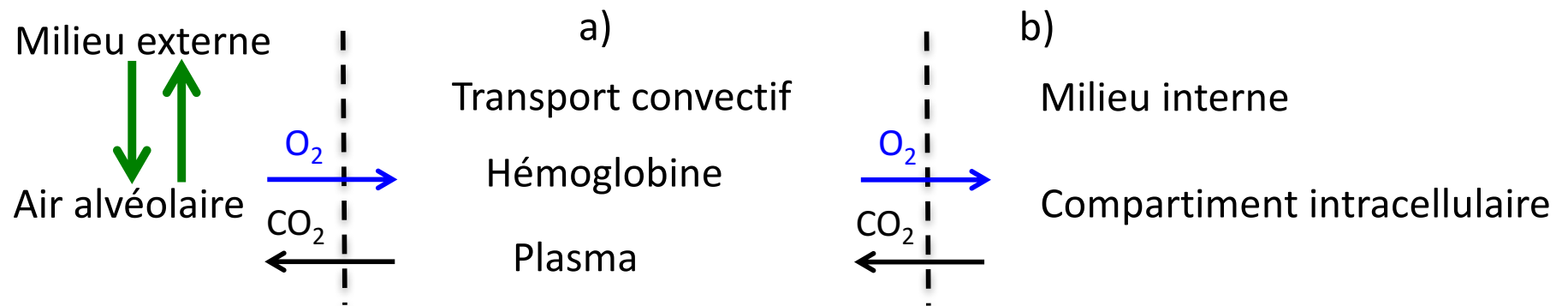


Système respiratoire Mécanismes de la ventilation et la respiration

- 2 fonctions: 1) Ventilation
2) Respiration a) pulmonaire b) tissulaire



Système respiratoire Mécanisme de l'appareil ventilatoire

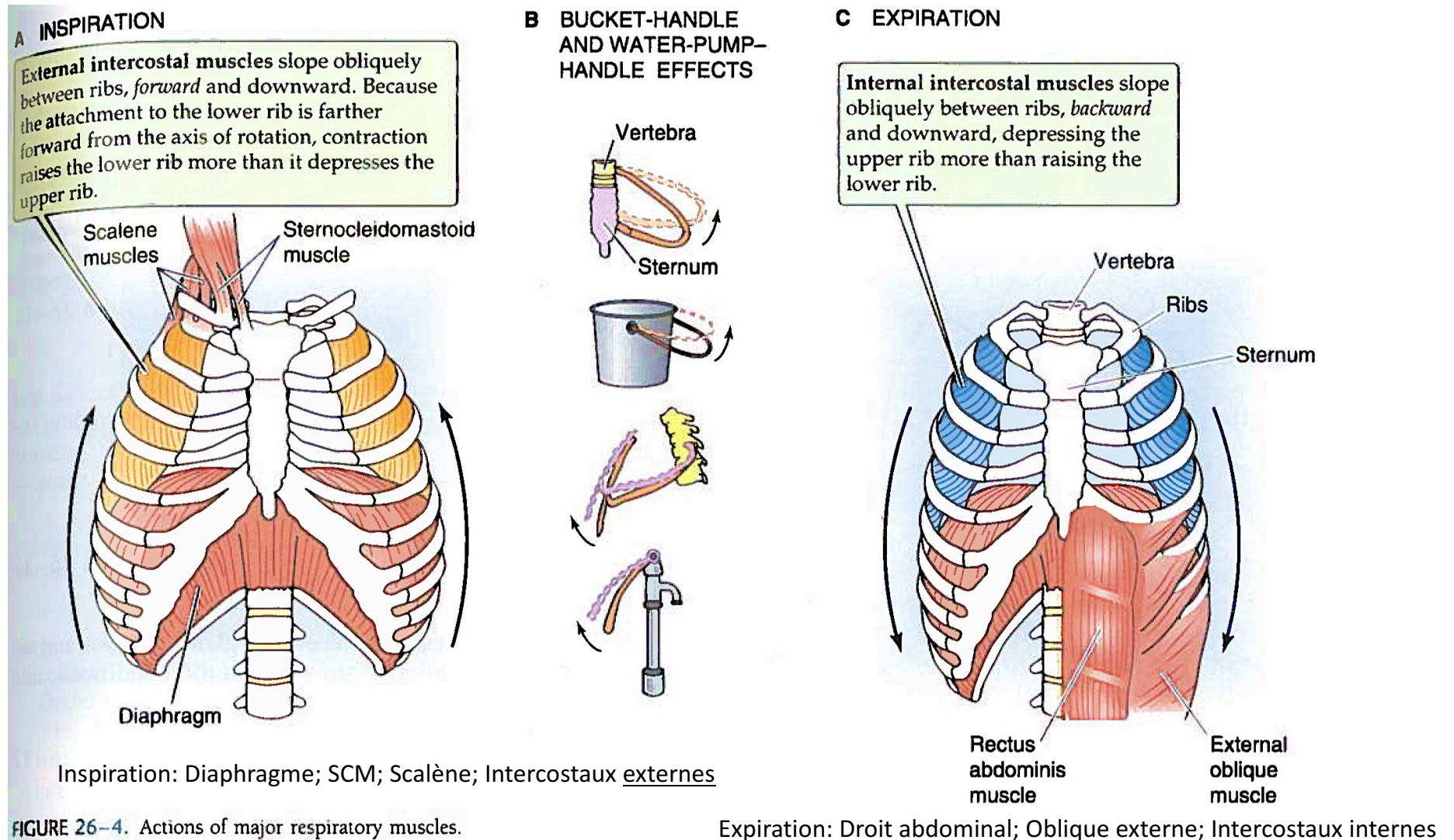
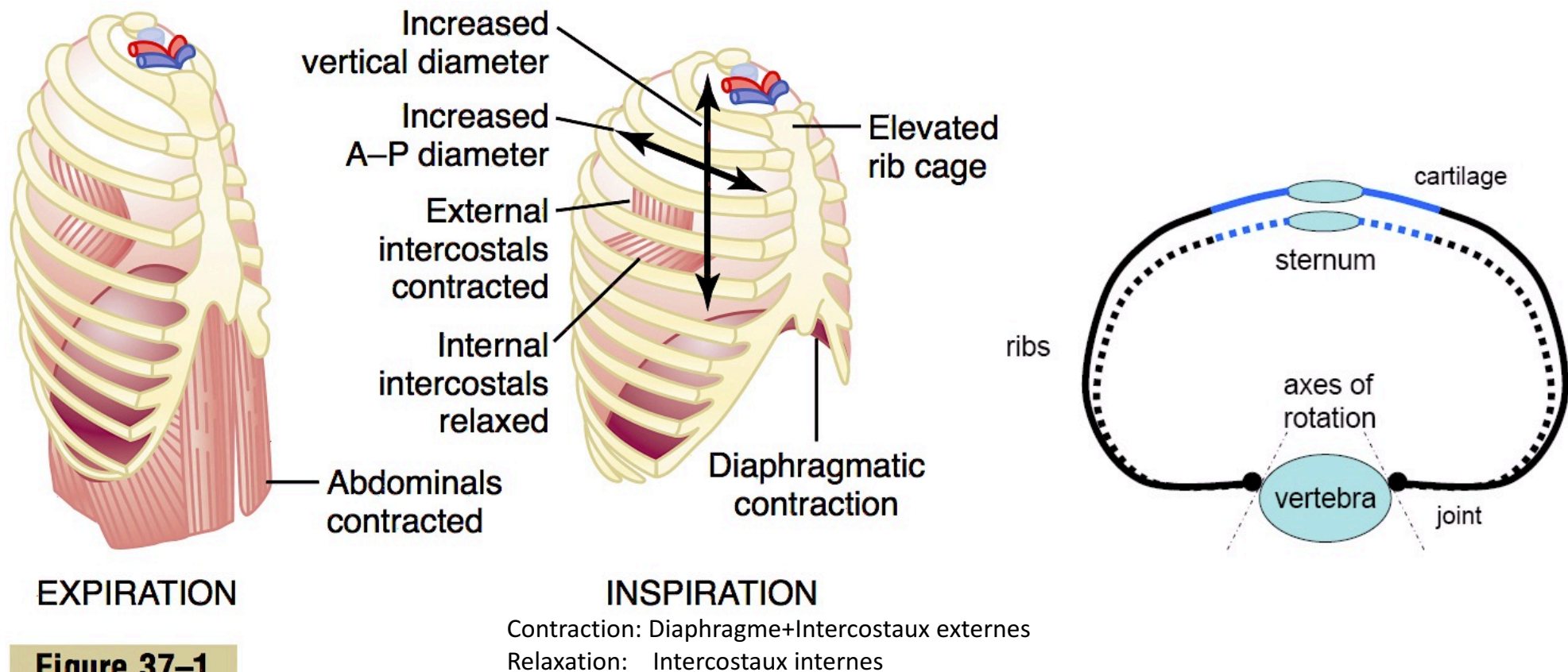


FIGURE 26-4. Actions of major respiratory muscles.

Système respiratoire Mouvements de la musculature thoracique



Contraction and expansion of the thoracic cage during expiration and inspiration, demonstrating diaphragmatic contraction, function of the intercostal muscles, and elevation and depression of the rib cage.

Système respiratoire Mouvements de l'air et pressions transpulmonaires

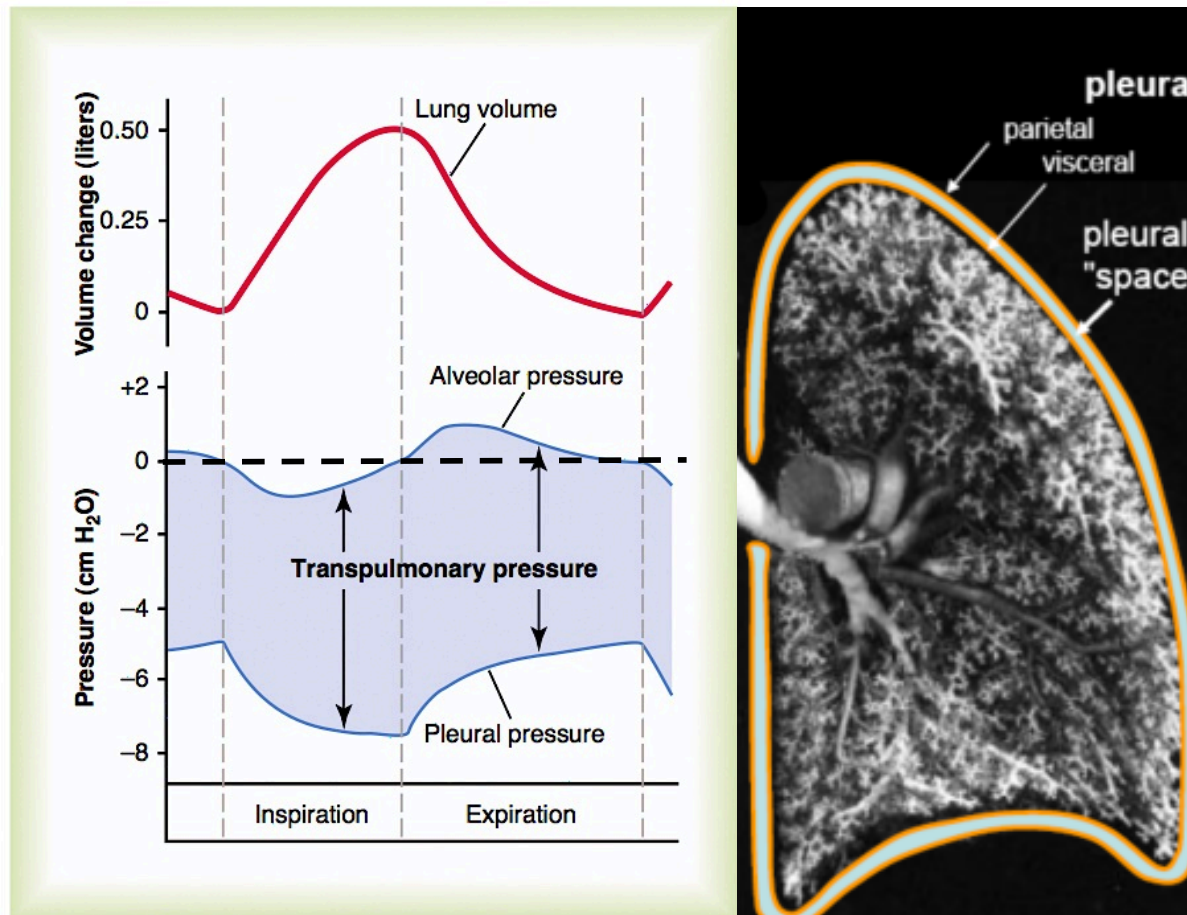


Figure 37-2

Changes in lung volume, alveolar pressure, pleural pressure, and transpulmonary pressure during normal breathing.

Pression pleurale: toujours négative $-8 \text{ cm H}_2\text{O} < P_{pl} < -5 \text{ cm H}_2\text{O}$



$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$P \cdot V = \text{cte}$$

Système respiratoire Mesure des volumes pulmonaires Principes et méthode

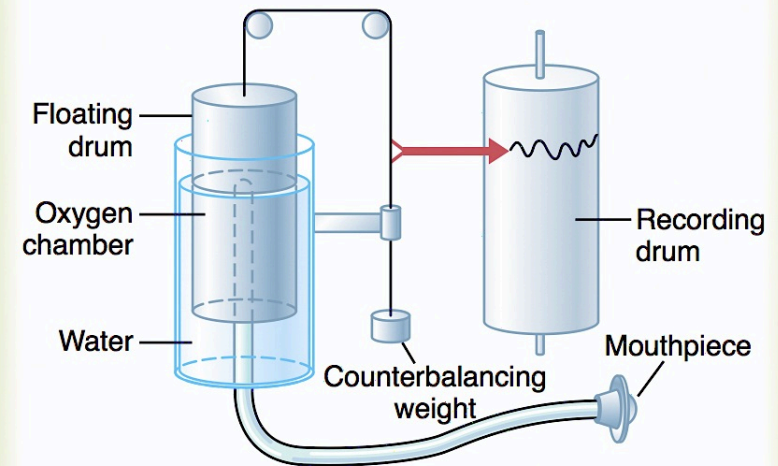
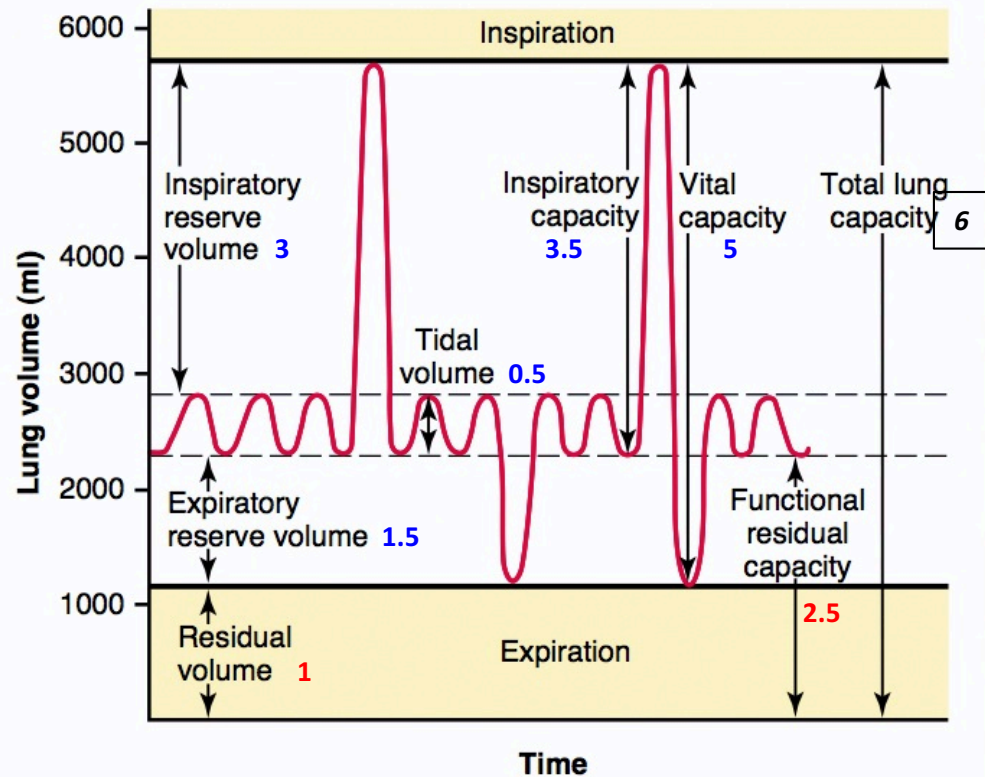


Figure 37-6

Diagram showing respiratory excursions during normal breathing and during maximal inspiration and maximal expiration.

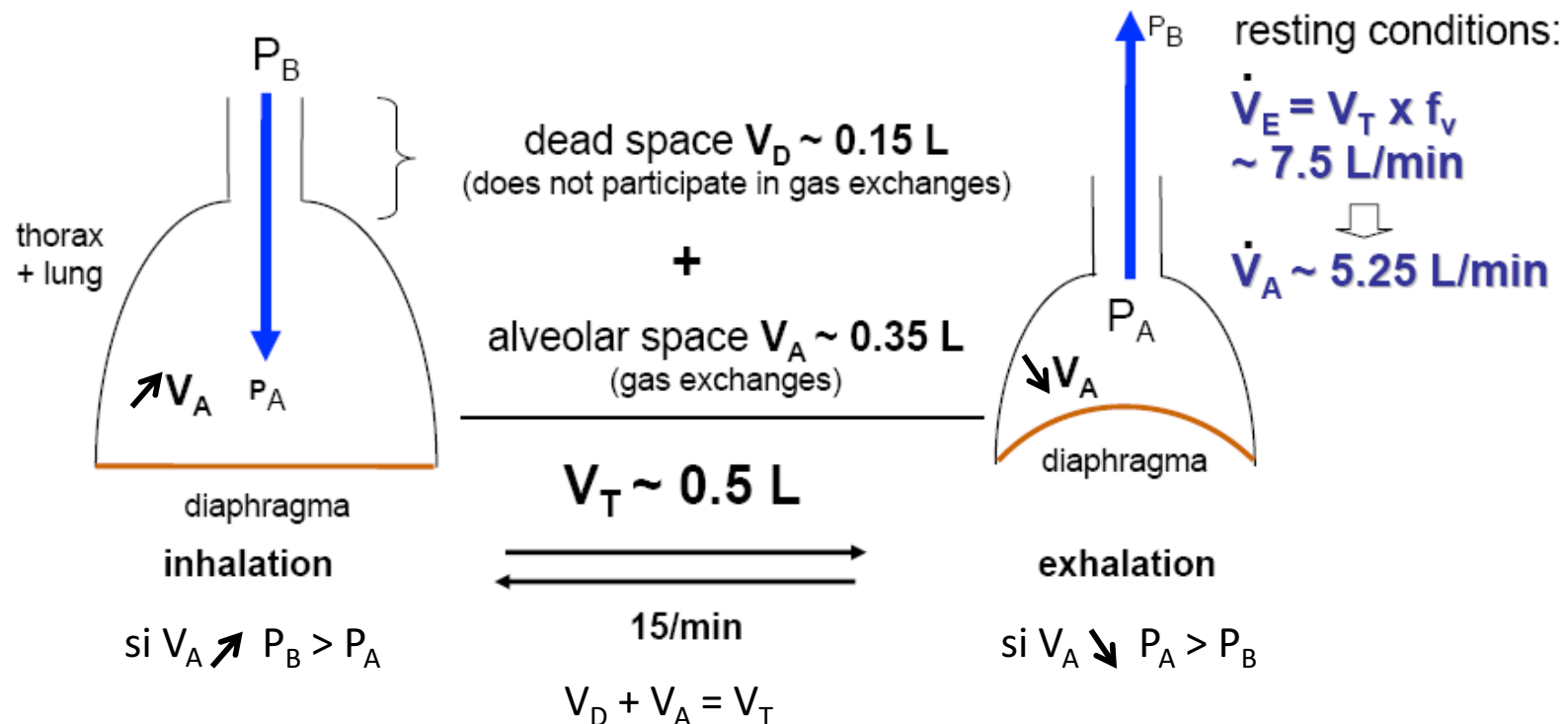
Volume: espace mobilisable lors de la ventilation

Capacité: combinaison de plusieurs volumes

Système respiratoire Volumes pulmonaires mort et fonctionnels Rôles de ces deux espaces

VENTILATION

- transport of air between the ambient atmosphere and the alveoles
- realised by thoracic pumping : alternative contraction of inspiratory and expiratory muscles



Système respiratoire Détermination expérimentale de l'espace mort

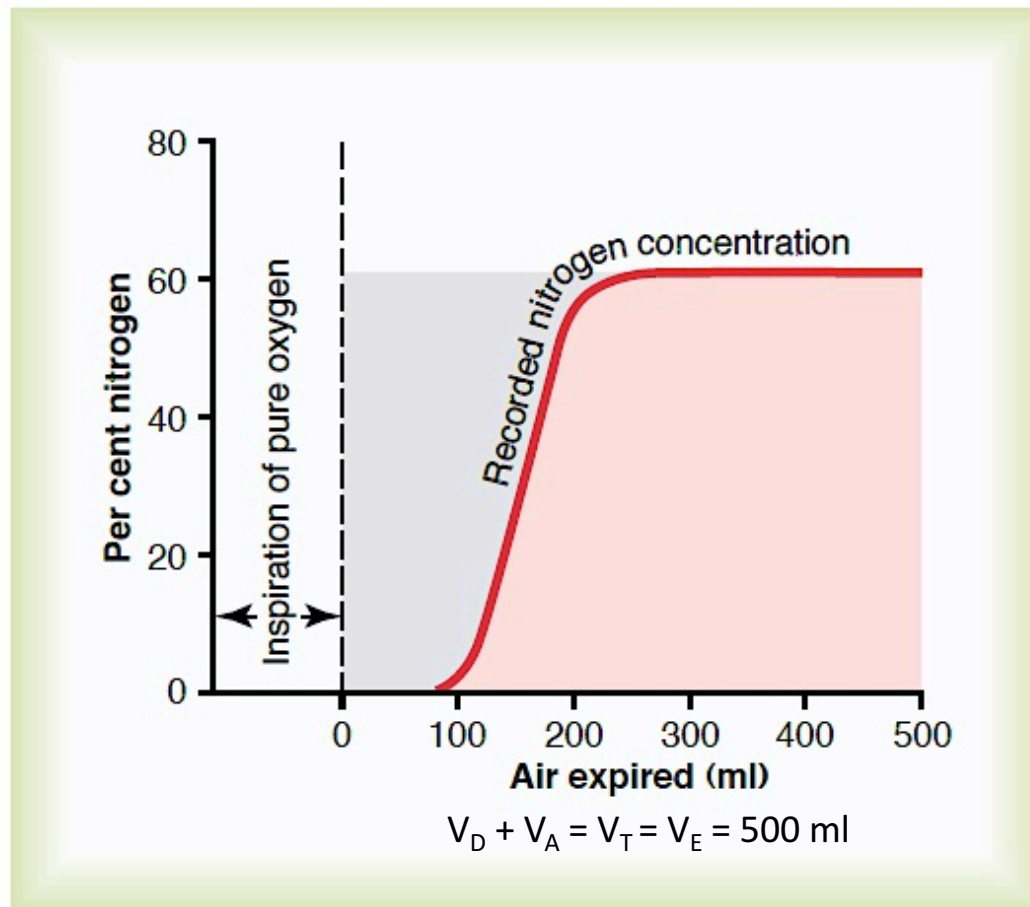


Figure 37-7

Record of the changes in nitrogen concentration in the expired air after a single previous inspiration of pure oxygen. This record can be used to calculate dead space, as discussed in the text.

$$V_D = \frac{\text{Gray area} \times V_E}{\text{Pink area} + \text{Gray area}}$$

$$\frac{V_D}{V_E} = \frac{\text{Gray area}}{\text{Pink area} + \text{Gray area}}$$

$$V_E = V_A + V_D$$

$$\frac{V_D}{V_A + V_D} = \frac{\text{Gray area}}{\text{Pink area} + \text{Gray area}}$$

Système respiratoire Compliance pulmonaire

Rôle de la tension superficielle

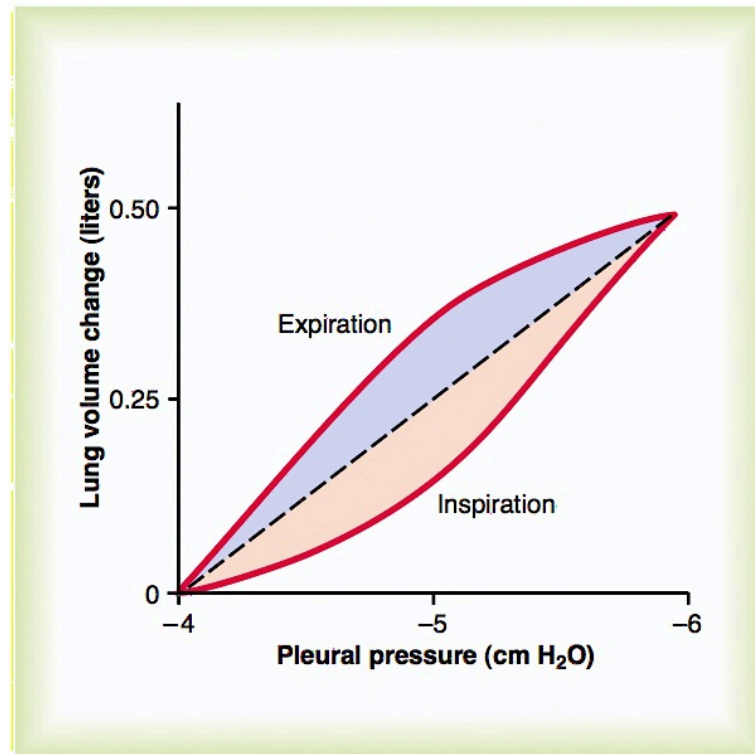


Figure 37-3

Compliance diagram in a healthy person. This diagram shows compliance of the lungs alone.

Quelles sont les forces qui s'opposent à l'expansion pulmonaire?

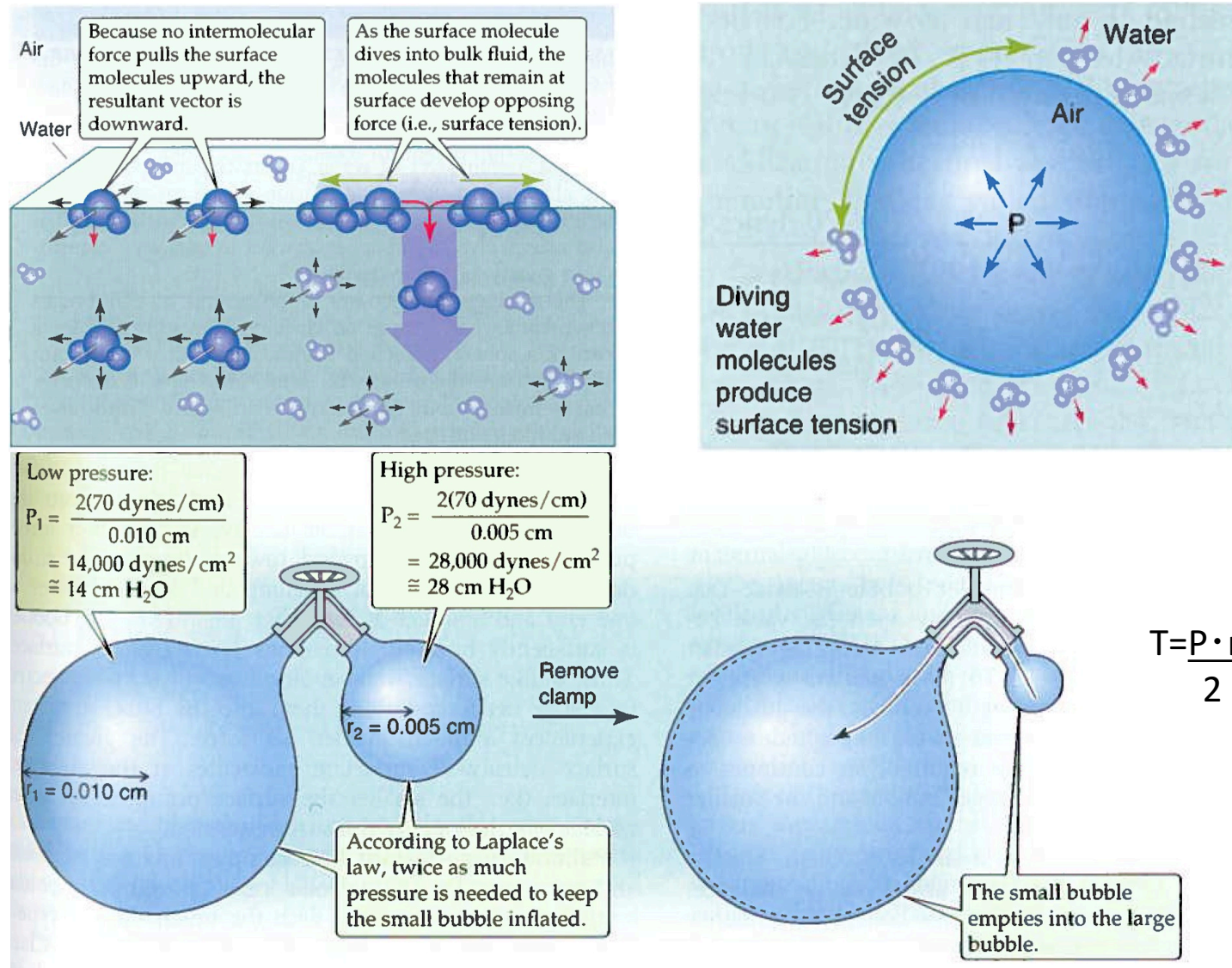
$$\text{compliance} = C = \frac{dV}{dP}$$

Le degré d'expansion pulmonaire augmente avec la pression transpulmonaire

L'hystérèse définit la dépendance d'un système vis-à-vis des conditions actuelles et antérieures

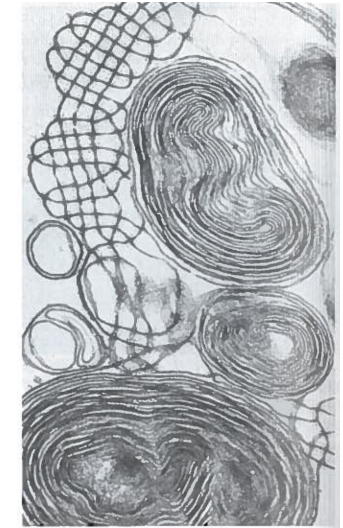
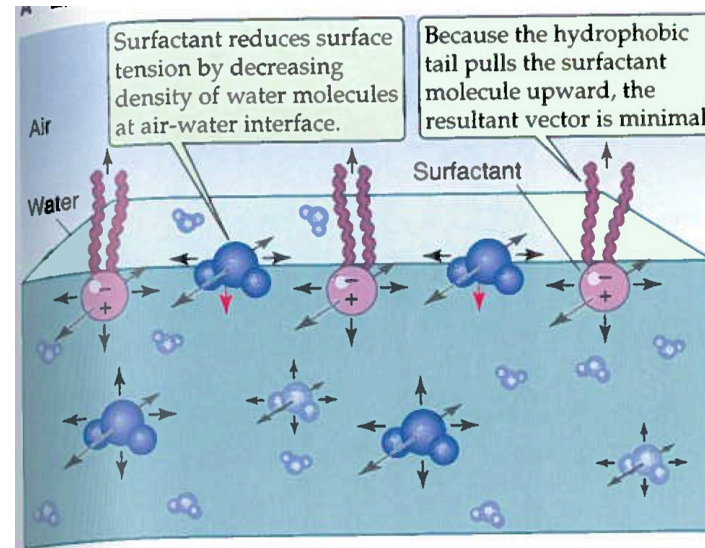
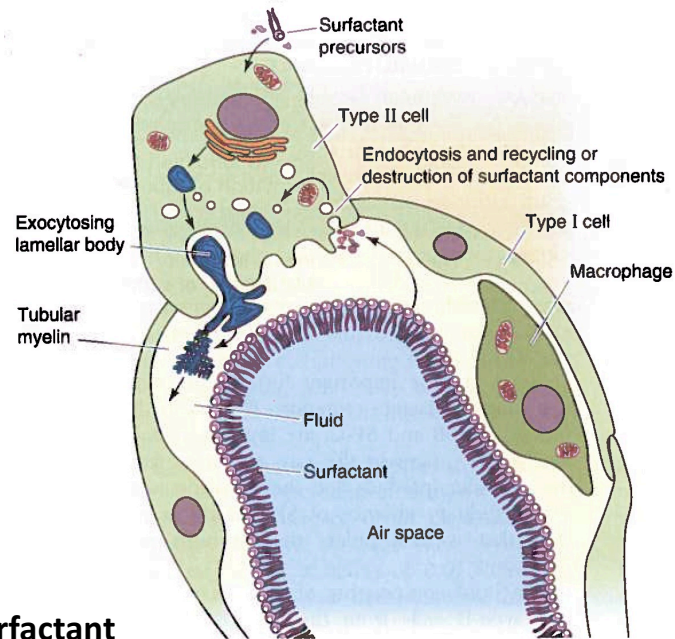
Les forces élastiques des tissus tendant à entraîner l'applatissage d'un poumon rempli d'air ne représentent qu'un tiers (S-f) de la force élastique pulmonaire totale, alors que la force de tension de surface fluide-air (Air-f) dans les alvéoles en représente environ les deux tiers!

Système respiratoire Tension superficielle d'un film d'eau



Système respiratoire Surfactant pulmonaire: source et fonction

A SURFACTANT METABOLISM



Surfactant

Le surfactant pulmonaire est présent à la surface de l'épithélium des alvéoles. Sa fonction principale est de diminuer la tension de surface entre l'air et le fluid alvéolaire, et de prévenir ainsi l'applatissage alvéolaire en fin d'expiration (Clements 1977). Une autre fonction importante du surfactant est la défense immunitaire du poumon (Crouch & Wright 2001). Le surfactant pulmonaire consiste en des lipides (90–95%) et quatre protéines du surfactant (SP-A, SP-B, SP-C, et SP-D, 5–10%). Le surfactant est synthétisé et sécrété essentiellement par les cellules épithéliales alvéolaires de type II. Les cellules épithéliales des voies aériennes, les cellules de Clara, peuvent également synthétiser le SP-A, SP-B, et SP-D (Phelps & Floros 1991, Crouch et al. 1992). Après synthèse, les phospholipides du surfactant sont stockées en double couches solidement empaquetées dans les corps lamellaires, qui servent de stockage intracellulaire pour le surfactant. Depuis les cellules de type II, les corps lamellaires sont sécrétés dans les alvéoles par exocytose. Les phospholipides des corps lamellaires sont réarrangés dans les alvéoles en un réseau de membrane étendue appelé la myéline tubulaire (Williams 1977), de laquelle la couche des phospholipides se forme à l'interface air-fluide juste à la surface de l'épithélium alvéolaire.

Système respiratoire Pression artérielle pulmonaire

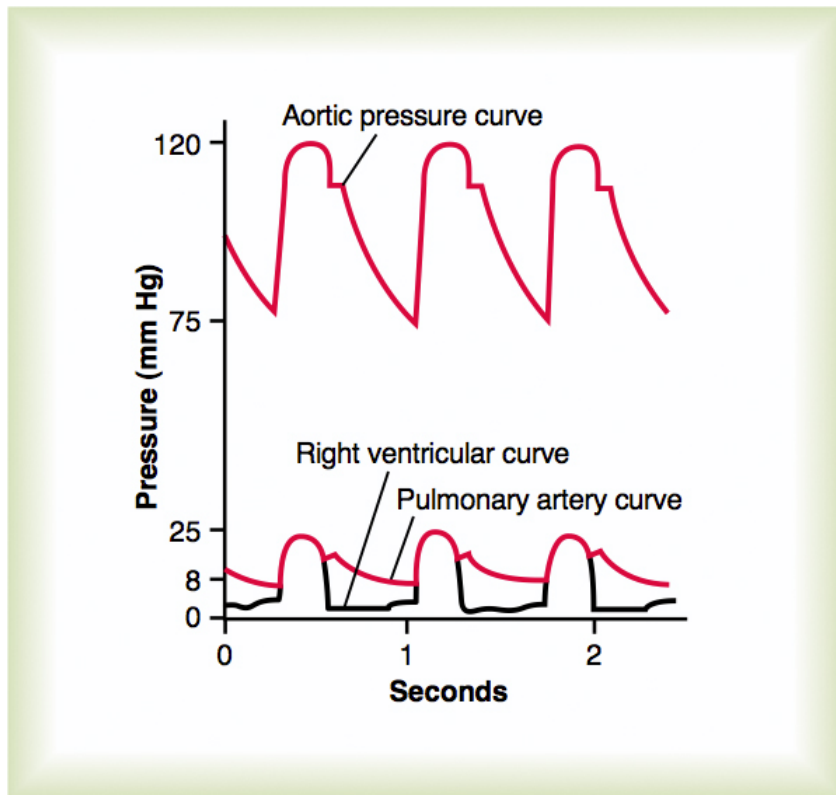


Figure 38-1

Pressure pulse contours in the right ventricle, pulmonary artery, and aorta.

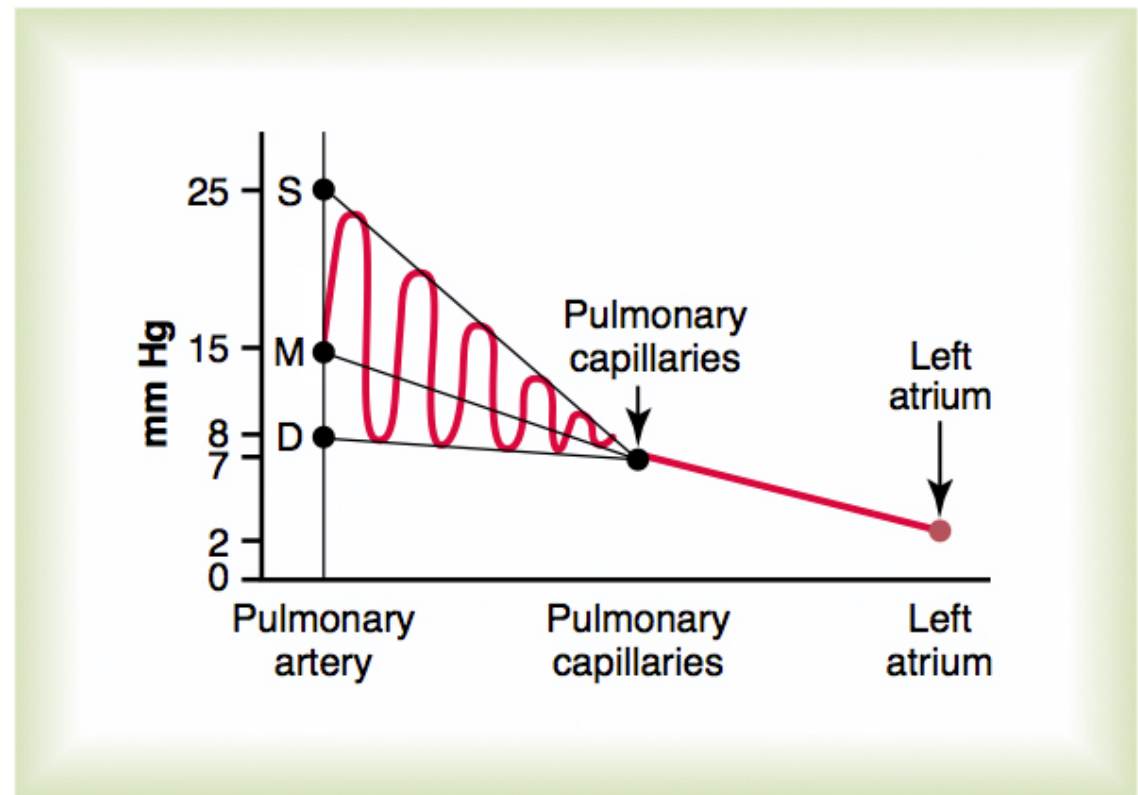


Figure 38-2

Pressures in the different vessels of the lungs. D, diastolic; M, mean; S, systolic; red curve, arterial pulsations.

Système respiratoire Circulation artérielle pulmonaire

$$P = D \cdot R$$

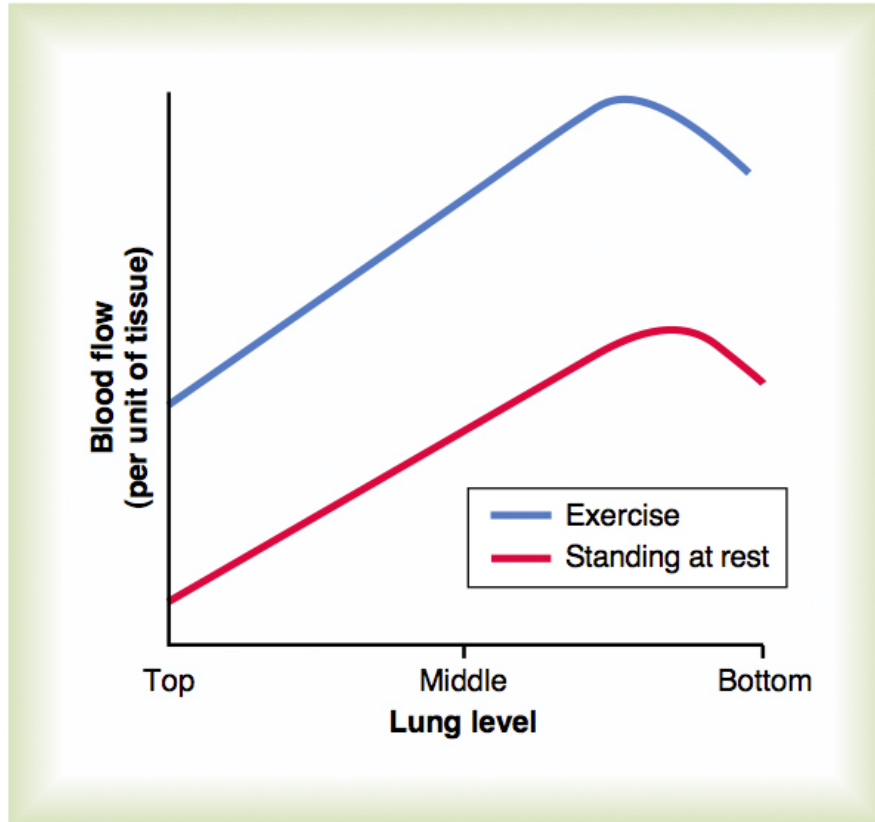


Figure 38-3

Blood flow at different levels in the lung of an upright person *at rest* and *during exercise*. Note that when the person is at rest, the blood flow is very low at the top of the lungs; most of the flow is through the bottom of the lung.

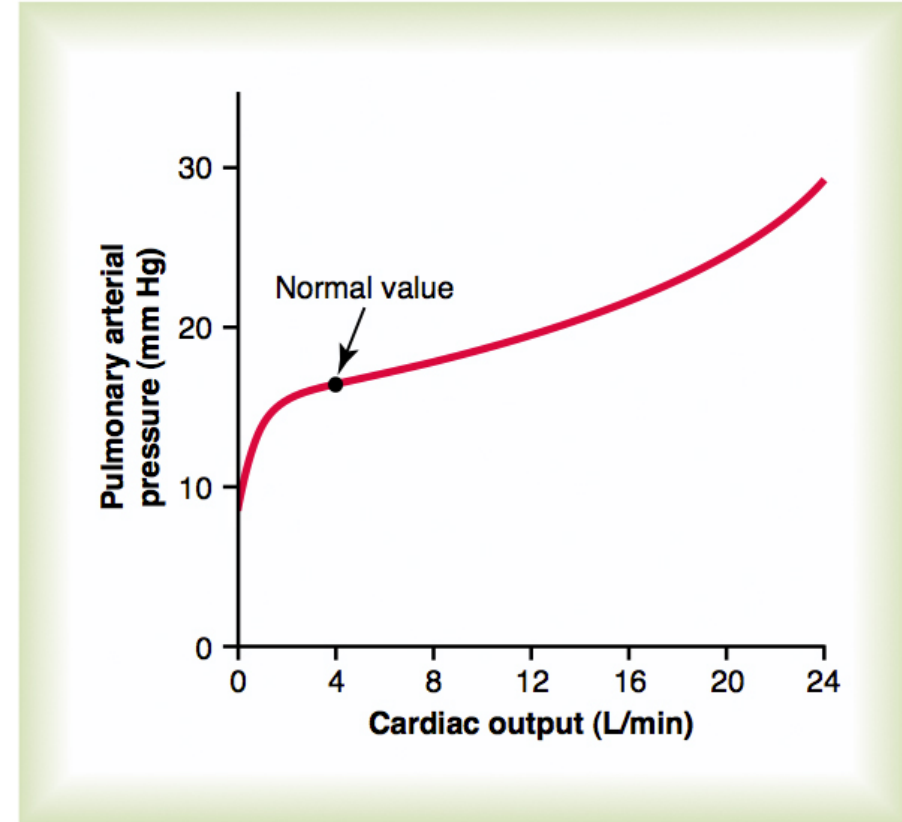


Figure 38-5

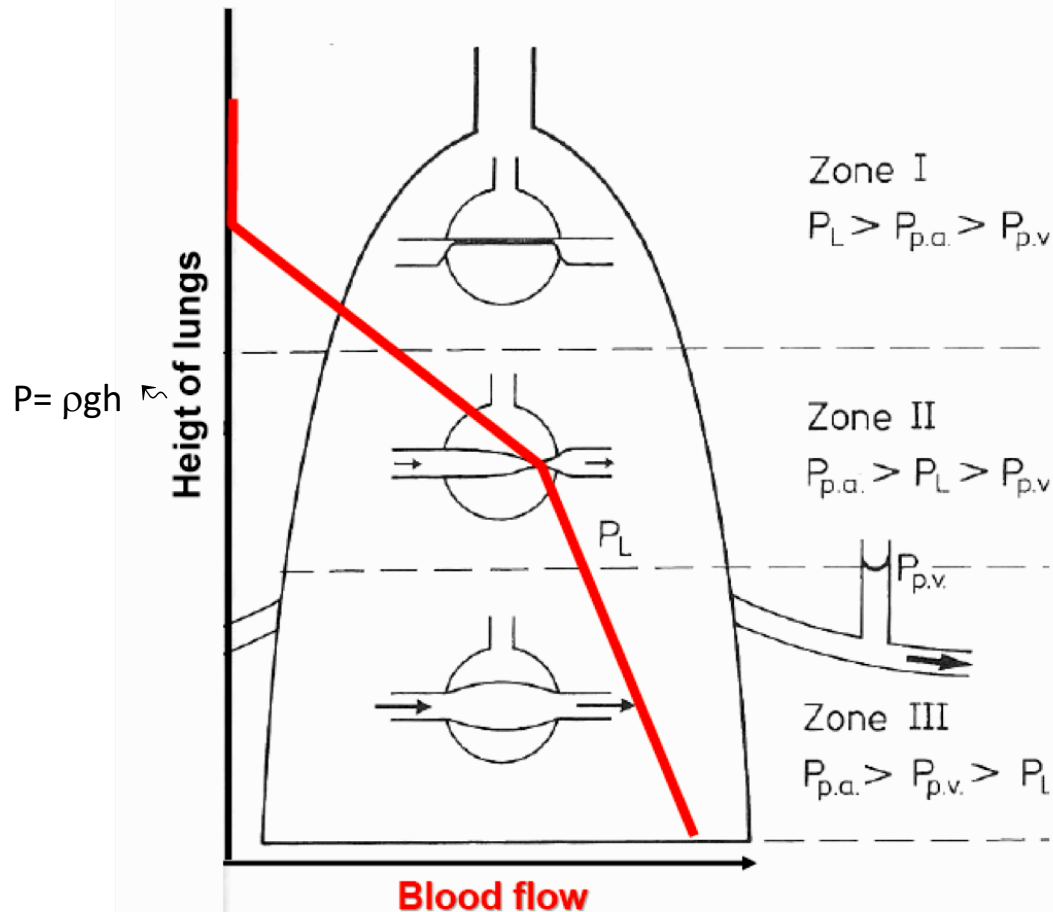
Effect on mean pulmonary arterial pressure caused by increasing the cardiac output during exercise.

$$16 \text{ mmHg} \cdot 6 = 96 \text{ mmHg}$$

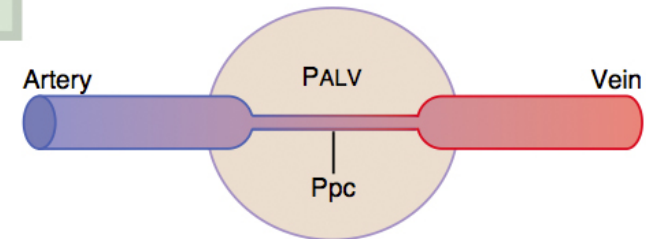
$$P_{\text{pulm}} \cdot 6 = P_{\text{art}}$$

Système respiratoire Circulation artérielle pulmonaire et position

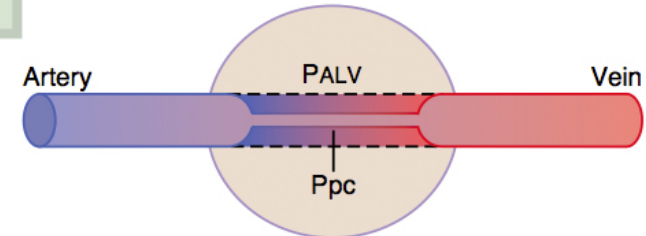
Inequality of lung ventilation-perfusion ratio in standing posture (ρgh)



ZONE 1



ZONE 2



ZONE 3

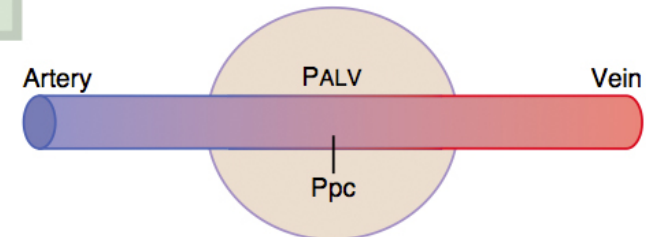
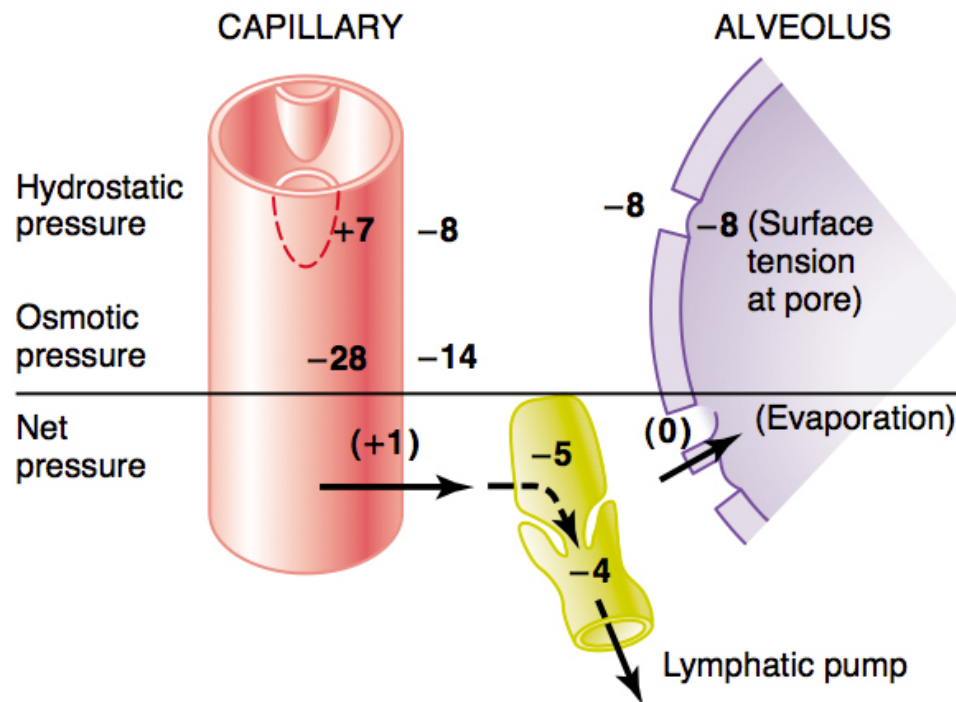


Figure 38-4

Mechanics of blood flow in the three blood flow zones of the lung: zone 1, *no flow*—alveolar air pressure (P_{ALV}) is greater than arterial pressure; zone 2, *intermittent flow*—systolic arterial pressure rises higher than alveolar air pressure, but diastolic arterial pressure falls below alveolar air pressure; and zone 3, *continuous flow*—arterial pressure and pulmonary capillary pressure (P_{pc}) remain greater than alveolar air pressure at all times.

Système respiratoire Force hydrostatique et osmotique Circulation fluidique

Pressures Causing Fluid Movement



mm Hg

Forces tending to cause movement of fluid outward from the capillaries and into the pulmonary interstitium:

Capillary pressure	7
Interstitial fluid colloid osmotic pressure	14
Negative interstitial fluid pressure	8
TOTAL OUTWARD FORCE	29

Forces tending to cause absorption of fluid into the capillaries:

Plasma colloid osmotic pressure	28
TOTAL INWARD FORCE	28

mm Hg

Total outward force	+29
Total inward force	-28
MEAN FILTRATION PRESSURE	+1

Figure 38-6

Hydrostatic and osmotic forces at the capillary (*left*) and alveolar membrane (*right*) of the lungs. Also shown is the tip end of a lymphatic vessel (*center*) that pumps fluid from the pulmonary interstitial spaces. (Modified from Guyton AC, Taylor AE, Granger HJ: Circulatory Physiology II: Dynamics and Control of the Body Fluids. Philadelphia: WB Saunders, 1975.)

$$\text{Hydrostatic pressure} = P_{\text{IN}} - P_{\text{OUT}} = +7 - (-8) = +15 \text{ mmHg}$$

$$\text{Osmotic pressure} = P_{\text{IN}} - P_{\text{OUT}} = -28 - (-14) = -14 \text{ mmHg}$$

$$\text{Net mean filtration pressure} = +1 \text{ mmHg}$$

Système respiratoire Dynamique des capillaires pulmonaires

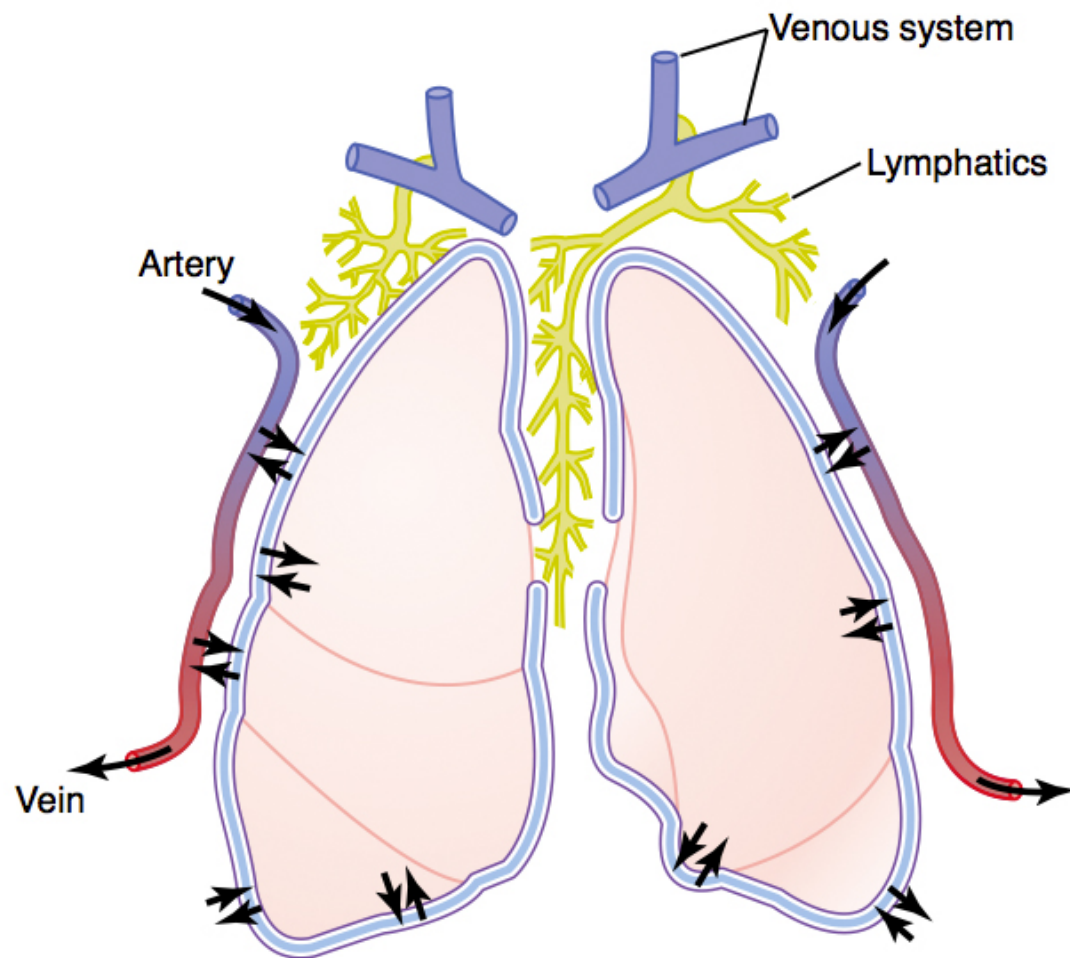


Figure 38–8

Dynamics of fluid exchange in the intrapleural space.

Propriétés spécifiques

La pression capillaire est particulièrement basse, à 7 mm Hg

Le temps de transit du sang est de 0.8 – 0.3 secondes

Echanges de fluides

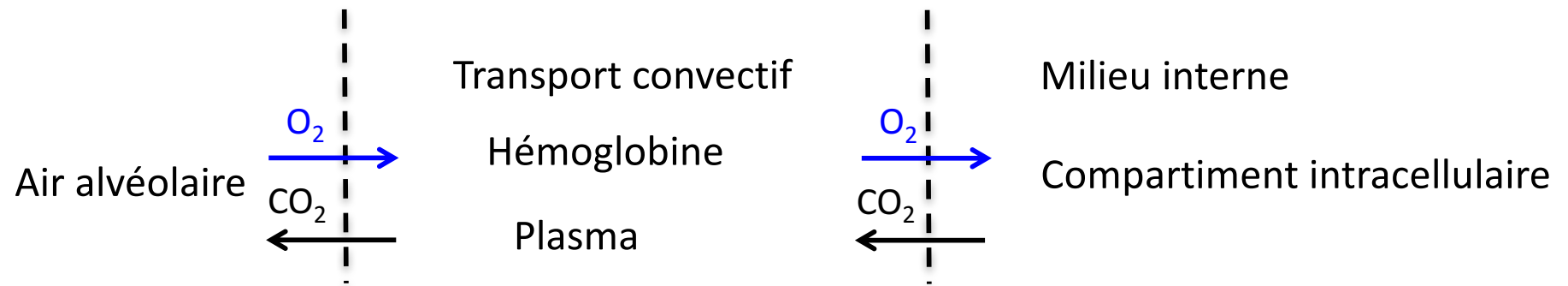
Qualitativement similaire aux autres tissus

Quantitativement différent

- faible pression capillaire, 7 mm Hg
- faible pression interstitielle -5 to -8 mm Hg
- capillaires perdent des protéines
- les parois alvéolaires sont très minces
- risque d'implosion des cellules alvéolaires si la pression dans l'espace interstitiel est > à la pression dans l'espace alvéolaire!

Nécessité de garder les alvéoles non gorgées de liquide =>

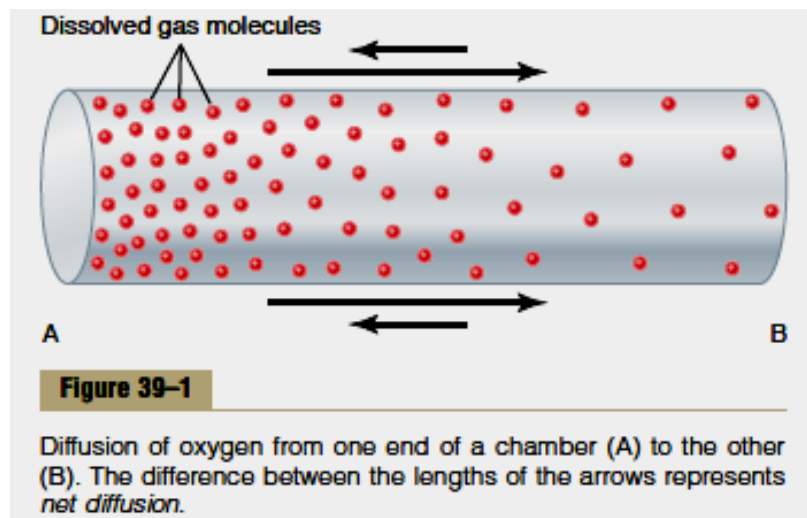
Il est important d'avoir une pression négative dans l'espace interstitiel; aspiration du liquide des alvéoles vers les lymphatiques par la pression négative qu'elles produisent

Système respiratoire Principe des échanges gazeux dans les poumons

Système respiratoire Principe des échanges gazeux dans les poumons

Solubilité des gaz

- Gouvernée par la physique de la diffusion et la pression partielle des gaz
 - *Gradient de concentration*
 - *Pression partielle directement proportionnelle à la concentration des gaz*
 - *Capacité de chaque gaz de se dissoudre dans l'eau et les tissus selon son coefficient de solubilité*



$$\text{Partial pressure} = \frac{\text{Concentration of dissolved gas}}{\text{Solubility coefficient}}$$

Loi de Henry $P_{\text{P gaz}} \cdot \alpha_{\text{sol gaz}} = [\text{Gaz}_{\text{dissous}}]$

Oxygen	0.024
Carbon dioxide	0.57
Carbon monoxide	0.018
Nitrogen	0.012
Helium	0.008

coefficient de solubilité $\alpha_{\text{sol gaz}}$

Système respiratoire Principe des échanges gazeux dans les poumons
Diffusion des gaz

- Diffusion des gaz dans les fluides
 - *la différence de pression partielle provoque une diffusion nette*
- Diffusion des gaz dans les tissus
 - *O₂ et CO₂ sont fortement soluble dans les lipides membranaires (CO₂ 20 x > O₂)*

D = diffusion rate

ΔP = partial pressure difference

A = cross sectional area

S = solubility of the gas

d = distance

MW = molecular weight

$$D \propto \frac{\Delta P \cdot A \cdot S}{d \cdot \sqrt{MW}}$$

Système respiratoire Composition de l'air alvéolaire

Different que l'air atmosphérique:

- *partiellement remplacé par de l'air atmosphérique*
- *O₂ est constamment extrait par échange dans le sang*
- *CO₂ est constamment diffusé depuis le sang*
- *l'air est humidifié dans les voies respiratoires*

Partial Pressures of Respiratory Gases as They Enter and Leave the Lungs (at Sea Level)

	Atmospheric Air*		Humidified Air		Alveolar Air *		Expired Air	
	(mm Hg)		(mm Hg)		(mm Hg)		(mm Hg)	
N ₂	597.0	(78.62%)	563.4	(74.09%)	569.0	(74.9%)	566.0	(74.5%)
O ₂	159.0	(20.84%)	149.3	(19.67%)	104.0	(13.6%)	120.0	(15.7%)
CO ₂	0.3	(0.04%)	0.3	(0.04%)	40.0	(5.3%)	27.0	(3.6%)
H ₂ O	3.7	(0.50%)	47.0	(6.20%)	47.0	(6.2%)	47.0	(6.2%)
TOTAL	760.0	(100.0%)	760.0	(100.0%)	760.0	(100.0%)	760.0	(100.0%)

* On an average cool, clear day.

* A 37 C° temperature corps

$$P_{\text{part gaz}} = P_{\text{atm air}} \cdot \text{Fract}_{\text{gaz}}$$

Système respiratoire Renouvellement de l'air alvéolaire Effet de la dilution

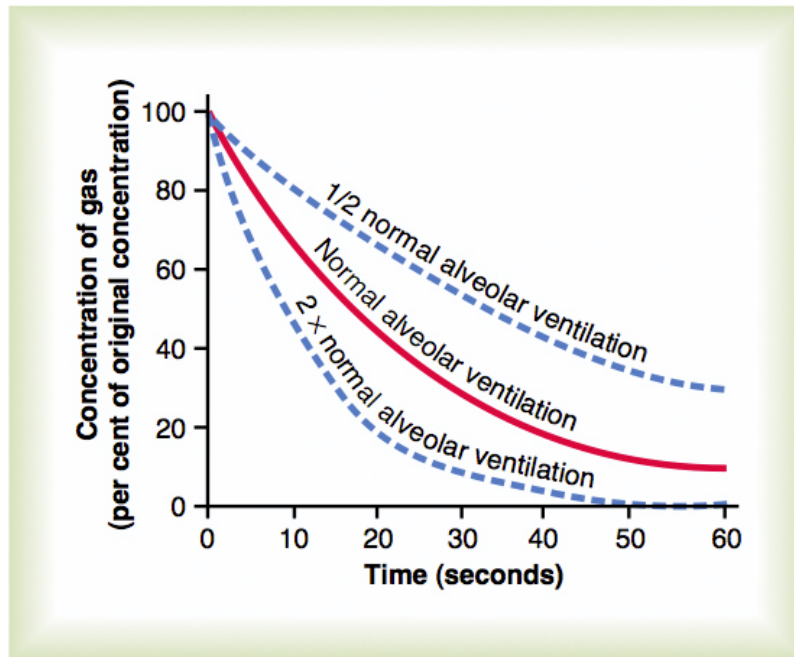
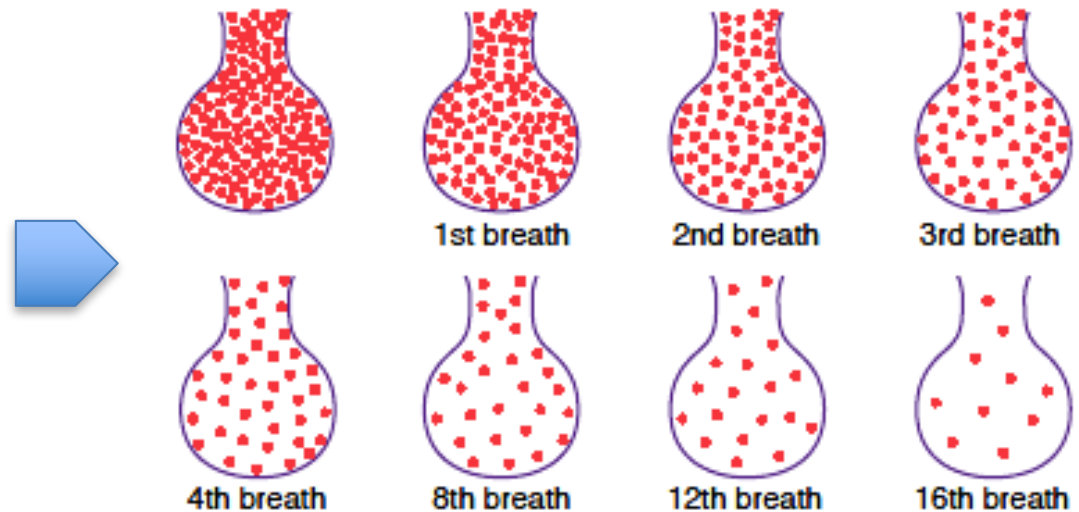


Figure 39-3

Rate of removal of excess gas from alveoli.



Seul 14% de la capacité vitale est renouvelée:

- *même après 16 respirations certains gaz persistent dans les alvéoles*
- *stabilité de la composition des gaz*
- *garder l'oxygénation dans des tolérances (stress oxydatif)*

Système respiratoire Concentration des gaz et pression partielle alvéolaire

La concentration d'O₂ dans les alvéoles dépend du:

- *taux d'absorption dans le sang (O₂) ou la diffusion depuis le sang (CO₂)*
- *débit ventilatoire*

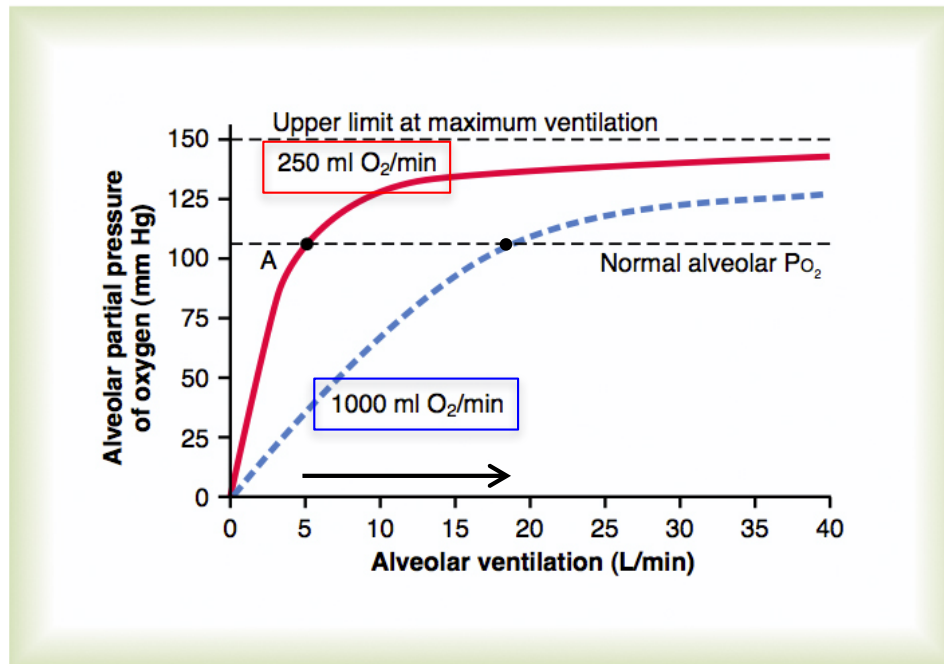


Figure 39-4 Stimulus hypoxique → Hyperpnée

Effect of alveolar ventilation on the alveolar PO₂ at two rates of oxygen absorption from the alveoli—250 ml/min and 1000 ml/min. Point A is the normal operating point.

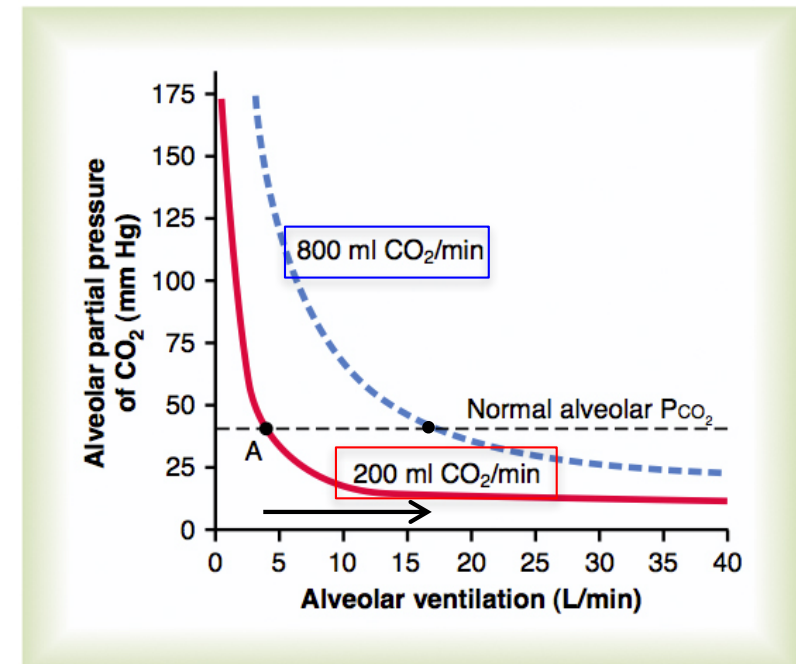


Figure 39-5 Stimulus hypercapnique → Hyperpnée

Effect of alveolar ventilation on the alveolar PCO₂ at two rates of carbon dioxide excretion from the blood—800 ml/min and 200 ml/min. Point A is the normal operating point.

Système respiratoire Diffusion des gaz à travers la membrane respiratoire

La diffusion dépend de:

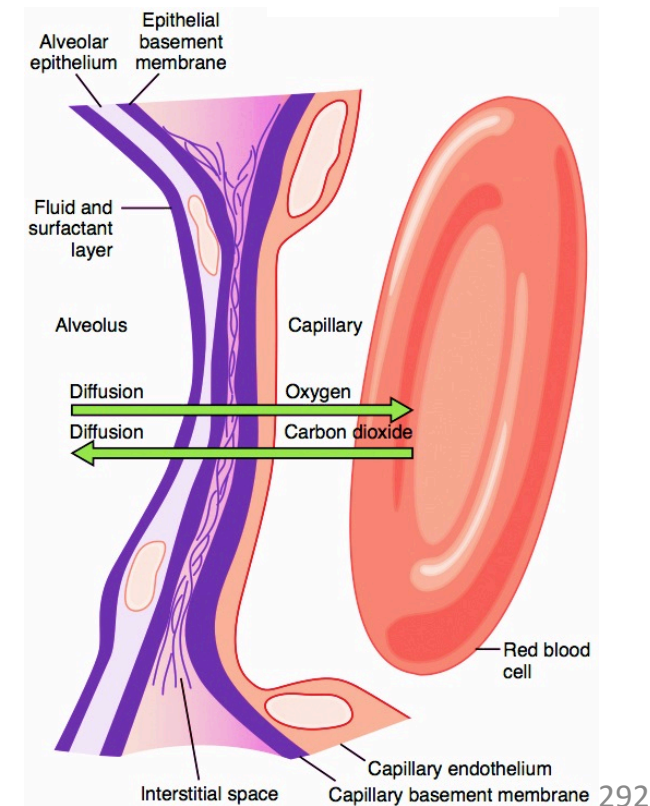
- épaisseur membrane de l'unité respiratoire (200 nm, moyenne 600 nm)
- surface totale d'échange (70-200 m²)
- perfusion sang (60-140 ml de volume) => Grand rapport S/V
- configuration des capillaires (diamètre moyen 5 µm)



$$D \propto \frac{\Delta P \cdot A \cdot S}{d \cdot \sqrt{MW}}$$

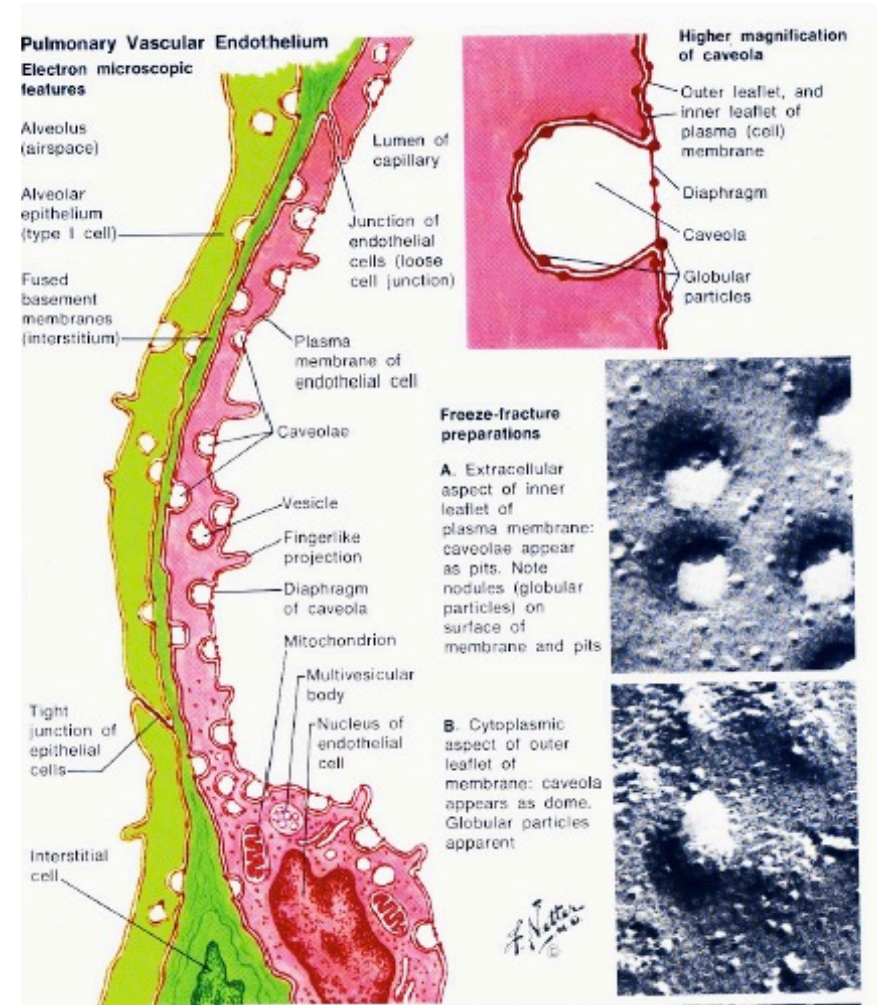
Qu'est ce qui affecte la diffusion des gaz? => Changements dans:

- épaisseur de la membrane (oedème, fibrose)
- surface de la membrane respiratoire (emphysème)
- composition gaz
- changement dans le débit sanguin capillaire (adaptation à l'exercise)
- adaptation au rapport ventilation / perfusion



Système respiratoire Diffusion des gaz à travers la membrane respiratoire

Les cellules endothéliales pulmonaires offrent la plus grande capacité de diffusion tout en restant un endothélium continu



Système respiratoire Effet Ventilation/Perfusion sur concentration gaz alvéolaire

\dot{V}_A/Q = rapport ventilation air/perfusion sang

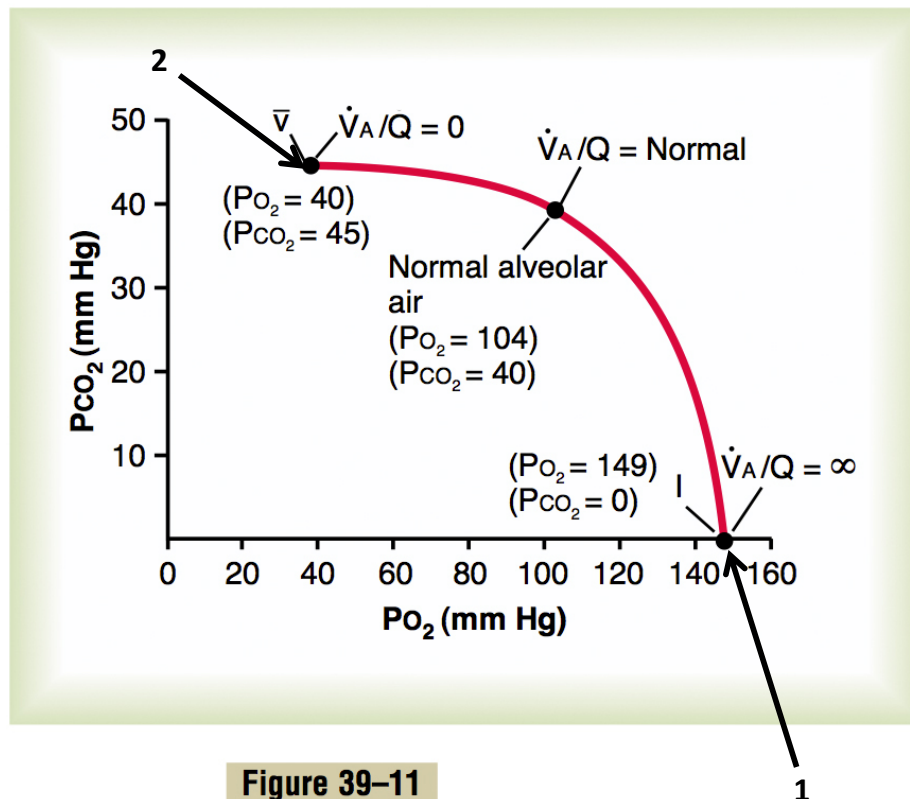


Figure 39-11

Normal PO_2 - PCO_2 , \dot{V}_A/Q diagram.

1: arrêt circulatoire ventilation maximale (non distribuée)

2: arrêt ventilation circulation maximale (non ventilée)

1: $Q = 0$ 2: $\dot{V}_A = 0$

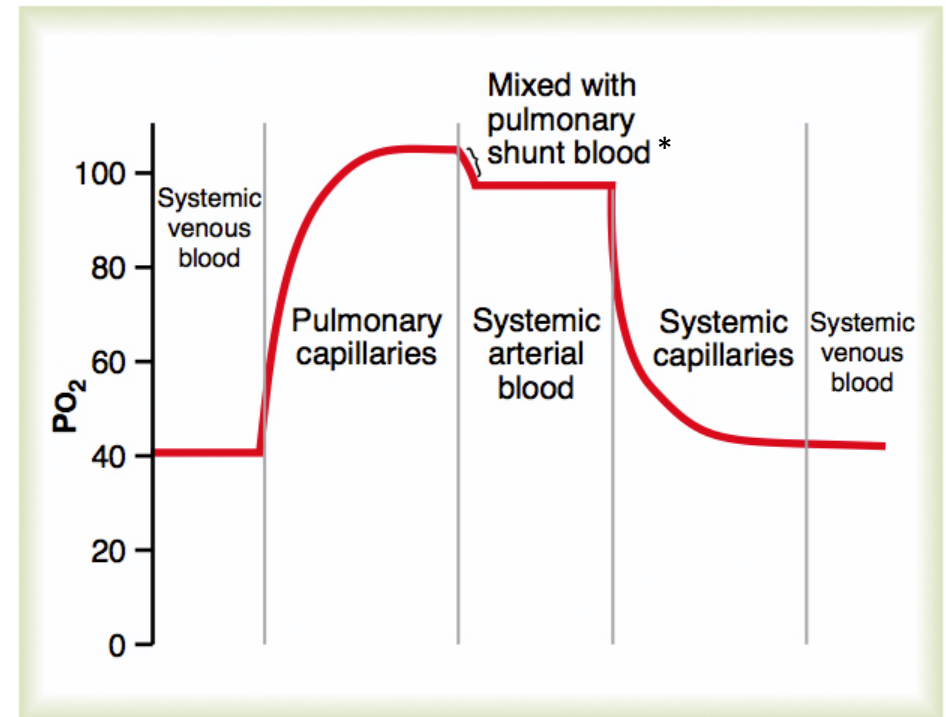


Figure 40-2

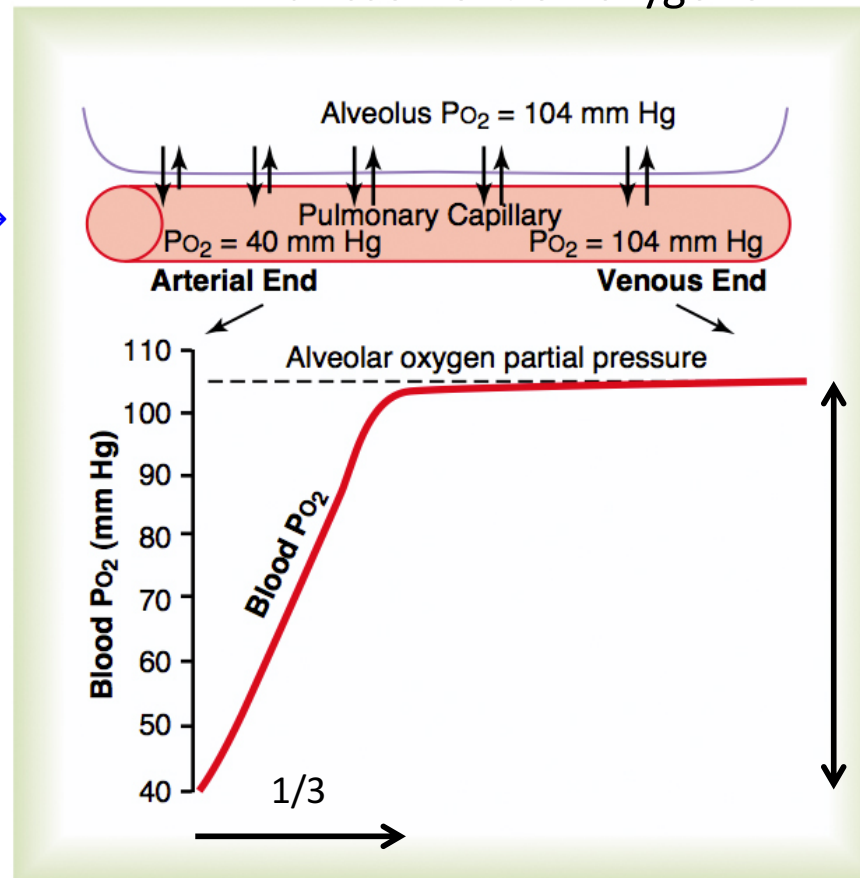
Changes in PO_2 in the pulmonary capillary blood, systemic arterial blood, and systemic capillary blood, demonstrating the effect of "venous admixture."

* Shunt artério-veineux pulmonaire amenant du sang veineux des réseaux capillaires et bronchiques directement dans les veinules pulmonaires

Système respiratoire Diffusion des gaz dans les poumons

Enrichissement en oxygène

Entrée sang veineux artériolaire →



→ Sortie sang artériel veinulaire

$$\Delta P_{O_2} A-V = 64 \text{ mmHg}$$

Figure 40-1

Uptake of oxygen by the pulmonary capillary blood. (The curve in this figure was constructed from data in Milhorn HT Jr, Pulley PE Jr: A theoretical study of pulmonary capillary gas exchange and venous admixture. *Biophys J* 8:337, 1968.)

Système respiratoire Diffusion des gaz dans la circulation périphérique

PO_2 poumons = 104 mmHg

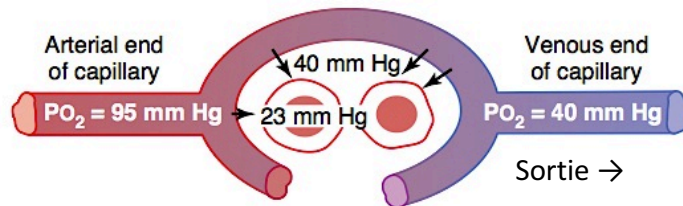


Figure 40-3

Diffusion of oxygen from a tissue capillary to the cells. (PO_2 in interstitial fluid = 40 mm Hg, and in tissue cells = 23 mm Hg.)

O_2

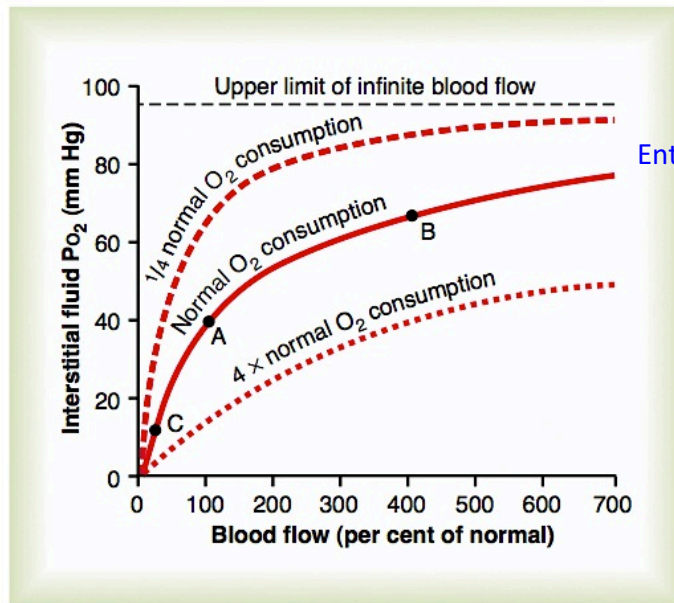


Figure 40-4

Effect of blood flow and rate of oxygen consumption on tissue PO_2 .

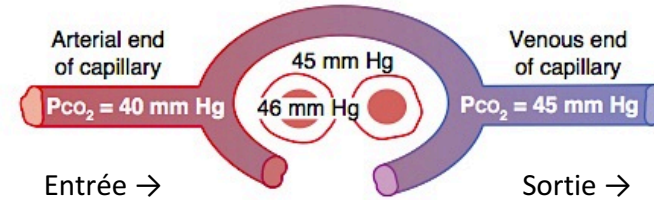


Figure 40-5

Uptake of carbon dioxide by the blood in the tissue capillaries. (P_{CO_2} in tissue cells = 46 mm Hg, and in interstitial fluid = 45 mm Hg.)

CO_2

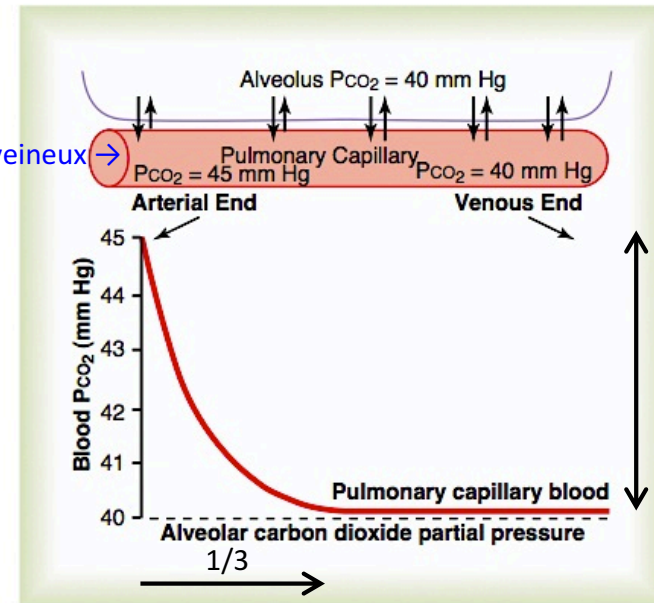


Figure 40-6

Diffusion of carbon dioxide from the pulmonary blood into the alveolus. (This curve was constructed from data in Milhorn HT Jr, Pulley PE Jr: A theoretical study of pulmonary capillary gas exchange and venous admixture. Biophys J 8:337, 1968.)

Système respiratoire Effet métabolisme et circulation tissulaires sur PCO_2

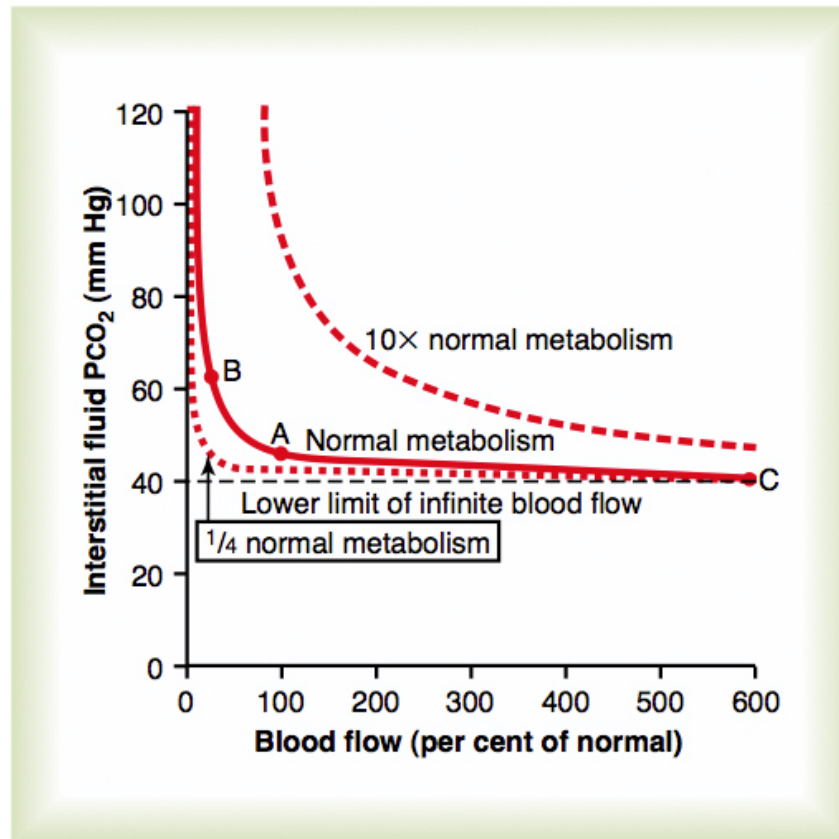


Figure 40-7

Effect of blood flow and metabolic rate on peripheral tissue PCO_2 .

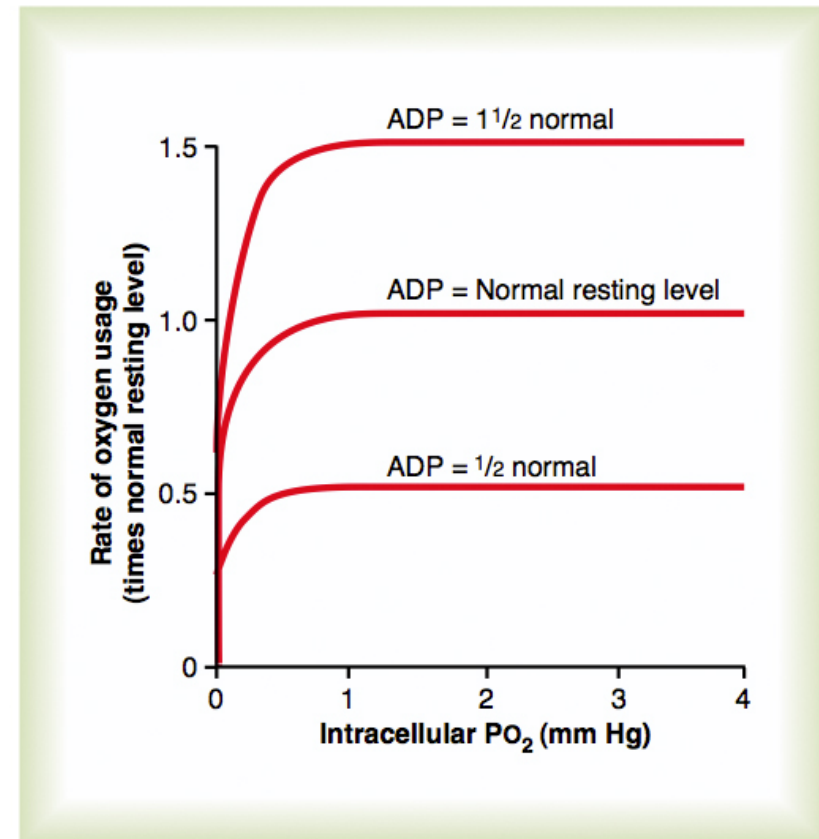


Figure 40-11

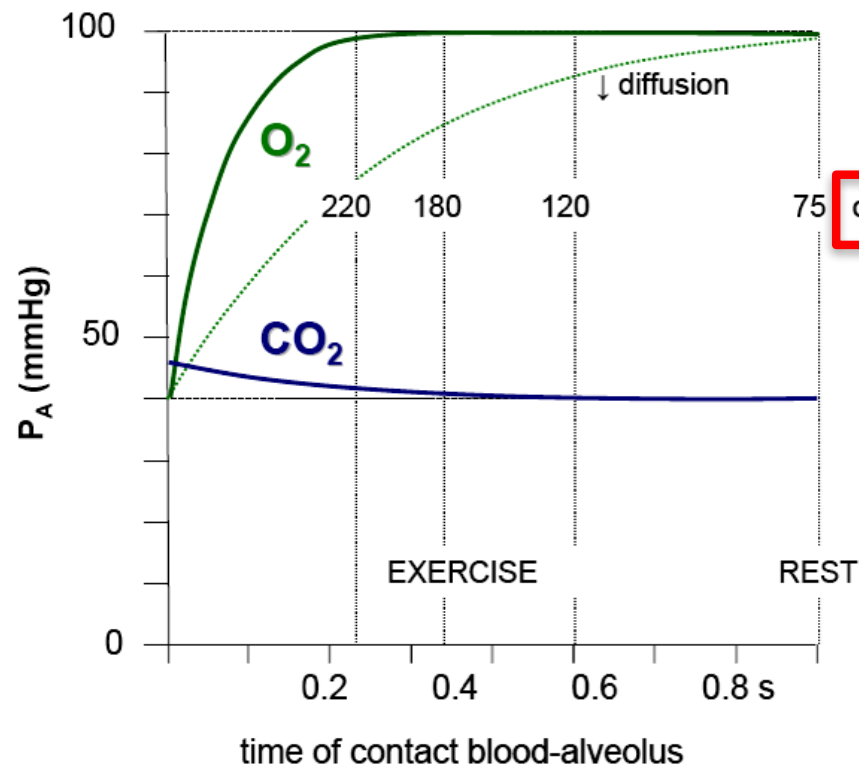
Effect of intracellular adenosine diphosphate (ADP) and PO_2 on rate of oxygen usage by the cells. Note that as long as the intracellular PO_2 remains above 1 mm Hg, the controlling factor for the rate of oxygen usage is the intracellular concentration of ADP.

Guyton et Hall Medical Physiology

Système respiratoire Transport O_2 et CO_2 dans le sang et les tissus alvéolaires

Capacité de diffusion des gaz

Diffusion & flow limited alveolo-capillary gas exchanges



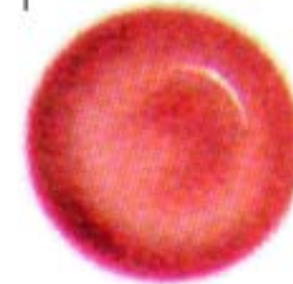
Capacité de diffusion de l'oxygène. Pour un individu jeune, la *capacité de diffusion de l'oxygène* au repos est en moyenne de 21 ml/min/mm Hg.

Capacité de diffusion du CO_2 . La capacité de diffusion du dioxyde de carbone n'a jamais été mesurée à cause de la difficulté technique suivante: le dioxyde de carbone diffuse à travers la membrane alvéolaire si rapidement que la PCO_2 moyenne dans le sang pulmonaire n'est pas très différente de la PCO_2 dans les alvéoles (la différence en moyenne représente moins de 1 mm Hg) et avec les techniques disponibles, cette différence est trop petite pour être mesurée.

Système respiratoire Transport O₂ dans le sang: globules rouges



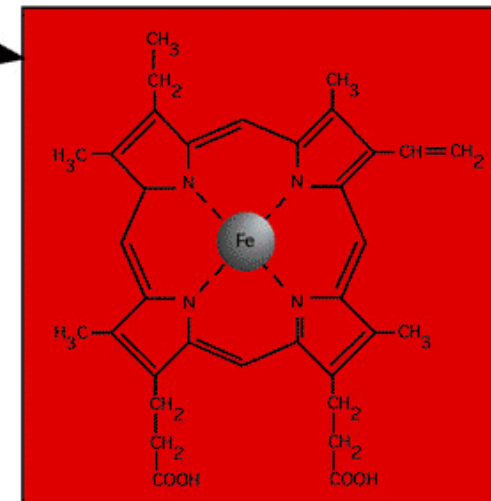
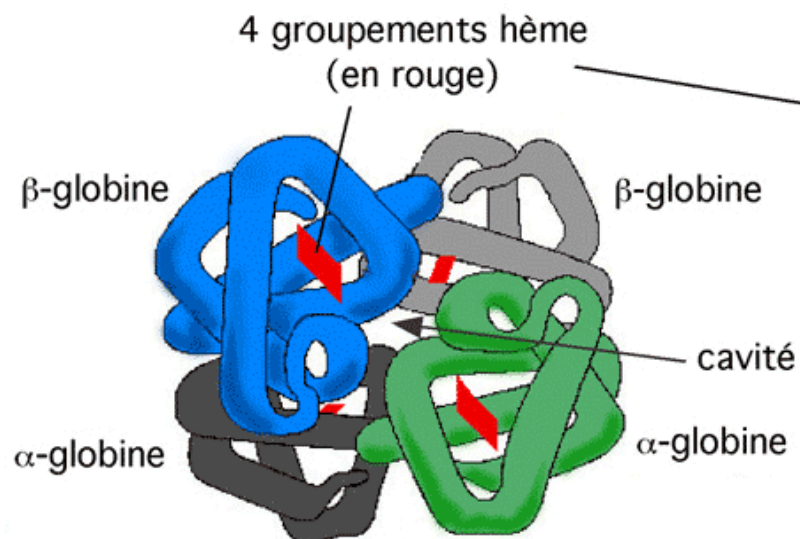
7 μm



Top View shows RBC to be circular



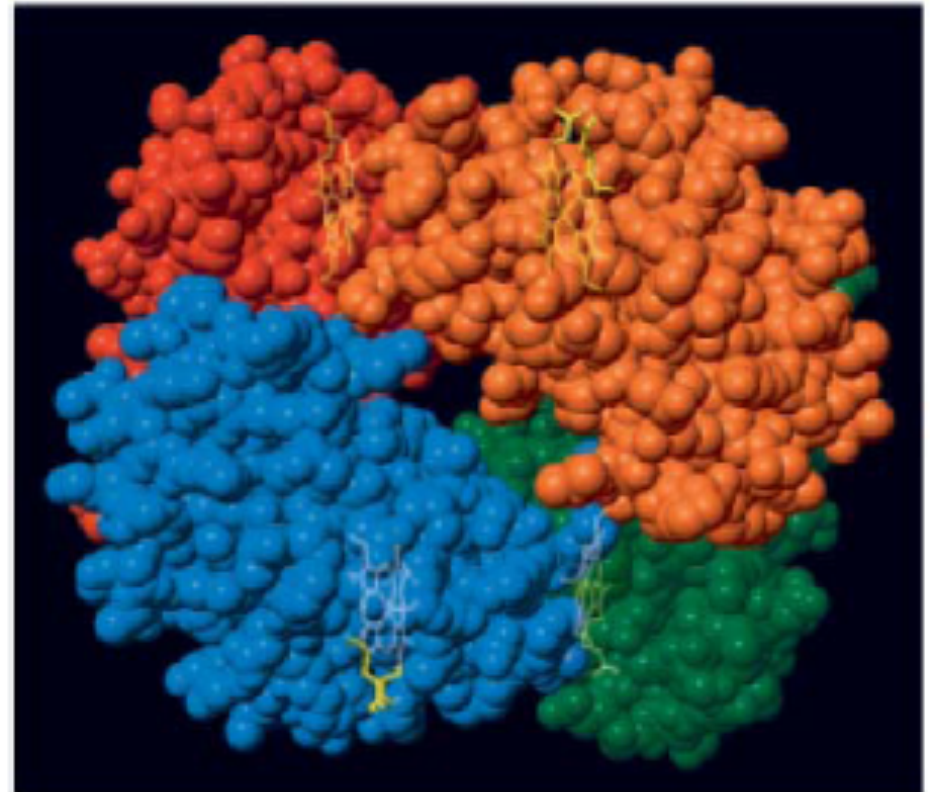
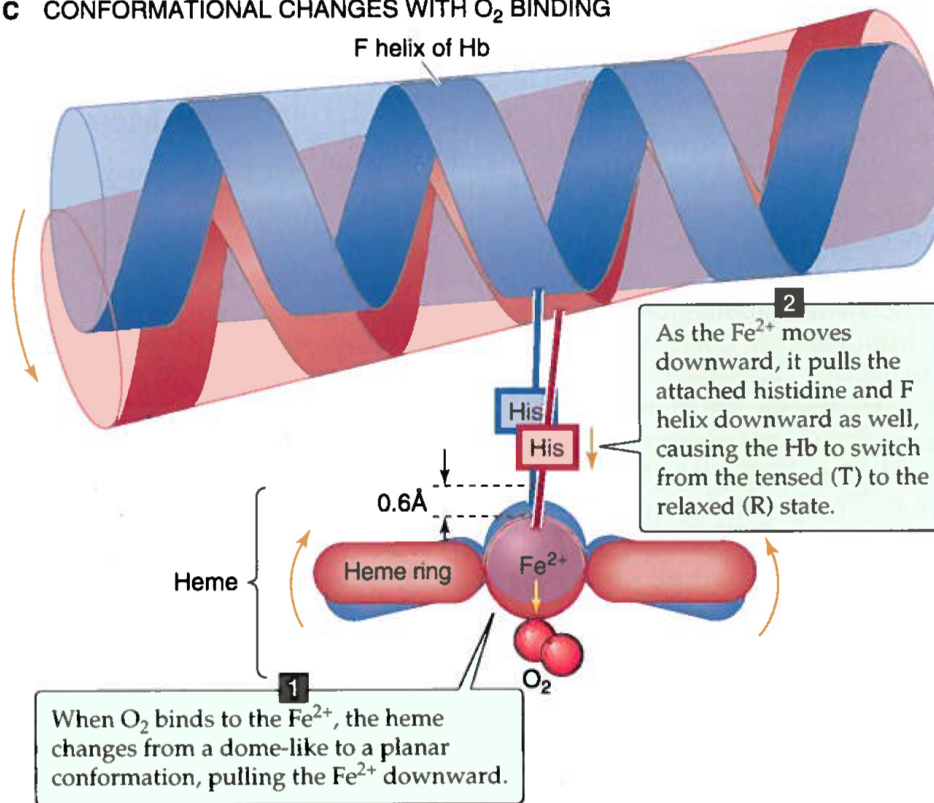
Side view shows RBC



D'après Russell, P.J. (1996) Genetics, Harper Collins, New York

Système respiratoire Transport O_2 dans le sang: l'hémoglobine

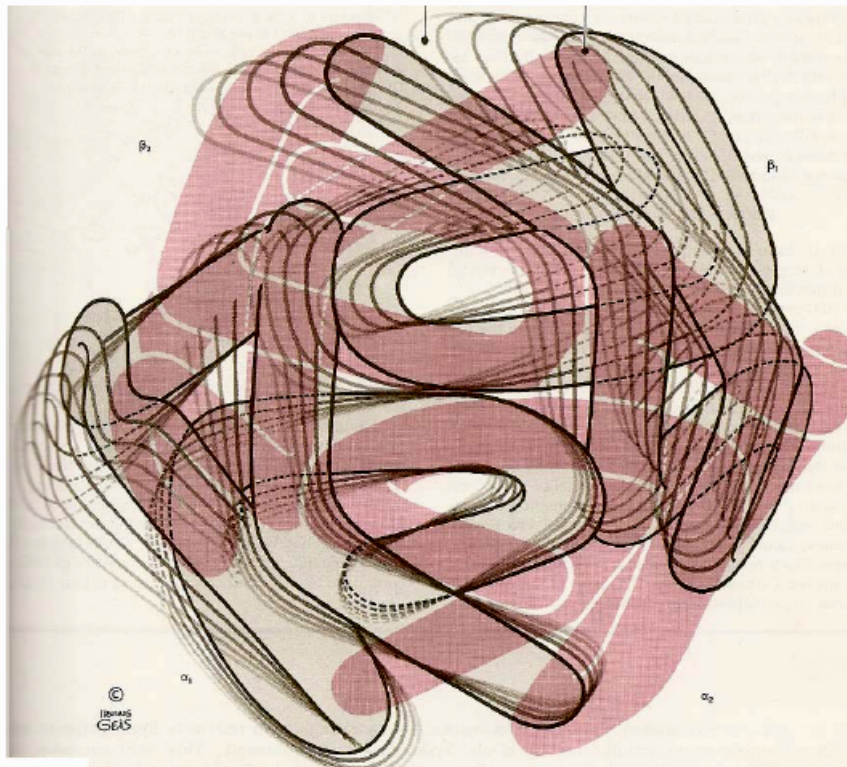
C CONFORMATIONAL CHANGES WITH O_2 BINDING



Système respiratoire Transport O_2 dans le sang

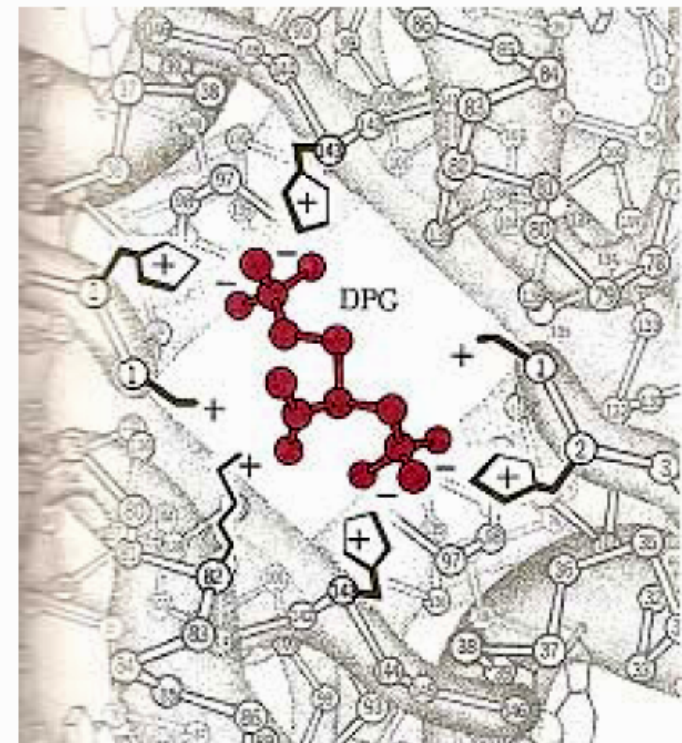
Sigmoid curve: cooperativity of subunits

changes in affinity due to conformational changes in the quaternary structure of Hb



Diphosphoglycerate (DPG):

interaction with Hb decreases the affinity for oxygen

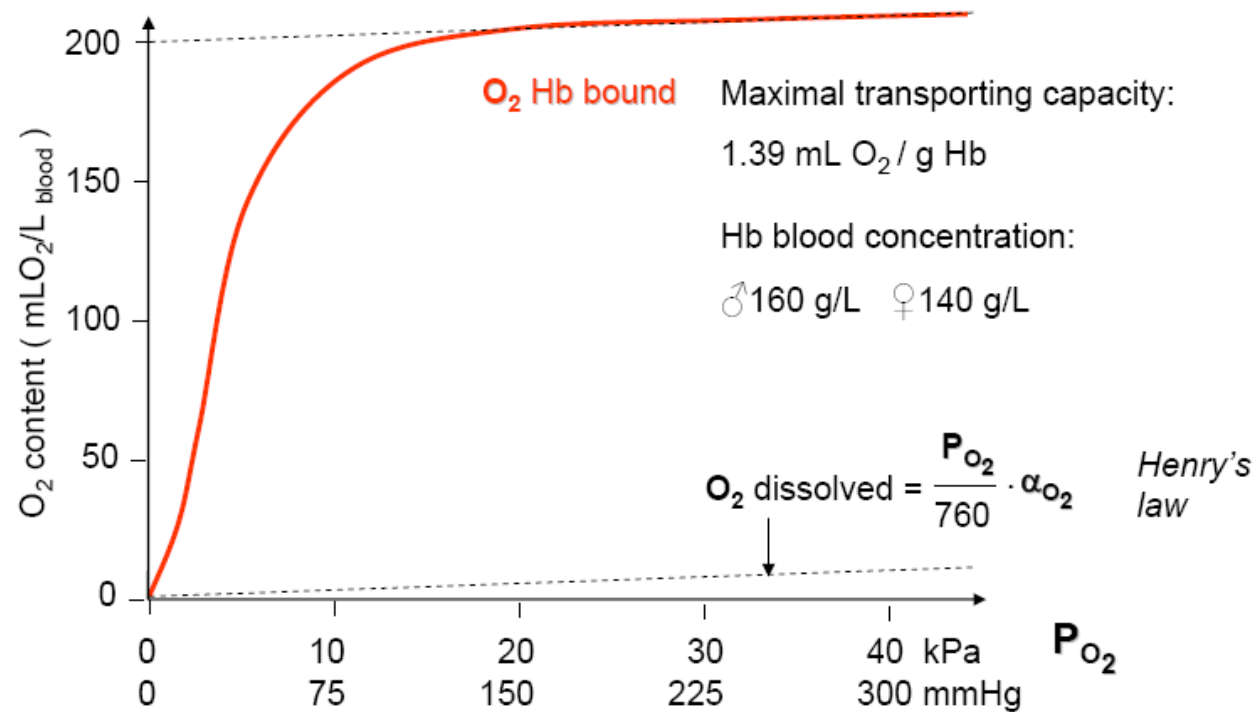


Système respiratoire Affinité de l'hémoglobine pour l'O₂

Blood transport of oxygen

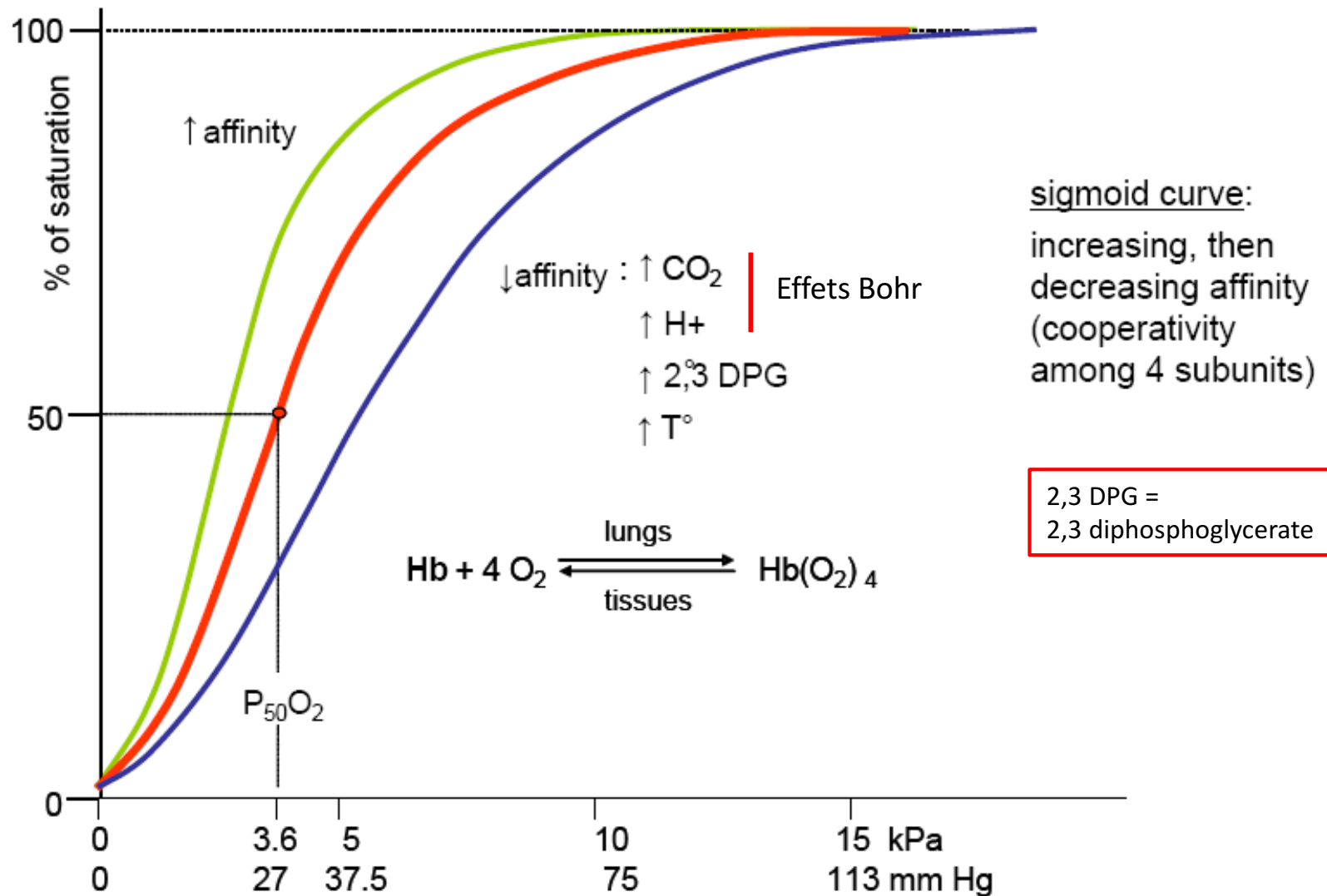
1) DISSOLVED

2) BOUND to **Hb**



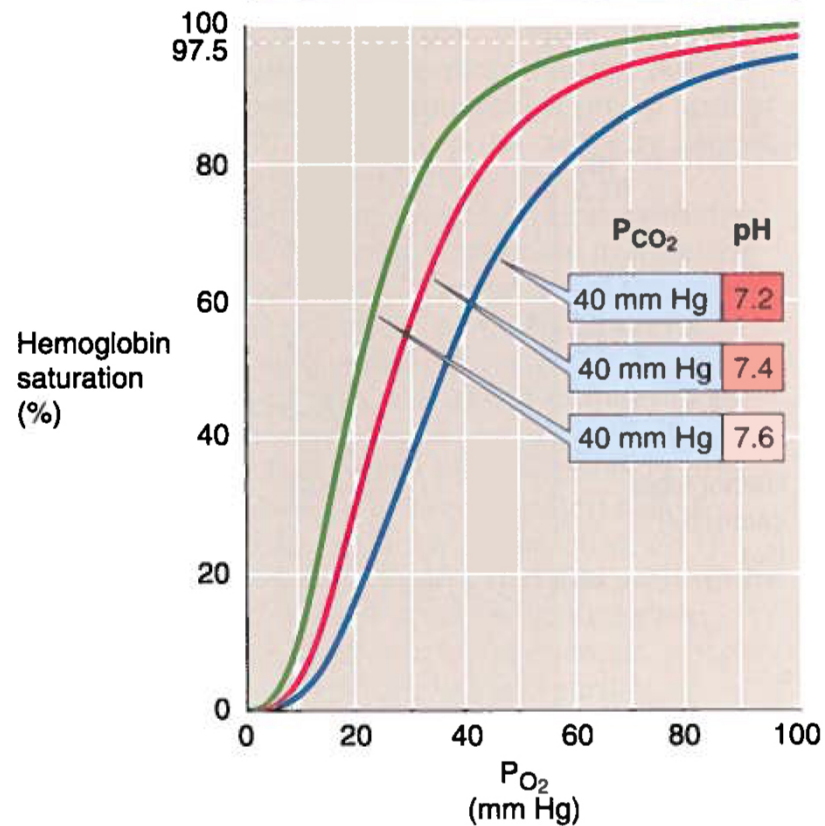
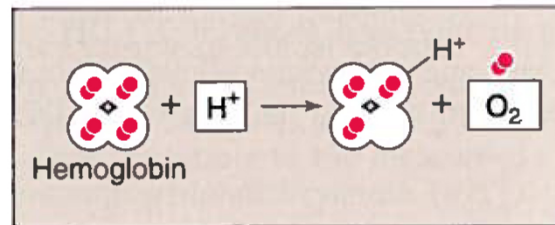
NB: 760 is a constant for oxygen L.atm/mol

Système respiratoire Courbe de saturation/dissociation de l'hémoglobine Rôle de l'effet Bohr

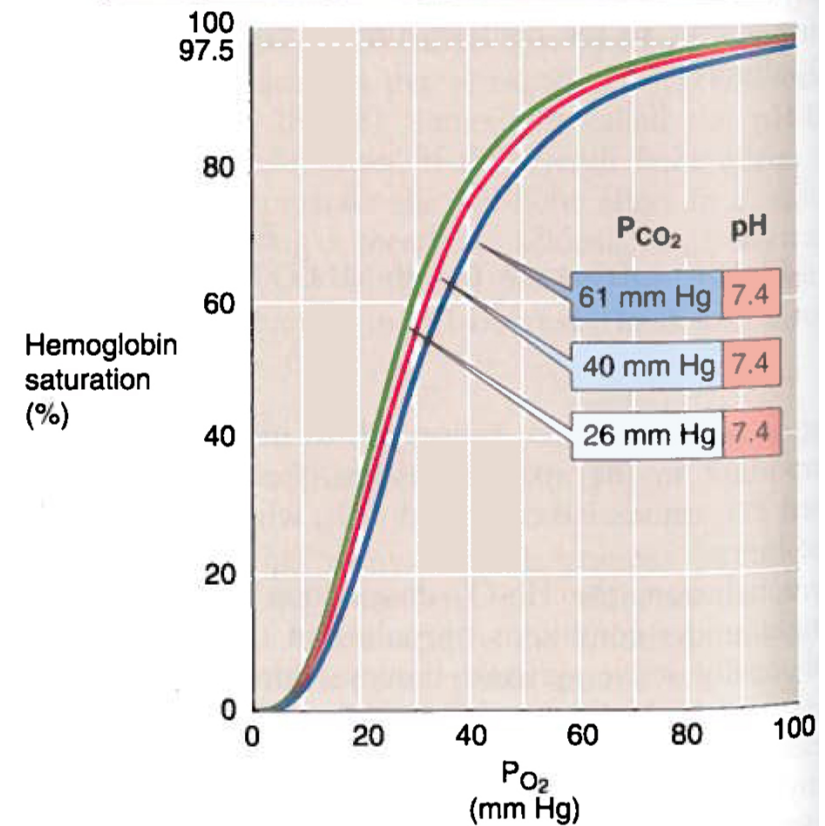
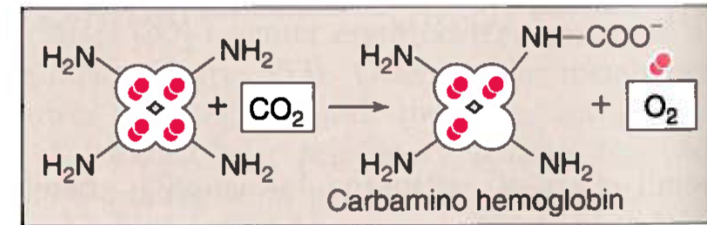


Système respiratoire Effets Bohr sur la dissociation de l'hémoglobine

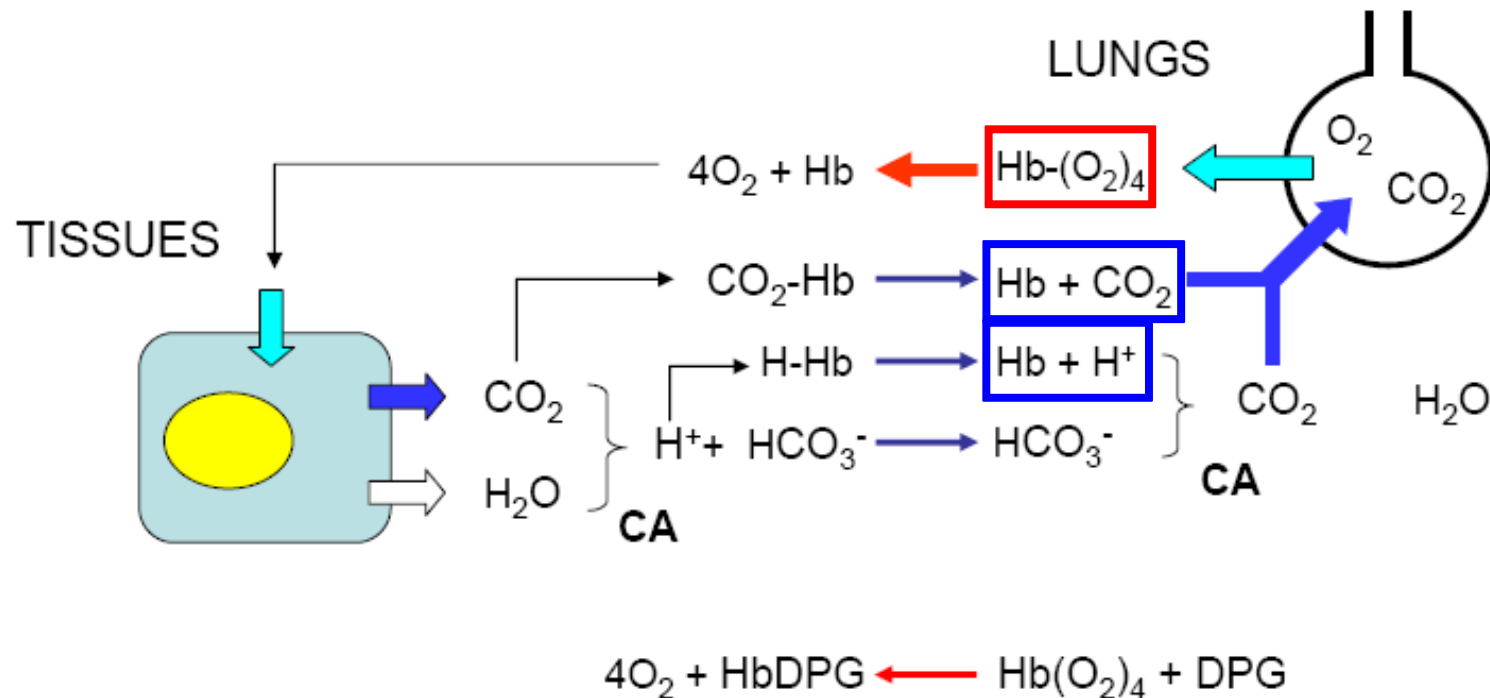
B EFFECT OF pH



C EFFECT OF CO_2



Système respiratoire Combinaisons de l'hémoglobine
Transport O_2 CO_2 H^+



! Hb

- transport d' O_2
- transport de CO_2
- tampon de H^+

Système respiratoire Variation de la PO_2 suivant la saturation de l'hémoglobine

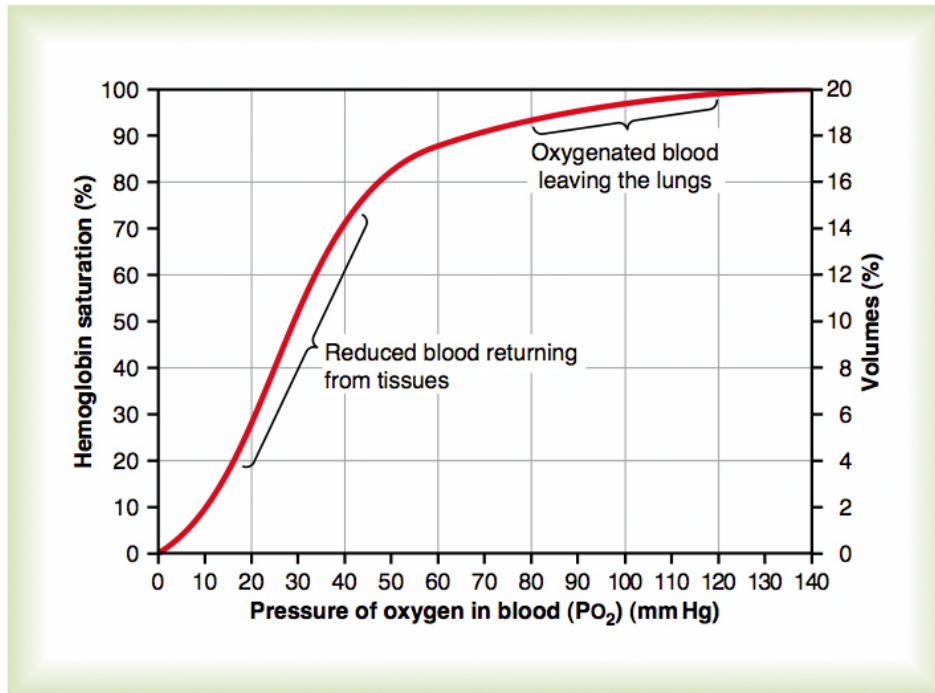


Figure 40-8

Oxygen-hemoglobin dissociation curve.

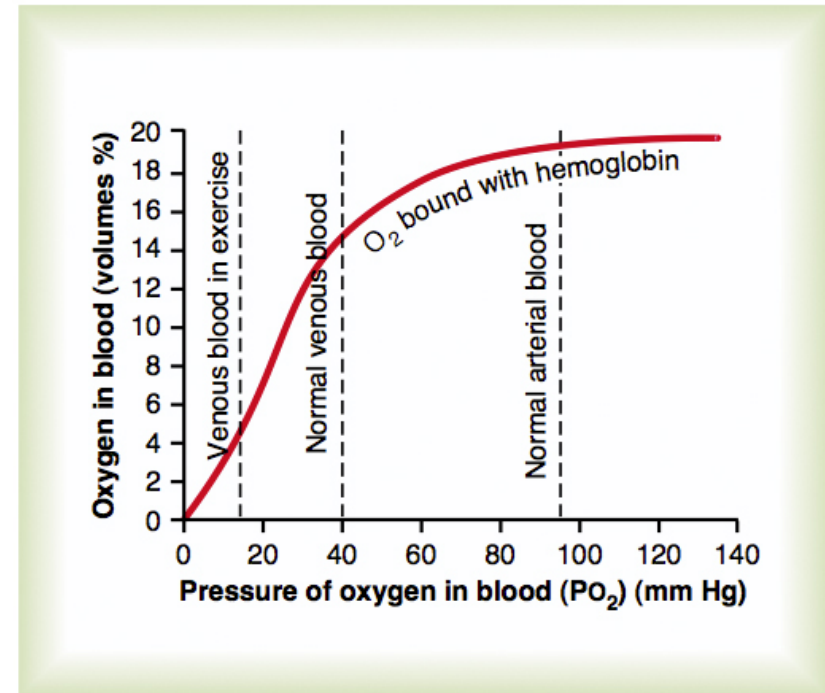


Figure 40-9

Effect of blood PO_2 on the quantity of oxygen bound with hemoglobin in each 100 milliliters of blood.

Système respiratoire Déplacement de l'hémoglobine par le CO

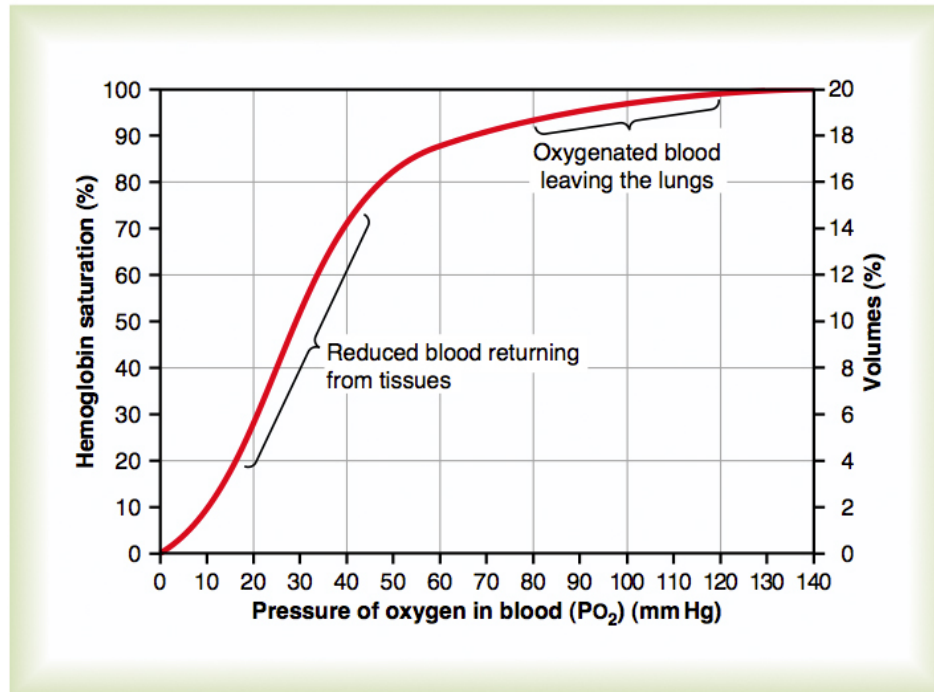


Figure 40-8

Le monoxyde de carbone se combine avec l'hémoglobine au même endroit sur la molécule d'hémoglobine que l'oxygène; il déplace l'oxygène de l'hémoglobine, diminuant ainsi la capacité de transport d'oxygène du sang. De plus il se lie avec une affinité 250 fois supérieure à celle de l'oxygène, ce qui est démontré par la courbe de dissociation du monoxyde de carbone-hémoglobine en Figure 40-12. Cette courbe est quasi identique à la courbe de dissociation de l'oxygène-hémoglobine, sauf que les pressions partielles du monoxyde de carbone, en abscisse, sont à un niveau de 1/250 de celles pour la courbe de dissociation oxygène-hémoglobine de la Figure 40-8.

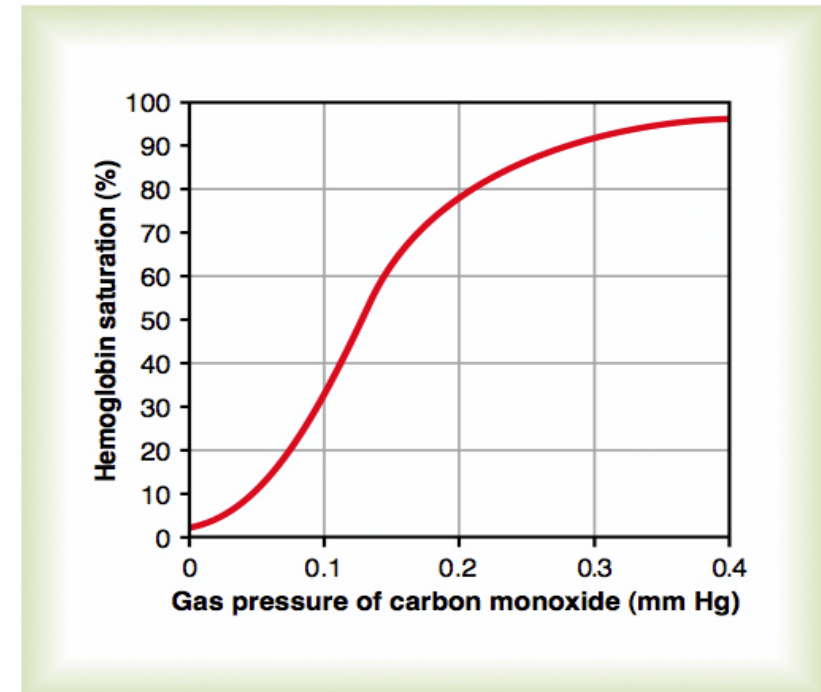


Figure 40-12

Carbon monoxide-hemoglobin dissociation curve. Note the extremely low carbon monoxide pressures at which carbon monoxide combines with hemoglobin.

Une pression partielle de monoxyde de carbone de seulement 0.4 mmHg dans les alvéoles, 1/250 de celle de l'oxygène alvéolaire normal (100 mm Hg PO_2), permet au monoxyde de carbone d'entrer en compétition égale avec l'oxygène pour se combiner avec l'hémoglobine. La moitié de l'hémoglobine se lie au monoxyde de carbone au lieu de se lier à l'oxygène.

307

Système respiratoire Transport de CO_2 dans le sang par l'hémoglobine

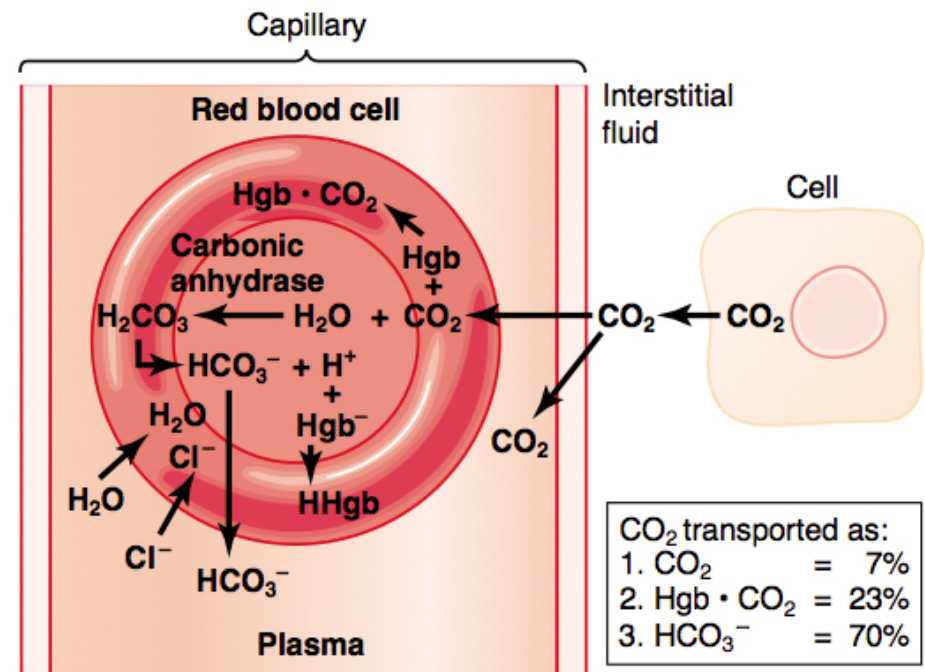
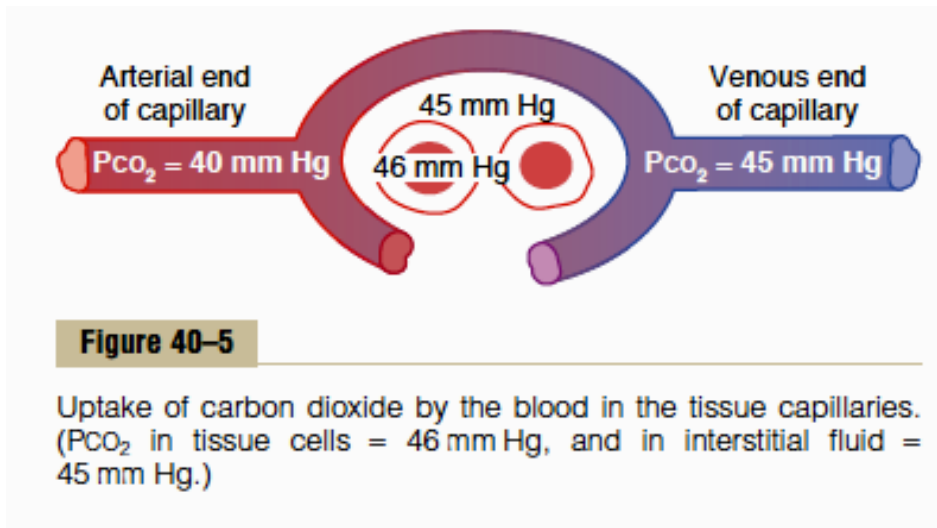
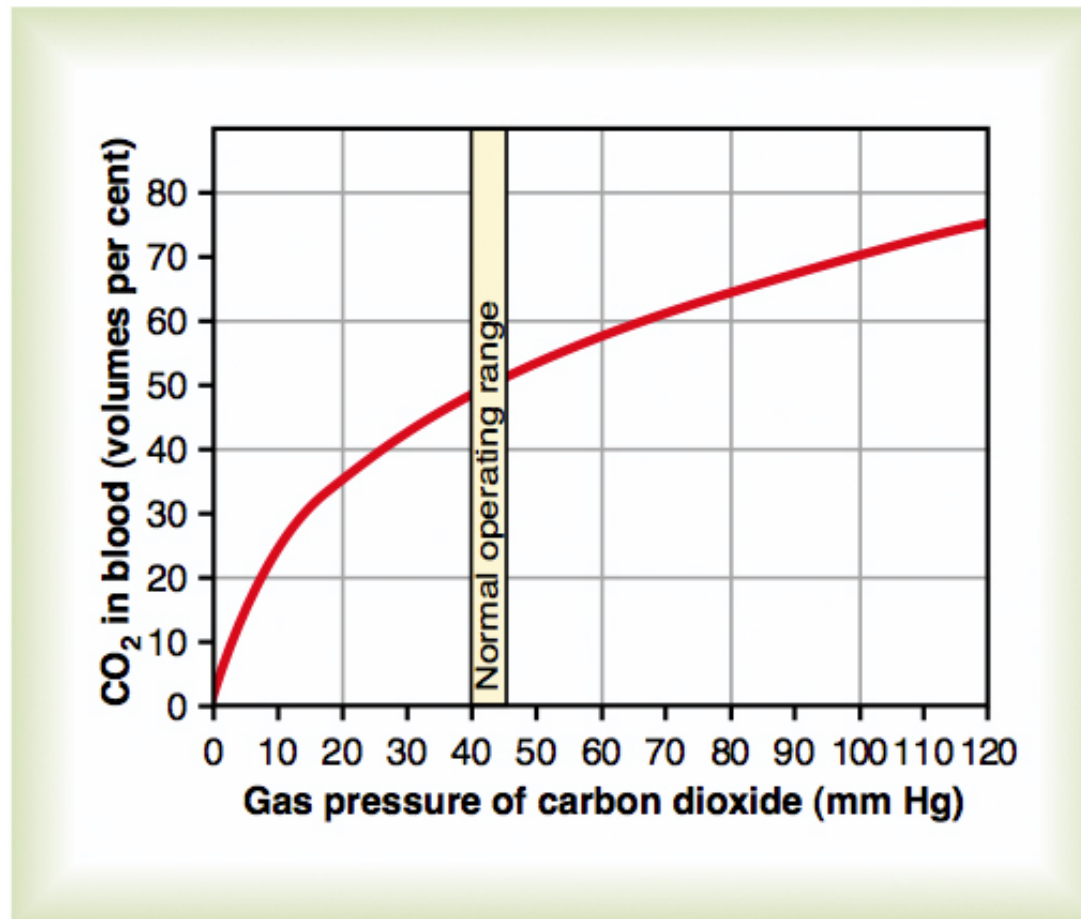


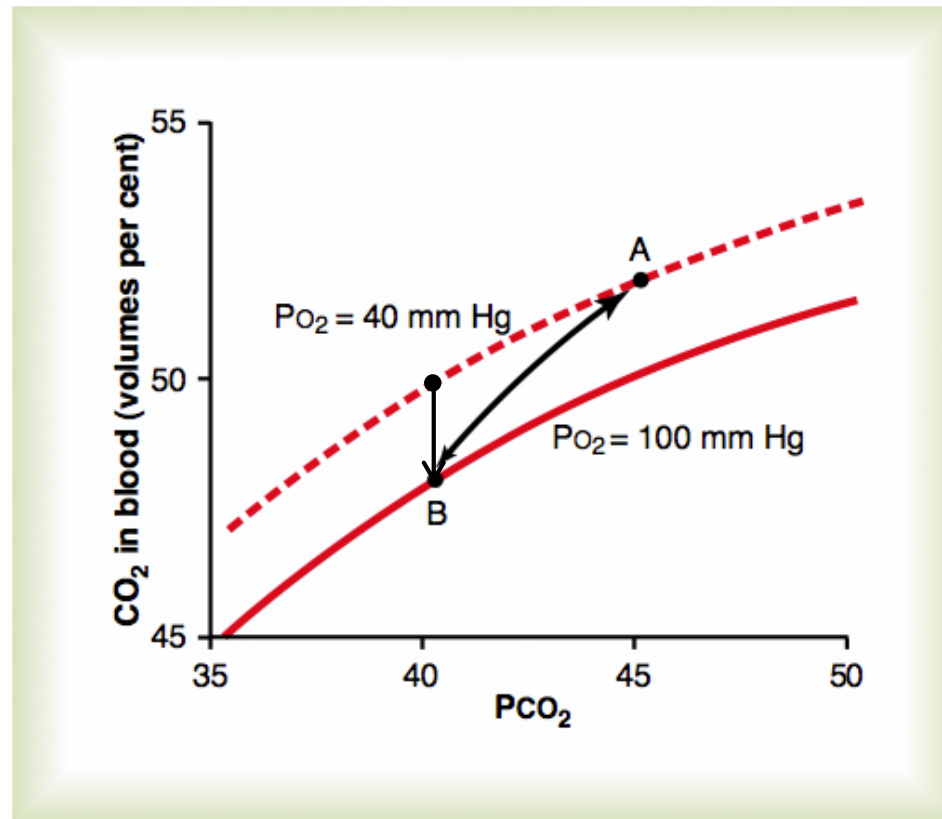
Figure 40-13

Transport of carbon dioxide in the blood.

- CO_2 dissous 7%
- HCO_3^- bicarbonates 70%
- Hb- CO_2 carbaminohémoglobine 23%

Système respiratoire Transport de CO_2 dans le sang**Figure 40-14**

Carbon dioxide dissociation curve.

Système respiratoire Transport de CO_2 dans le sang: effet Haldane

Pour une PCO_2 donnée, la concentration de CO_2 dans le sang augmente lorsque la PO_2 (saturation d'Hb) chute dans les tissus périphériques

Dans les poumons, la concentration de CO_2 dans le sang diminue davantage (50 \rightarrow 47.5 %vol.) en conséquence de l'accroissement de la PO_2

Figure 40-15

Portions of the carbon dioxide dissociation curve when the PO_2 is 100 mm Hg or 40 mm Hg. The arrow represents the Haldane effect on the transport of carbon dioxide, as discussed in the text.