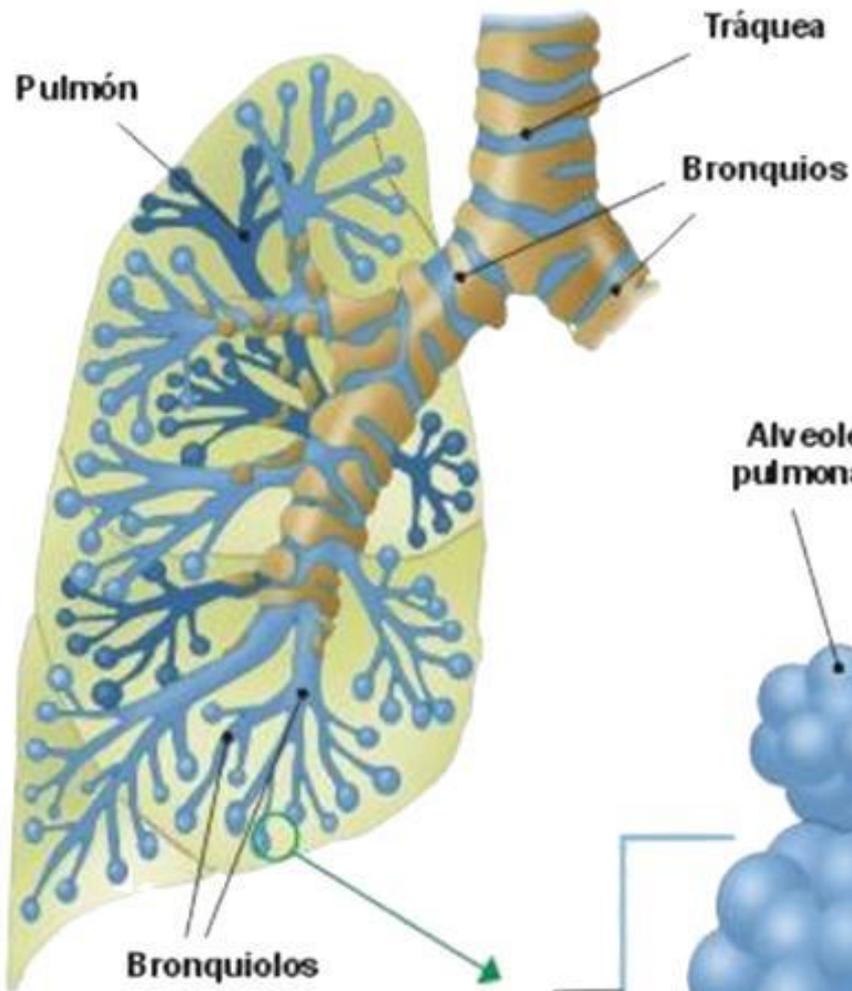
**LA
VENTILACIÓN
PULMONAR
DURANTE EL
EJERCICIO**



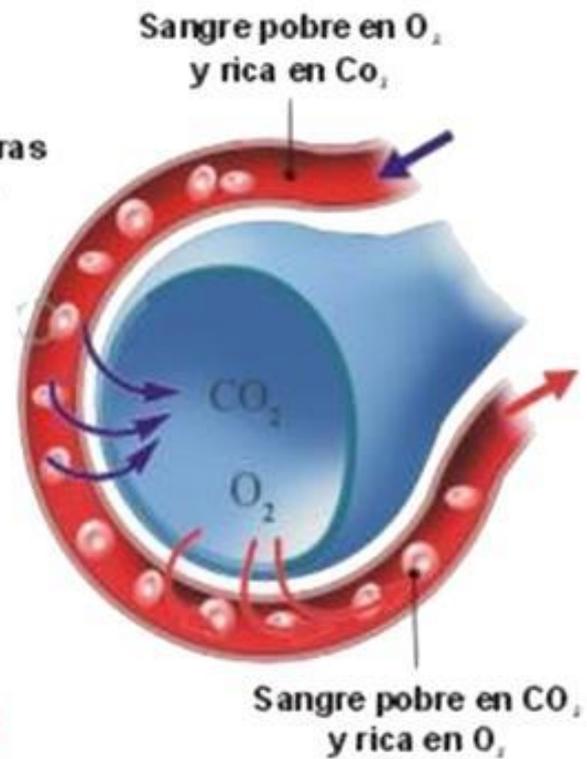
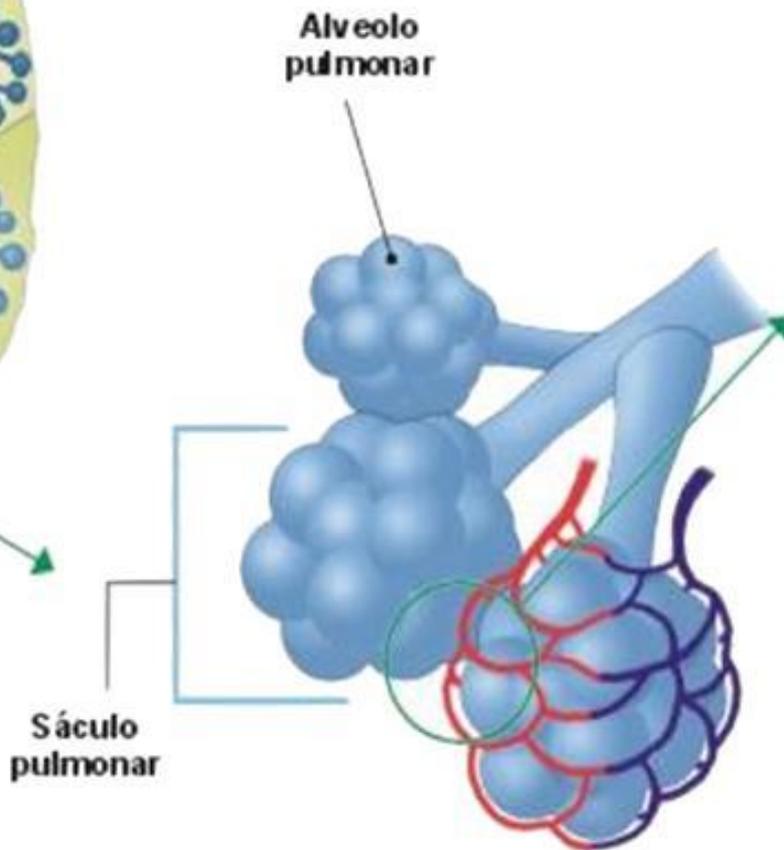
Funciones básicas de la ventilación pulmonar:

- 1) El intercambio de O_2 y de CO_2 con el entorno.
- 2) La regulación del pH de la sangre,
- 3) La comunicación oral.





Distancia de 0.6 micras
1 mm = 1000 micras



Intercambio de gases en los alveolos pulmonares

En la **evaluación de la respiración** se deberá determinar:

- Frecuencia: Número de respiraciones por minuto
- Ritmo: Regular e irregular.
- Naturaleza: Dificultosa, dolorosa.
- Profundidad: superficial, profunda.
- Ruidos anormales: Sibilancias, estridor, roncós.
- Olores anormales: Alcohol, frutas (DBT), fecaloide.

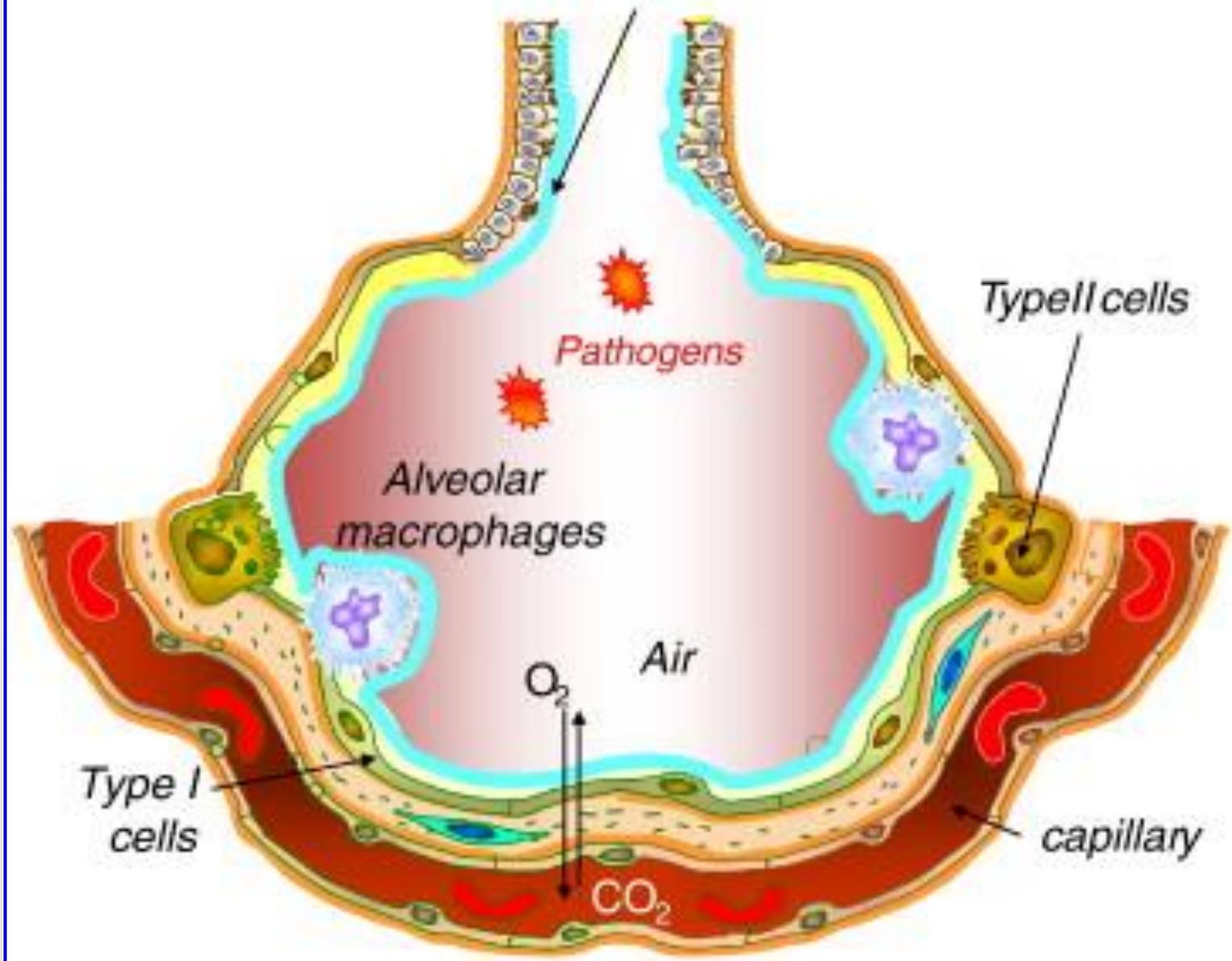
VALORES NORMALES EN REPOSO

(Se toma en 1' o en emergencia en 30" no menos)

INFANTES	25 a 36 Respiraciones por minuto
NIÑOS	18 a 25 Respiraciones por minuto
ADULTOS	12 a 20 Respiraciones por minuto
ANCIANOS	Menos de 16 respiraciones por minuto

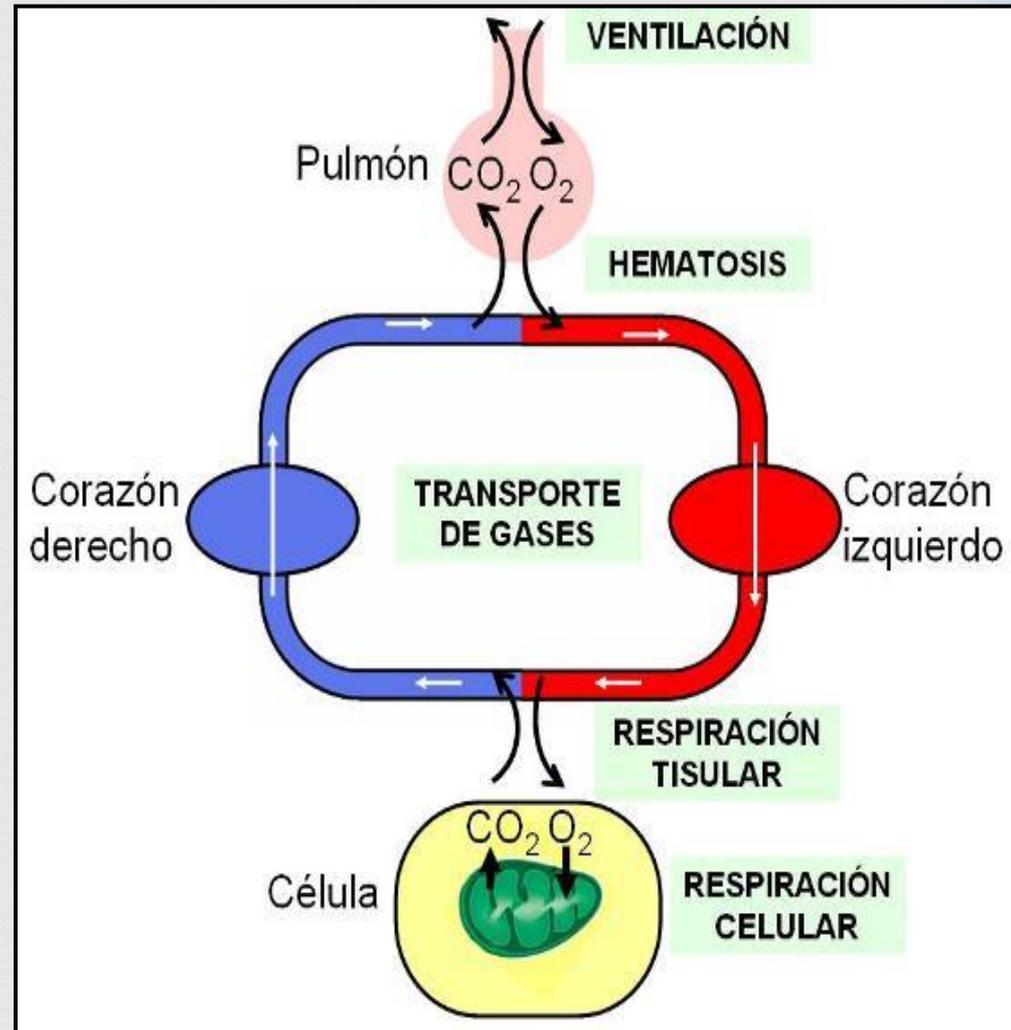
La **frecuencia** de la respiración como la **profundidad** de la misma influyen sobre la cantidad de O_2 y de CO_2 que se intercambian

Lung surfactant



El CO_2 procedente las diversas reacciones metabólicas tisulares

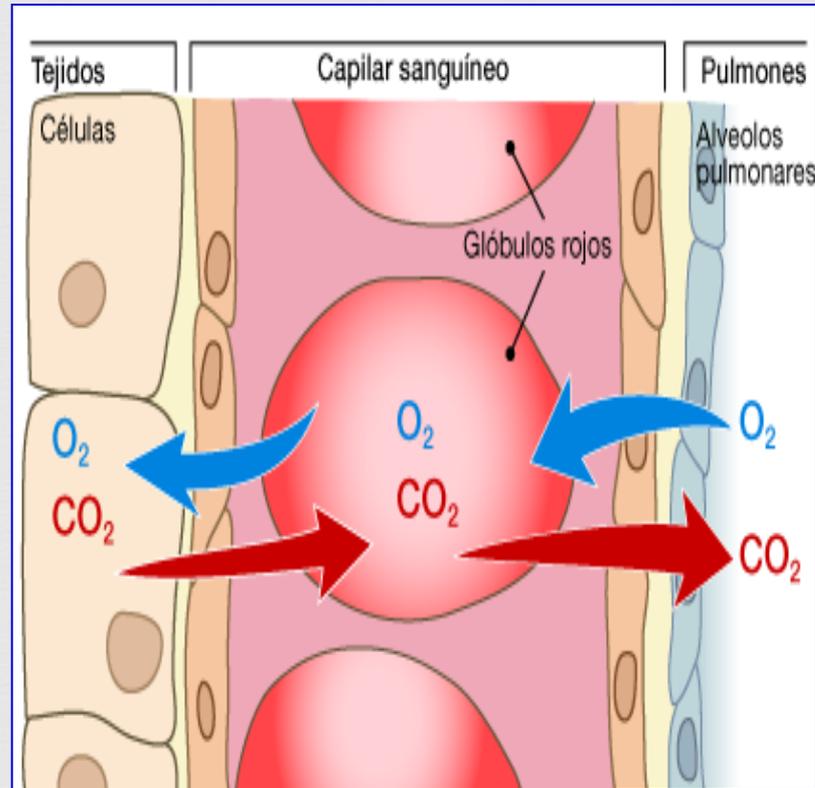
Se disuelve en los líquidos corporales - sangre, líquido cefalorraquídeo, etc.- para formar ácido carbónico (H_2CO_3), el cual se disocia para formar un protón ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$).



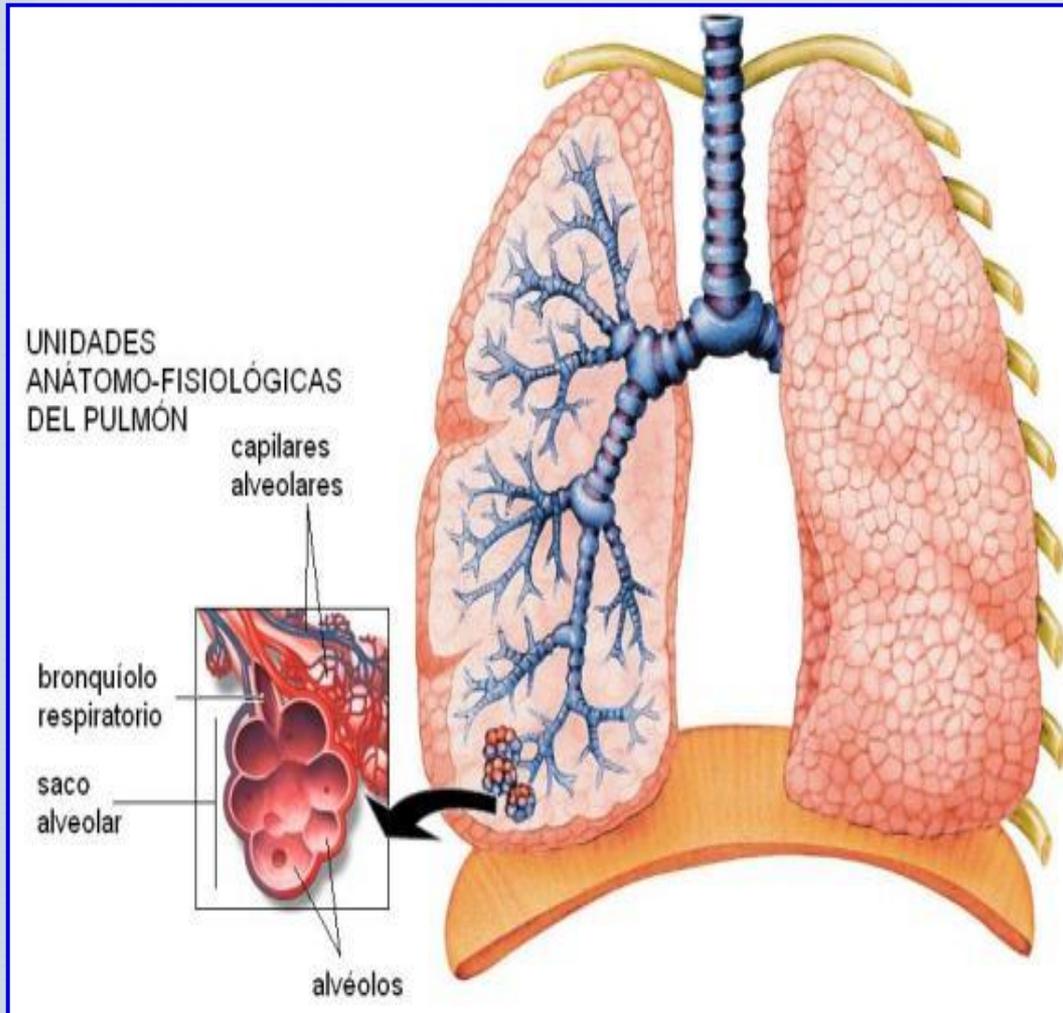
Respuesta pulmonar al ejercicio

Cualquiera que sea la duración e intensidad del ejercicio, el sistema Respiratorio tiene como función principal el

control homeostático de la concentración de los gases en la sangre arterial.



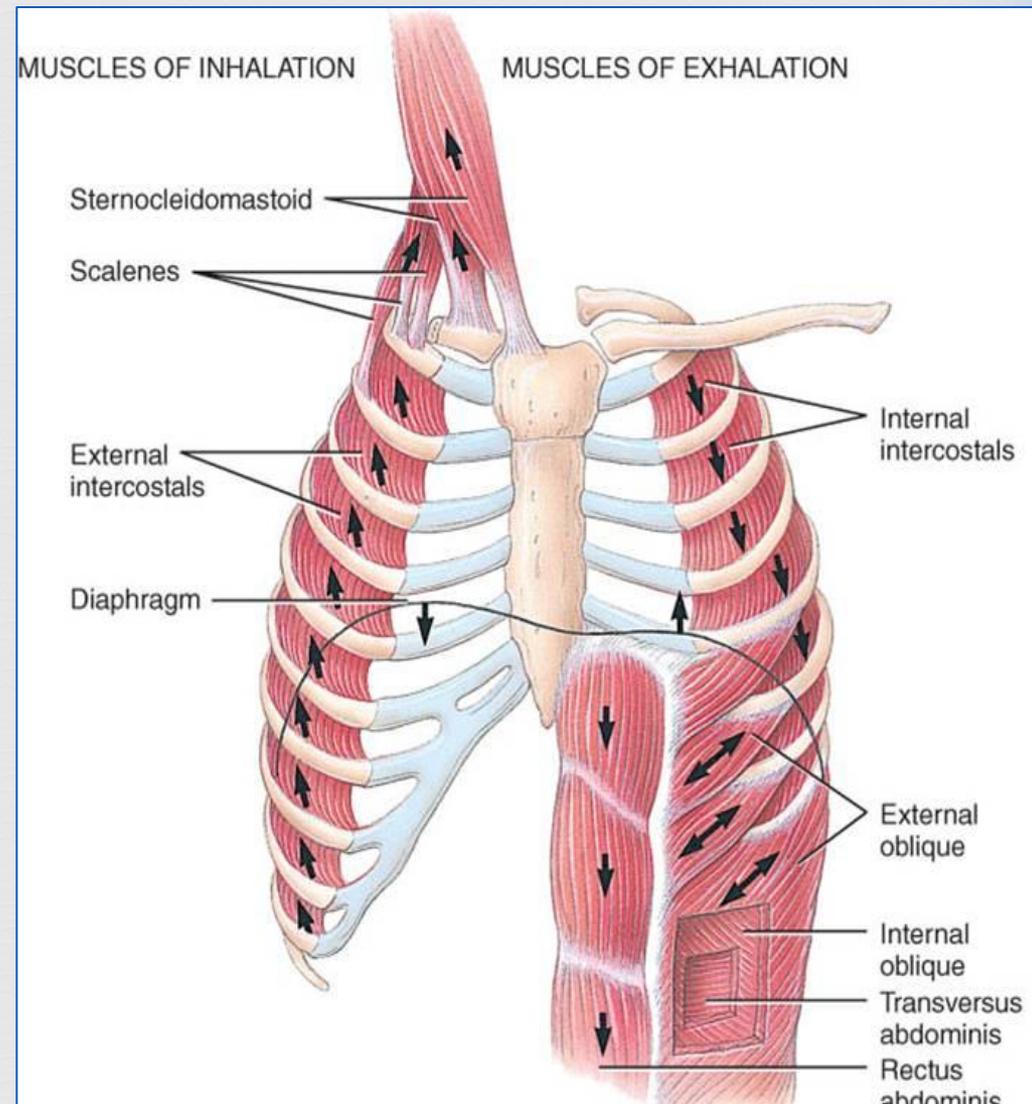
Durante el ejercicio el sistema respiratorio realiza las siguientes funciones:



1. Contribuir a **oxigenar y disminuir el grado de acidez**
2. Mantener un **bajo grado de resistencia vascular** pulmonar para evitar o minimizar el paso de agua al espacio intersticial pulmonar (edema).

Limitaciones funcionales

1. **Fatiga significativa** de los **músculos respiratorios**.
2. **Demanda excesiva** por parte de Los **músculos Respiratorios**. => **demanda competitiva** con los **músculos esqueléticos**.



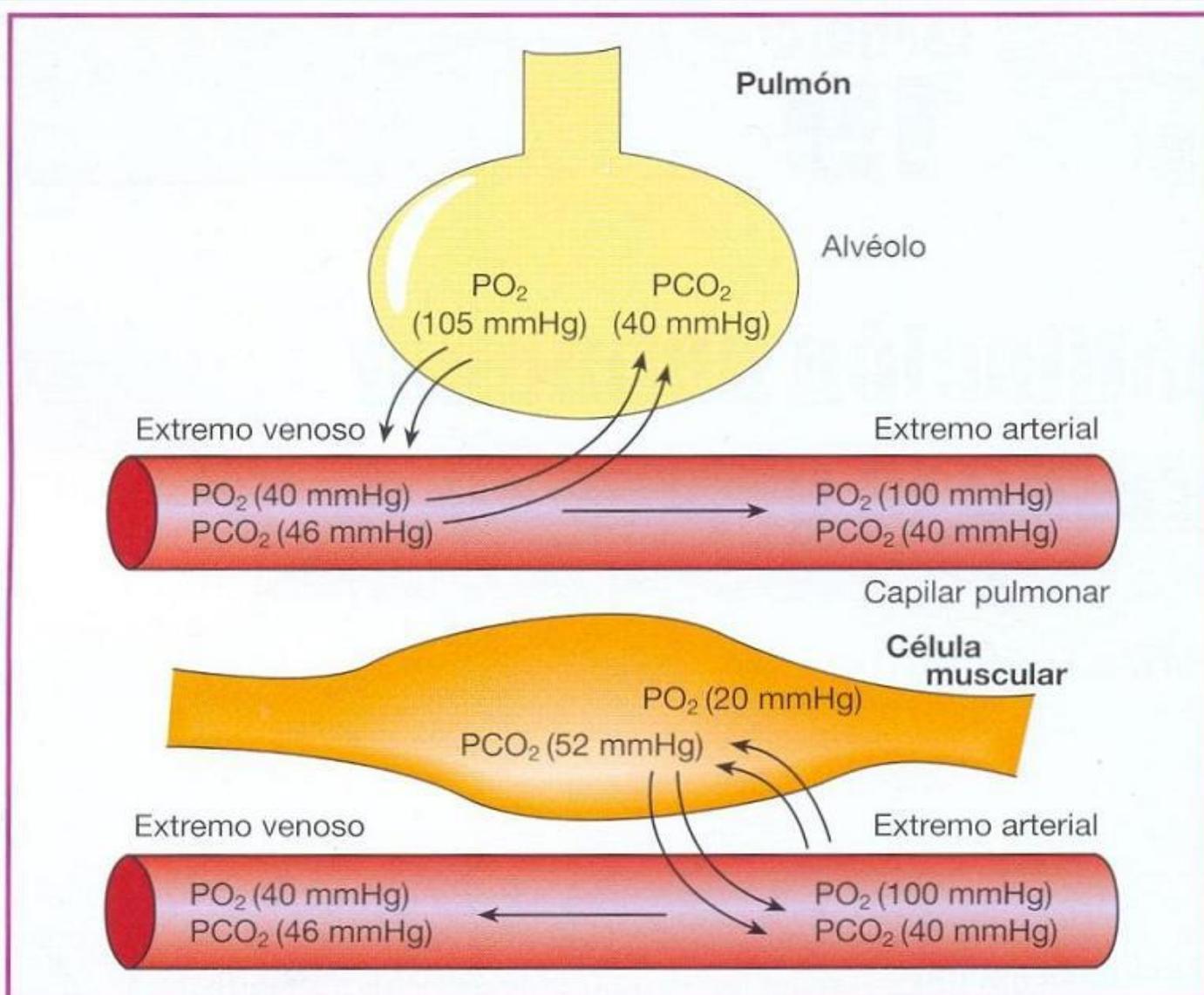
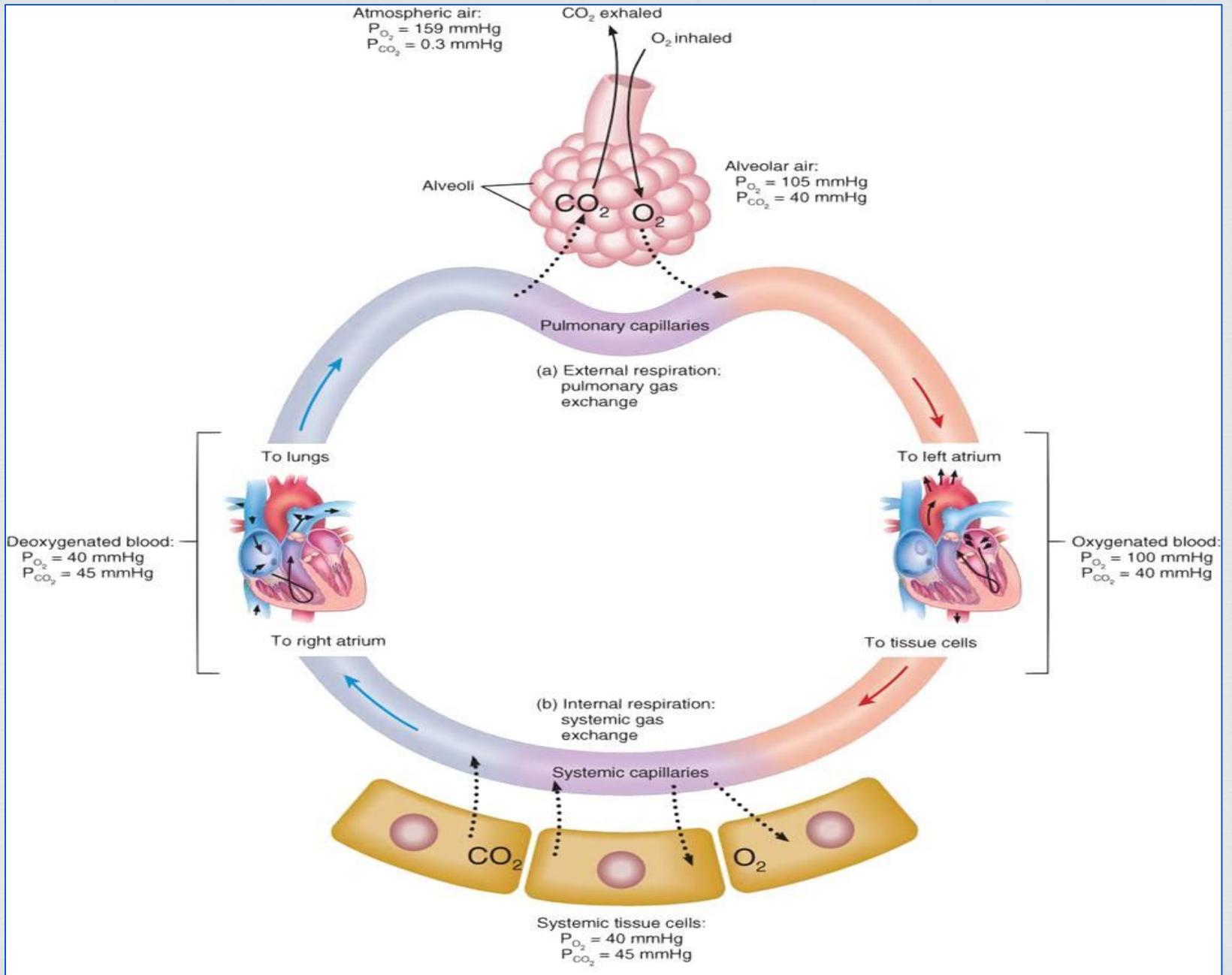
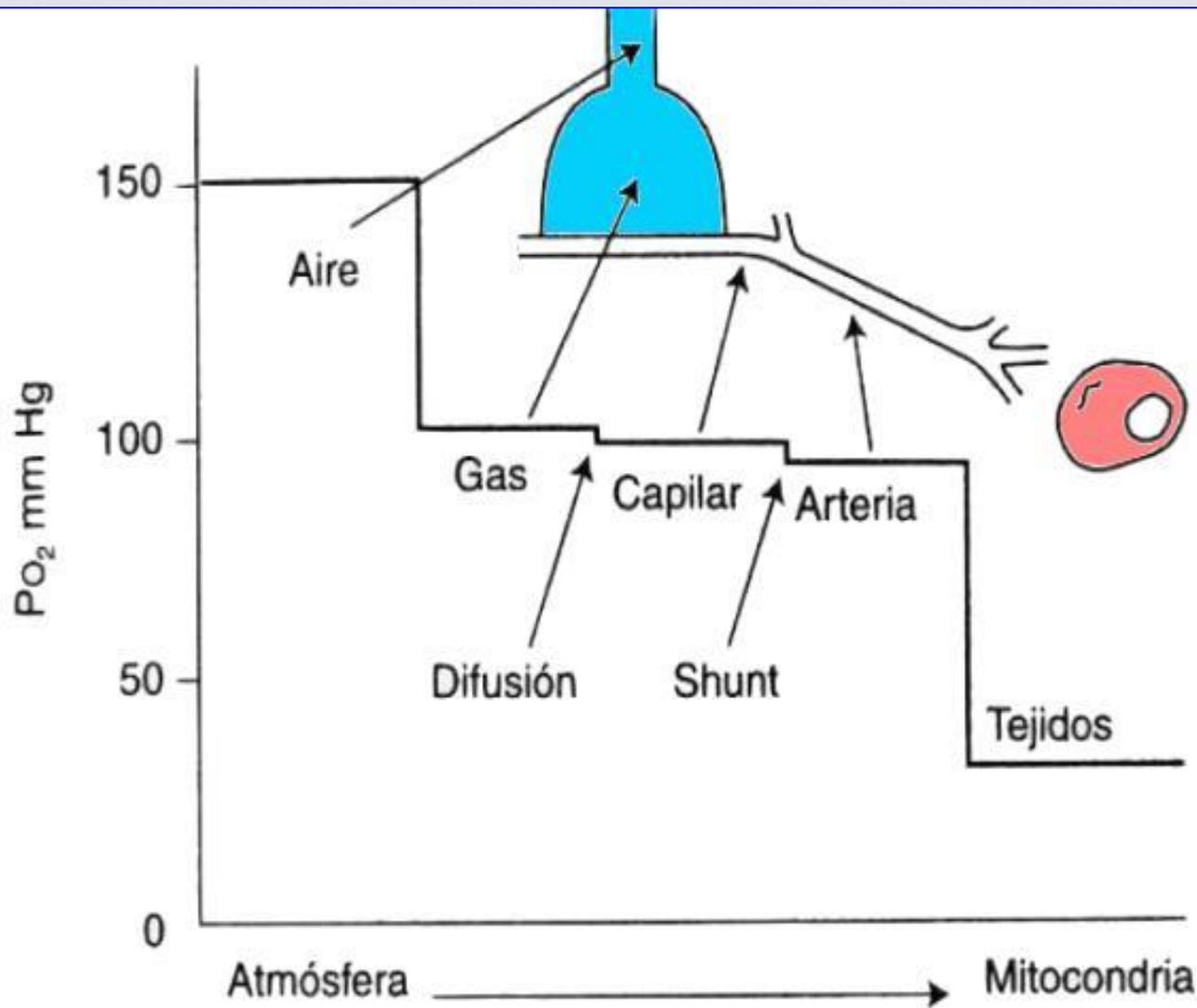


Figura 19.1. Presión parcial de oxígeno (PO_2) y dióxido de carbono (PCO_2) en sangre como resultado del intercambio gaseoso en los pulmones y en los tejidos.

Presión
parcial
alveolar de
 O_2 se
mantiene
constante
alrededor
**de 105
mmHg.**

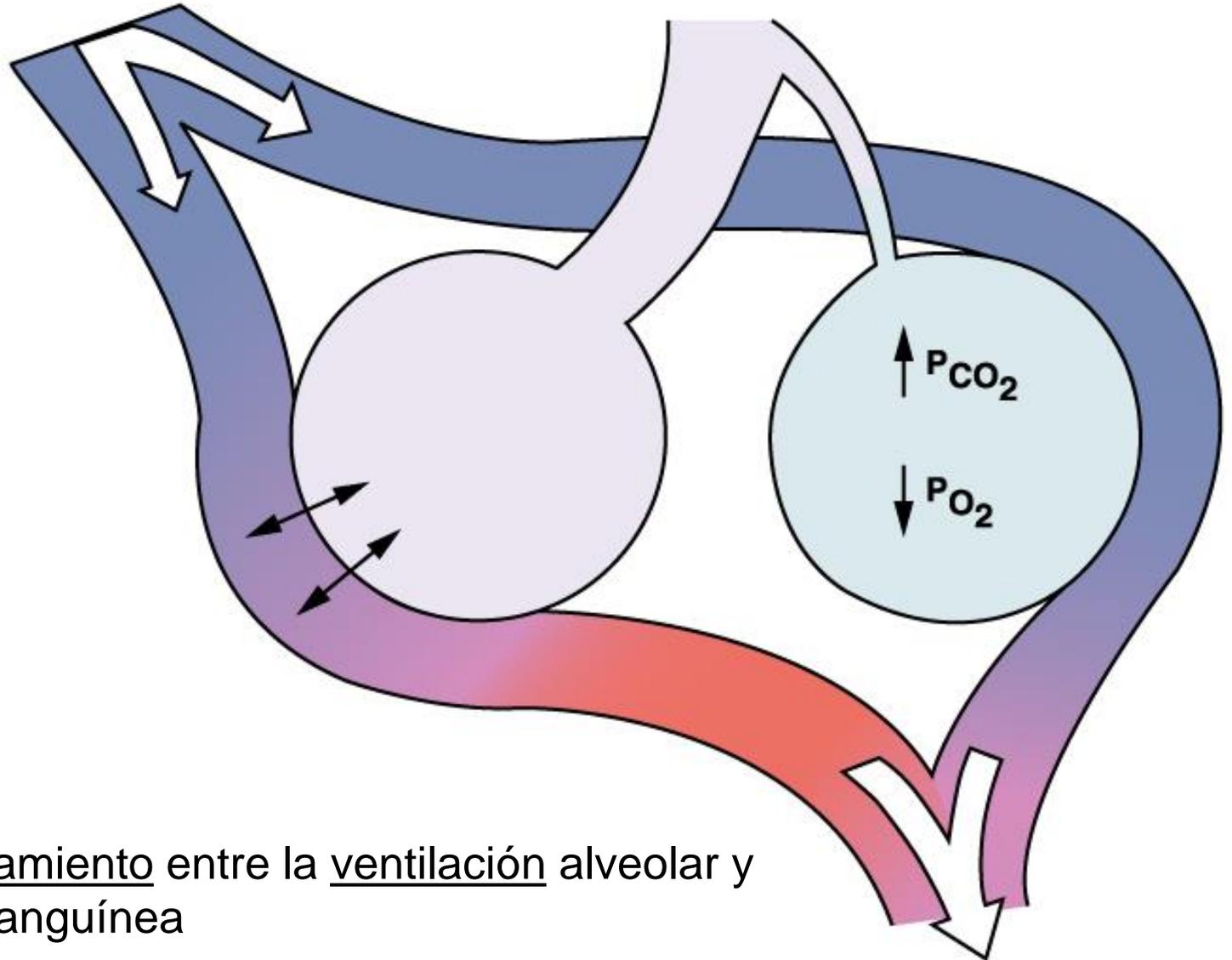




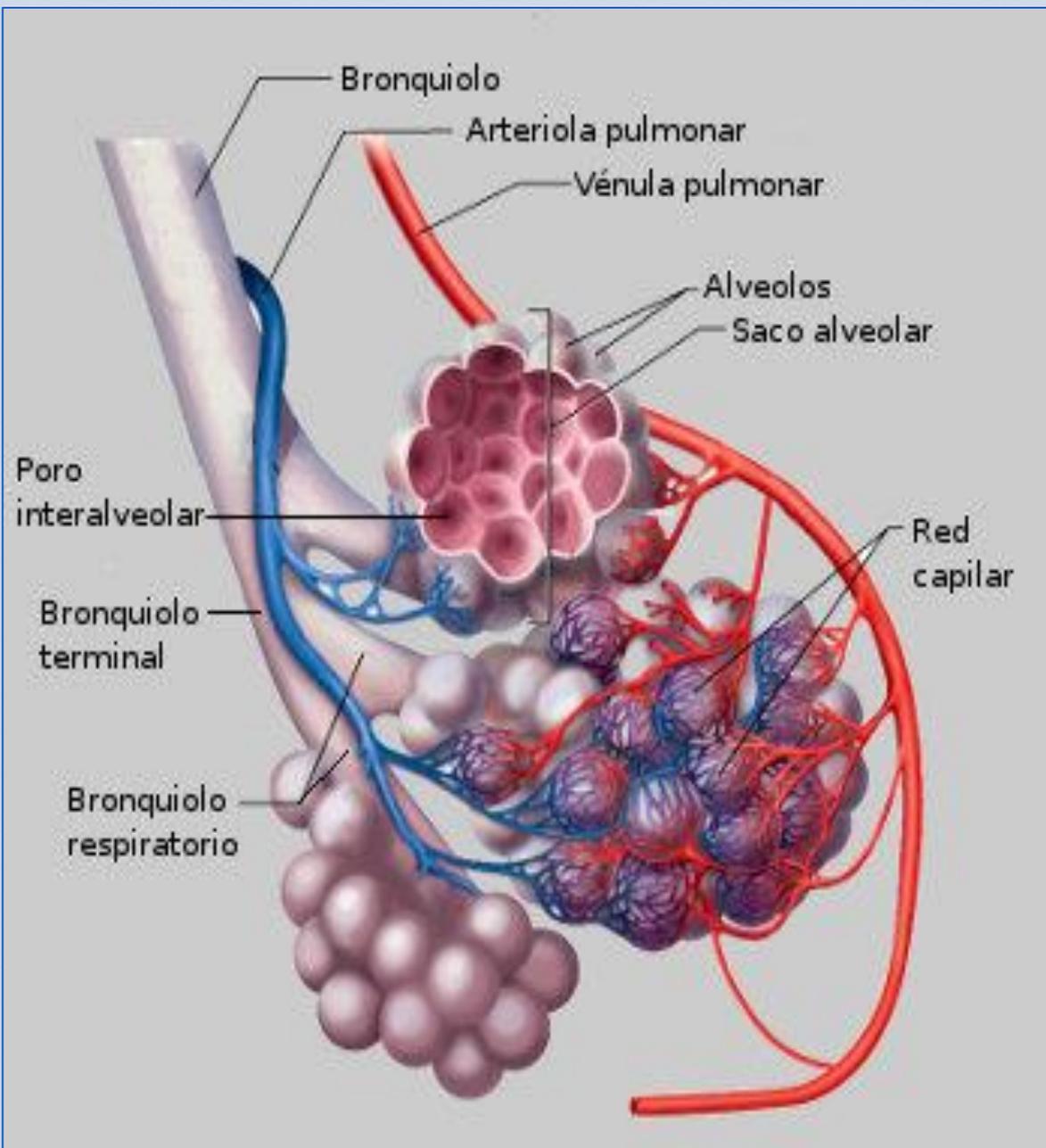
Esquema de la transferencia de O_2 desde el aire hasta los tejidos que muestra la disminución de la P_{O_2} arterial causada por la difusión y el *shunt*.

RELACIÓN VENTILACIÓN- PERFUSIÓN (VE/Q) EN REPOSO Y DURANTE EL EJERCICIO

If ventilation decreases in a group of alveoli (blue), PCO_2 increases and PO_2 decreases. Blood flowing past those alveoli does not get oxygenated.



Óptimo acoplamiento entre la ventilación alveolar y la perfusión sanguínea



Reposo

Ventilación alveolar
4,2 L . min.

Vs

5L **sangre lecho**
capilar pulmonar
(cada minuto)

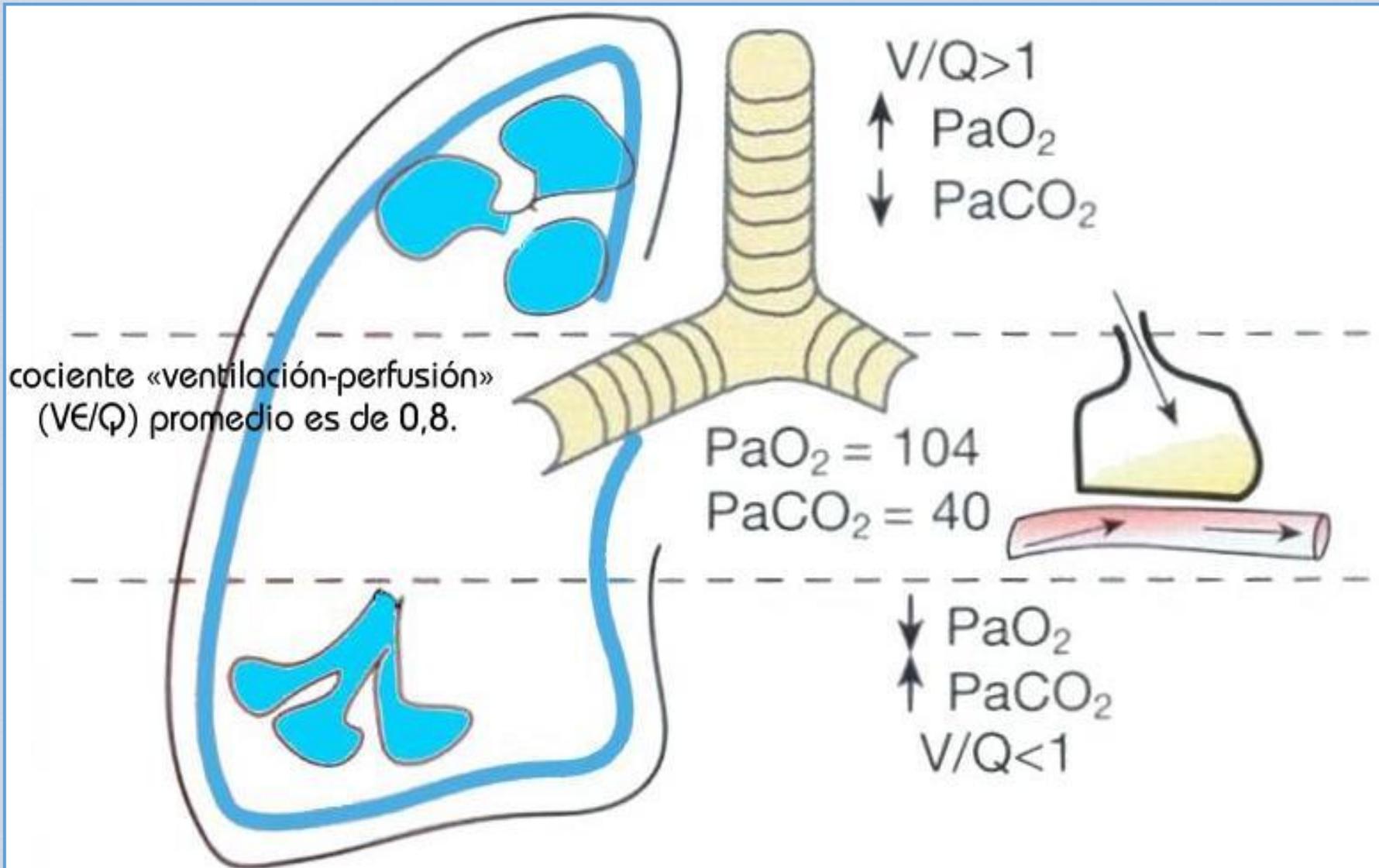


Figura 19.2. Diferencias regionales en el cociente ventilación/perfusión (V/Q) en reposo.

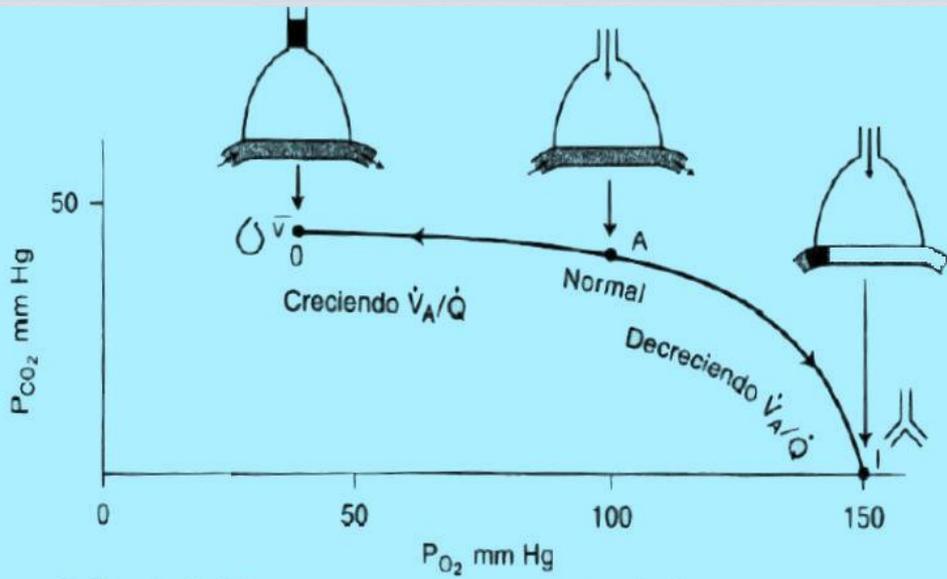
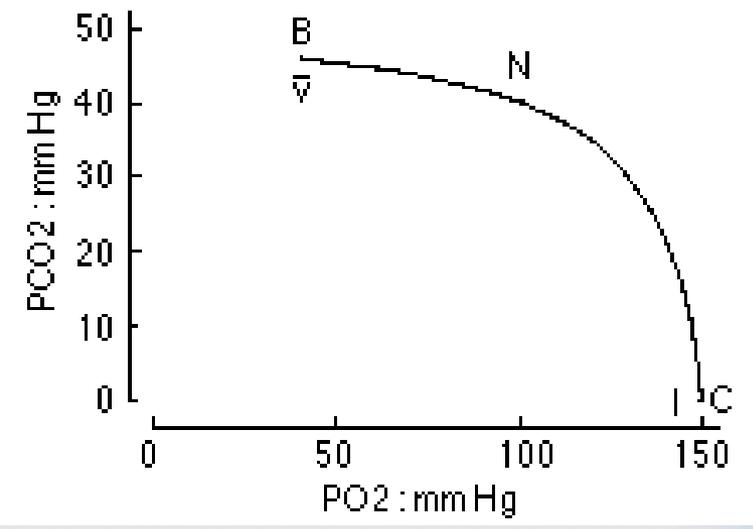
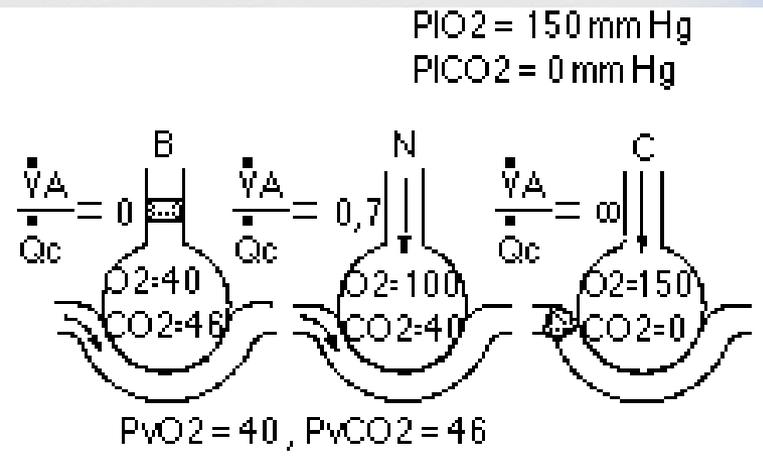
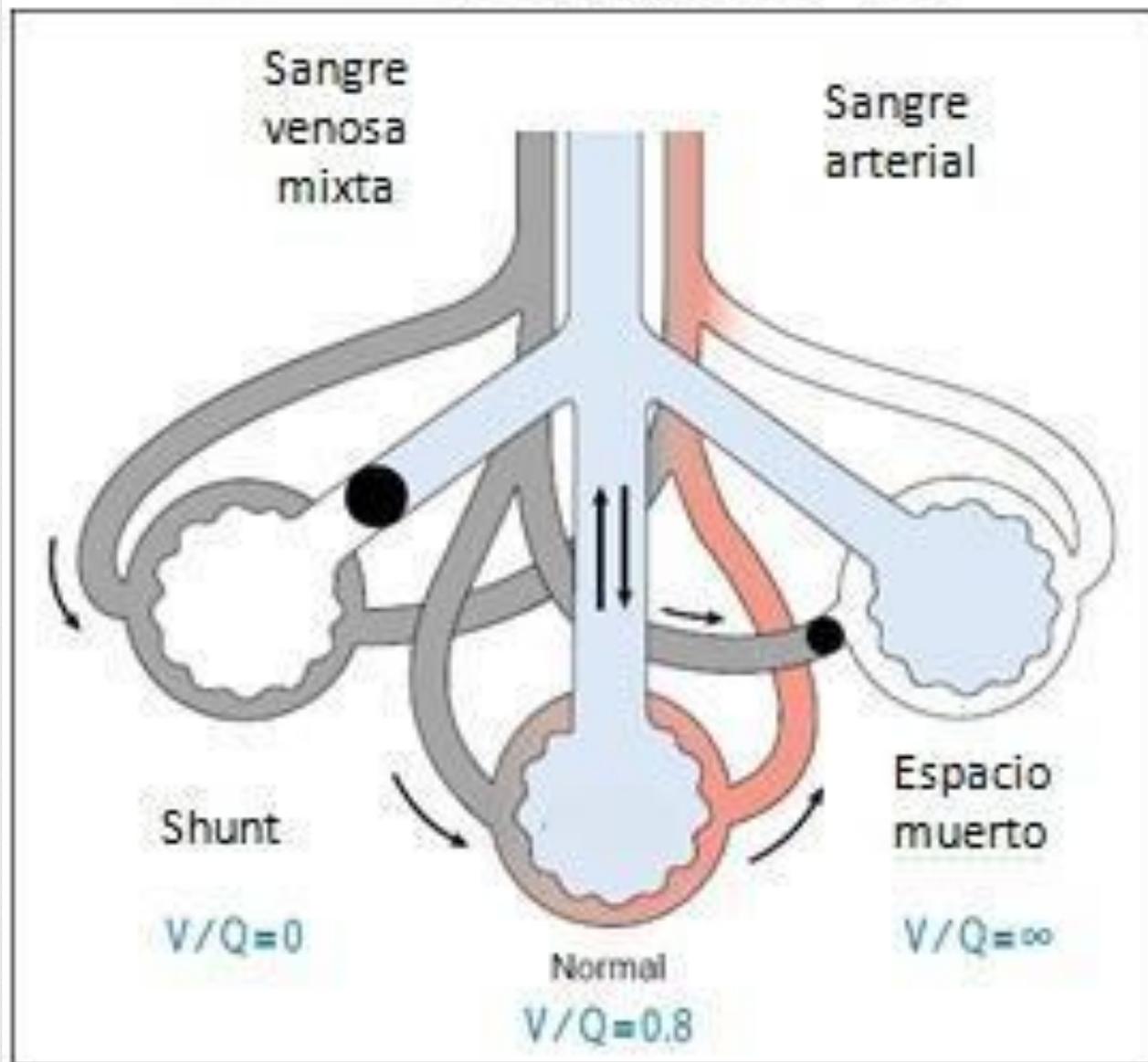


Gráfico de O₂-CO₂ que muestra una curva de la relación ventilación-perfusión. La P_{O₂} y la P_{CO₂} de una unidad pulmonar se desplazan a lo largo de esta línea desde el punto venoso mixto hasta el punto del aire inspirado I a medida que su relación ventilación-perfusión aumenta



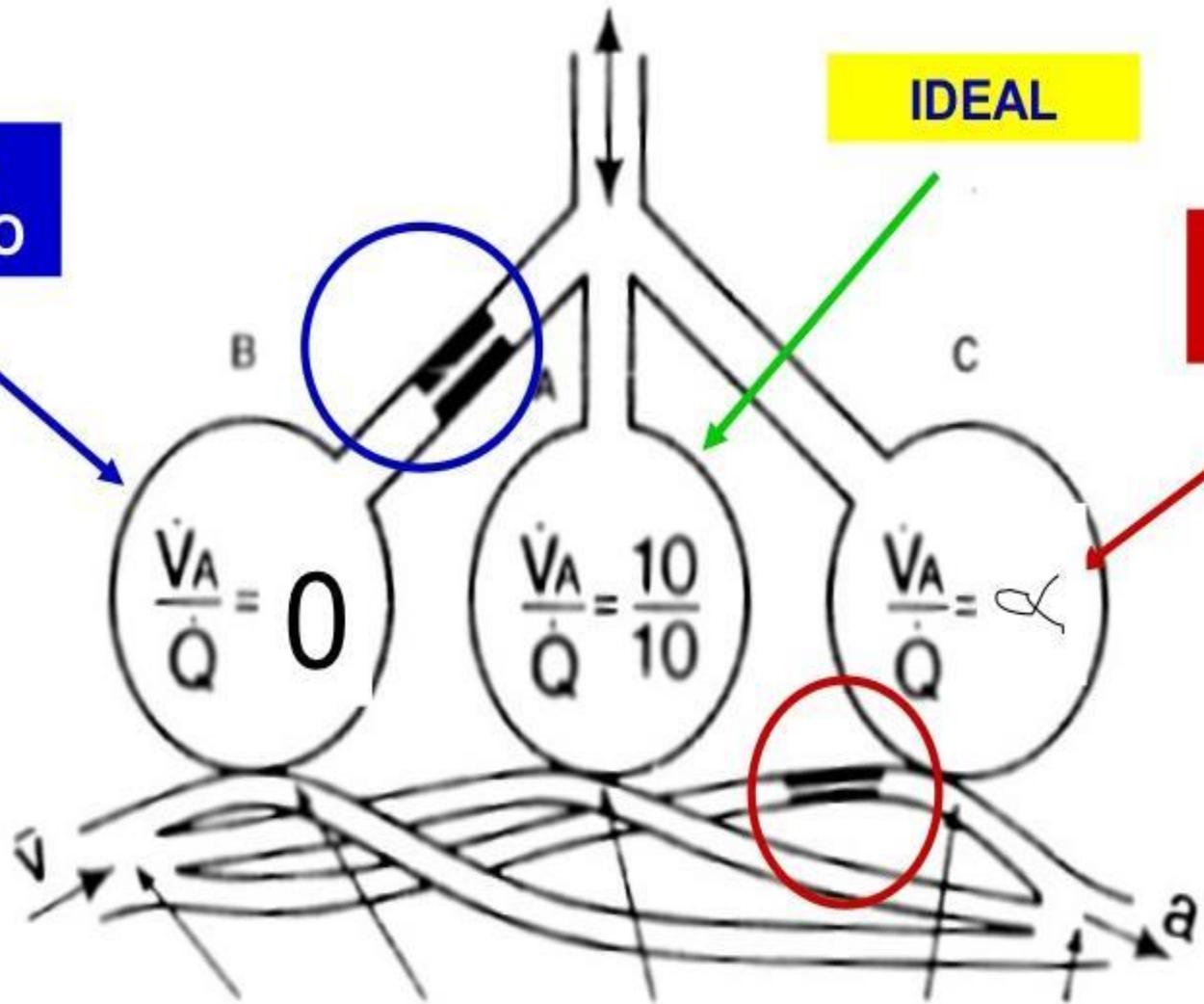
Desequilibrio V/Q



CORTO CIRCUITO

IDEAL

ESPACIO MUERTO



$$\frac{\dot{V}_A}{\dot{Q}} = 0$$

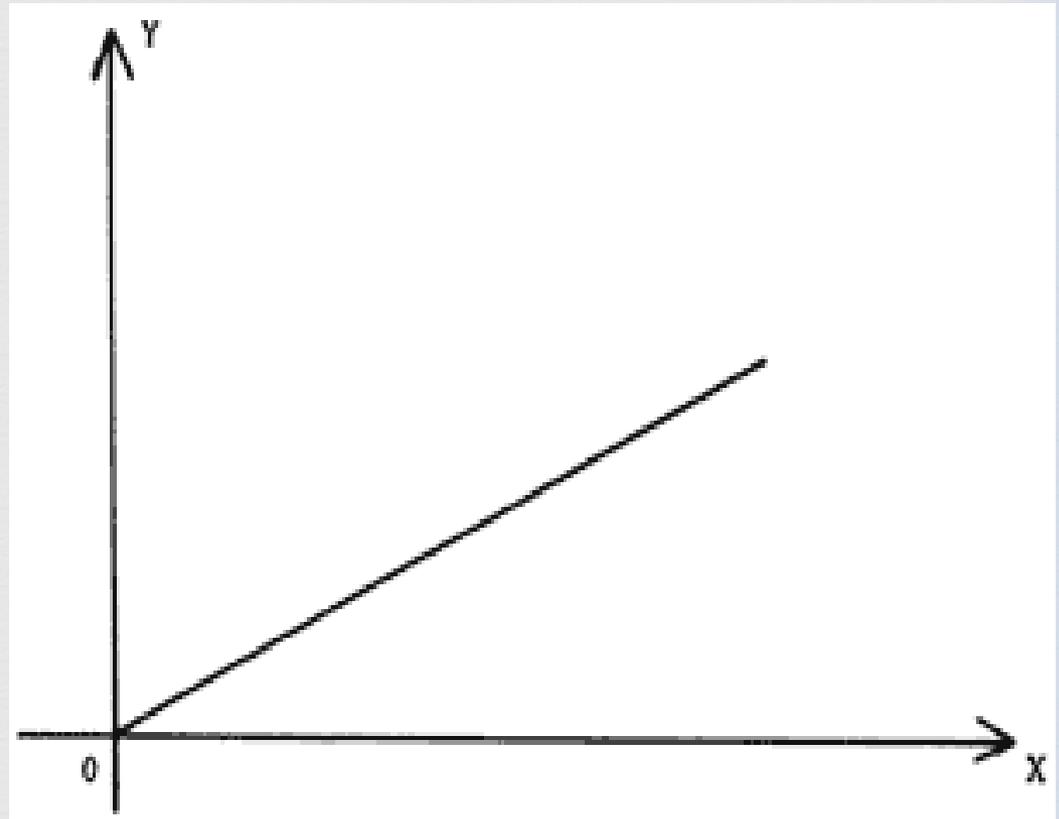
$$\frac{\dot{V}_A}{\dot{Q}} = \frac{10}{10}$$

$$\frac{\dot{V}_A}{\dot{Q}} = \infty$$

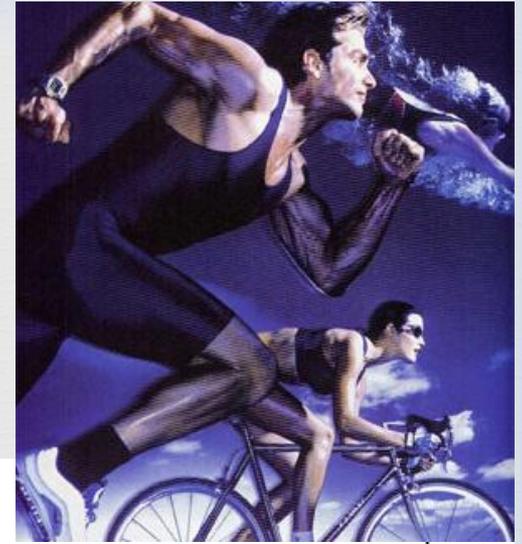
O₂ concentration 14.6 16.0 19.5 20.0 17.9 ml/100ml

Ejercicio ligero

La **ventilación aumenta de manera lineal** con la intensidad del trabajo físico desde condiciones de reposo hasta ejercicios de intensidad moderada (<umbral anaeróbico); **el gasto cardíaco, aumenta también de manera lineal.**

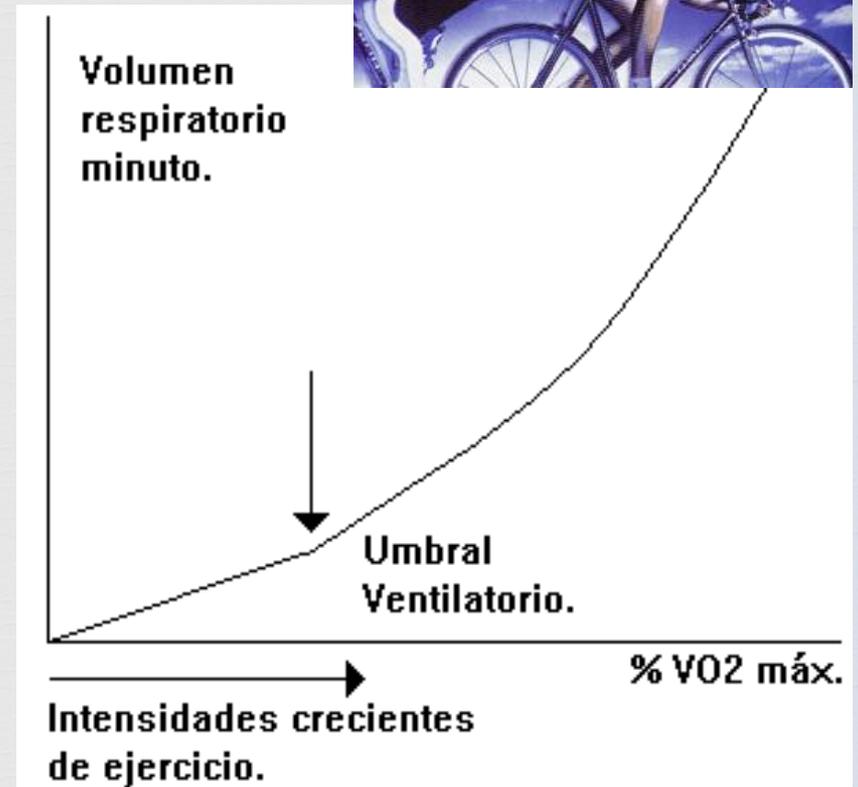


Ejercicio intenso



➤ umbral anaeróbico

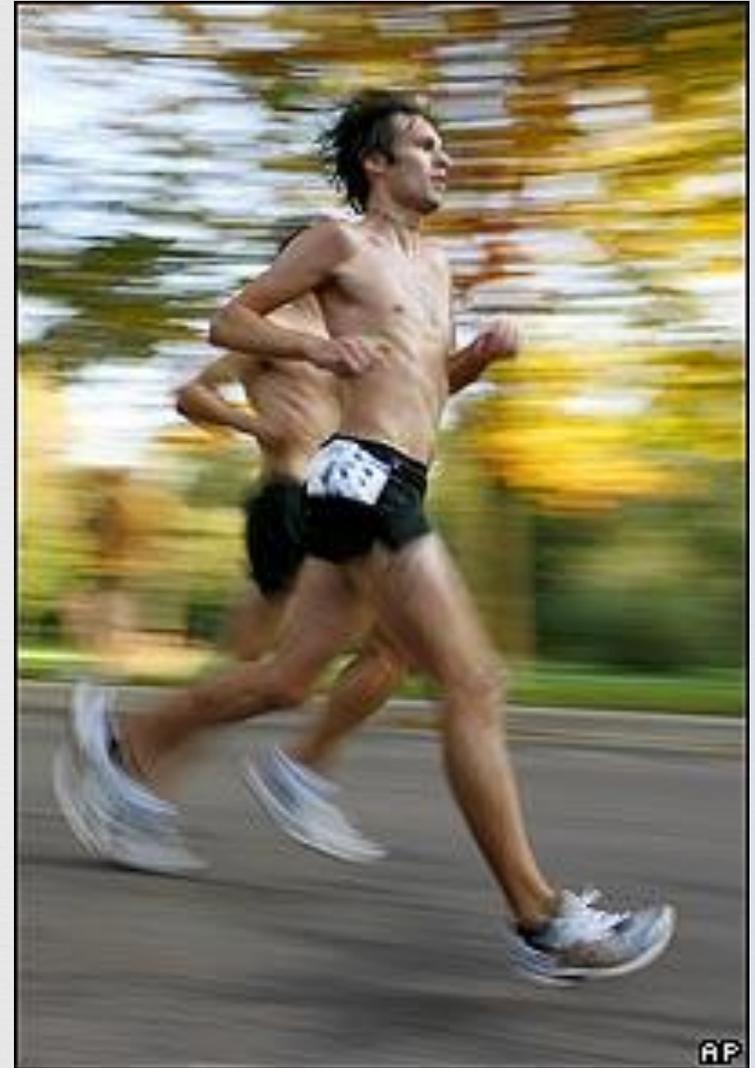
se produce un incremento desproporcionado de la ventilación alveolar.



Ejercicio intenso

La ventilación puede pasar de 5 L. min⁻¹ en condiciones de **reposo** hasta alrededor de 200 L. min⁻¹ en atletas entrenados.

Proporción de 1 a 35.

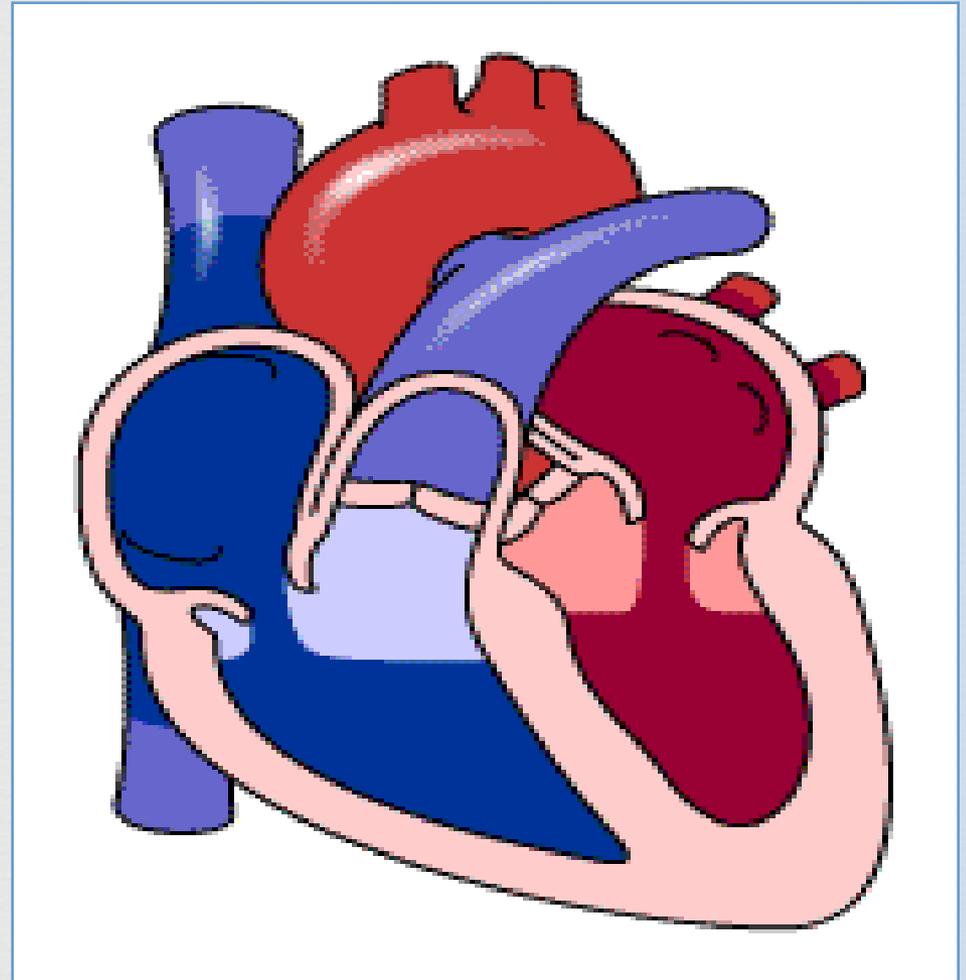


Incremento del gasto cardíaco

Es lineal con relación al esfuerzo realizado.

Aumenta hasta **cinco o seis veces** (en deportistas jóvenes y entrenados)

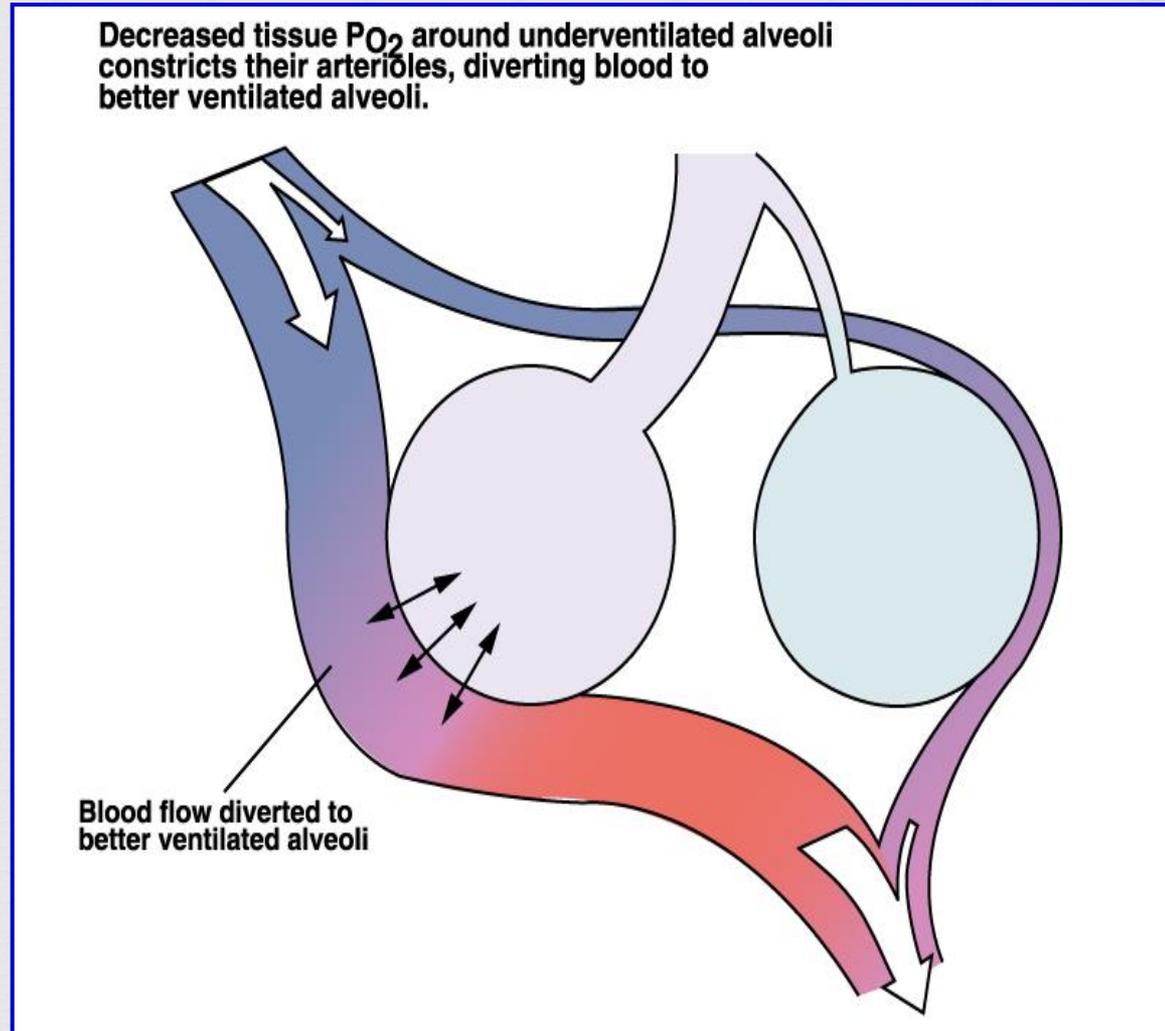
5 L . min⁻¹ => 25 ó 30 L . min⁻¹,



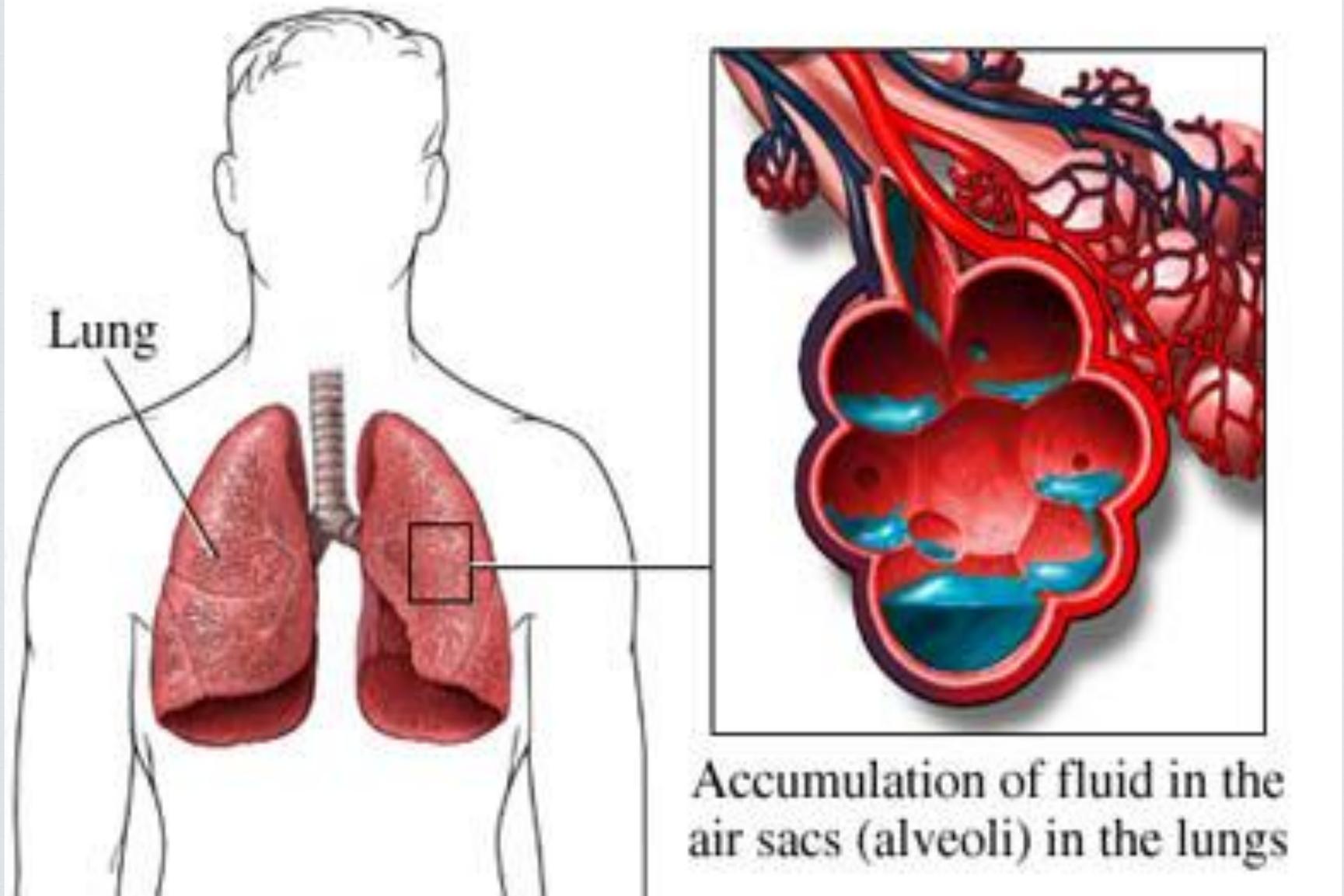
La relación VE/Q se incrementa durante ejercicio de alta intensidad,

Mecanismos:

1. Vasoconstricción no uniforme en el lecho vascular pulmonar.
2. Cierta grado de broncoconstricción pulmonar a altas intensidades de ejercicio?
3. Aparición de edema pulmonar intersticial durante ejercicios muy intensos.



Edema pulmonar intersticial durante ejercicios muy intensos.



VOLÚMENES y CAPACIDADES PULMONARES

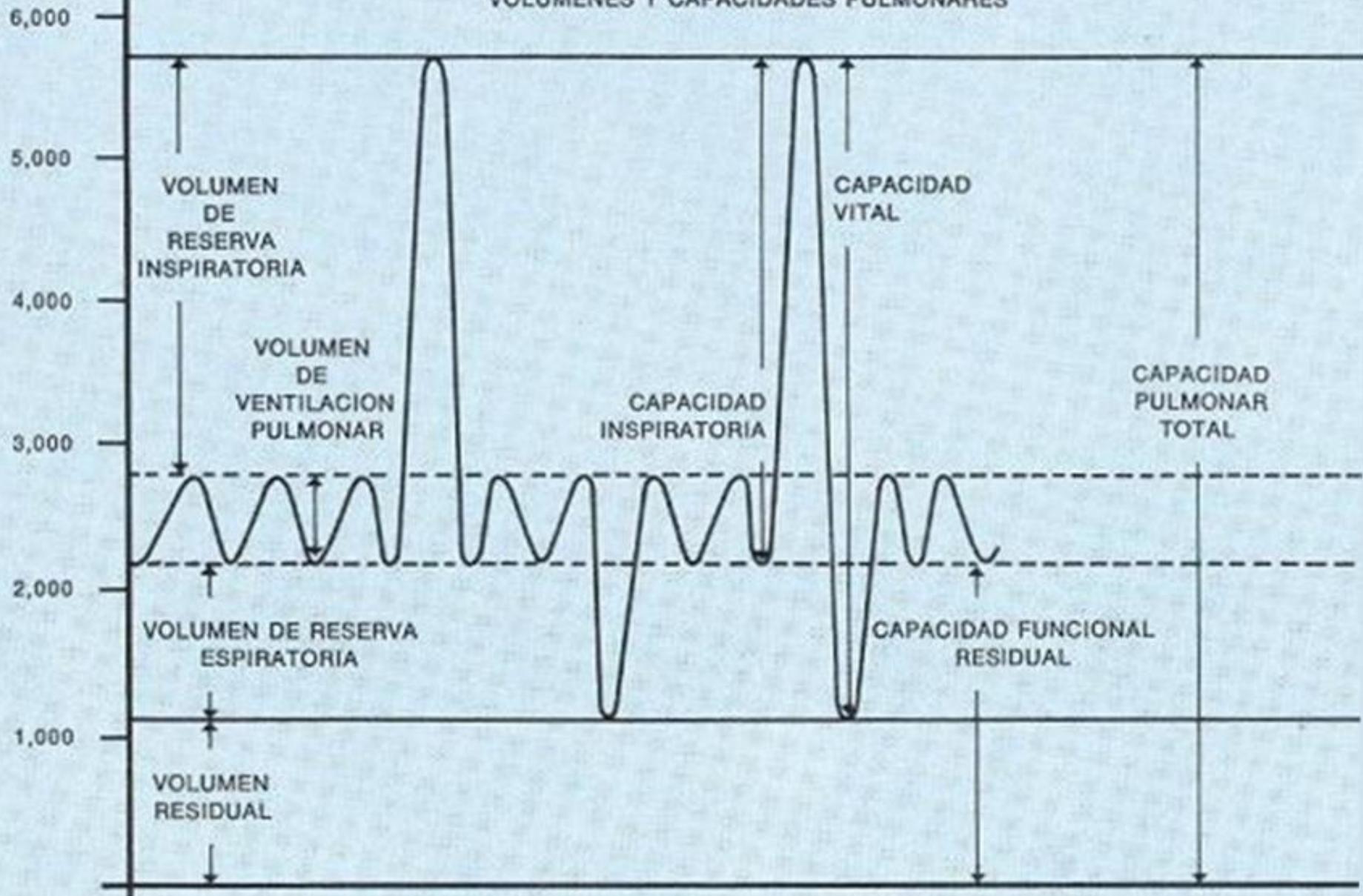
La capacidad vital forzada (CVF)

varía:

1. Considerablemente con el tamaño y la composición corporal (relación negativa respecto al porcentaje de grasa corporal)
2. La posición del cuerpo al realizar la exploración.



VOLUMENES Y CAPACIDADES PULMONARES



La capacidad vital forzada (CVF)

El valor de la CVF en reposo oscila entre:

- **Hombres jóvenes sanos 4 y 5 L,**
- **Mujeres jóvenes sanas 3 y 4L .**





Valores de 6-7 L
en sujetos de
elevada estatura, y
valores de **7-8 L**
en atletas de
resistencia
aeróbica de alto
nivel (Wilmore y Haskell, 1972).

Los altos volúmenes se han justificado clásicamente por las características físicas del sujeto y por la influencia genética,



El entrenamiento físico no cambia apreciablemente los volúmenes pulmonares estáticos?

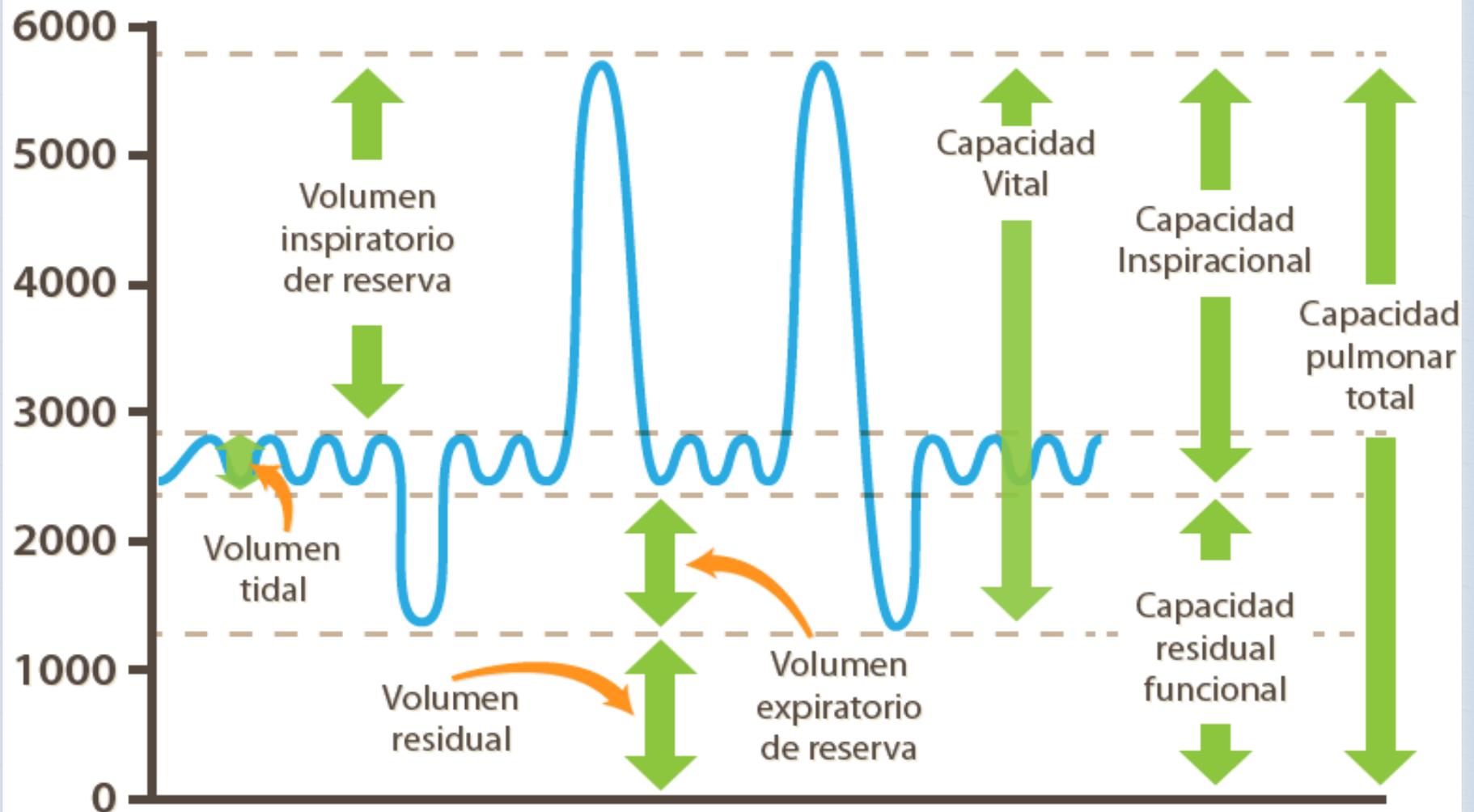
El volumen pulmonar residual (volumen de aire que queda en los pulmones después de una espiración forzada) también se modifica con el ejercicio.

Los valores normales del volumen residual pulmonar (VRP) en reposo oscilan entre:

1. Mujeres jóvenes y sanas 0,8 y 1,4L
2. Hombres jóvenes y sanos. 1 y 2,5L

El entrenamiento físico parece aumentar estos valores

Volumen pulmonar en mililitros (mL)



Adaptado y traducido de: Shier D. Butler J. Lewis R. Hole's human anatomy and physiology - 2004 - McGraw Hill ; Boston, New York

Volumen espiratorio forzado (FEV₁) (VEF₁)

Medido en el primer segundo de la espiración (FEV₁), que suele expresarse como porcentaje de la CVF (FEV₁ ÷ CVF).

Este índice expresa la capacidad espiratoria pulmonar en relación a la resistencia ofrecida por las vías respiratorias al paso del aire hacia el exterior.

Tabla 1**Valores espirométricos de jóvenes no activos físicamente, jóvenes ciclistas y personas de edad avanzada**

	No activos n = 50 21 ± 2 años	Ciclistas n = 35 24 ± 3 años	Edad avanzada n = 23 70 ± 5 años
CVF (l)	5,2 ± 0,6 ^b	6,1 ± 0,2 ^a	2,6 ± 0,3
FEV ₁ (l)	4,5 ± 0,5 ^b	5,1 ± 0,2 ^a	2,1 ± 0,2
FEV ₁ /CVF (%)	87,2 ± 5,9	83,8 ± 1,8	78,7 ± 4,2
PFE (l · s ⁻¹)	9,8 ± 2,3 ^b	11,7 ± 0,5 ^a	4,9 ± 1,1

^a Diferencias significativas ($p < 0,05$) ciclistas vs jóvenes no activos y edad avanzada.

^b Diferencias significativas ($p < 0,05$) jóvenes no activos vs edad avanzada.

volumen espiratorio forzado (FEV)

El valor en sujetos sanos se sitúa alrededor del 85% de la CVE

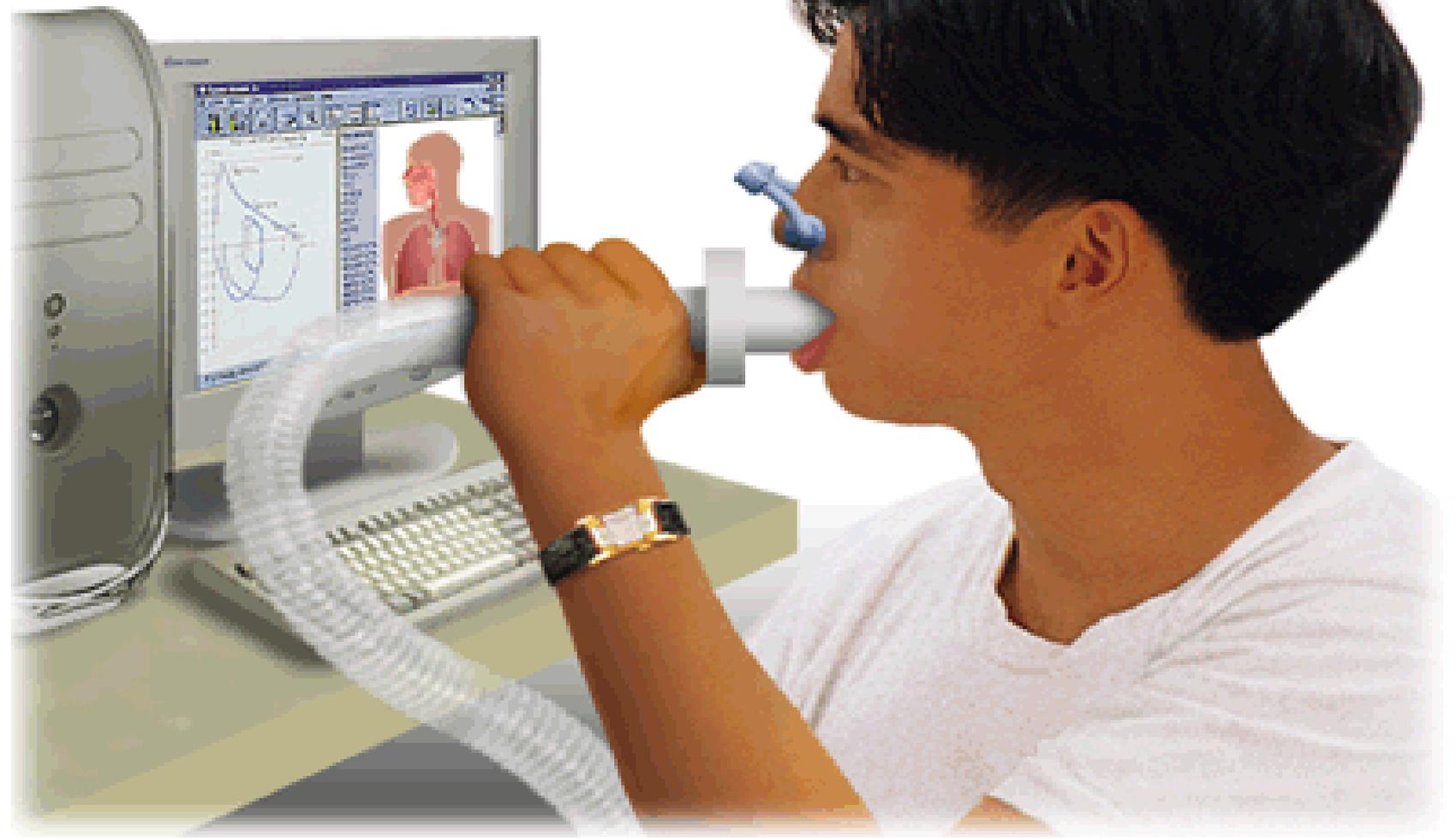
En presencia de enfermedades pulmonares obstructivas (ejemplo, asma bronquial) el índice puede descender más allá del 40% CFV El punto de corte para considerar un **patrón obstructivo se sitúa en el valor del 70% CVE**

La máxima ventilación voluntaria (MVV) valora la máxima capacidad mecánica pulmonar de ventilar aire.

Pedir al sujeto que respire lo «más rápido y profundo» que pueda durante 15 segundos; posteriormente el valor obtenido se extrapola a 60 segundos, obteniendo el valor de la MVV

La MVV se ve afectada de forma importante por la motivación

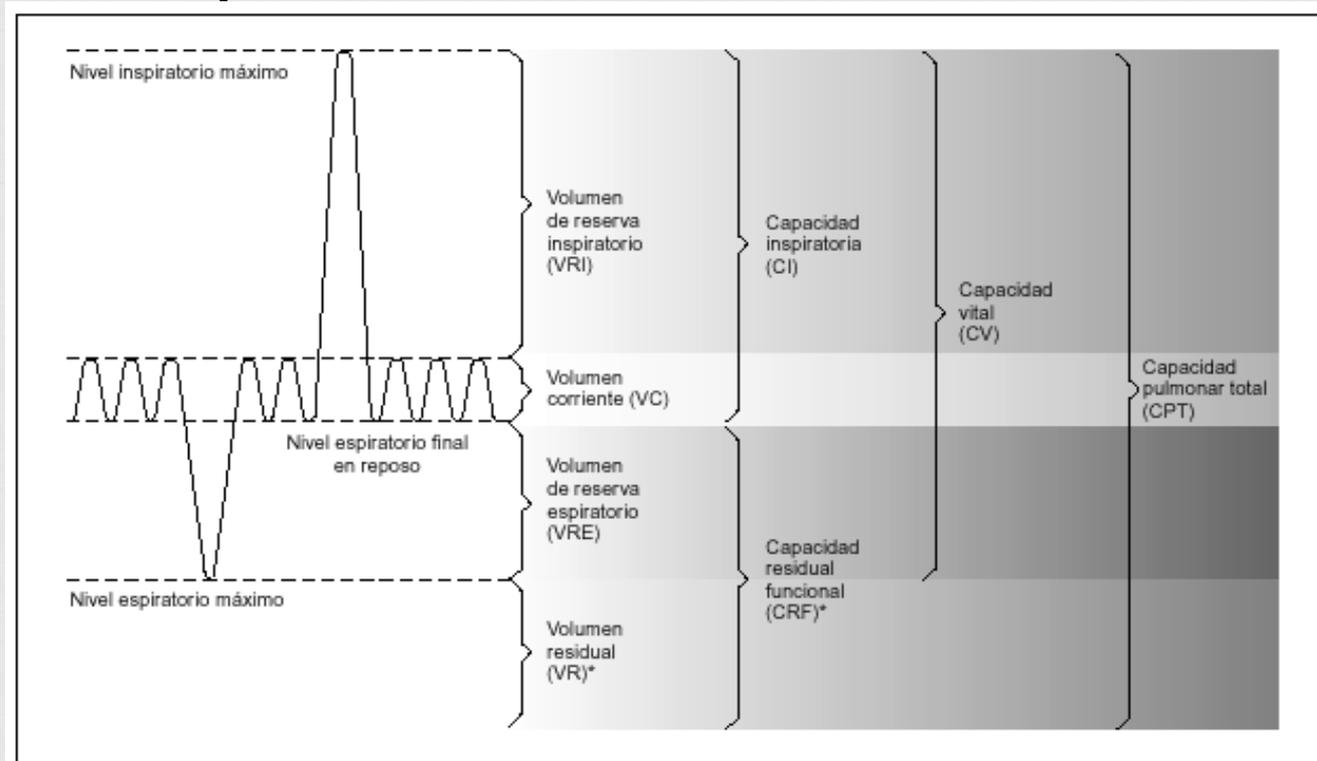
Espirómetria



El valor de la MVV

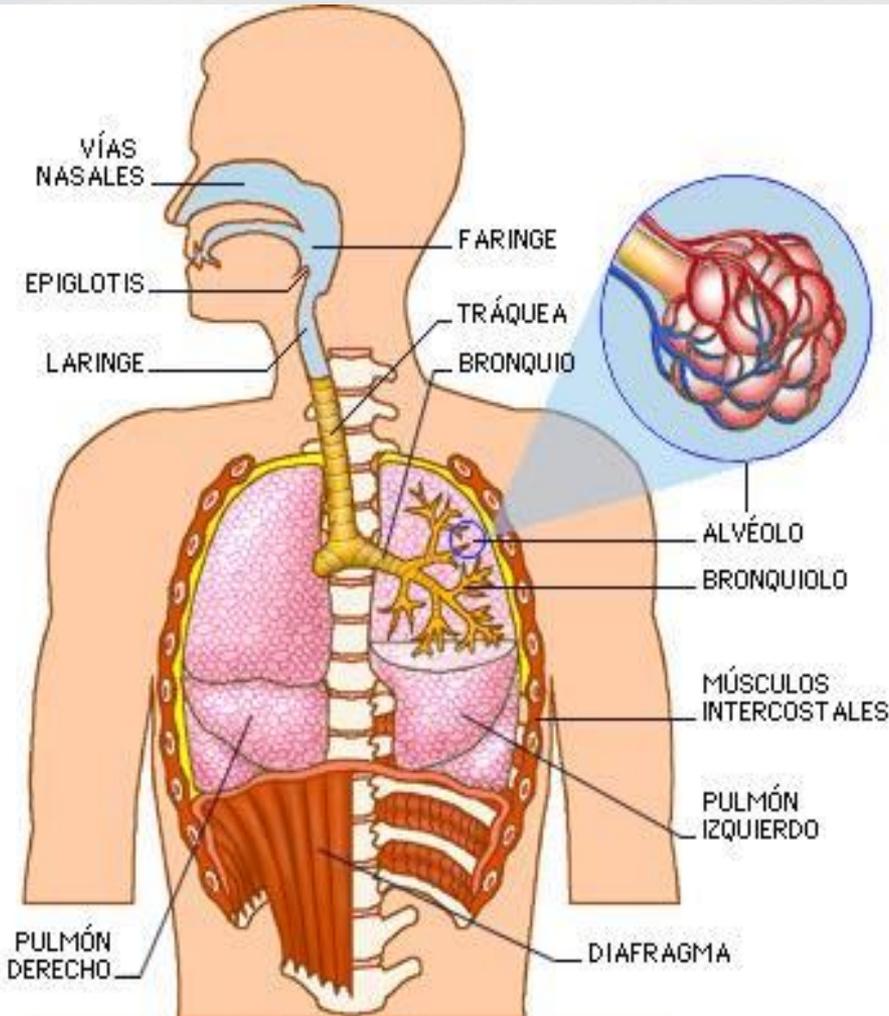
Puede mejorarse con el entrenamiento específico de los músculos respiratorios y con el propio entrenamiento de resistencia aeróbico (Akabas y cols., 1989).

No se ha encontrado relación alguna entre los valores de los volúmenes pulmonares estáticos y el rendimiento deportivo, incluso después de ajustar las cifras en relación al tamaño corporal.



LA VENTILACIÓN ALVEOLAR

En reposo inspiramos 500 ml de aire, solo 350 ml de aire ambiente alcanzarán los alvéolos (*ventilación alveolar*),



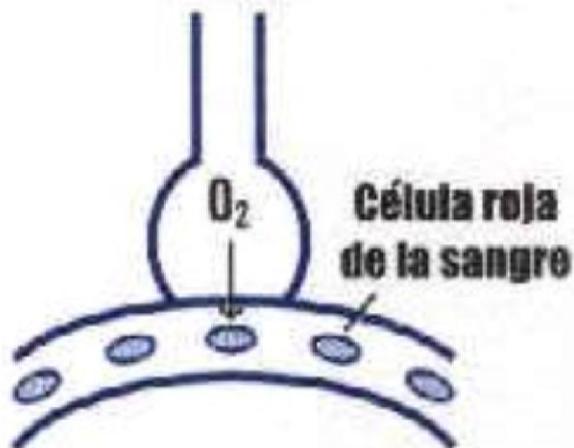
No se recomienda interferir conscientemente en el ritmo respiratorio marcado por los sistemas de regulación de la ventilación en el ejercicio, al no haberse demostrado efectos beneficiosos de esta maniobra sobre el rendimiento.



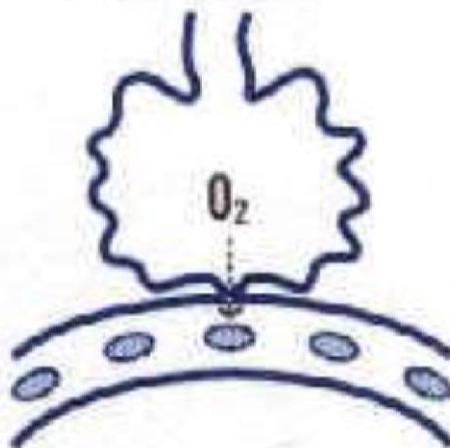
El volumen de aire alveolar
con una relación
ventilación/perfusión próxima
a cero se denomina *espacio*
muerto fisiológico.

Determinadas enfermedades que afectan al pulmón (enfisema, asma, fibrosis pulmonar...) **provocan elevados volúmenes de espacio muerto fisiológico** que pueden alcanzar el 50% de la capacidad vital, provocando un exceso de sollicitación de la ventilación pulmonar, que se manifestará especialmente en el ejercicio y limita de manera importante la capacidad funcional aeróbica.

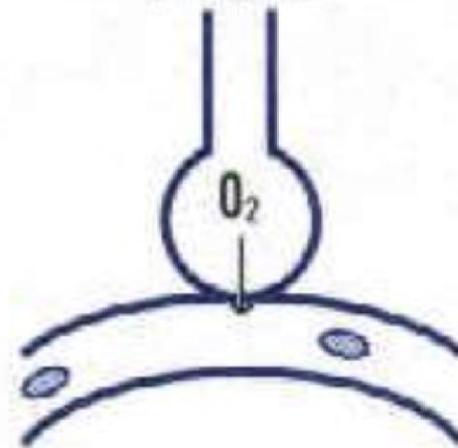
Normal



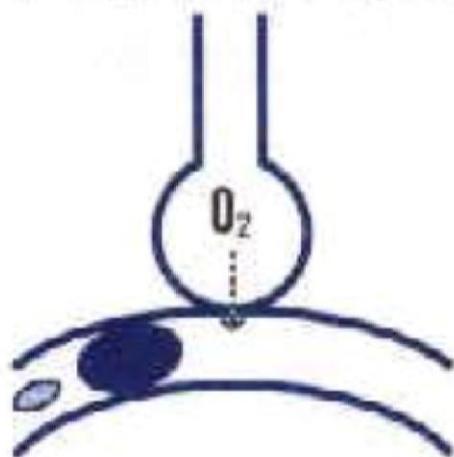
Enfisema



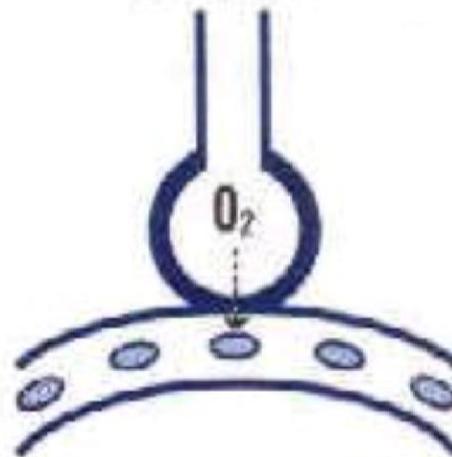
Anemia

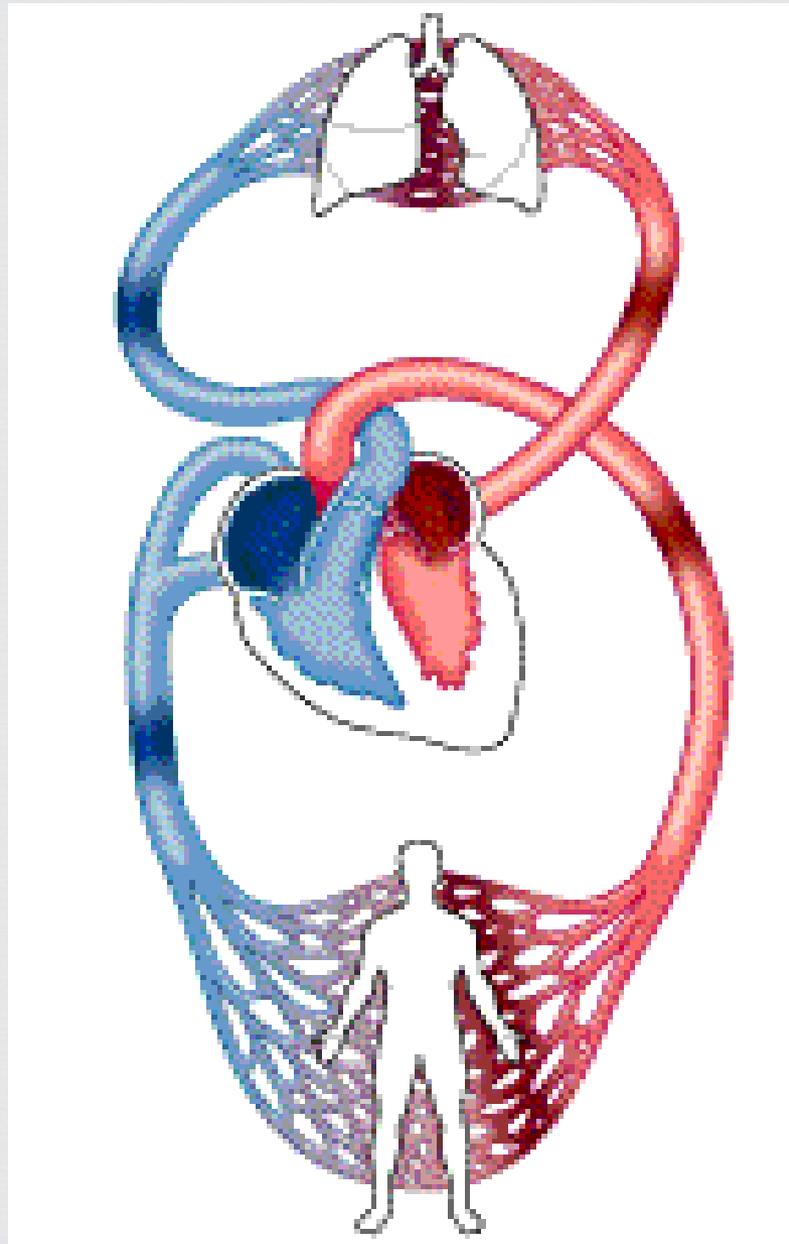


**Embolia pulmonar
(coágulo de sangre)**



Fibrosis





RESPUESTA DE LA VENTILACIÓN PULMONAR AL EJERCICIO

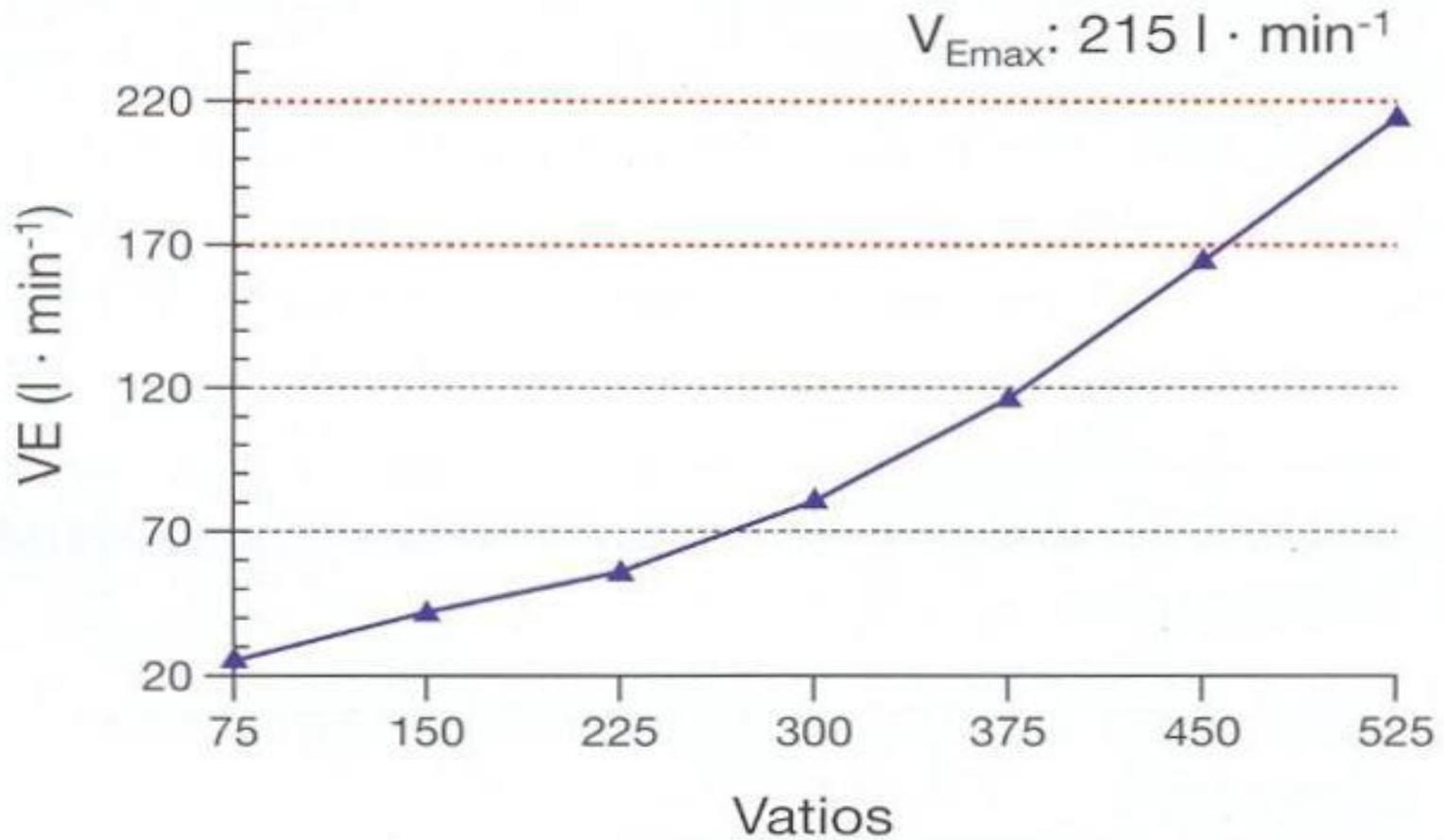


Figura 19.3. Respuesta de la ventilación pulmonar (VE) en un test de esfuerzo hasta el agotamiento.

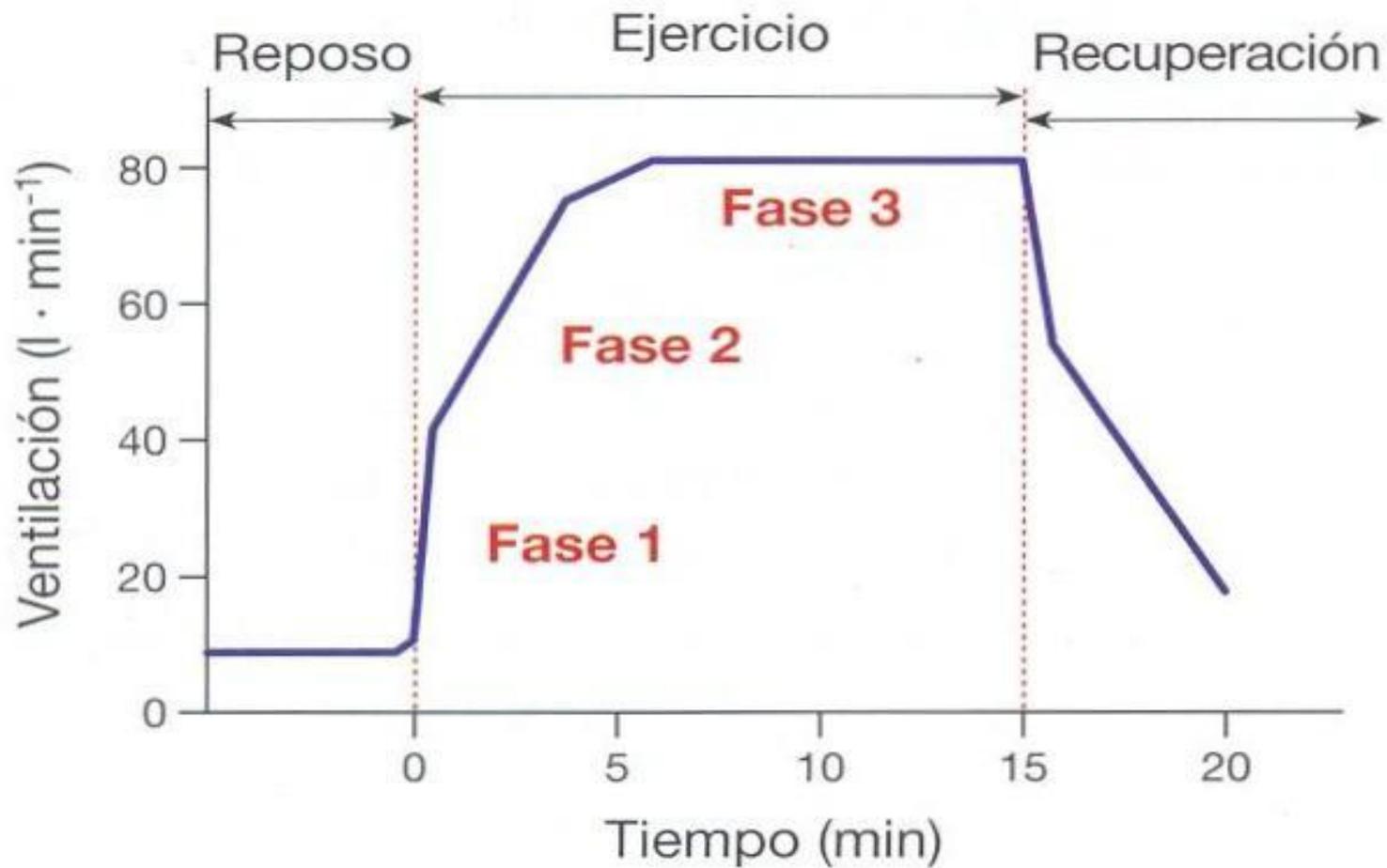


Figura 19.4. Respuesta de la ventilación pulmonar durante la realización de un ejercicio de carga estable.

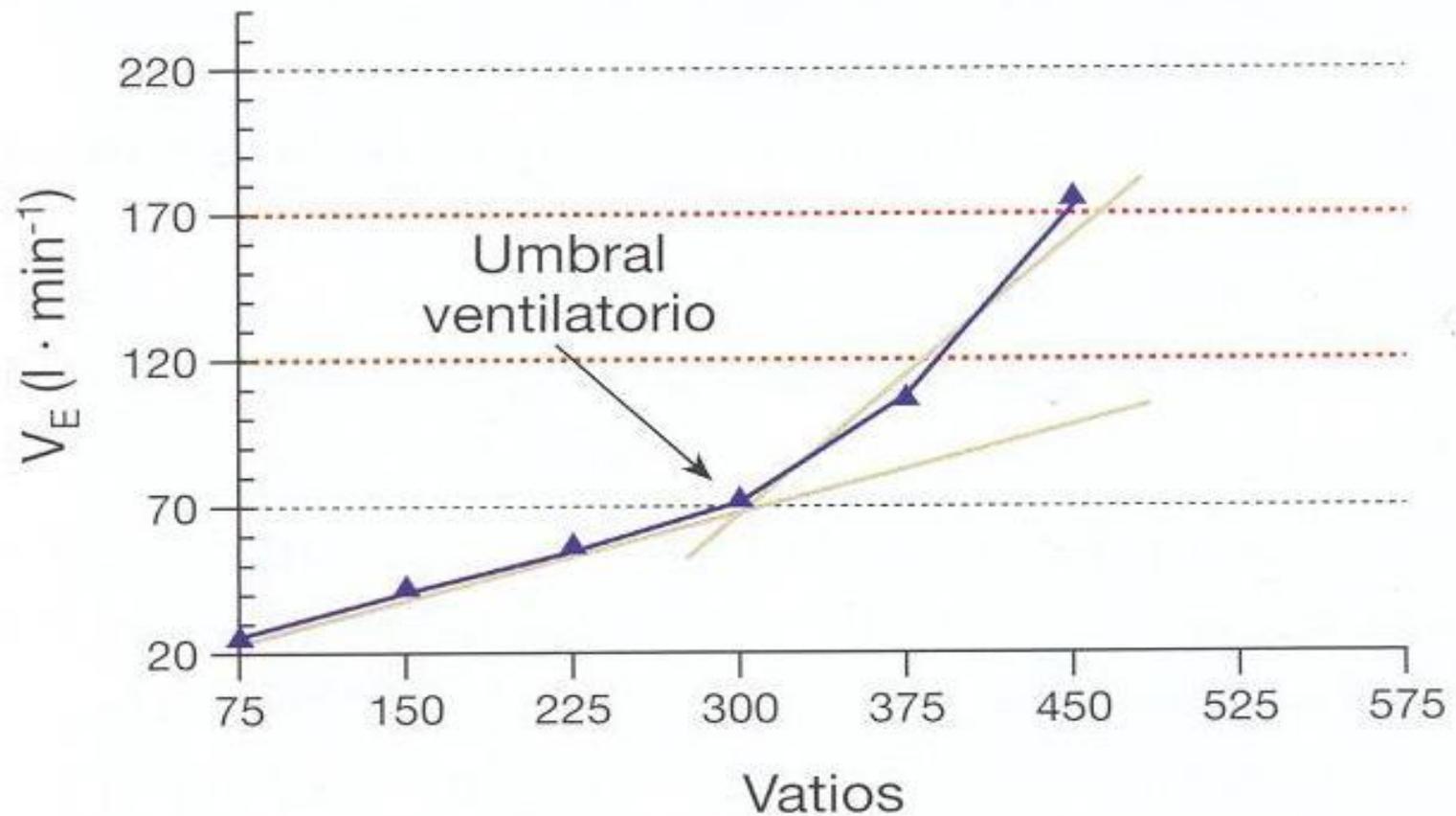


Figura 19.5. Respuesta de la ventilación pulmonar (V_E) al ejercicio incremental.

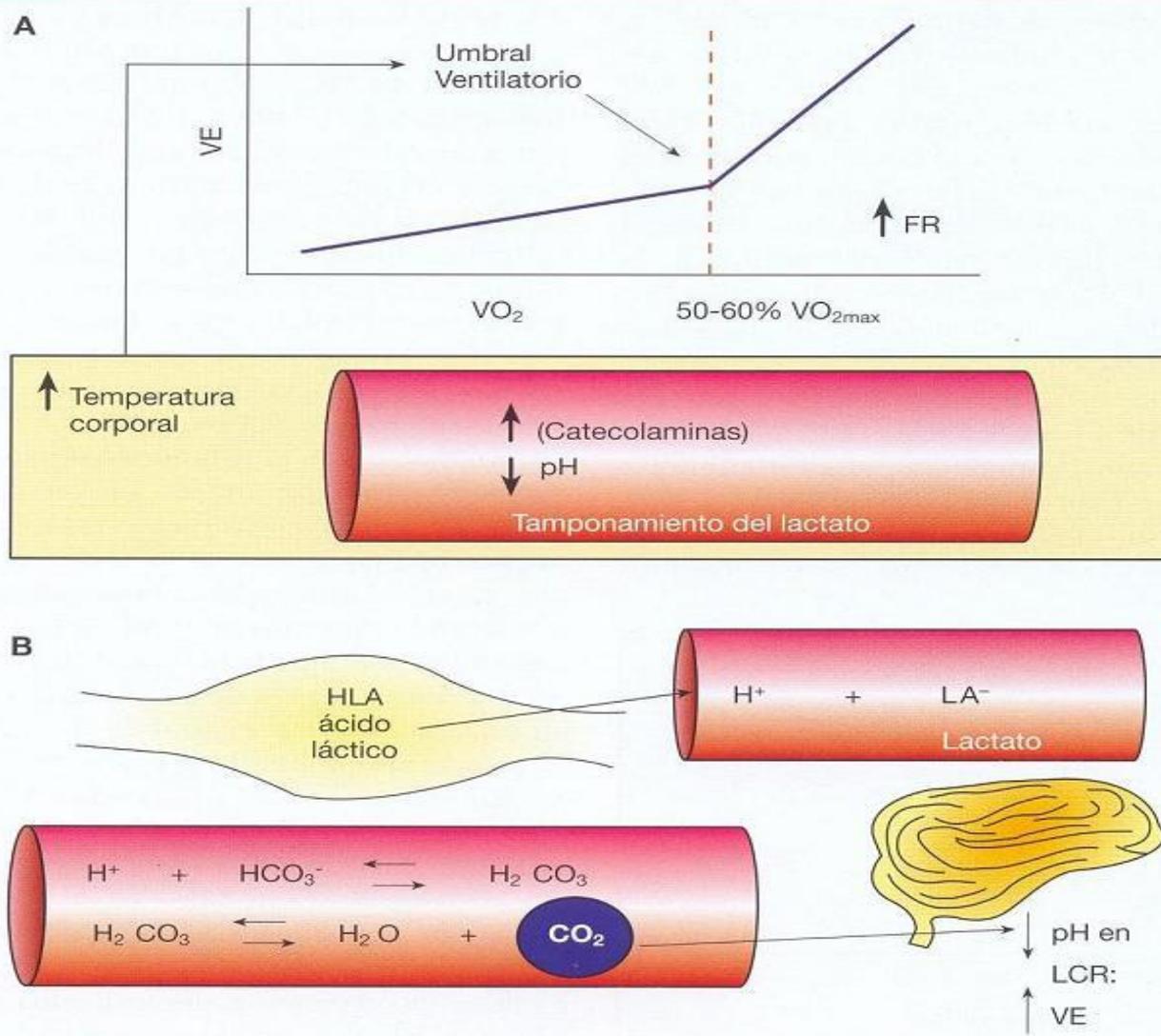


Figura 19.6. Mecanismos que justifican el punto de inflexión de la ventilación pulmonar (VE) durante el ejercicio incremental. FR: frecuencia respiratoria; LCR: líquido cefalorraquídeo.

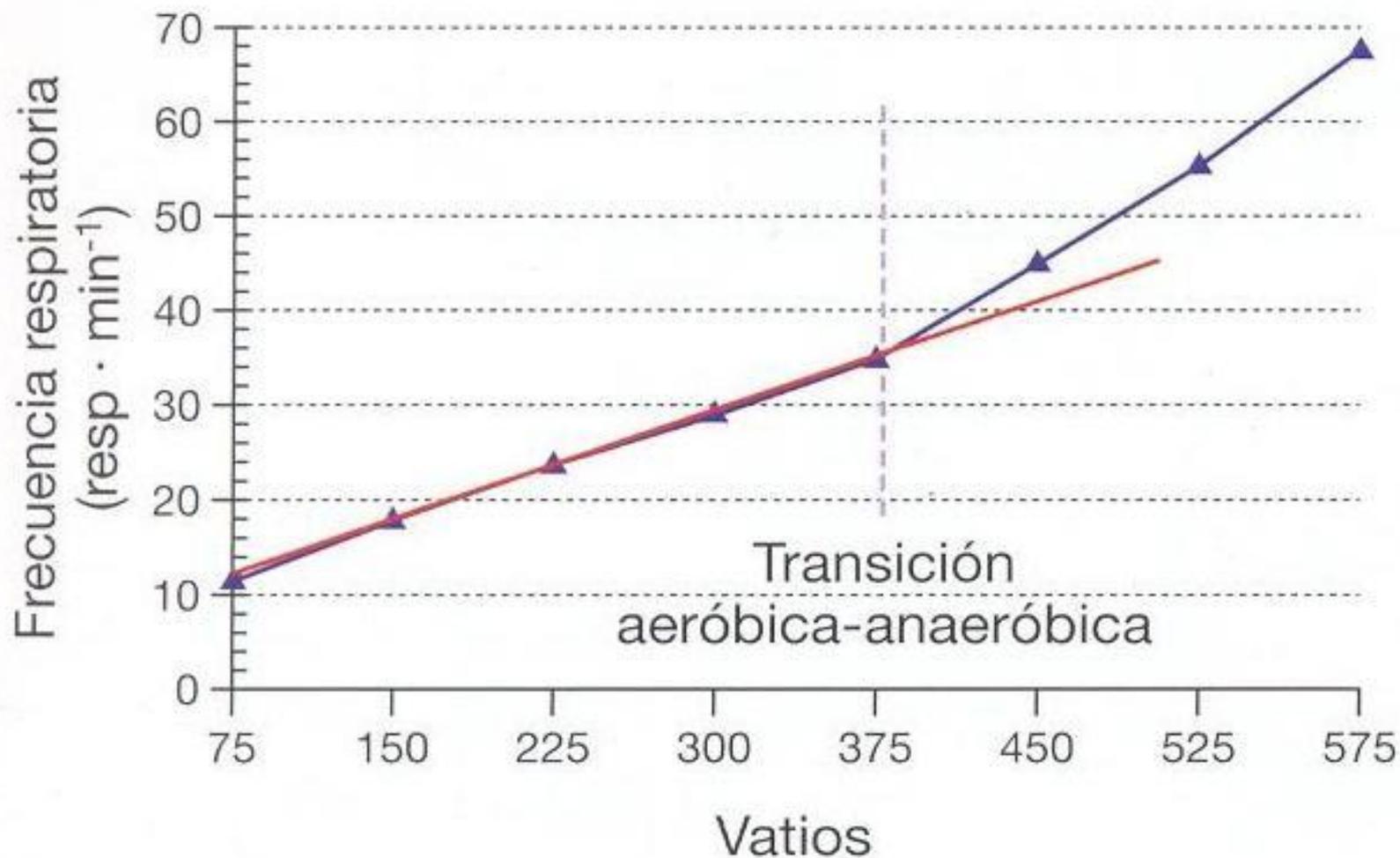


Figura 19.7. Respuesta de la frecuencia respiratoria al ejercicio de tipo incremental (test de esfuerzo).

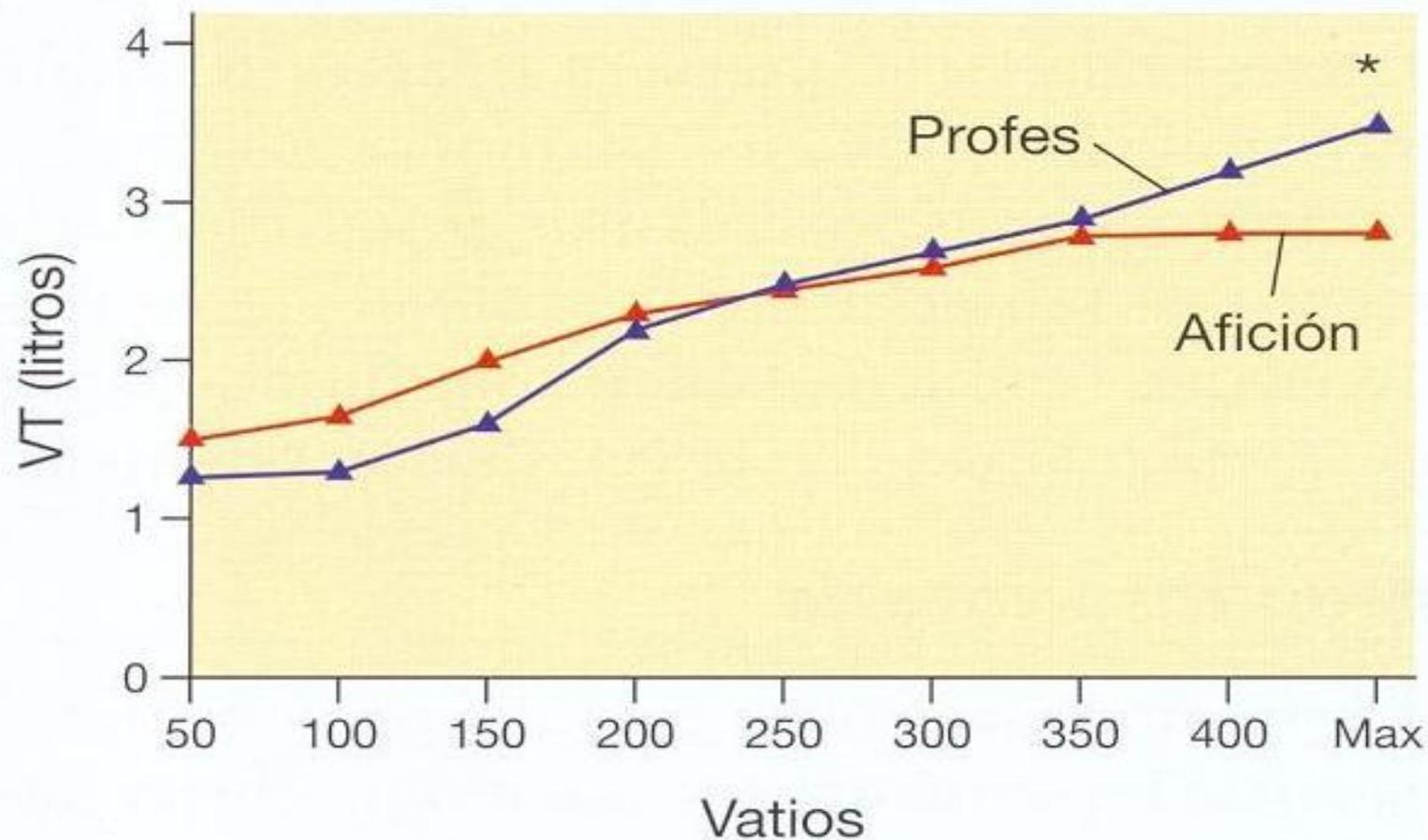


Figura 19.8. Respuesta del volumen tidal (VT) al ejercicio de tipo incremental (test de esfuerzo) en ciclistas aficionados y profesionales. * $p < 0,05$ (Profes vs afición) (Modificada de Lucía y cols., 1999.)

ADAPTACIONES EN LA VENTILACIÓN CON EL ENTRENAMIENTO



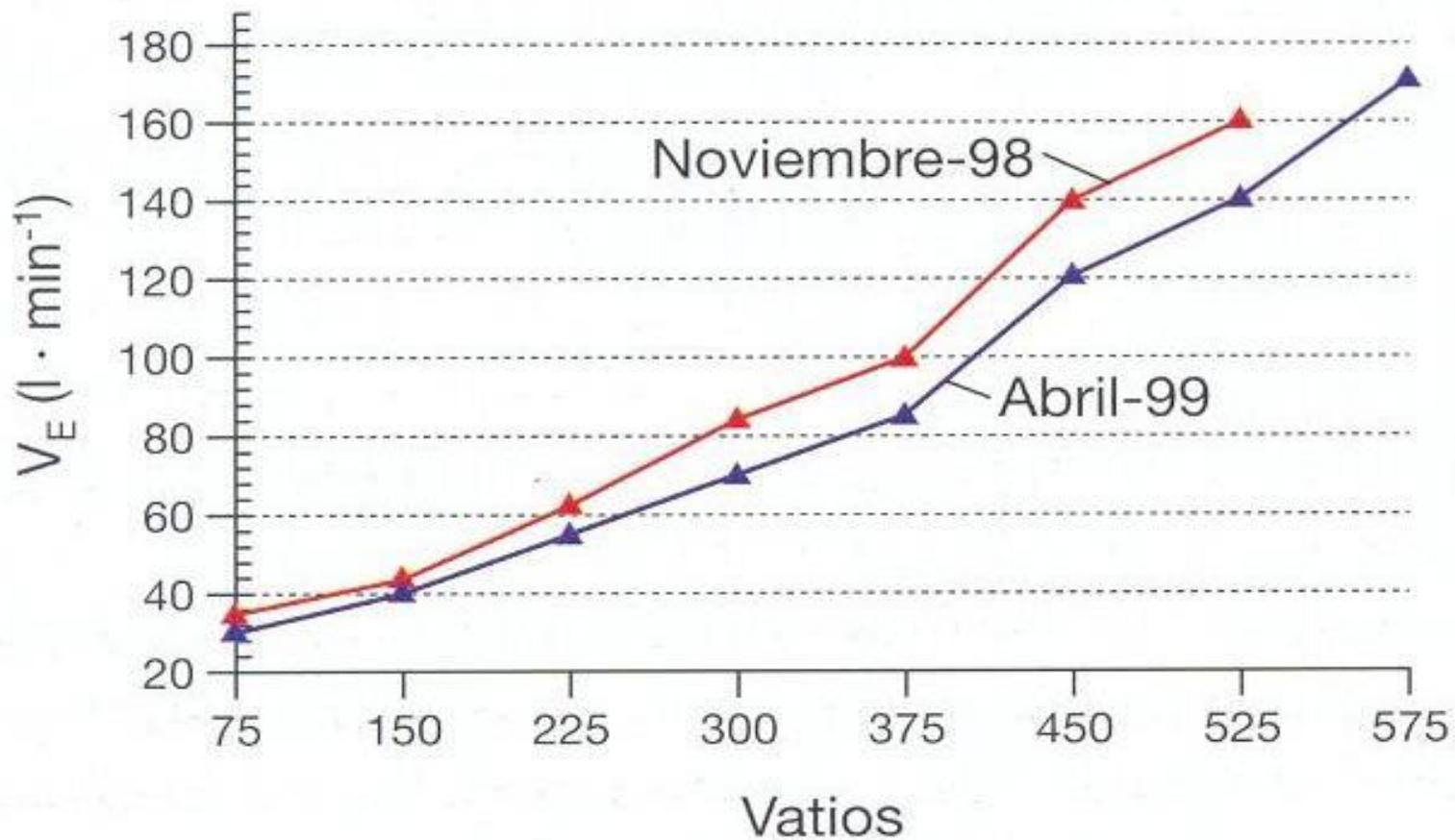


Figura 19.9. Respuesta de la ventilación pulmonar (V_E) después de un período de entrenamiento aeróbico de 5 meses.

COSTE ENERGÉTICO DE LA VENTILACIÓN

Sujetos sanos

El requerimiento energético de la ventilación

En reposo y durante un ejercicio ligero:

1,9 y 3,1 ml de O₂ por litro de aire ventilado,

= 4% de la producción energética total del organismo.

Ejercicio Moderado - Intenso

89 ml de O₂ X litro de aire ventilado, cuando la respiración es superior a 100L . min⁻¹, = 5 10% de la producción energética total.



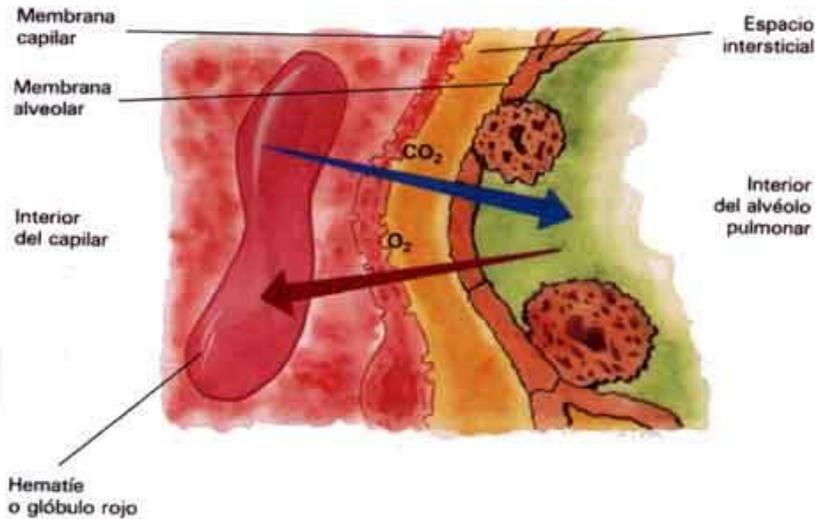
Personas con Enfermedad Respiratoria

Respirar puede representar un esfuerzo considerable.

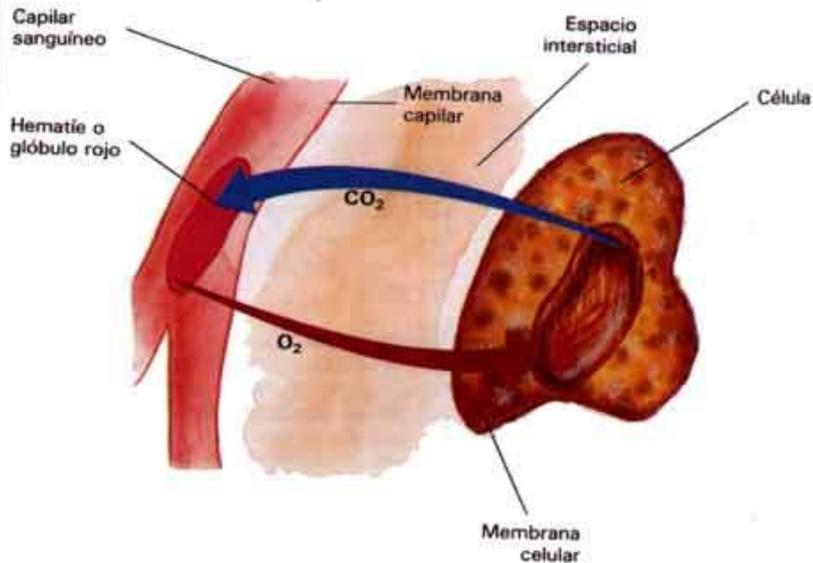
Coste energético = hasta el 40% => disminución de la cantidad de oxígeno disponible para los músculos no respiratorios => **limitación para realizar ejercicio.**



Intercambio de gases a nivel pulmonar



Intercambio de gases a nivel celular



DIFUSIÓN Y TRANSPORTE DE GASES EN EL EJERCICIO

Afectan el Intercambio

1. Espesor de la Membrana
2. Superficie de la Membrana
3. Coeficiente de Difusión (Peso molecular y Solubilidad)
4. Gradientes de Presión

CAPACIDAD DE DIFUSIÓN

Volumen de gas que difundirá a través de una membrana para un gradiente de presión de 1mmHg en un minuto.

(ml.min * mmHg)

La ley de Henry relaciona la concentración de un gas en un líquido según la presión parcial de ese gas en el medio que rodea al líquido

a una temperatura constante, la cantidad de gas disuelta en un líquido es directamente proporcional a la presión parcial que ejerce ese gas sobre el líquido.

La **Ley de Henry** fue formulada en 1803 por William Henry. Matemáticamente se formula del siguiente modo:

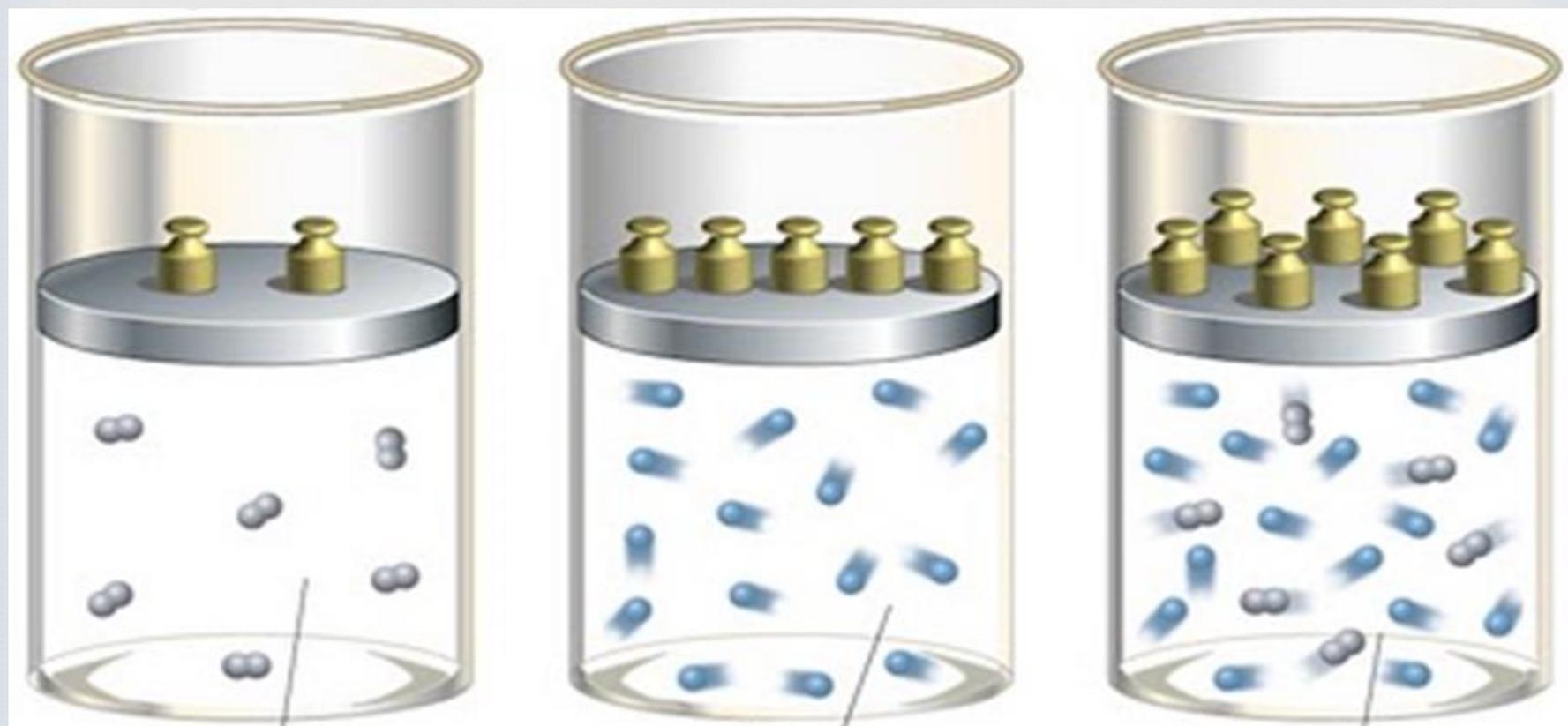
$$C = K \cdot P_p$$

$$K = \frac{C}{P}$$

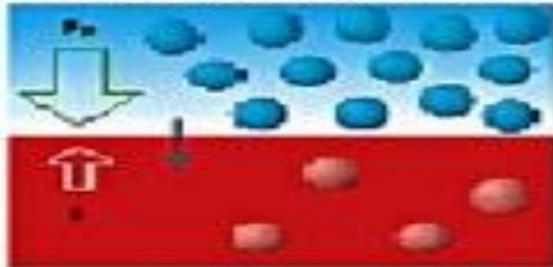
Donde:

- P= es la presión parcial del gas.
- C= es la concentración del gas.
- K= es la constante de Henry, que depende de la naturaleza del gas, la temperatura y el líquido.



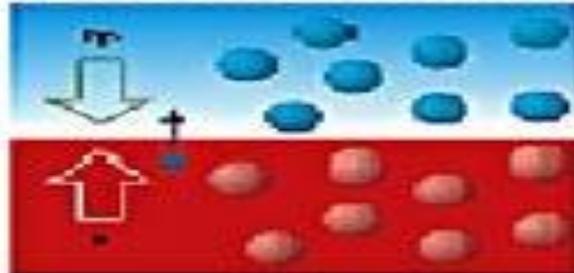


El gas se disuelve



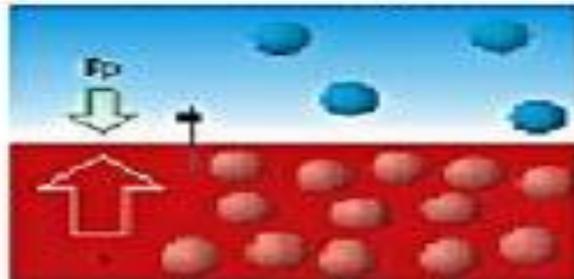
SANGRE INSATURADA

El gas no se disuelve

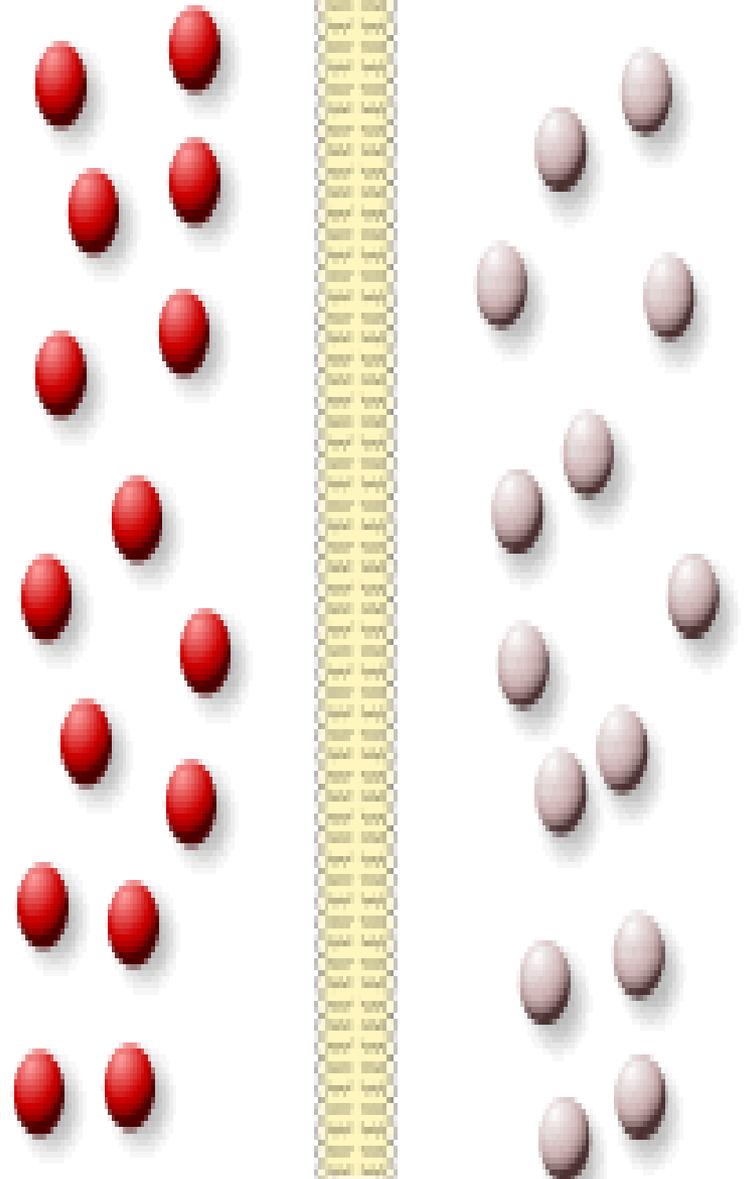


SANGRE SATURADA

El gas disuelto pasa al aire



SANGRE SOBRESATURADA



EL CUERPO HUMANO

La temperatura de la sangre no cambia significativamente.

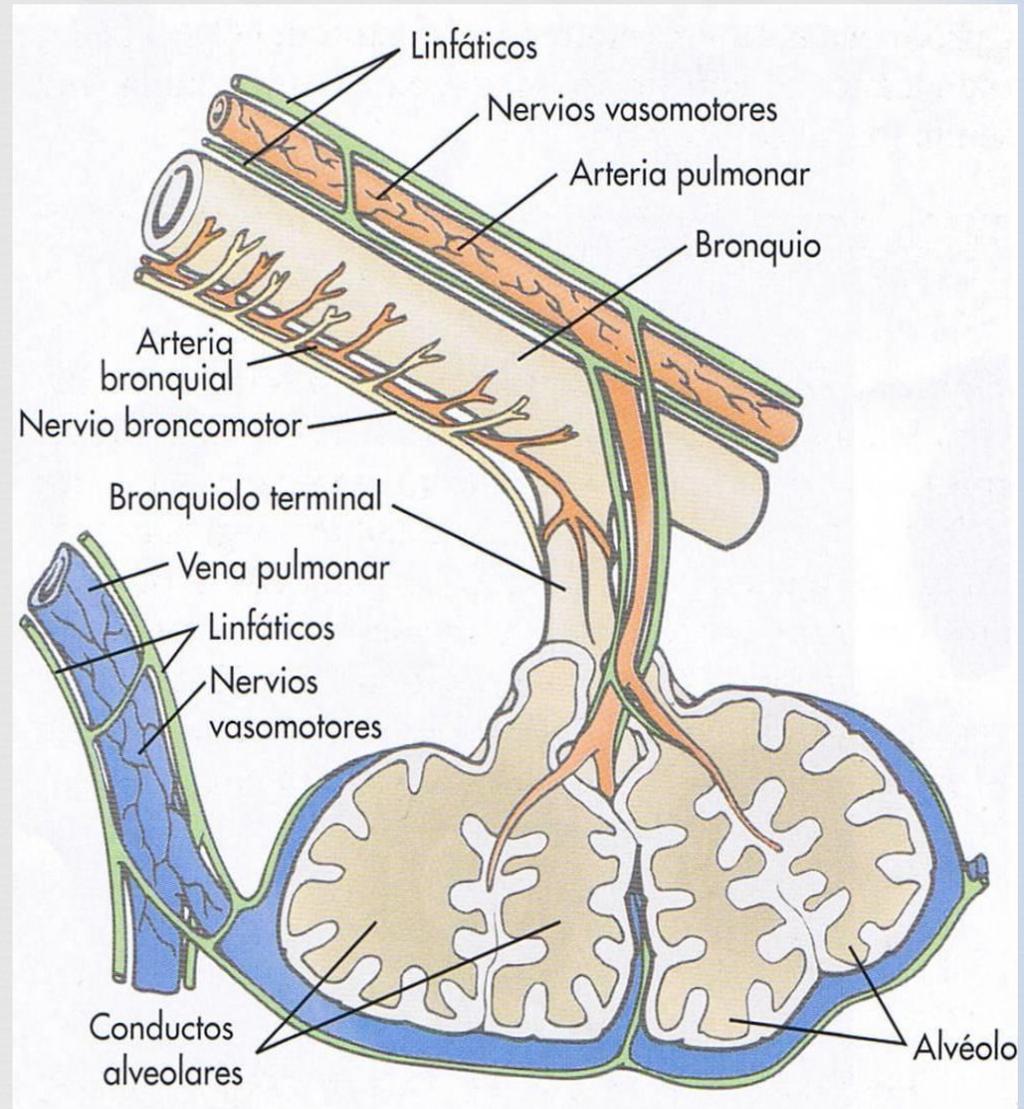
La solubilidad del gas permanece constante.

Presión Parcial en el alveolo si cambia.



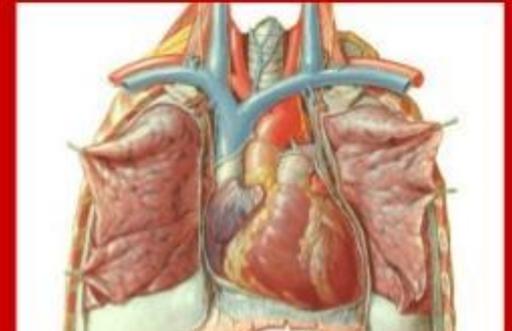
Además del ejercicio físico afectan el intercambio gaseoso:

1. **Shunt PostPulmonar** inferior al 2%
2. **Hipoventilación**
3. **Alteración relación VA/Q**



SHUNT Y ESPACIO MUERTO

- El entendimiento de las desigualdades de la ventilación perfusión se inicia con el modelo de los tres compartimientos-.
- EL CORTO CIRCUITO (Q_N) el alveolo está perfundido pero no ventilado.
- ESPACIO MUERTO el alveolo está ventilado pero no perfundido.



Además del ejercicio físico afectan el intercambio gaseoso:

4. **Reducción área de superficie alveolar**
5. **Capacidad de difusión.**
6. **Altitud**



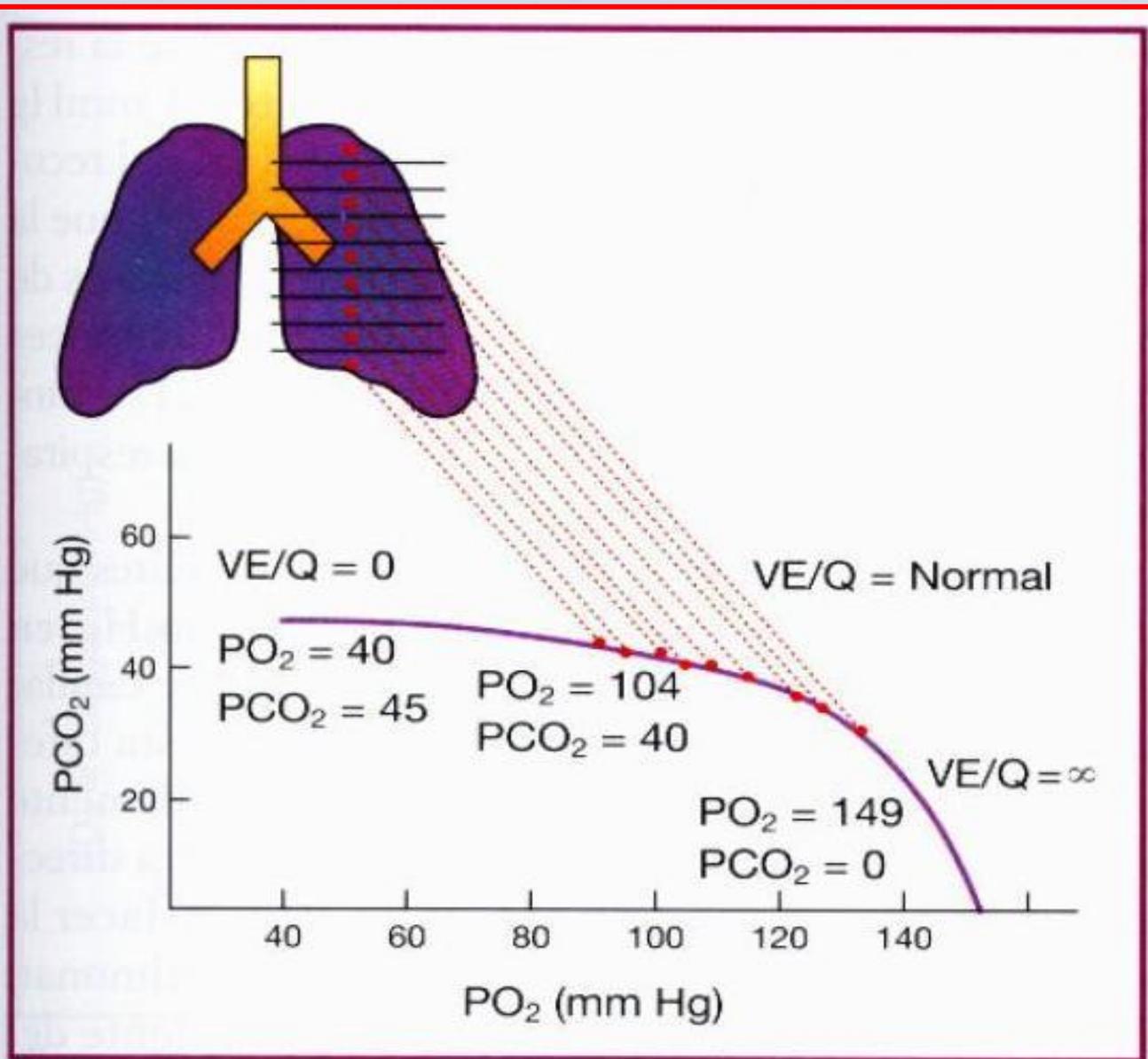
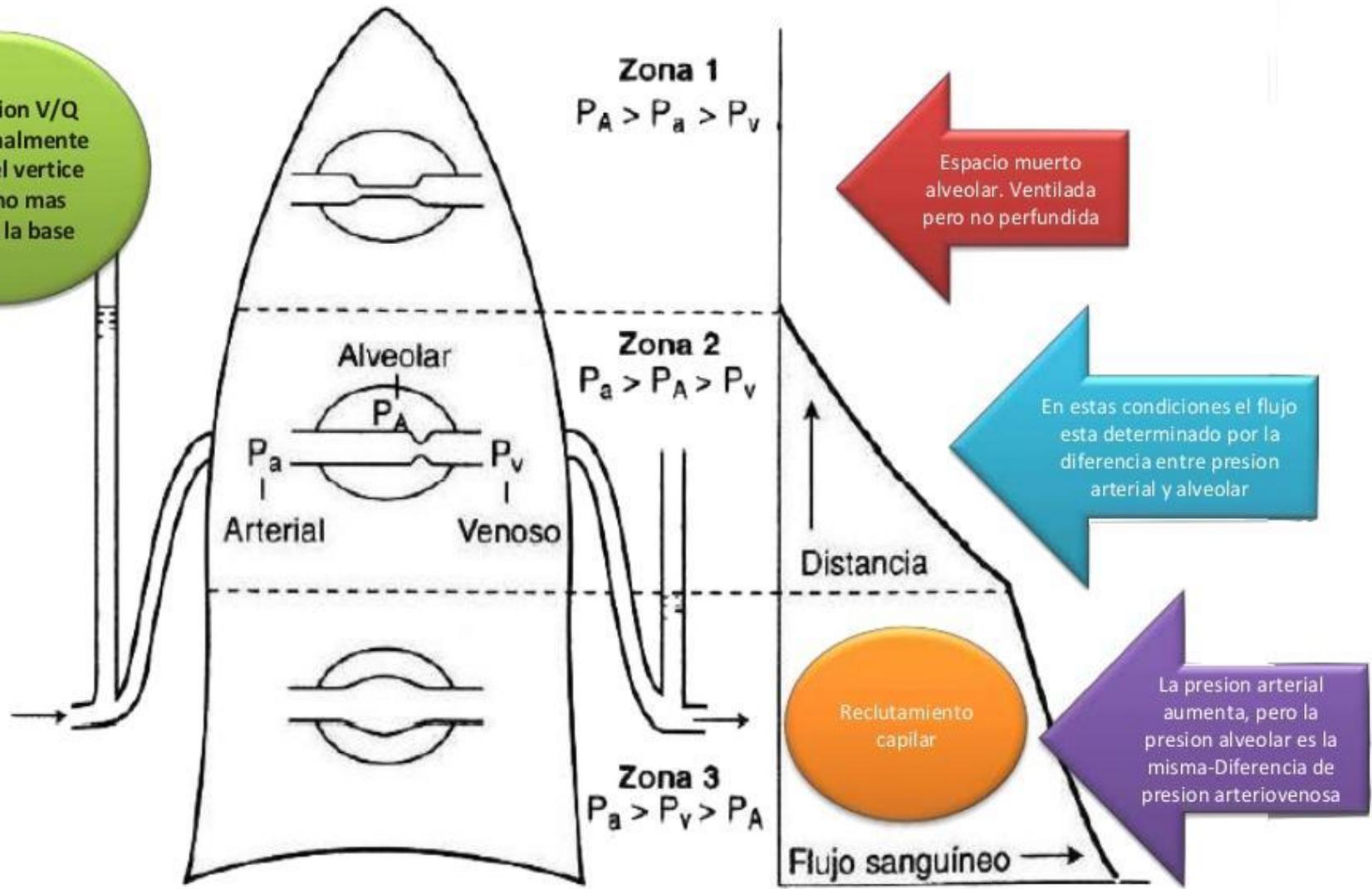


Figura 20.1. Distribución topográfica de la relación VE/Q .

La relación V/Q es anormalmente alta en el vertice y mucho mas baja en la base



Explicación de la distribución no uniforme del flujo sanguíneo en el pulmón, basada en las presiones que afectan a los capilares.

Tabla 1
Presiones parciales, a nivel del mar, de los gases contenidos en el aire respirado

	Presión parcial en el aire atmosférico		Presión parcial en el aire traqueal húmedo		Presión parcial en el aire alveolar húmedo		Presión parcial en el aire espirado húmedo	
	mmHg	%	mmHg	%	mmHg	%	mmHg	%
Nitrógeno	597,4	78,61	563,4	74,13	569,0	74,86	566,0	74,47
Oxígeno	158,8	20,89	149,1	19,61	103,8	13,66	119,8	15,76
Anhídrido carbónico	0,3	0,04	0,3	0,04	40,0	5,26	27,0	3,55
Agua	3,0	0,40	47,0	6,20	47,0	6,20	47,0	6,20
Otros gases	0,5	0,06	0,2	0,02	0,2	0,02	0,2	0,02
Total	760	100	760	100	760	100	760	100

CIUDAD	ALTURA	PRESIÓN ATMOSFÉRICA
Guayaquil	0 mts	760mmHg
Bogotá	2.600 mts	560mmHg
Quito	2.800 mts	546mmHg
La Paz	3.500 mts	500mmHg
Monte Everest	8.848 mts	250mmHg

Aire atmosférico

pO₂ – 160mmHg

pN₂ – 600mmHg

Total 760mmHg

Aire alveolar

pO₂ – 104mmHg

pN₂ – 569mmHg

pH₂O – 47mmHg

pCO₂ – 40mmHg

Total 760mmHg

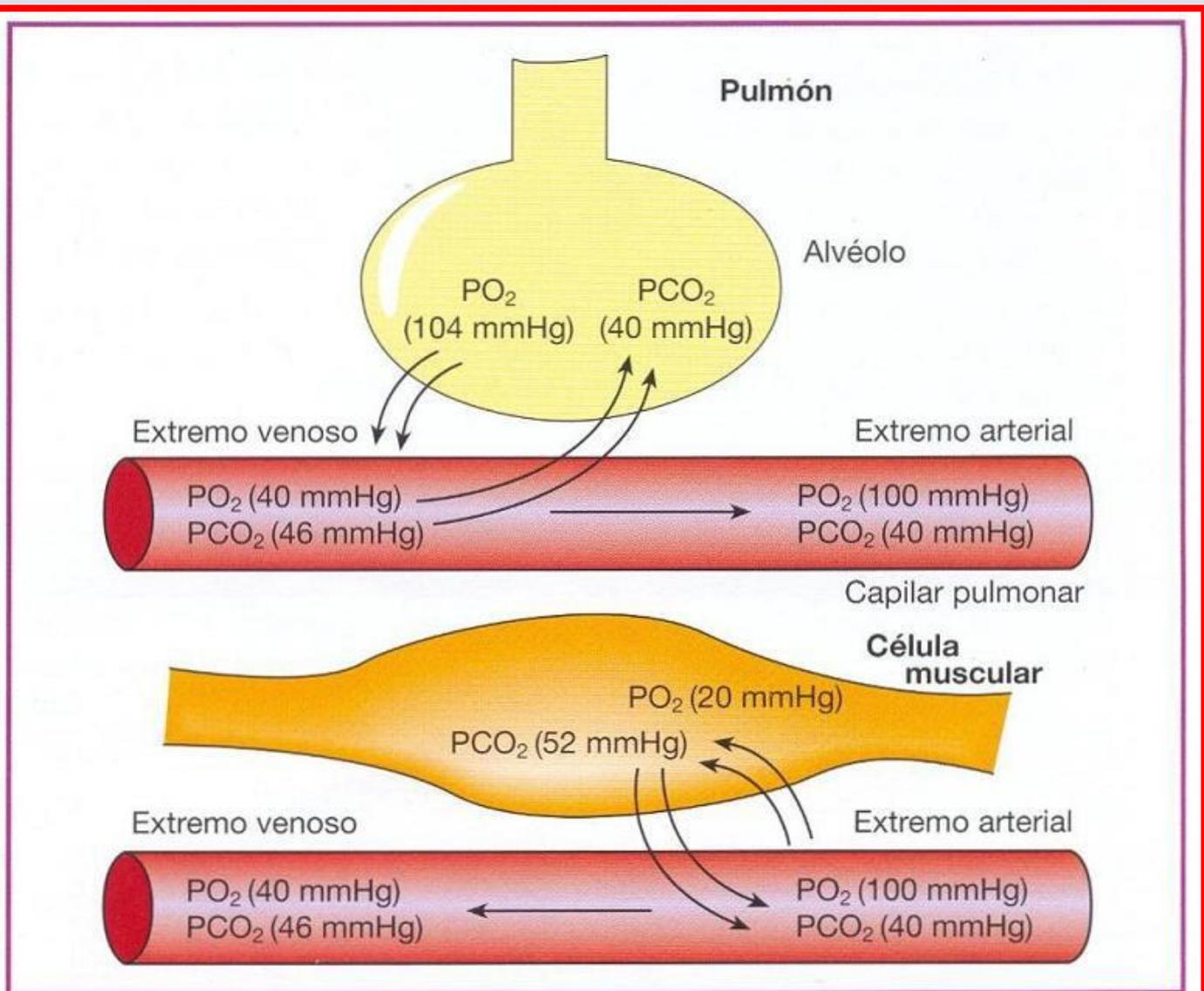
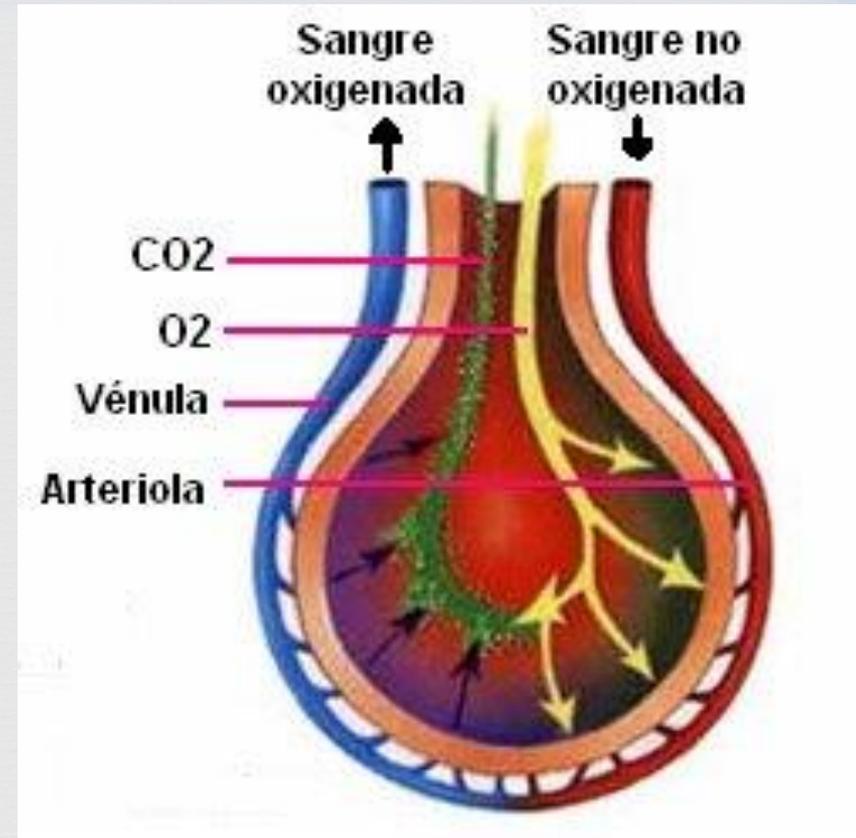


Figura 20.2. Presión parcial de oxígeno (PO_2) y dióxido de carbono (PCO_2) en sangre como resultado del intercambio gaseoso en los pulmones y en los tejidos.

Concentración de oxígeno en los alveolos:

1. Velocidad con que penetra en los pulmones el O_2 procedente de la Atmosfera
2. Velocidad con que pasa el O_2 a la sangre.



Capacidad de difusión del oxígeno en reposo:

✓ $= 21 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mmHg}^{-1} = 230 \text{ ml de } O_2 \cdot \text{min}^{-1} (11 \times 21)$

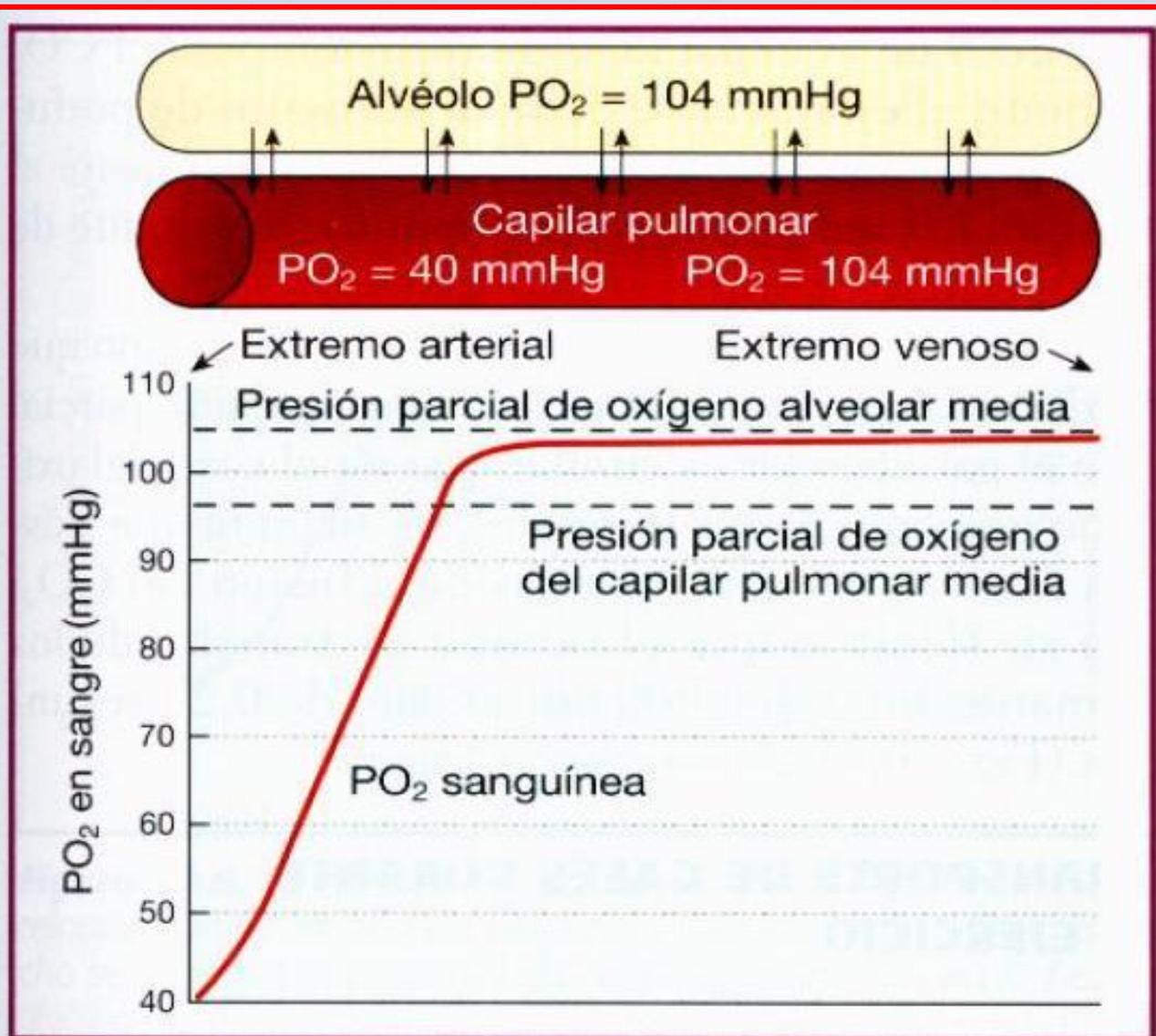


Figura 20.3. Difusión de oxígeno desde el aire alveolar al capilar pulmonar.

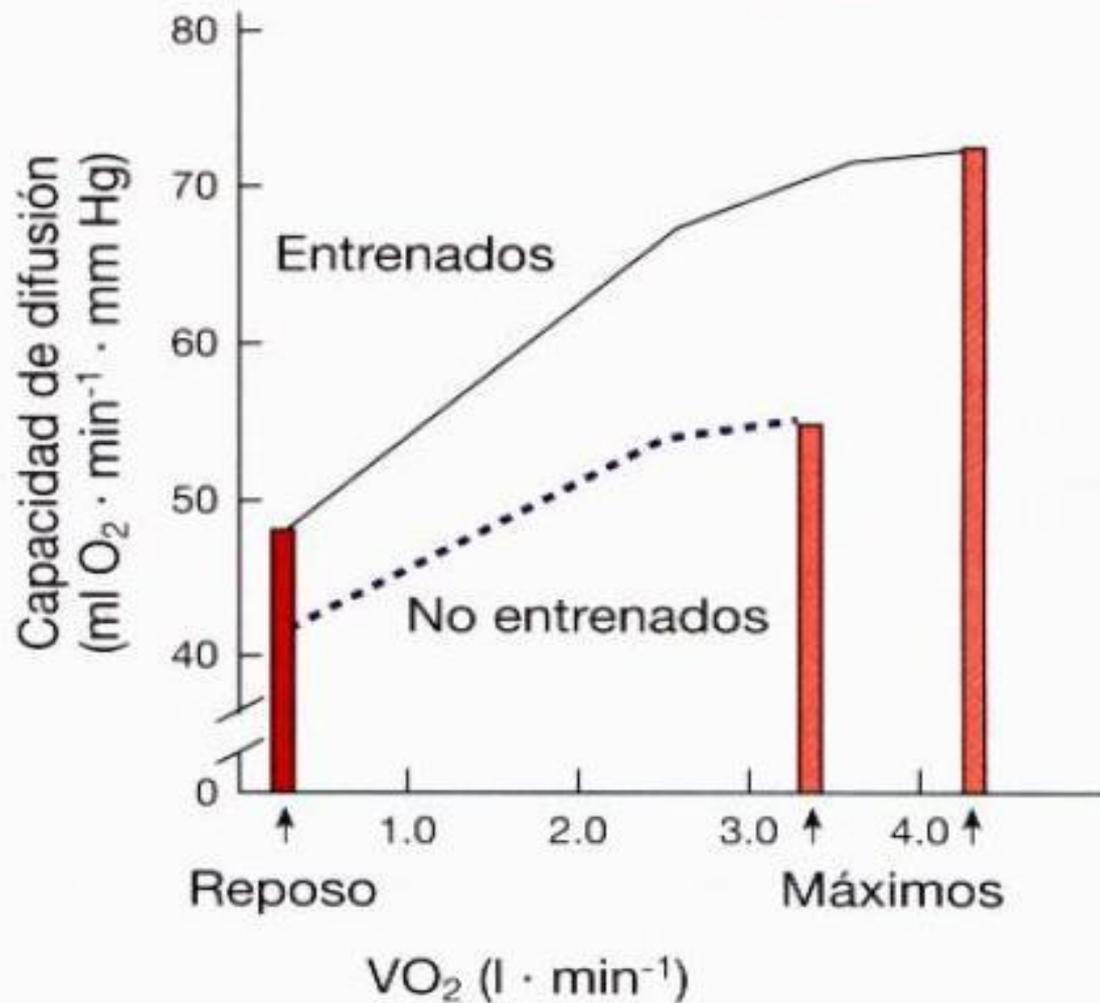


Figura 20.4. Aumento de la capacidad de difusión durante el ejercicio en sujetos entrenados y no entrenados

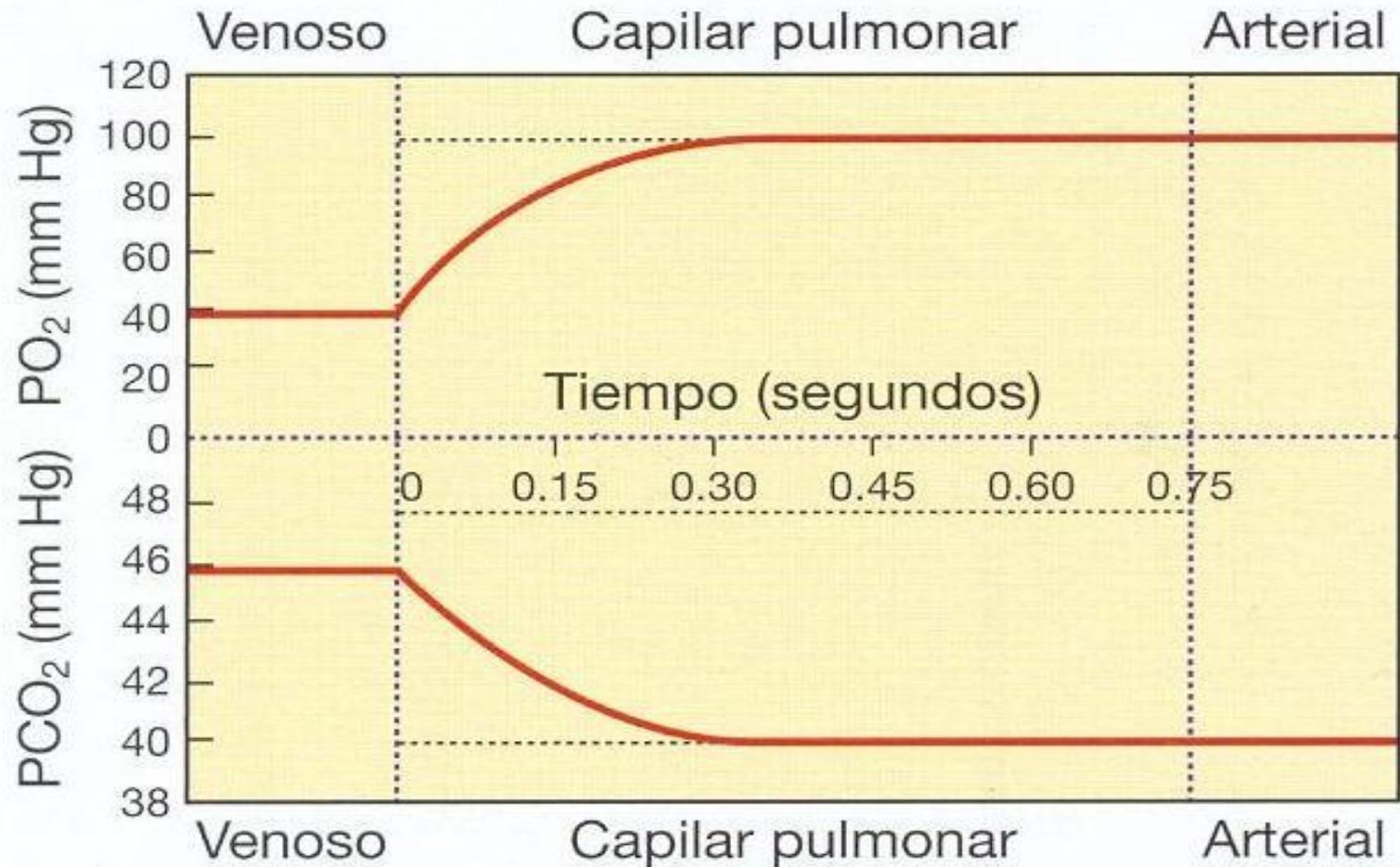
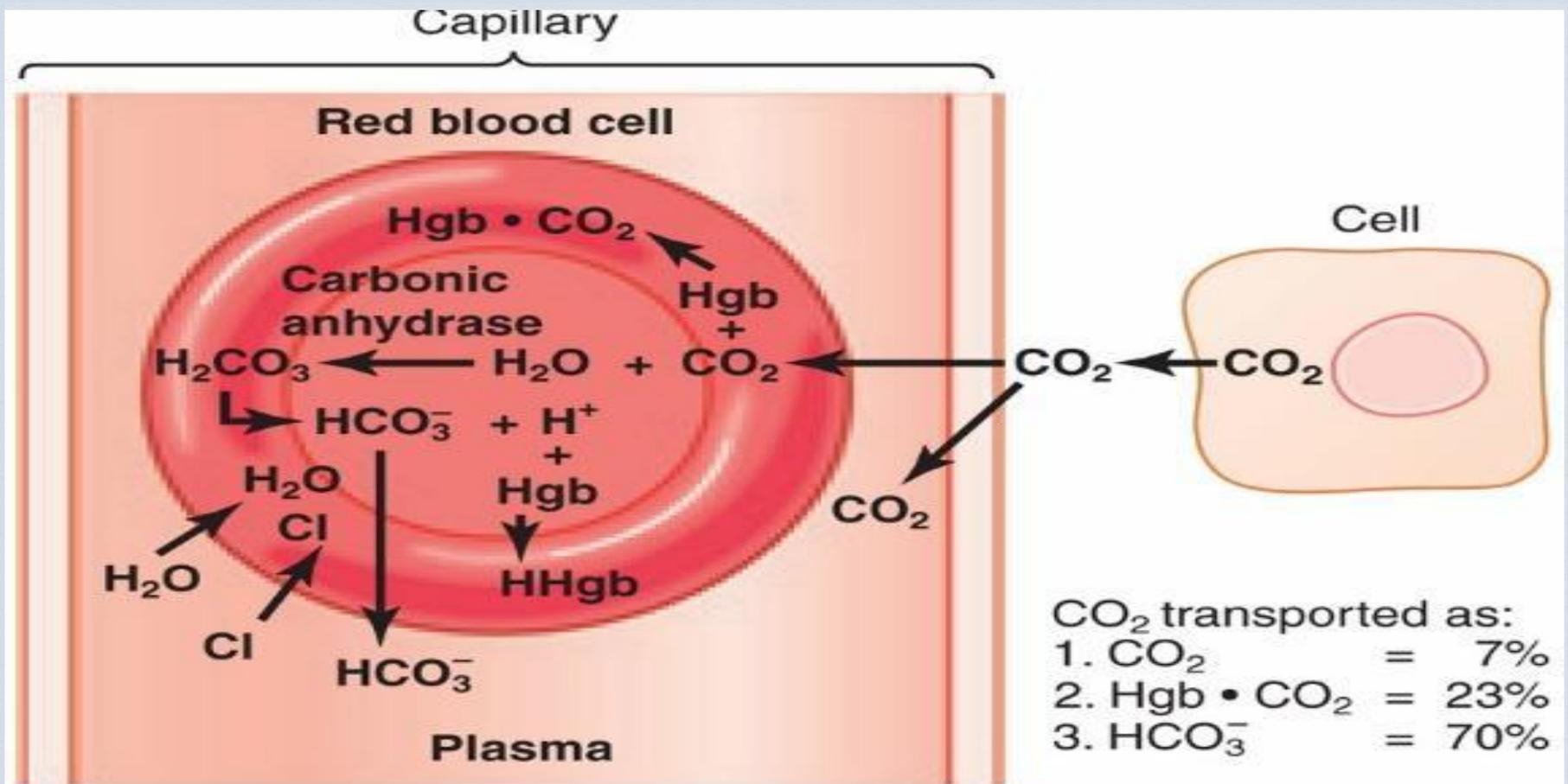
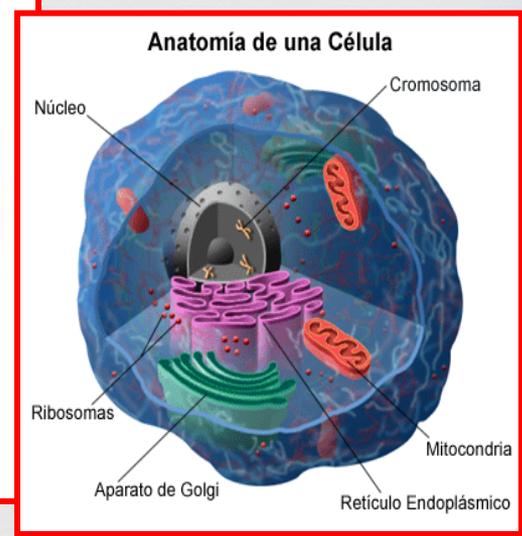
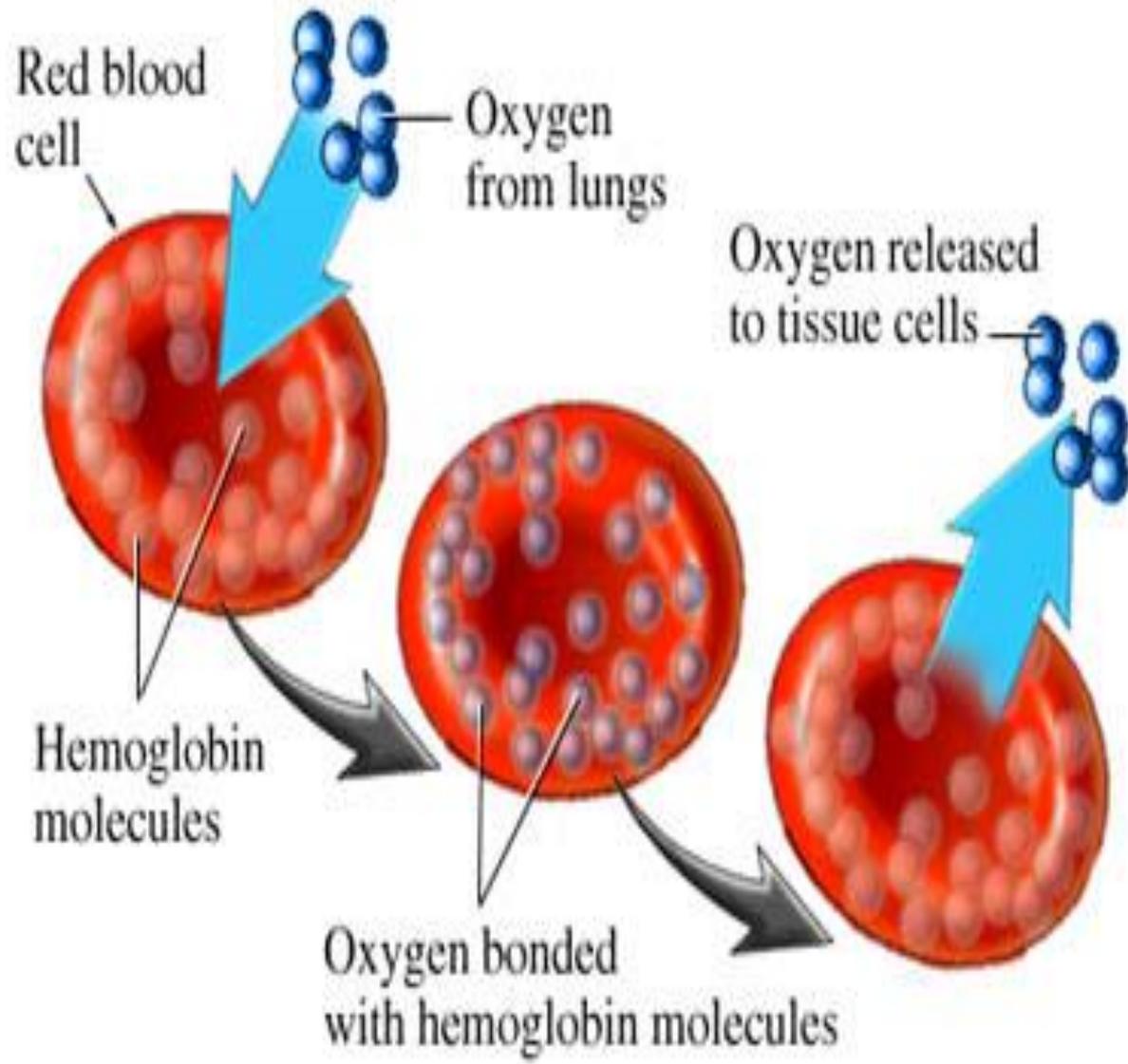


Figura 20.5. Tiempo de tránsito de los hematíes a través de los capilares pulmonares.



Hall: Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology, 12th Edition
 Copyright © 2011 by Saunders, an imprint of Elsevier, Inc. All rights reserved.

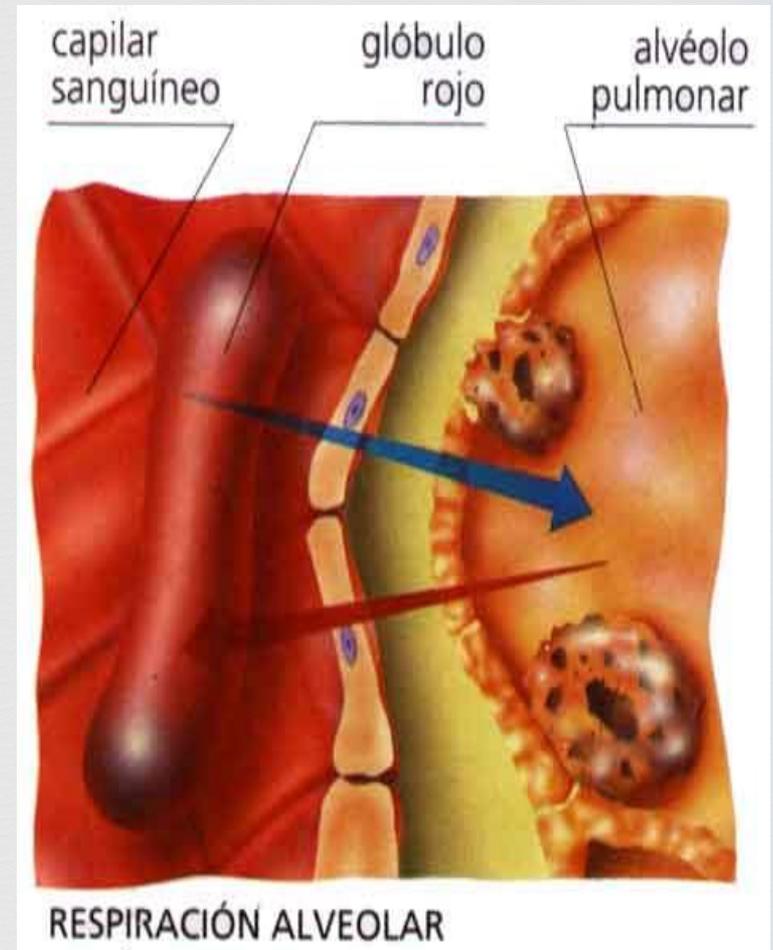
La resistencia a la difusión de oxígeno se localizaría principalmente en el trayecto desde el hematíe hasta el exterior de la pared capilar de la musculatura activa;



Difusión de dióxido de carbono

La concentración de CO_2 en los alvéolos depende de dos factores:

- 1) De la eliminación de CO_2 de la sangre a los alvéolos.
- 2) De la rapidez con la que es eliminado el CO_2 de los alvéolos por la ventilación pulmonar.



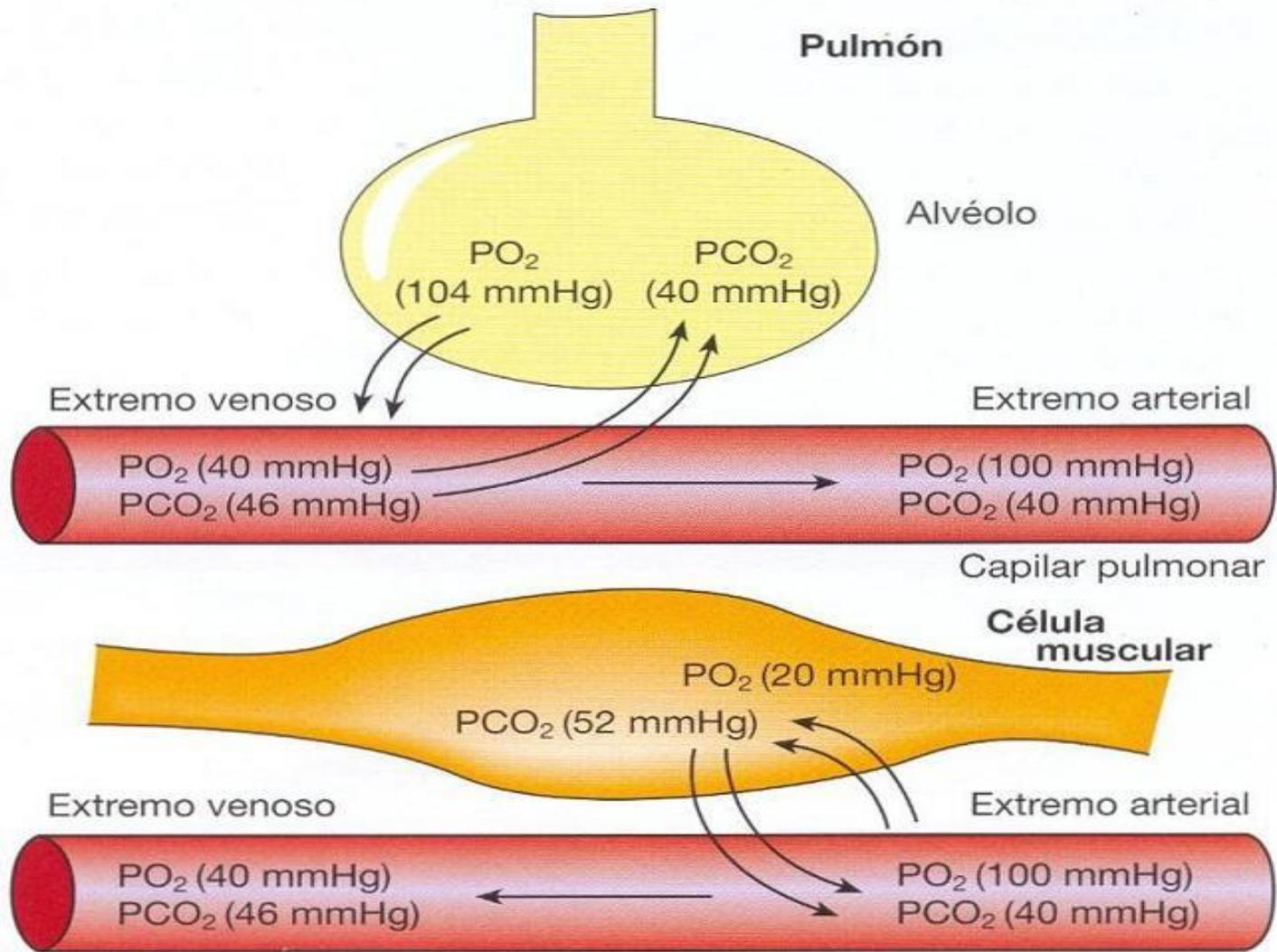
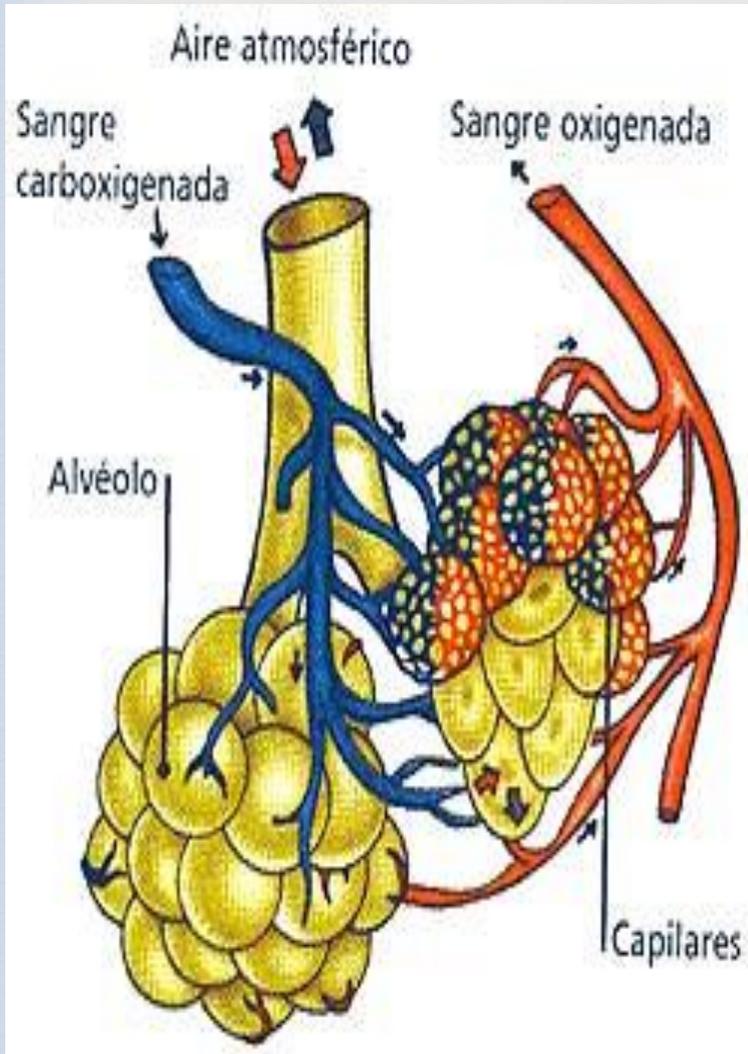


Figura 20.2. Presión parcial de oxígeno (PO_2) y dióxido de carbono (PCO_2) en sangre como resultado del intercambio gaseoso en los pulmones y en los tejidos.

El aumento de la capacidad de difusión

para el CO_2 durante el ejercicio se debe:

1. Al aumento de perfusión pulmonar.
2. Aumento importante de la superficie de intercambio gaseoso.



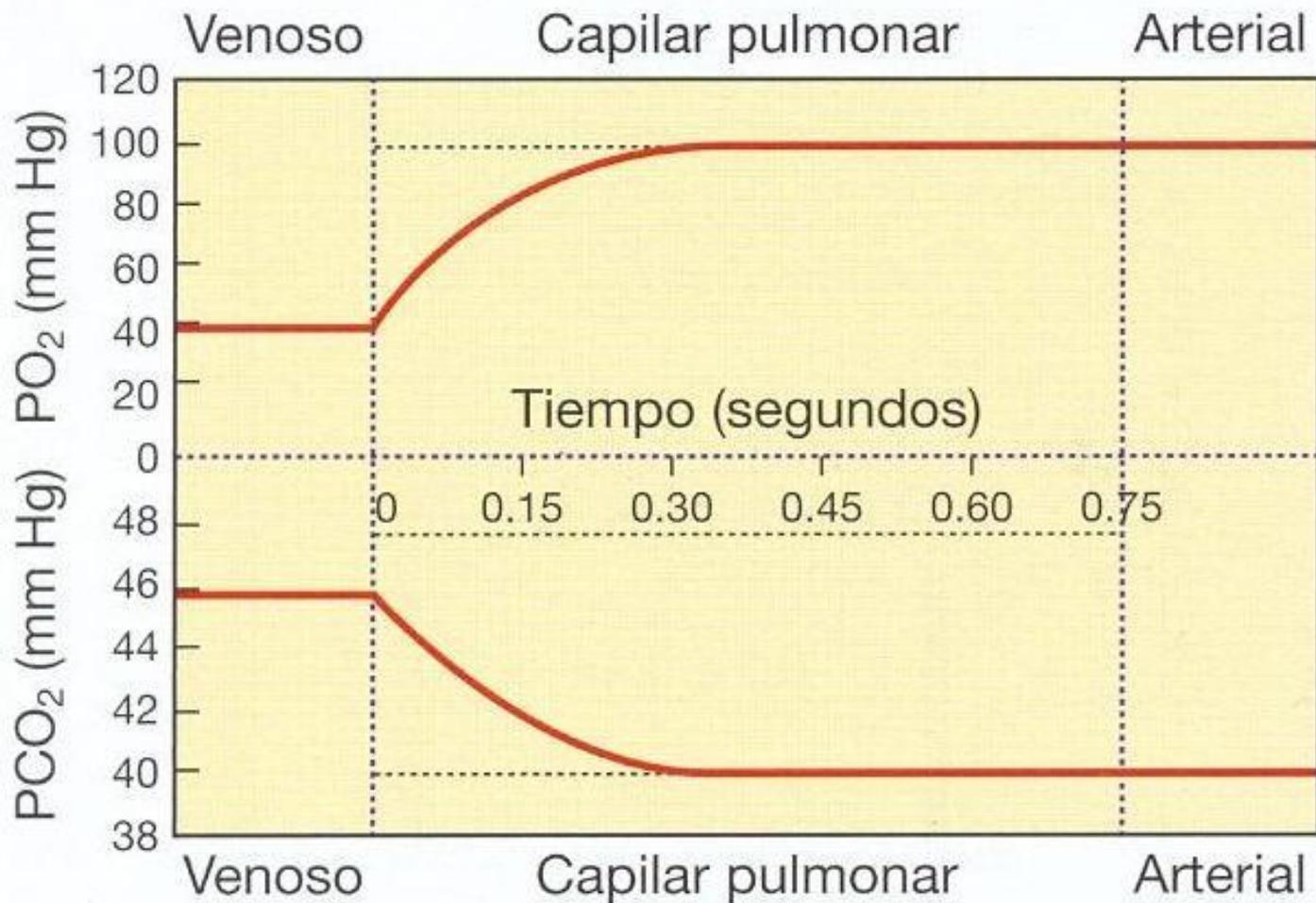
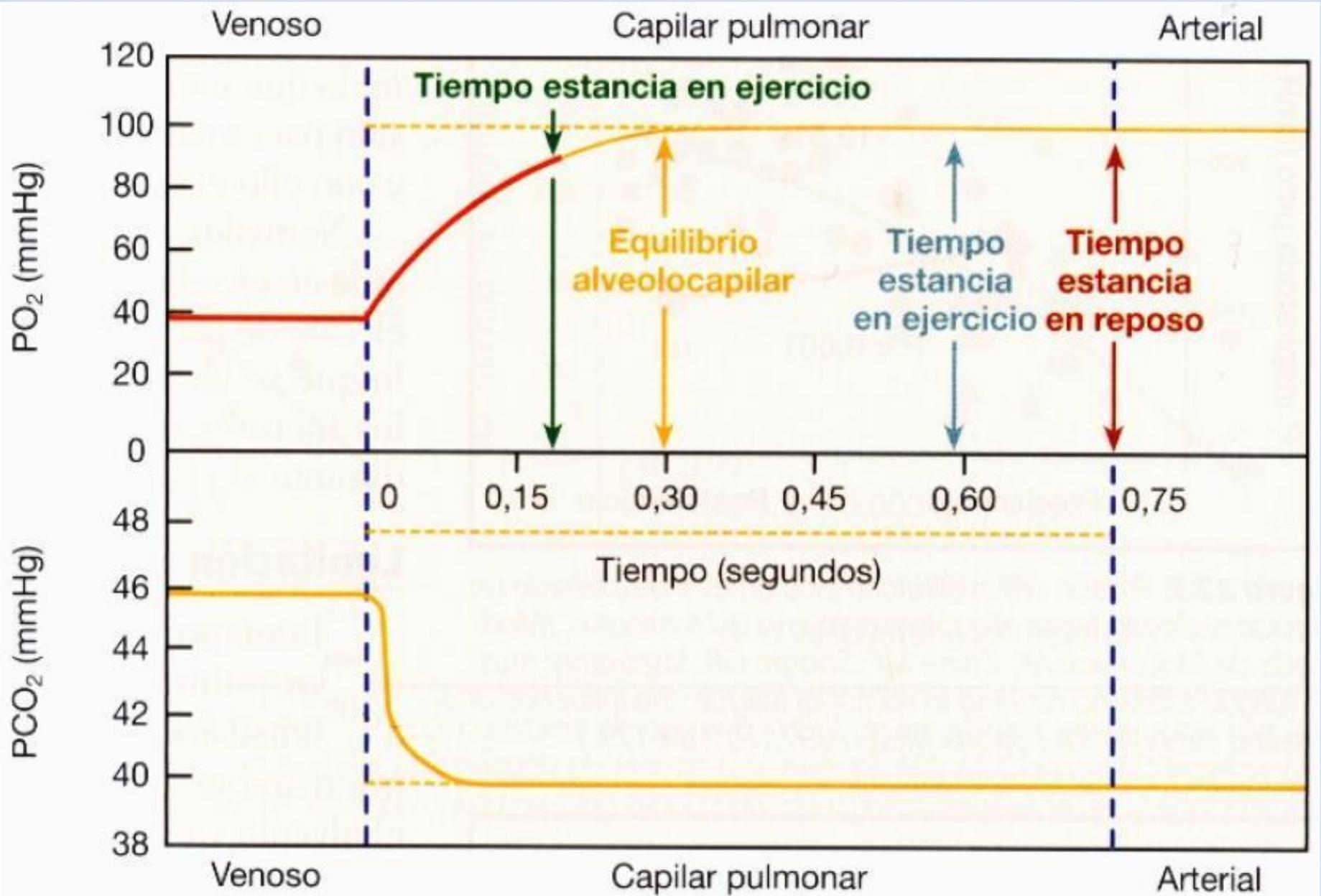


Figura 20.5. Tiempo de tránsito de los hematíes a través de los capilares pulmonares.



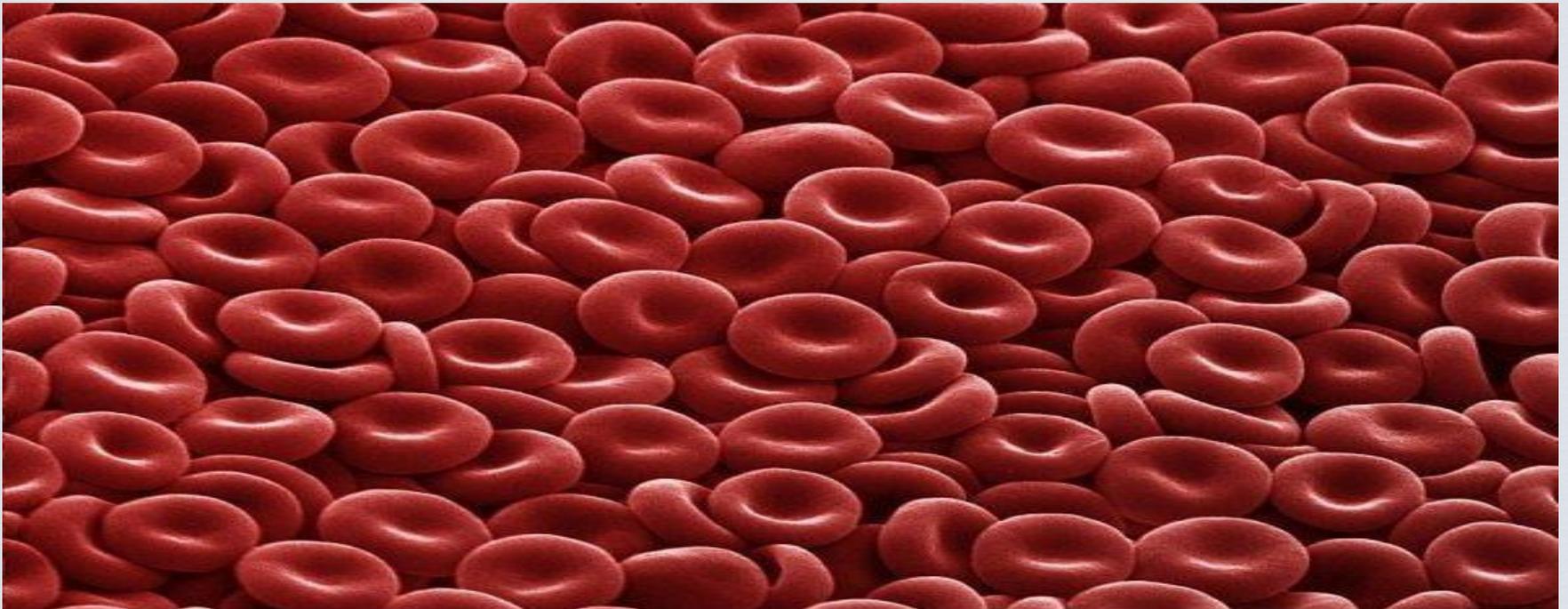
TRANSPORTE DE GASES DURANTE EL EJERCICIO

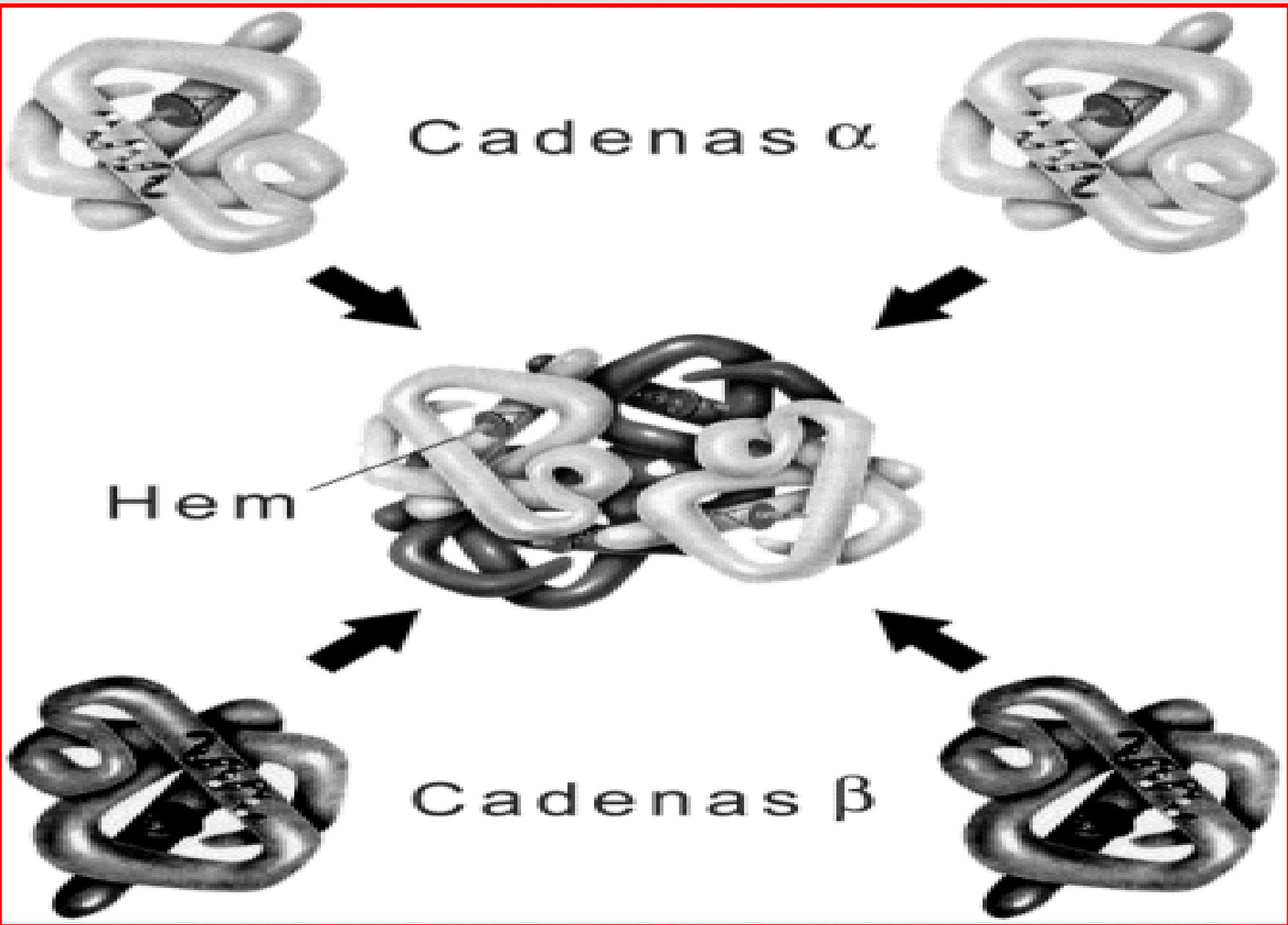


Transporte de oxígeno

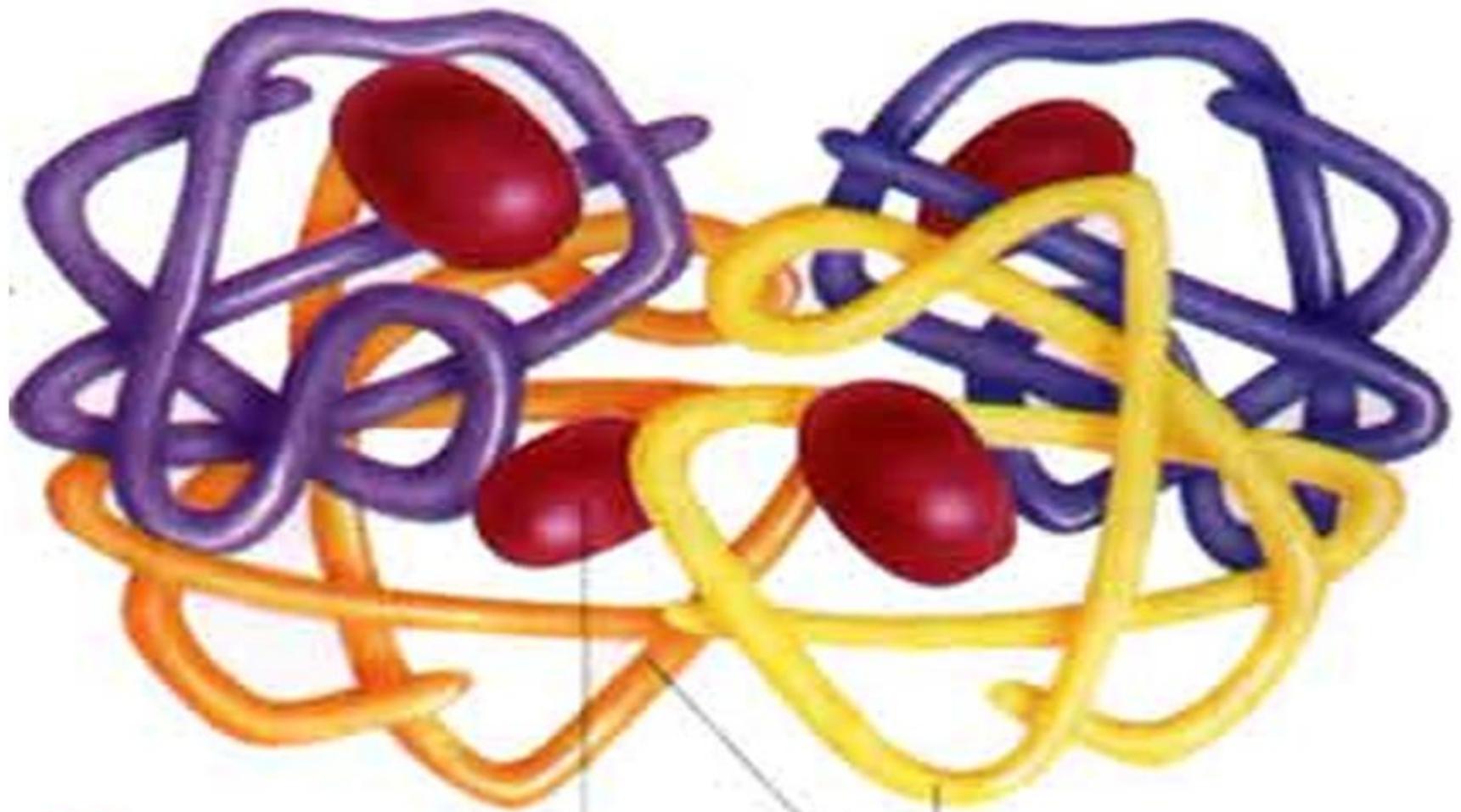
97-98% con la *hemoglobina* (Hb)

2-3% disuelto en el agua del plasma y de las células.





HEMOGLOBINA



grupo hemo

globina
(proteína)



Transporte de oxígeno

La unión del oxígeno a la hemoglobina depende:

1) De la PO_2 en la sangre

2) De la afinidad de la Hb por el oxígeno.



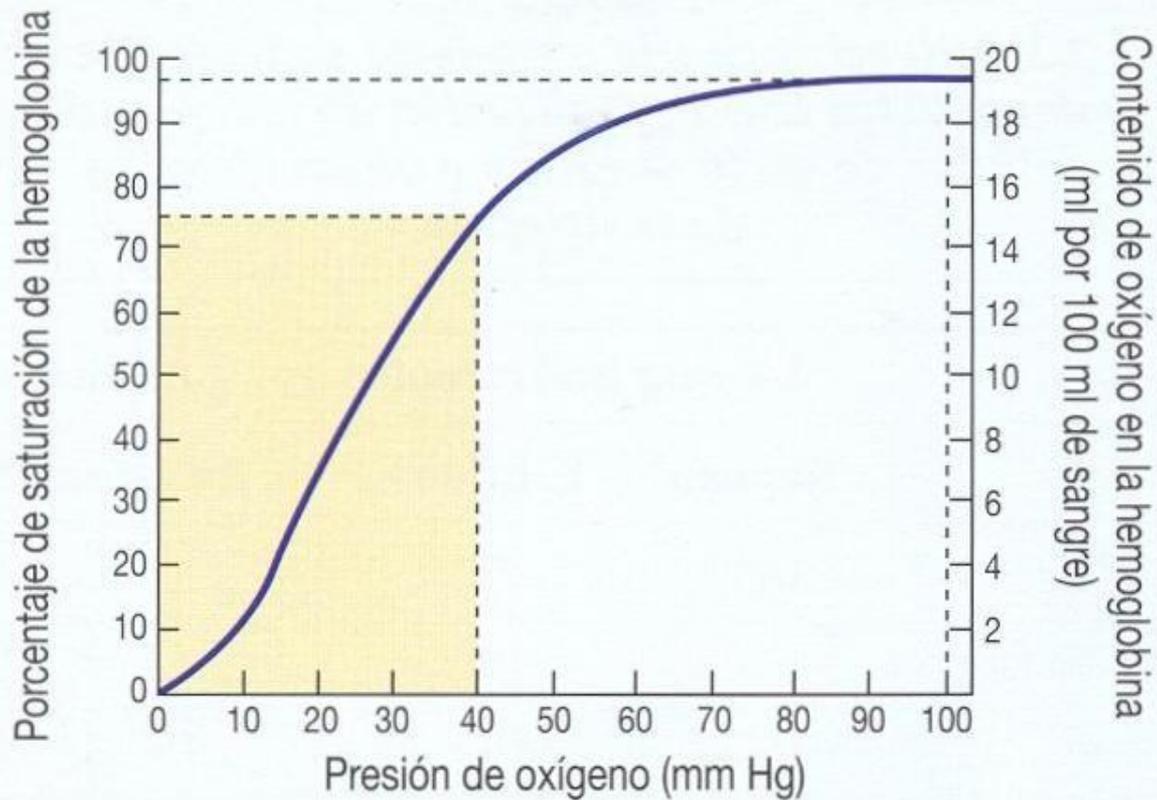
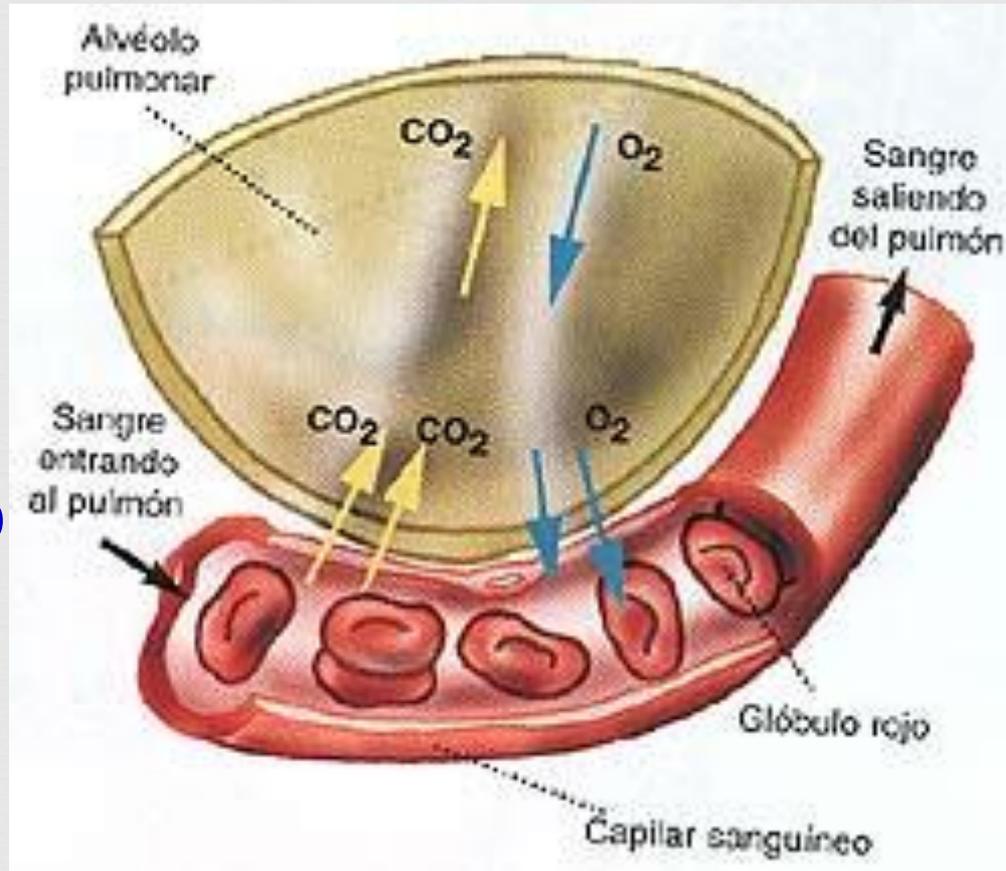


Figura 20.6. Porcentaje de saturación de la hemoglobina en relación con la presión de oxígeno. En el eje vertical de la derecha se muestra la cantidad de oxígeno contenida en la hemoglobina por 100 ml de sangre en condiciones normales. La línea horizontal superior indica el porcentaje de saturación del aire alveolar a nivel del mar.

La saturación de la Hb por el O₂ es:

75%
PO₂ 40



97%

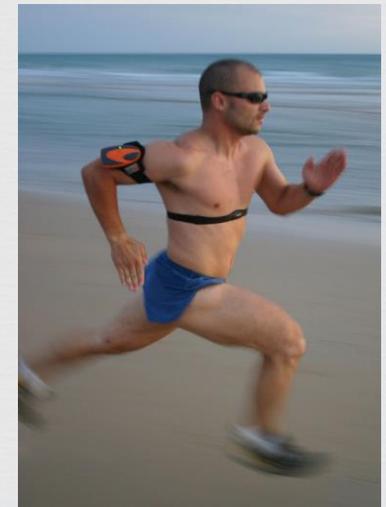
PO₂ 100

Transporta aproximadamente 5ml de oxígeno por cada 100 ml

DIFERENCIA
ARTERIOVENOSA DE
OXÍGENO (D [a-v] O₂),

1. En reposo alrededor de 4-5 ml de O₂ x 100 ml⁻¹

2. Ejercicio 15-18 ml de O₂ x 100 ml⁻¹ de sangre.



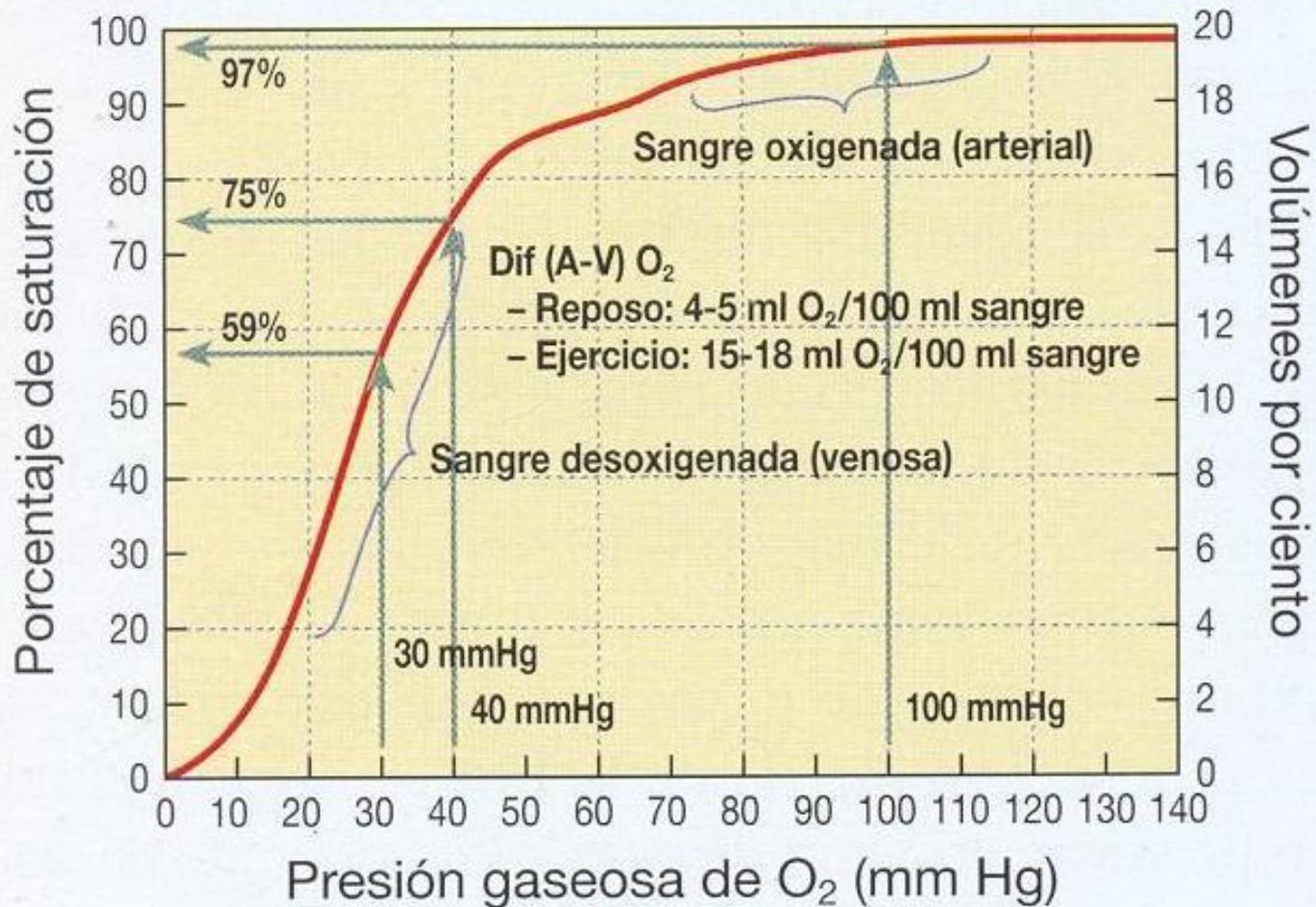
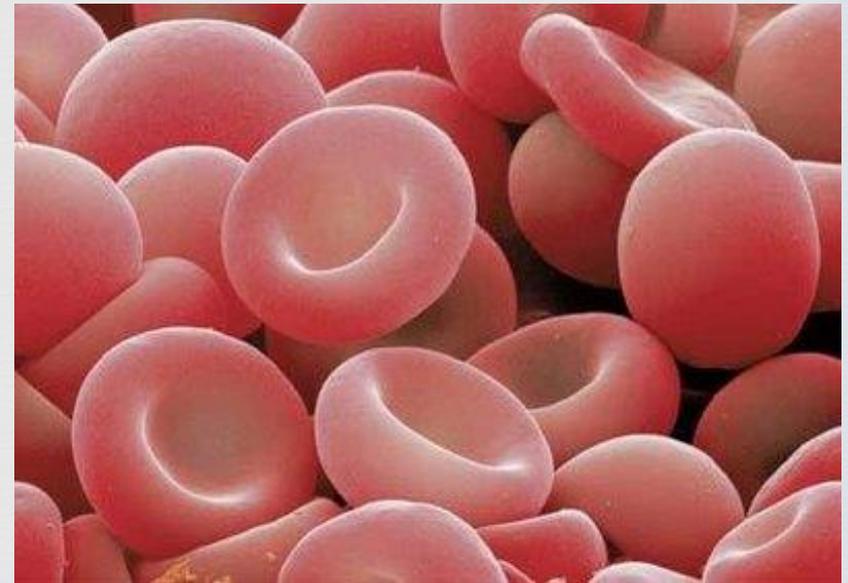


Figura 20.7. Modificación del porcentaje de saturación de la hemoglobina con el ejercicio.

La sangre contiene:

- 15 g de Hb por cada 100 ml de sangre.
- 1 gramo de Hb = 1,34 ml O₂ (max) . =
100ml Hb saturada al 100% = 20 ml O₂



El ejercicio en ambientes calurosos, con una sudoración excesiva, puede aumentar la deshidratación, y con ello el grado de hemoconcentración.



La fracción de la Hb que cede su oxígeno cuando pasa por los capilares tisulares se denomina *coeficiente de utilización.*

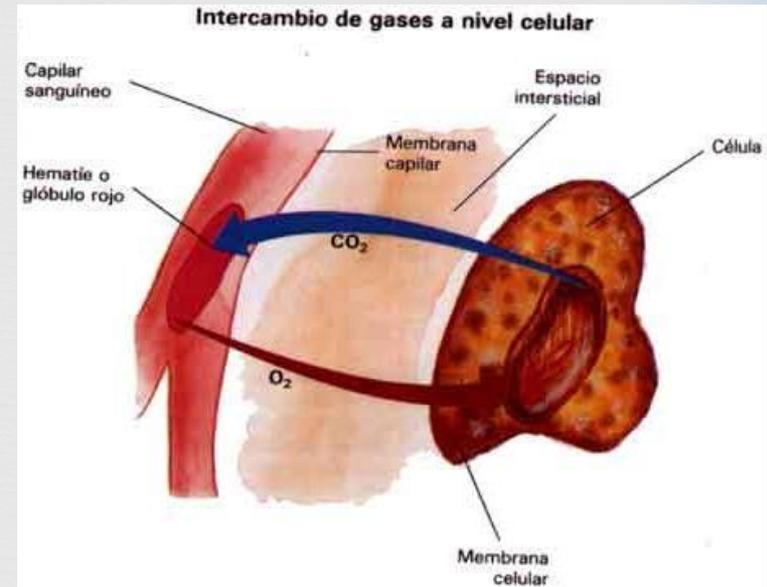
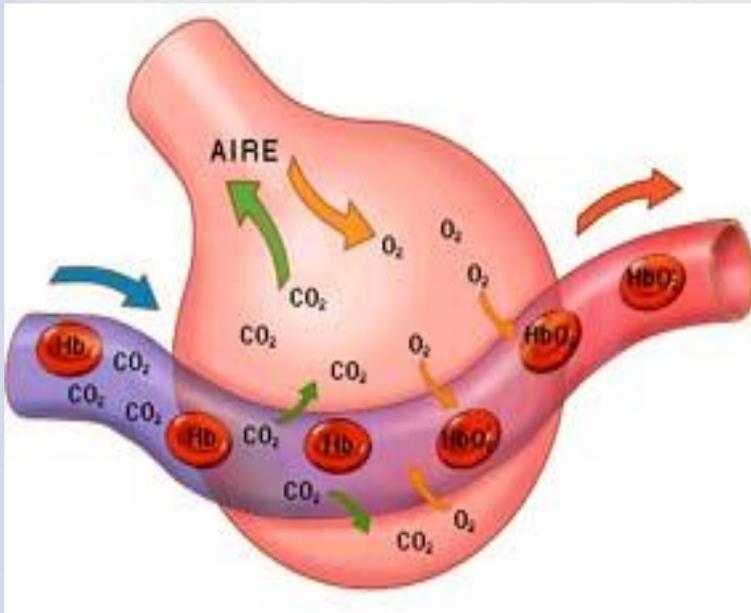
En estado de reposo este coeficiente es de 0,25, es decir, el 25% de la Hb.



Durante ejercicios
de alta intensidad

pueden liberarse hasta
el 75-85% del O_2 de la
Hb, \Rightarrow coeficiente de
utilización de 0,75-0,85.

En los Pulmones =
pH elevado, = Mayor
afinidad Hb por el
oxígeno.



En los tejidos periféricos
= pH es menor, =
descenso de la afinidad
Hb por O_2

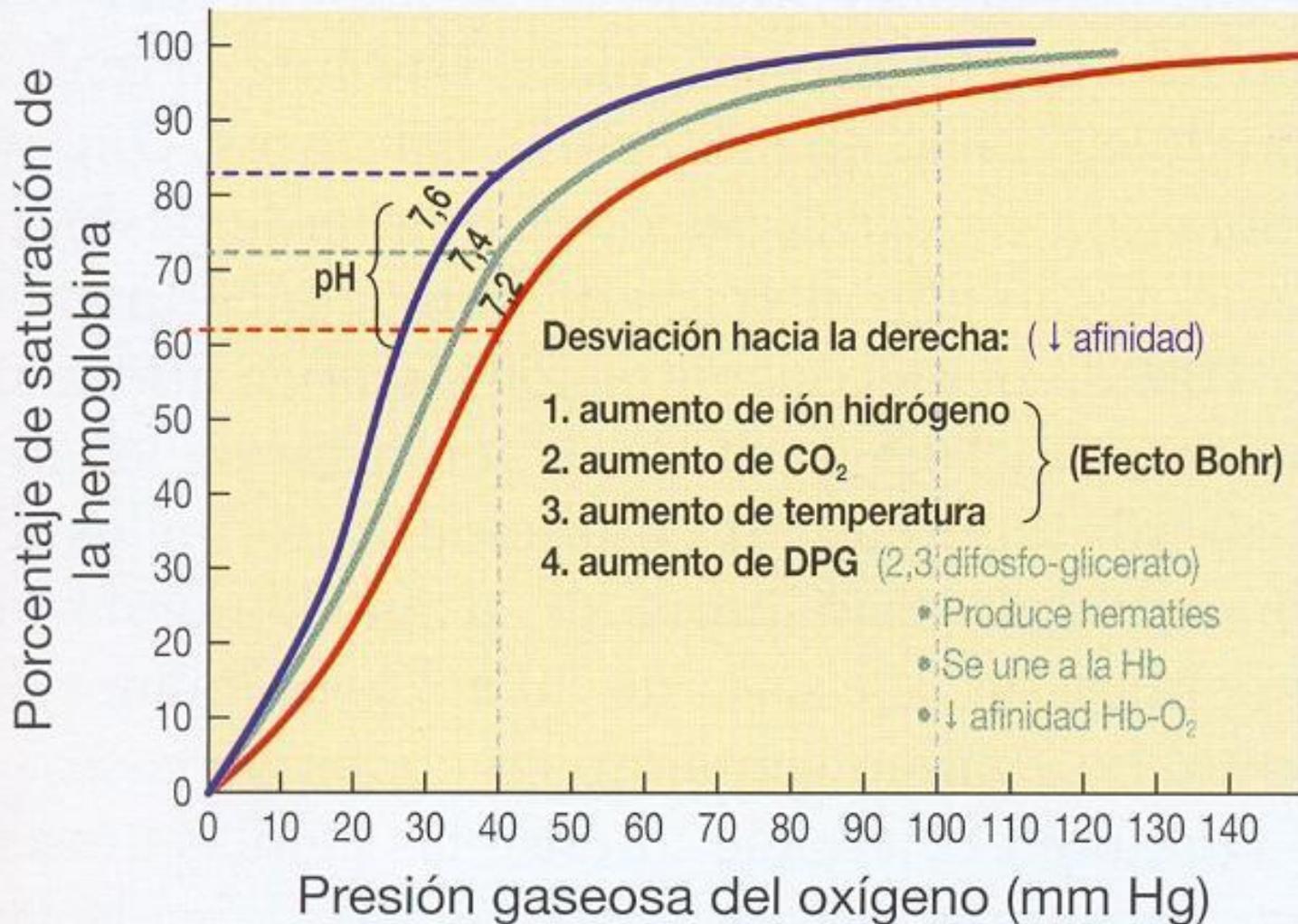
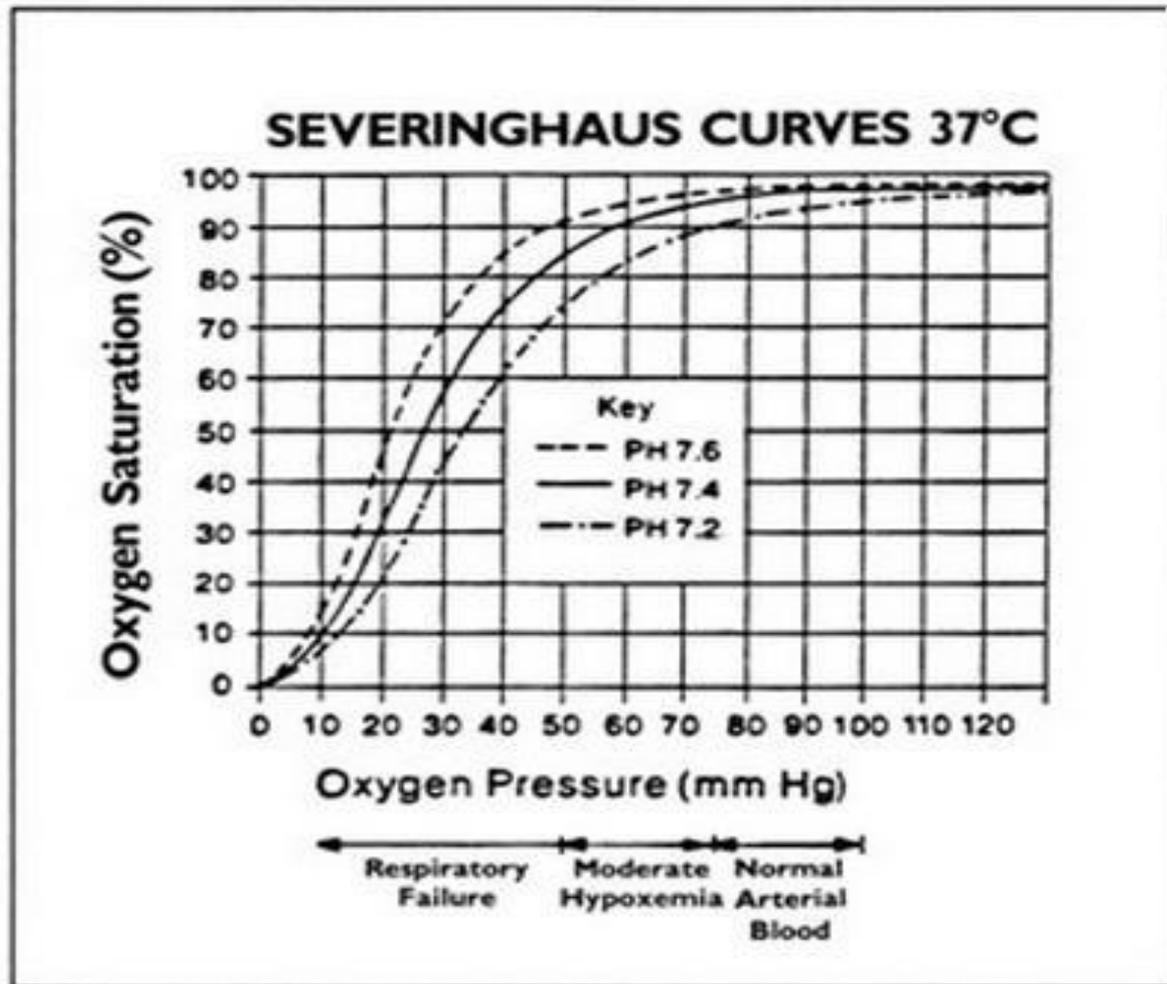


Figura 20.8. Desplazamiento curva disociación de la hemoglobina.

Curva disociación Oxihemoglobina



Right Shifted Curve

(Less oxygen saturation)

- Acidemia (decrease in pH)
- Hyperthermia
- Hypermetabolism
- Certain Abnormal Hemoglobins
- Some Chronic Hypoxemic States
- Hypercapnia

Left Shifted Curve

(More oxygen saturation)

- Alkalemia (increase in pH)
- Hypothermia
- Hypometabolism
- Fetal Hemoglobin
- Certain Abnormal Hemoglobins
- Residence at High Altitude

Las mujeres **parecen tener niveles más altos de 2,3 DPG en los hematíes** que los hombres.

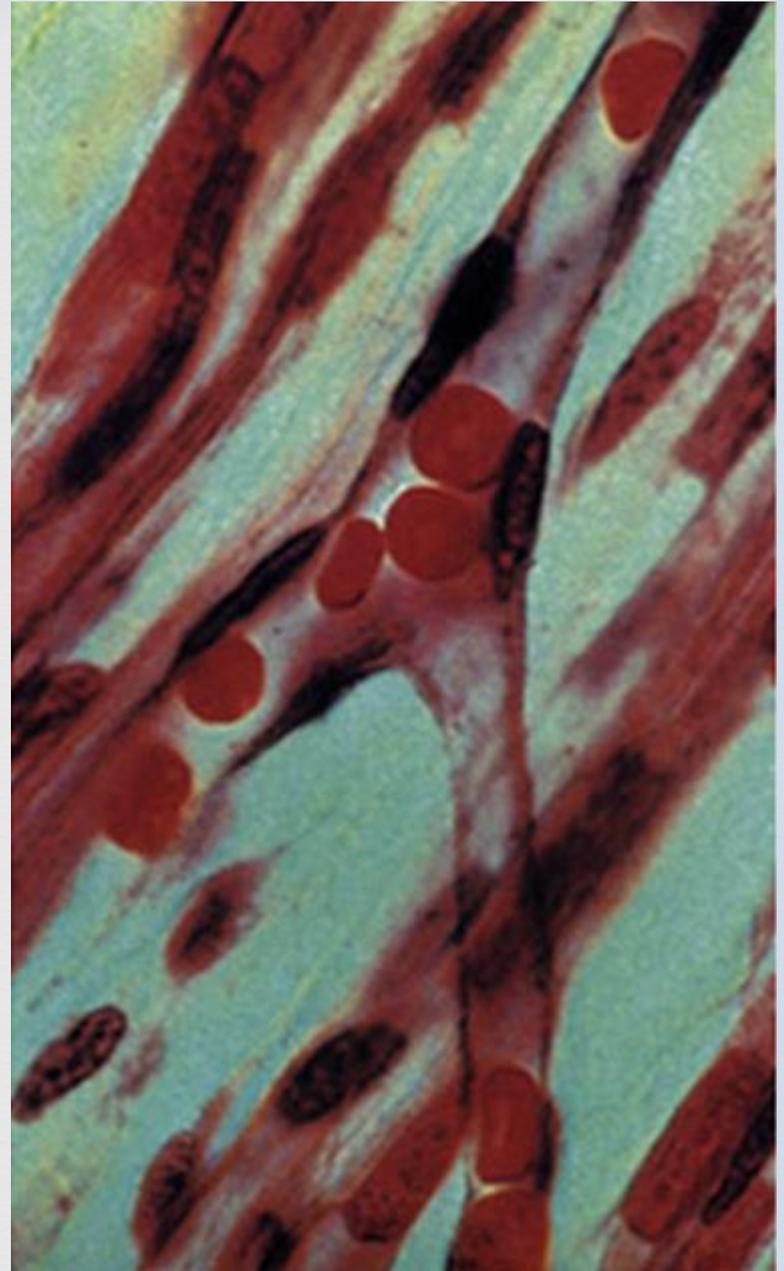
Esta diferencia quizá podría compensar los menores niveles de hemoglobina encontrados normalmente en la mujer.



Tabla 2
***2,3-DPG eritrocitario en sujetos sedentarios
y deportistas tras la realización de un ejercicio
intenso de corta duración y de un ejercicio
de resistencia***

	2,3-dpg (micromoles por g de Hb)		
	Reposo	E. Intenso	E. Resistencia
Sedentario	13,75		
Medio fondo	16,82	19,85	
Fondo	16,23		15,20

En condiciones normales de reposo, el 3% del total de oxígeno de la sangre se transporta en solución (0,29 ml de O₂ · 100 ml⁻¹ de sangre).



Funciones del Oxígeno disuelto

1. Establece la PO_2 del plasma.
2. Ayuda a regular la ventilación pulmonar.
3. También determina la saturación de O_2 por la **Hb** en los pulmones y su liberación posterior en los tejidos.

Durante ejercicios intensos

1. El coeficiente de utilización aumenta.
2. La cantidad transportada en solución puede disminuir hasta cifras del 1,5%.

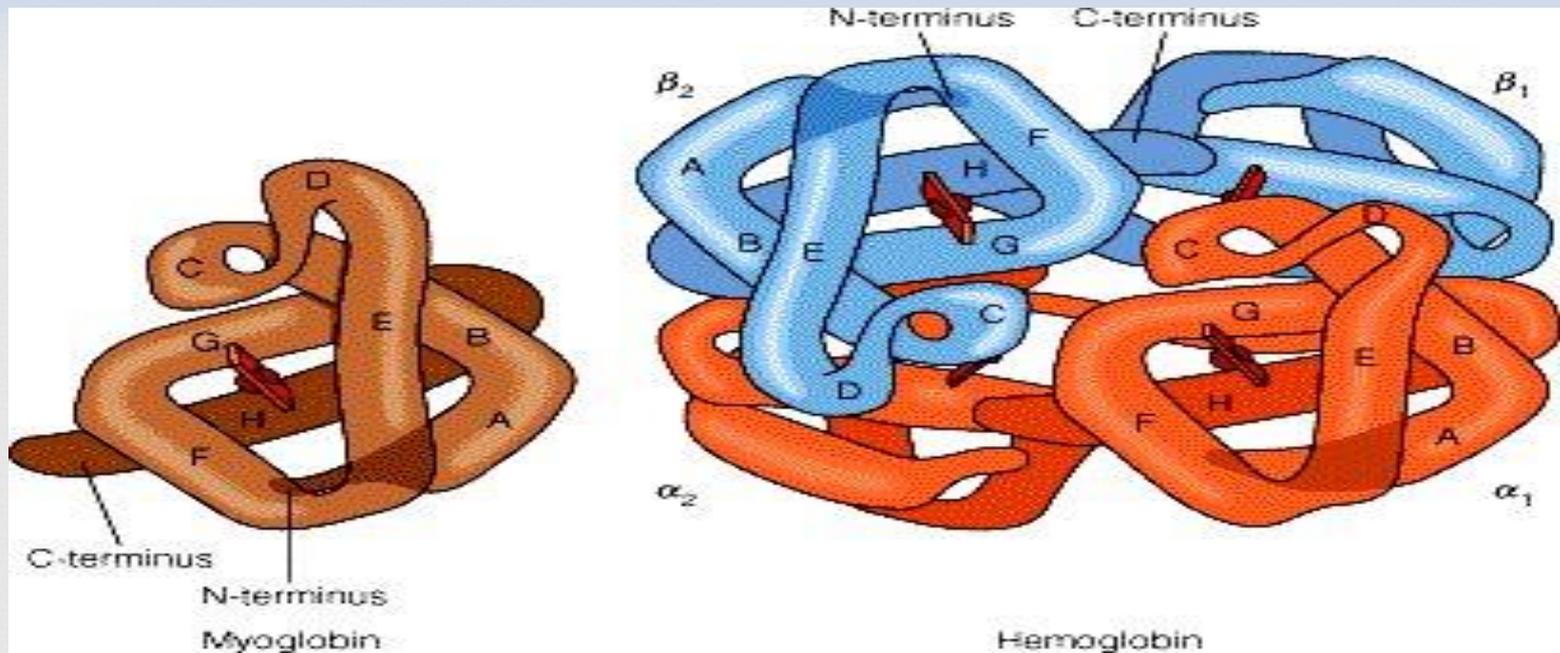
La cantidad de oxígeno disuelto en plasma depende

1. Su solubilidad,
2. De la presión parcial de oxígeno que hay en el aire atmosférico y que es inspirado.

La PaO₂ se aumenta al respirar oxígeno puro

La cantidad de oxígeno disuelto puede aumentar sólo hasta:

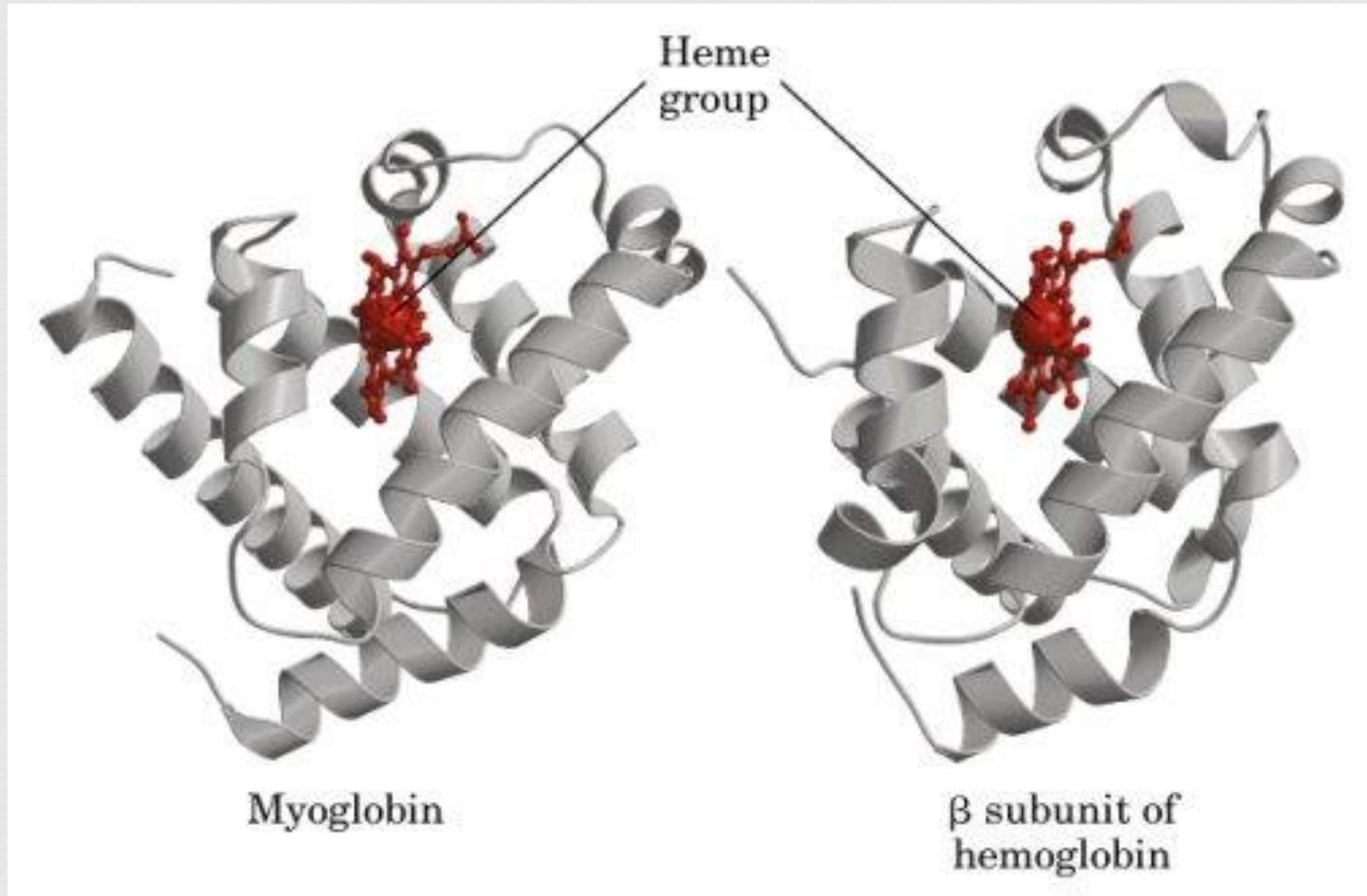
1. 3% del O₂ total requerido en reposo.
2. 12% durante el ejercicio máximo.



La *mioglobina* representa la reserva muscular de oxígeno.

1. Es capaz de combinarse **reversiblemente** con el O_2 .
2. Cada molécula de mioglobina sólo posee un átomo de hierro.

Durante el reposo y en ejercicio moderado, **la mioglobina mantiene una elevada saturación de oxígeno.**



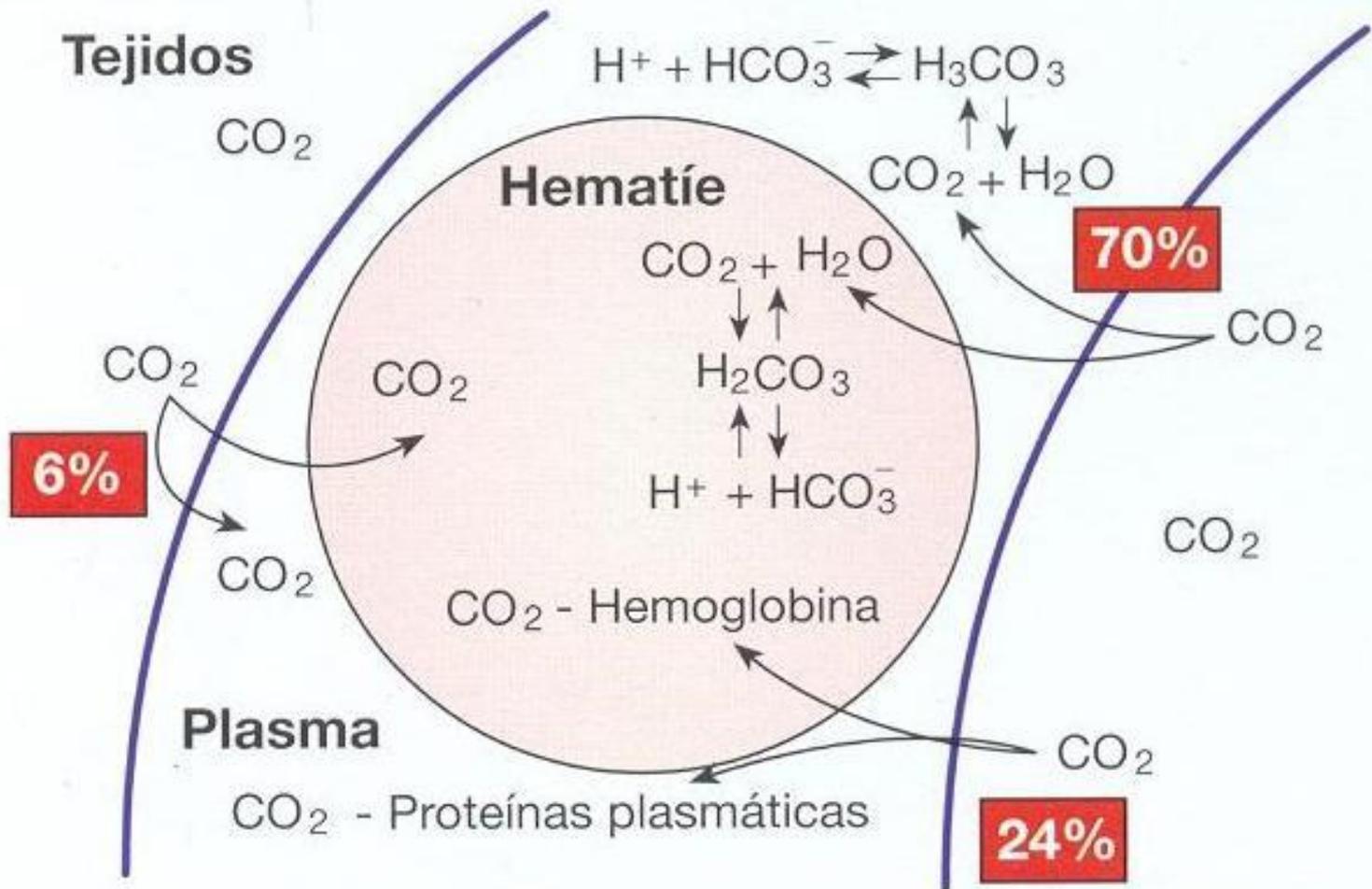
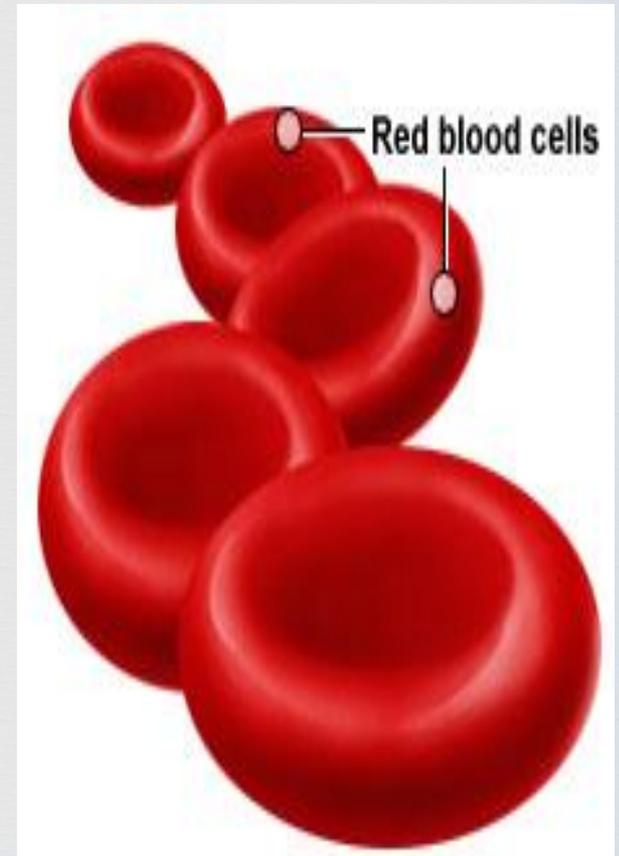


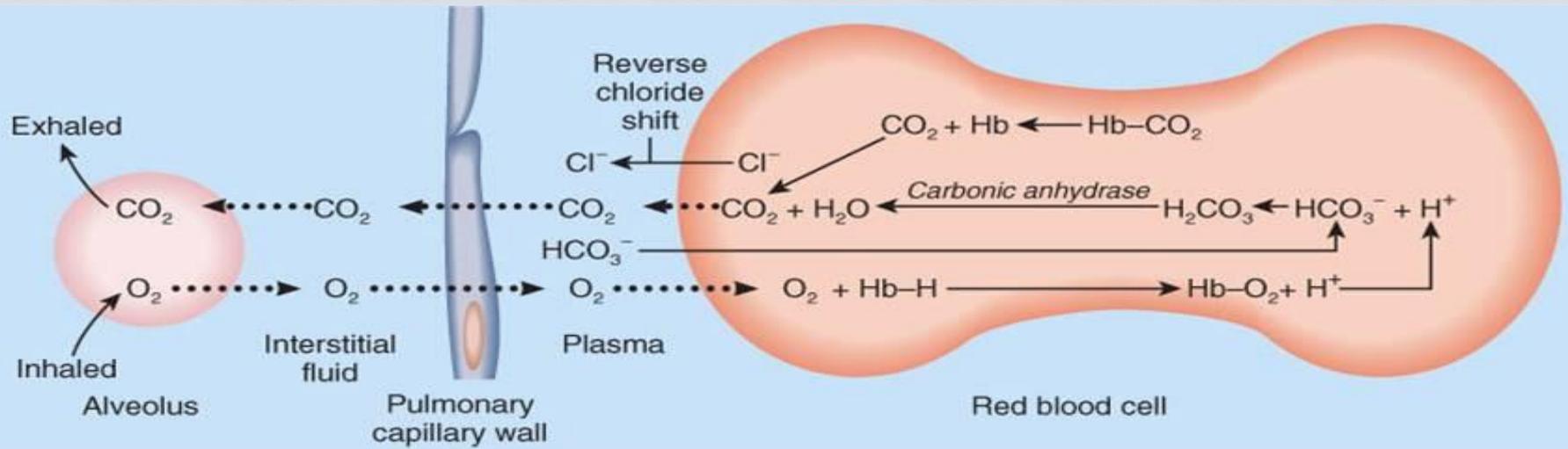
Figura 20.9. Transporte del dióxido de carbono (CO₂) en la sangre.

El CO_2 disuelto en la sangre forma ácido carbónico (H_2CO_3) al reaccionar con agua.

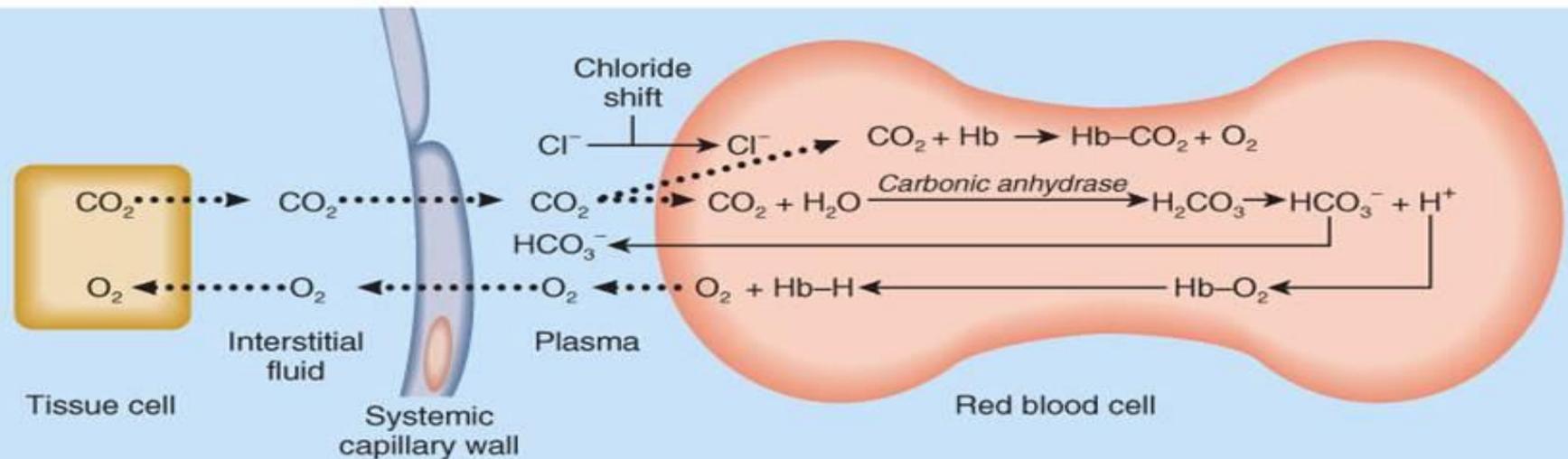
(catalizada por la enzima anhidrasa carbónica).

Esta enzima está **ausente en el plasma**, pero existe en **altas concentraciones en el interior de los hematíes.**



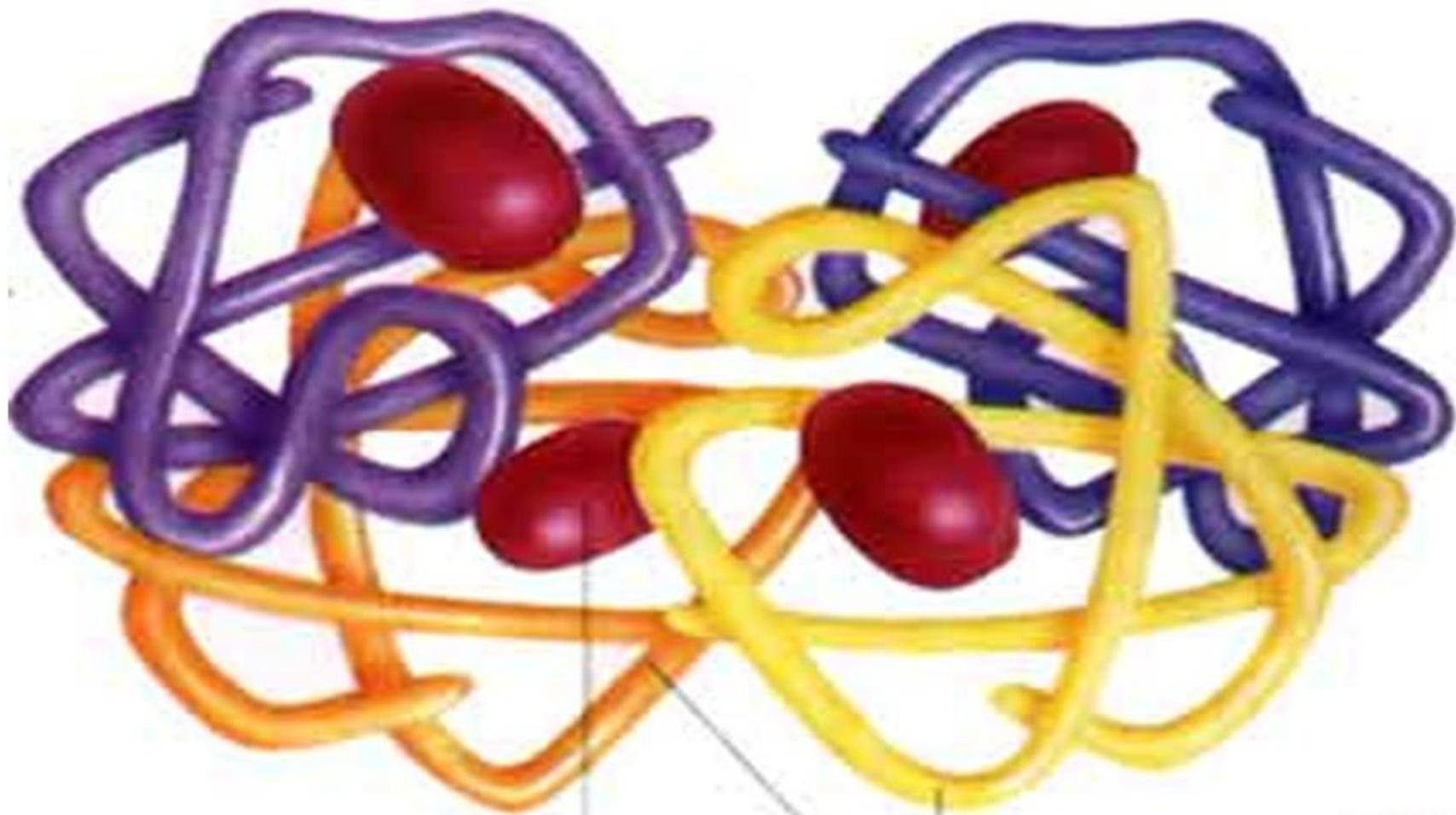


(a) Exchange of O_2 and CO_2 in pulmonary capillaries (external respiration)



(b) Exchange of O_2 and CO_2 in systemic capillaries (internal respiration)

HEMOGLOBINA



O_2

grupo hemo

globina
(proteína)

CO_2

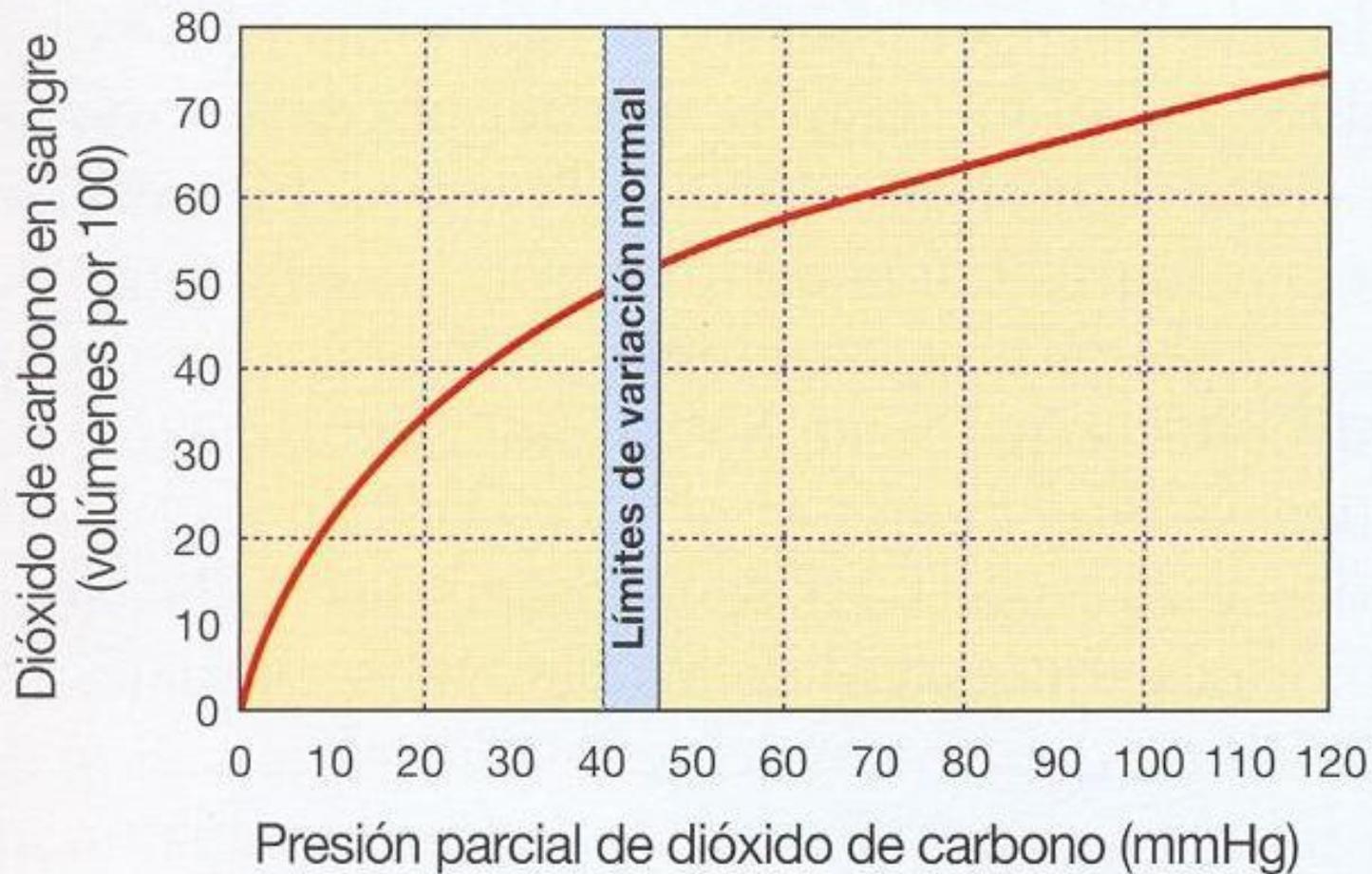


Figura 20.10. Curva de disociación del dióxido de carbono.





Referencias Bibliográficas
Fisiología del Ejercicio López Chicharro 3E
Capítulos 19 y 20