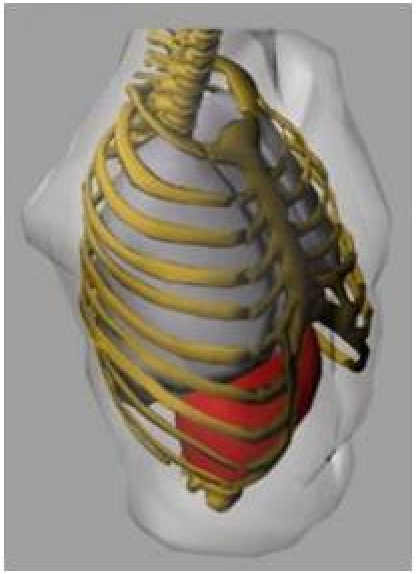
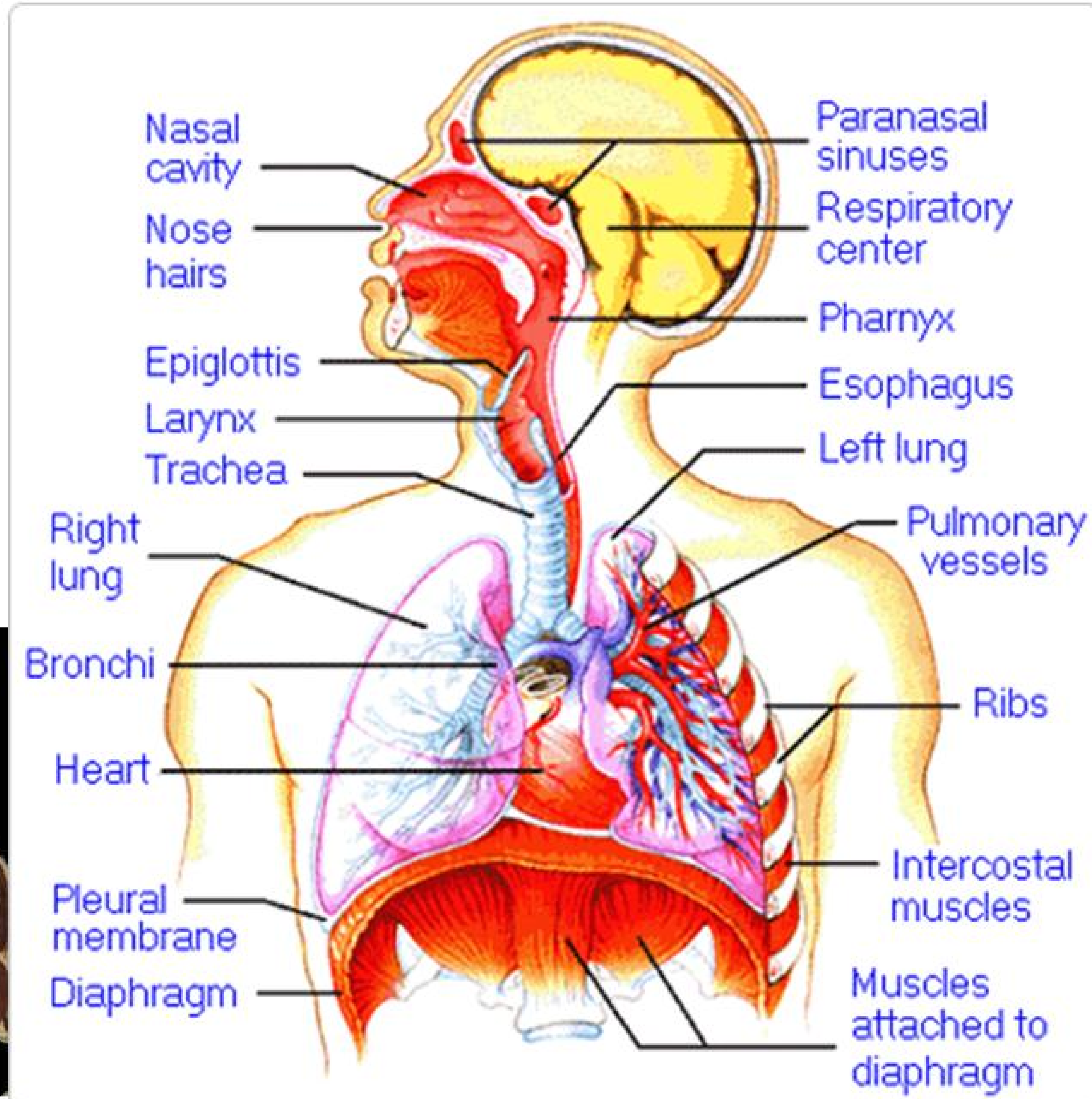
Università degli Studi Di Milano - Laurea in Scienze Infermieristiche
Polo Didattico "Ospedale Civile Legnano" - AA 2010-2011
Corso di Fisiologia Umana

APPARATO RESPIRATORIO

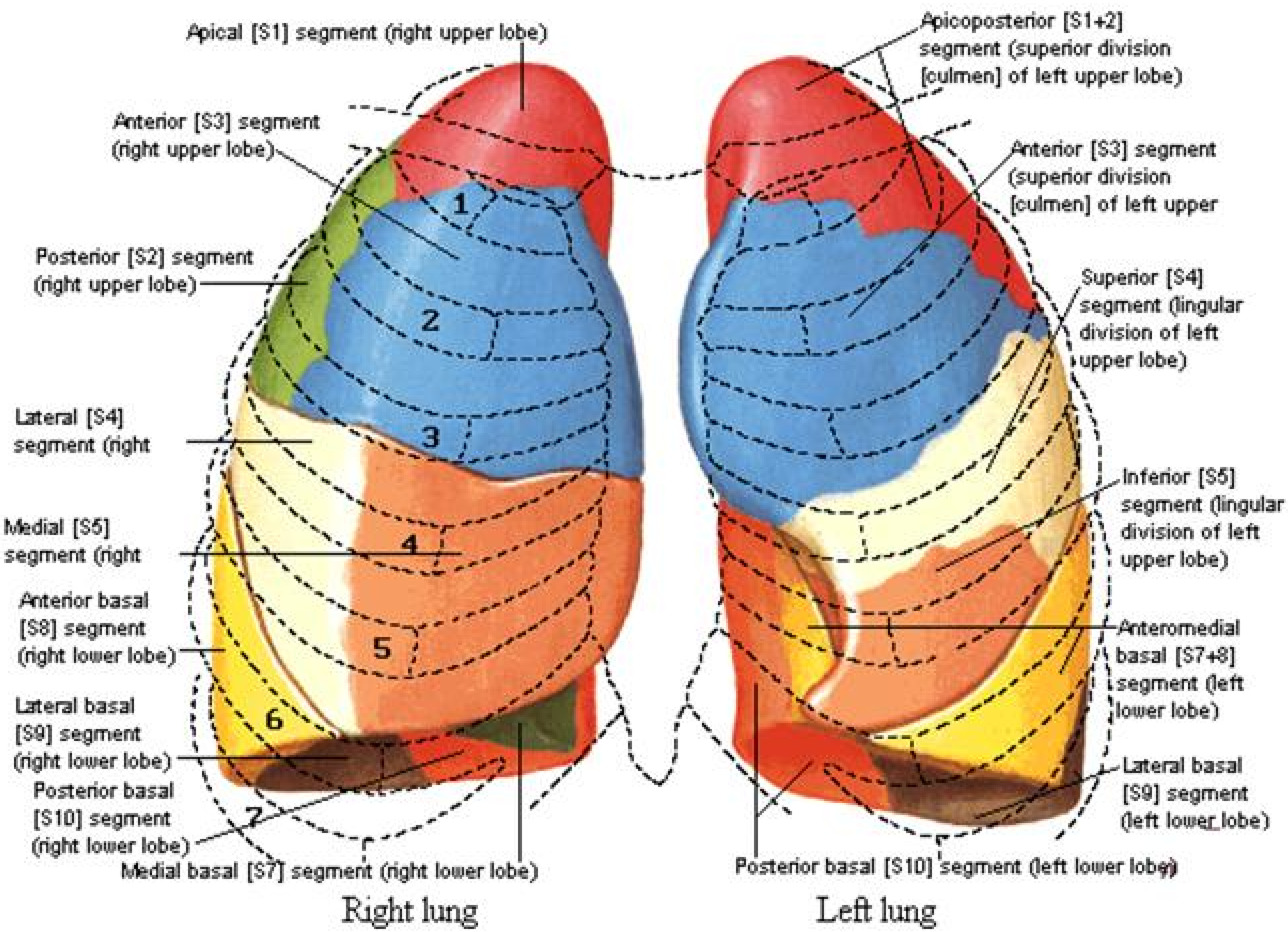
Dr. ALBERTO VIGNATI
Medicina Nucleare Legnano

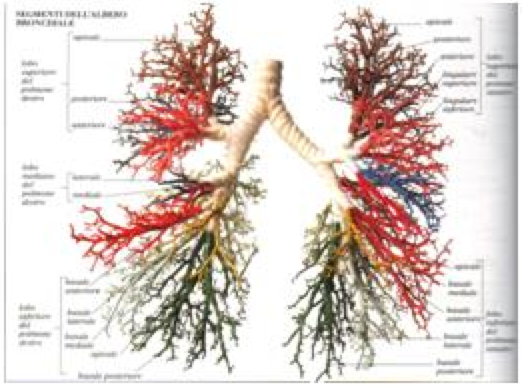


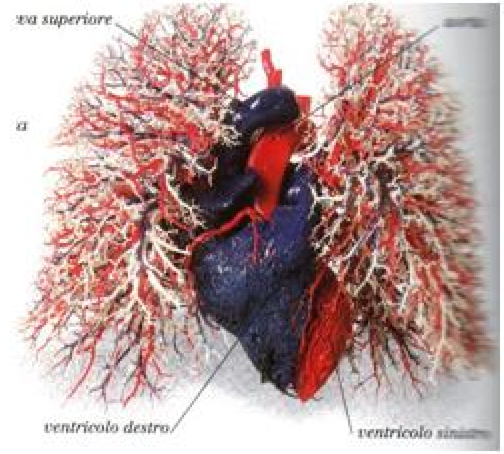

Nasal cavity
Nose hairs
Epiglottis
Larynx
Trachea
Right lung
Bronchi
Heart
Pleural membrane
Diaphragm
Paranasal sinuses
Respiratory center
Pharnyx
Esophagus
Left lung
Pulmonary vessels
Ribs
Intercostal muscles
Muscles attached to diaphragm

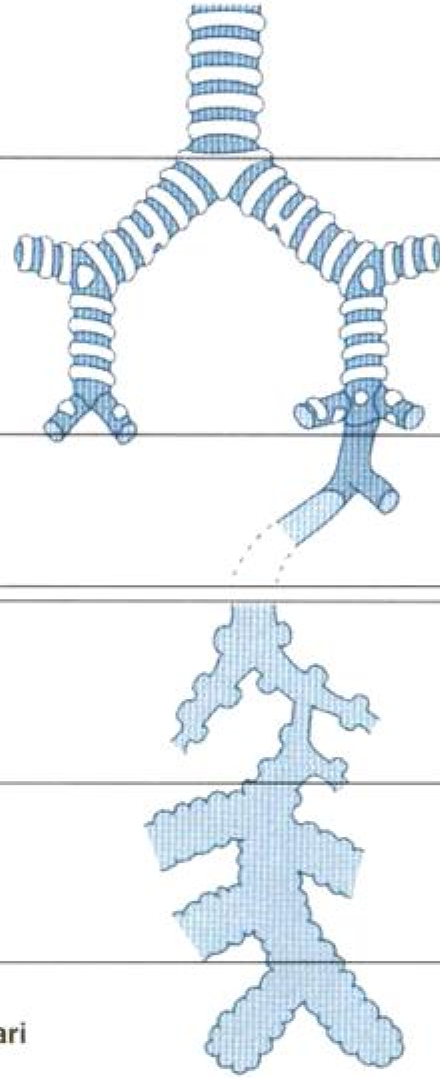
Bronchopulmonary Segments

Anterior View



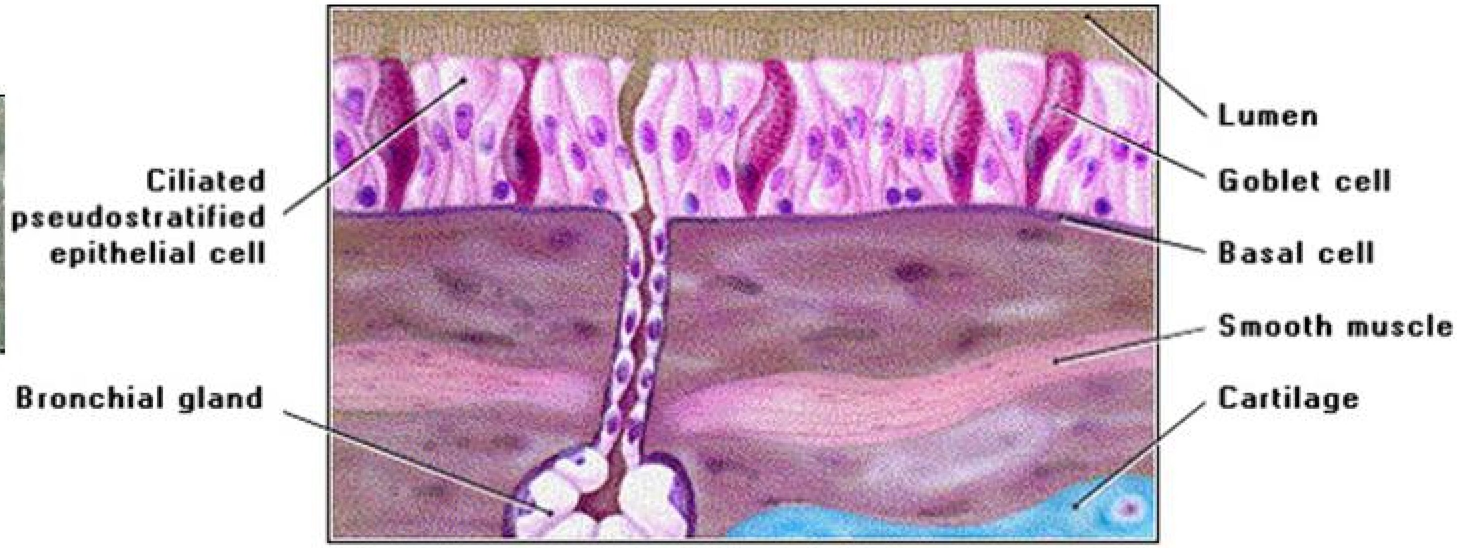




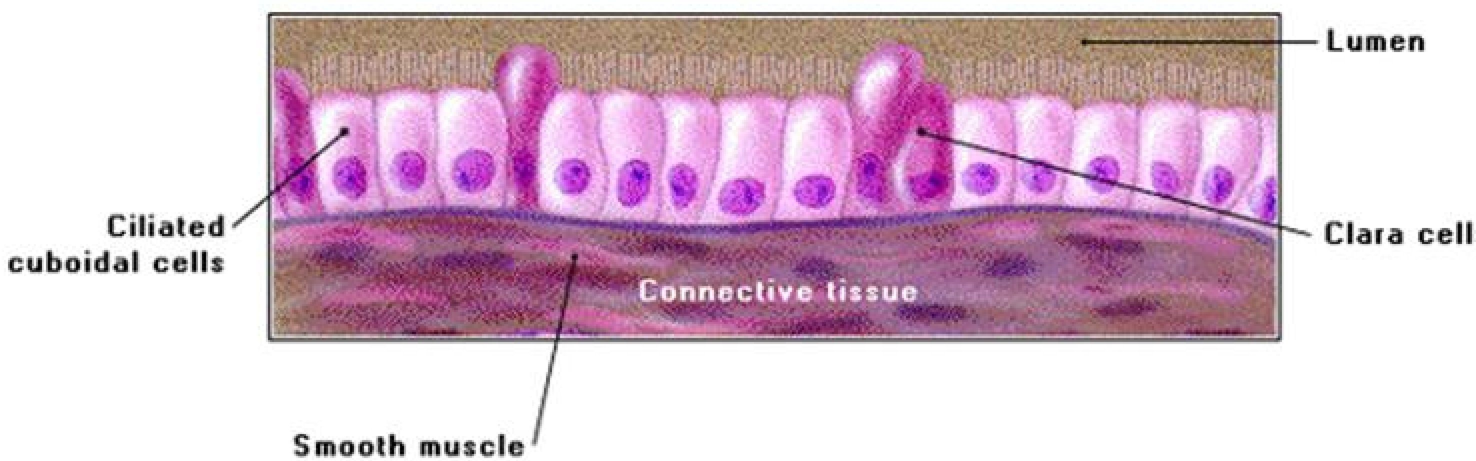


Zona		Numero	Ciglia	Muscolo liscio	Cartilagine
ZONA DI CONDUZIONE	Trachea	1	Si	Si	Si
	Bronchi	2 4 8	Si	Si	Irregolare
	Bronchioli	–	Si	Si	No
ZONA RESPIRATORIA	Bronchioli respiratori	–	Scarse	Scarse	No
	Dotti alveolari	–	No	Scarse	No
	Sacchi alveolari	6×10^8	No	No	No

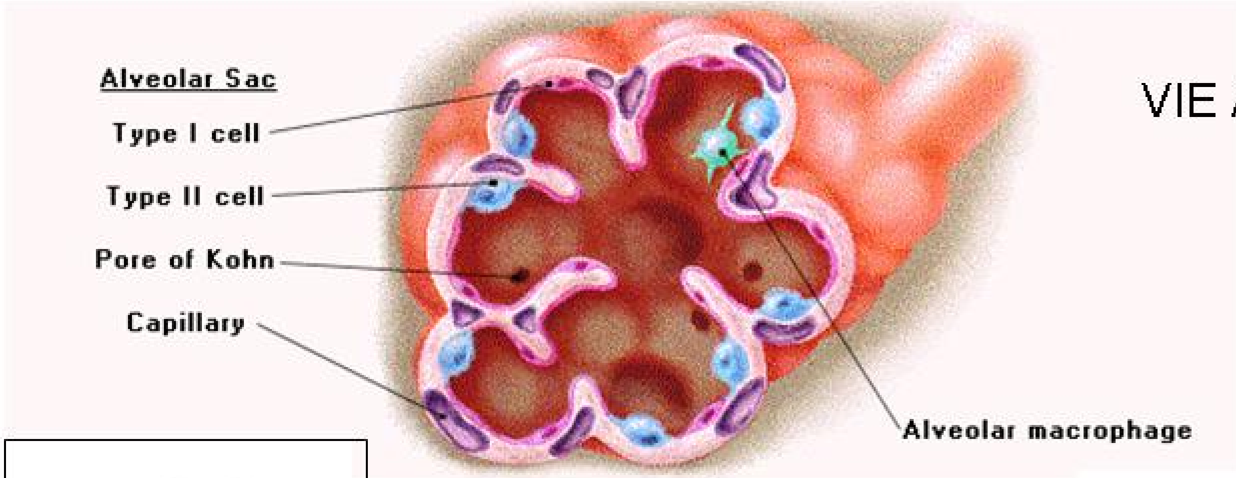
VIE AEREE CARTILAGINEE

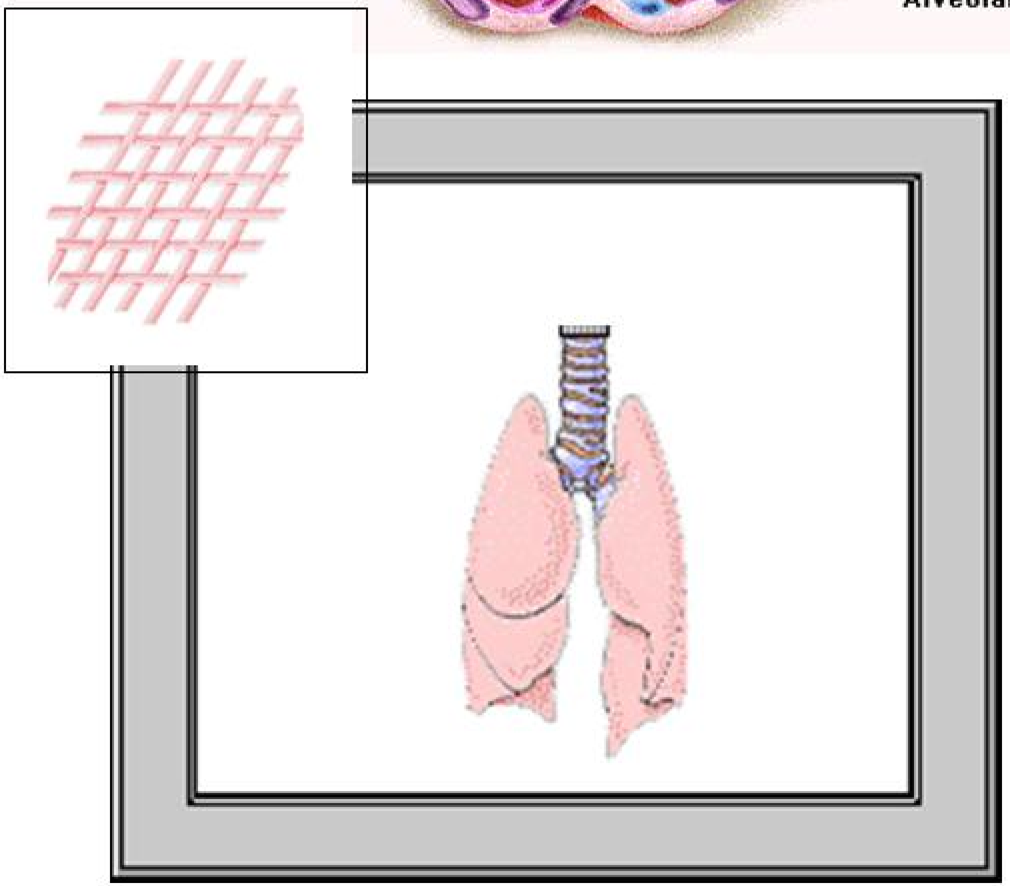


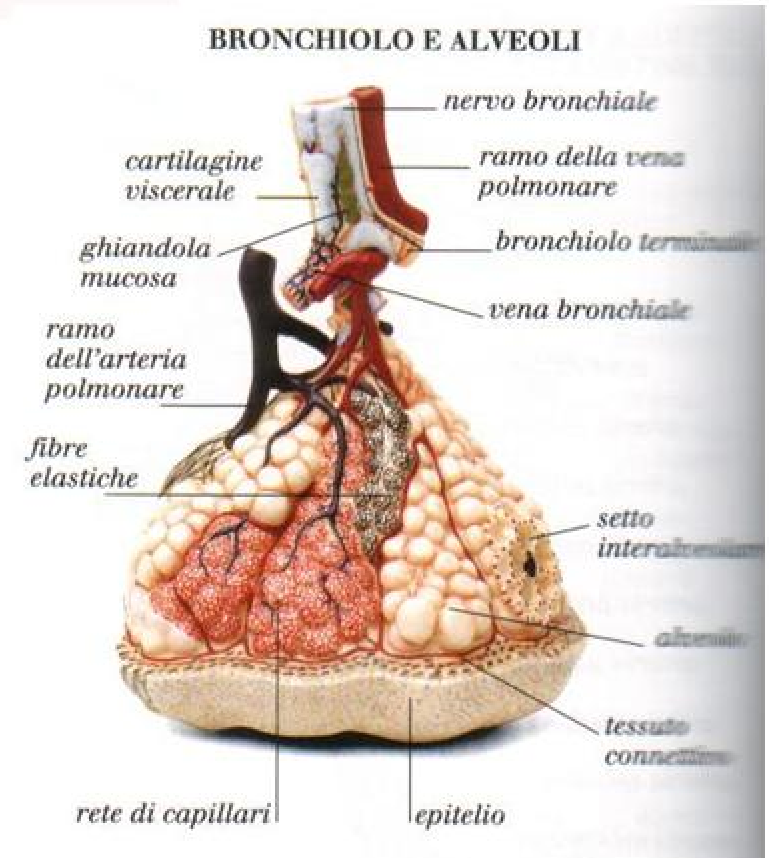
VIE AEREE MEMBRANOSE (BRONCHIOLI)



VIE AEREE RESPIRATORIE

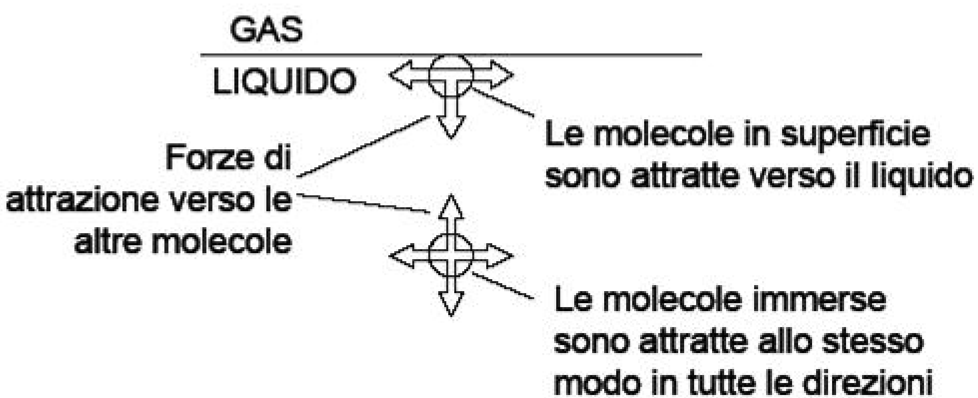






TENSIONE SUPERFICIALE

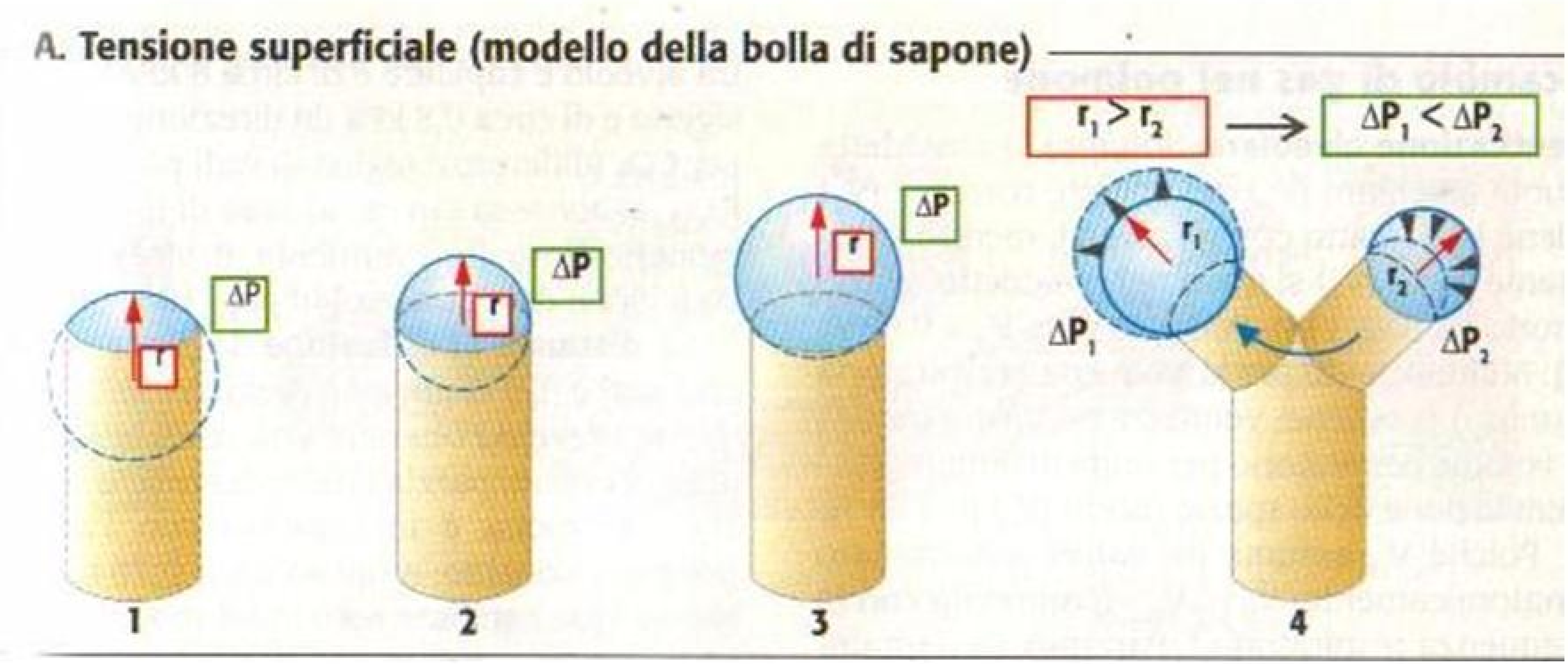
Le molecole di un fluido subiscono l'attrazione delle molecole a loro prossime.
All'interno del fluido la somma di tutte le forze di attrazione è nulla.
Sulla superficie (interfaccia aria-acqua) le forze si compongono fino a diventare una forza diretta verso l'interno.
Come conseguenza la superficie del liquido tende ad assumere la minima superficie possibile e si comporta come una pellicola virtuale che ostacola p.es. la penetrazione nel liquido di un oggetto esterno.



Legge di Laplace per sfera:

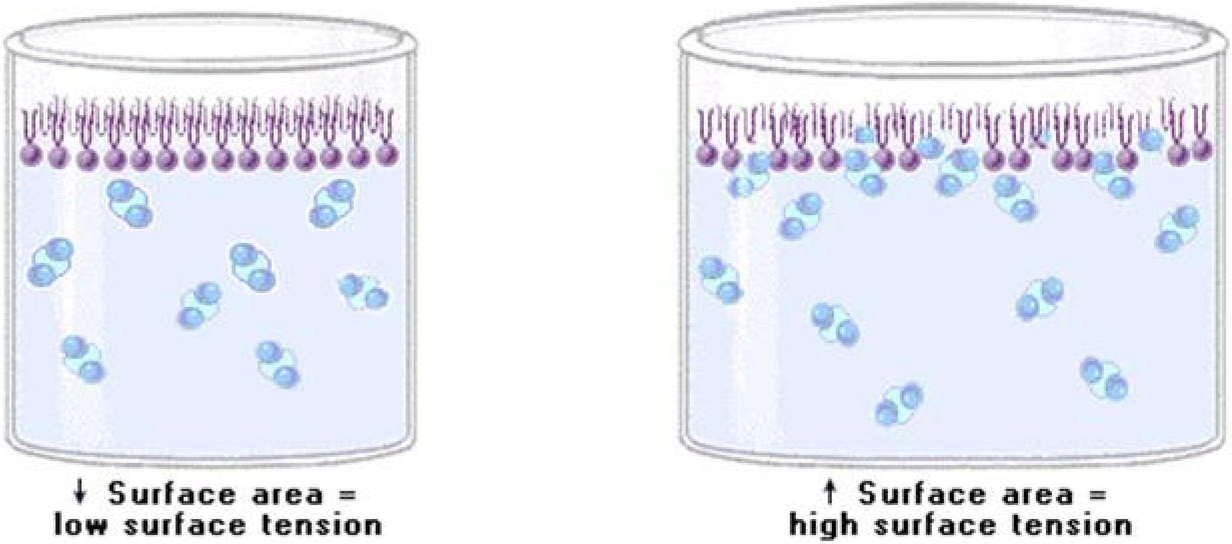
$$P = 2T / r$$

La pressione necessaria a distendere una cavità (pressione distendente) è direttamente proporzionale alla tensione delle sue pareti ed inversamente proporzionale al suo raggio



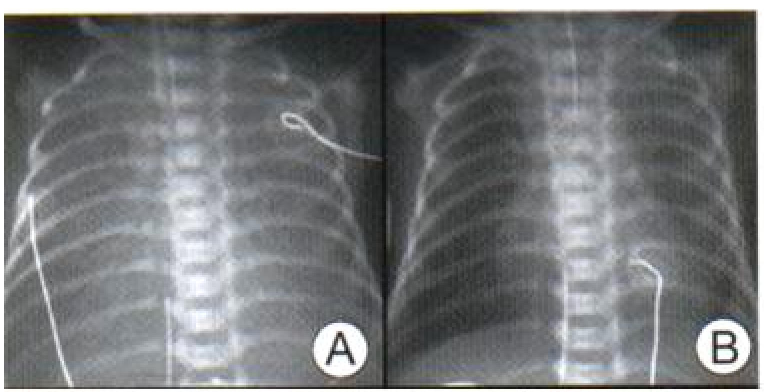
DILATAZIONE →	r ↑ Pparete ↓ →	P par < P aria →	↑ DILATAZIONE

Per ridurre la tensione superficiale gli pneumociti II producono una lipoproteina tensioattiva il SURFACTANTE (SURFace ACTive Agent), che evita il collasso dei piccoli alveoli e la dilatazione dei grandi.



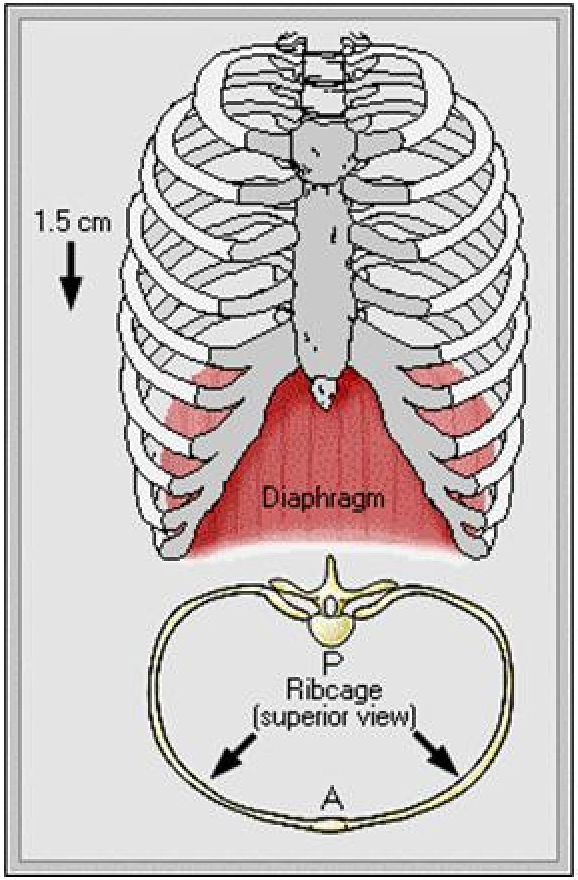
In alcune situazioni patologiche il surfactante non viene prodotto. Questo si può verificare, ad es., nei neonati prematuri (<30 sett): "Sindrome da distress respiratorio del neonato (RDS)" detta anche "Malattia delle membrane ialine".

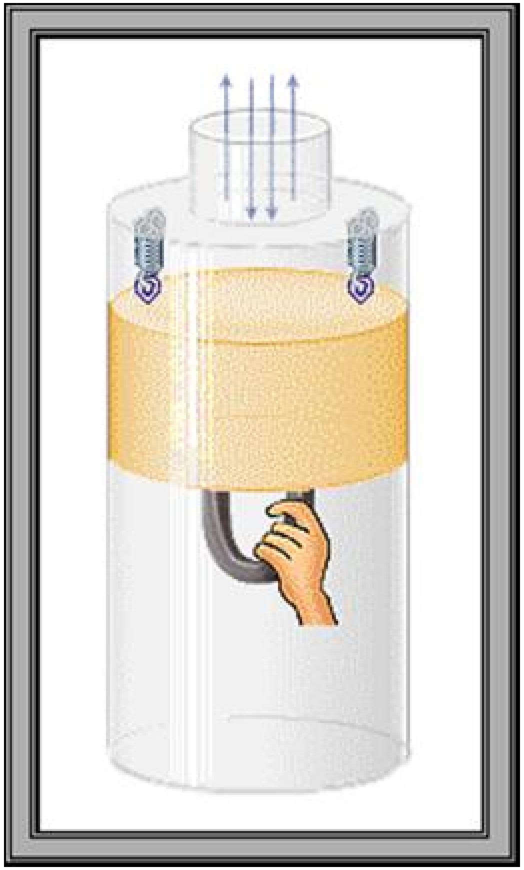
Surfactant Deficient Disease



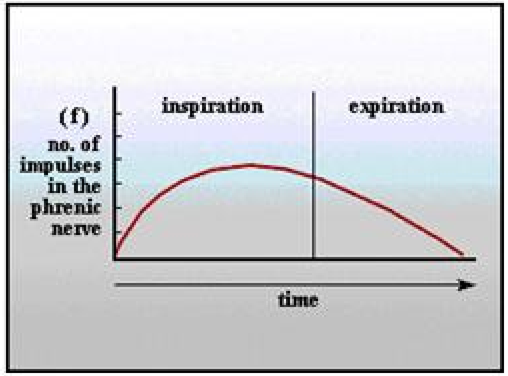
Clincal Conditions Associated with Abnormal Surfactant Production

1. RDS in premature infants
2. Prolonged inhalation of 100% O_2
3. Constant tidal volume from mechanical ventilation.
4. Prolonged occlusion of the pulmonary artery as during heart-lung bypass surgery.





LEGGE DI BOYLE
pV = nRT
Se T=costante,
pV=costante
Quando V aumenta la p diminuisce. nel polmone diventa più piccola della p atmosferica



Per la LEGGE DI BOYLE: pV=costante.
Quando il volume polmonare aumenta la pressione nel polmone diventa più piccola della p atmosferica.
Questa differenza di pressione genera il flusso inspiratorio.

8.3.2 Legge di Poiseulle (o perdita di carico)

Quando un fluido si muove in un condotto di sezione piccola, la portata è data da:

$$Q = \frac{\pi R^4}{8\eta} \cdot \frac{\Delta P}{l}$$

$Q = \Delta P / Resis$

dove:

- R è il raggio del condotto;
- l è la lunghezza del condotto;
- ΔP è la differenza di pressione agli estremi del condotto.

Dalla formula di Poiseulle si ricava:

$$\eta = \frac{\pi R^4}{8Q} \cdot \frac{\Delta P}{l}$$

Muscles of Inspiration

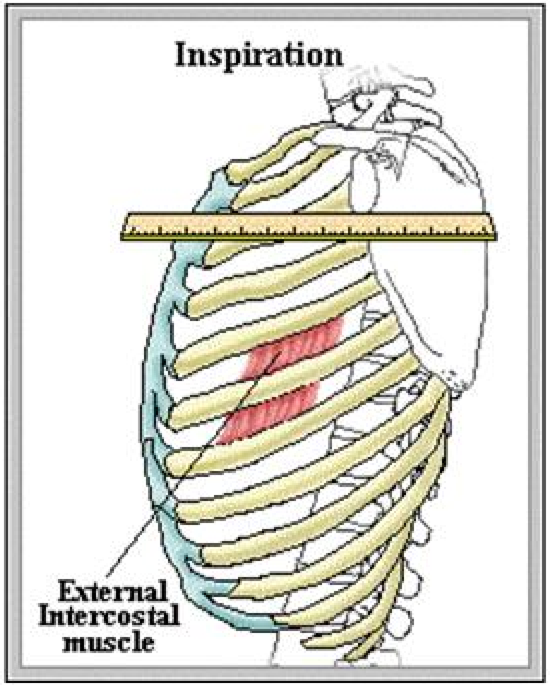
Diaphragm

External Intercostals

Accessory Muscle

Accessory Muscles of Inspiration

Sternocleidomastoid
(elevates sternum)
Anterior scalene
Middle scalene
Posterior scalenes
(scalenes elevate and fix upper ribs)

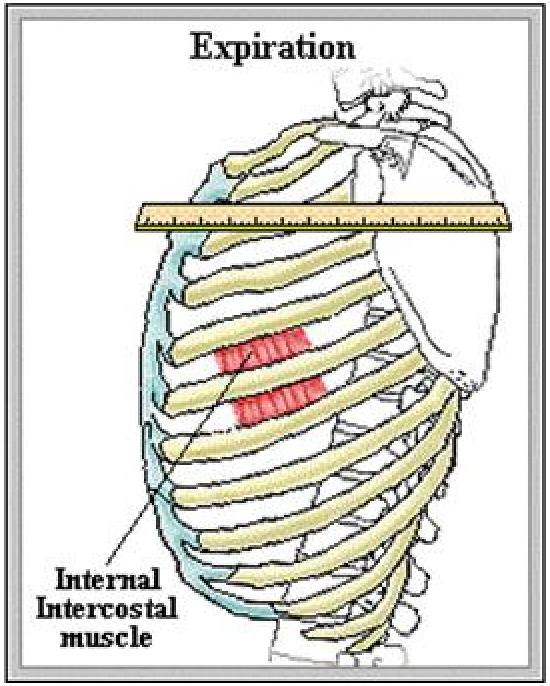


Forces of Expiration

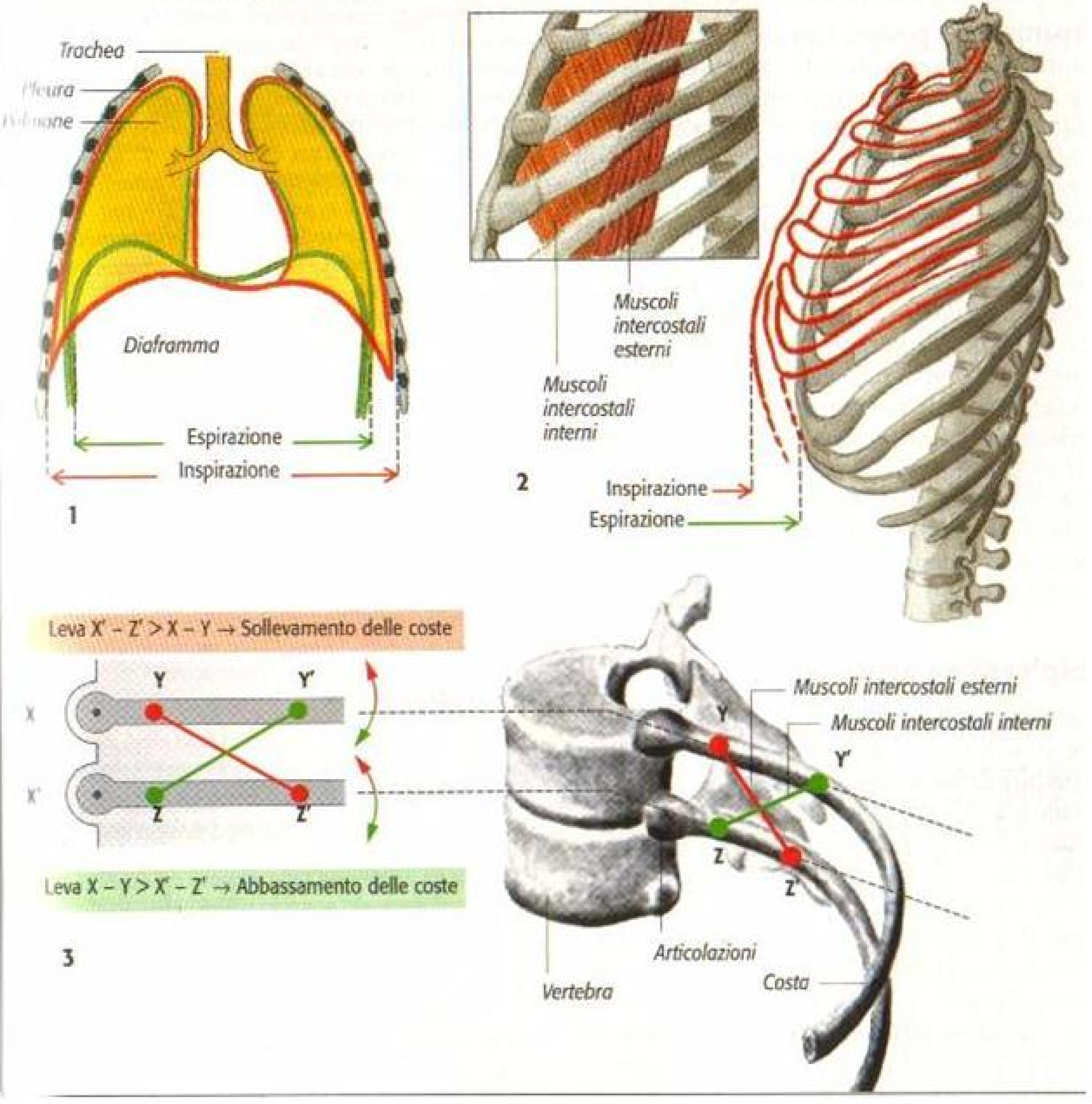
Passive recoil of lung
Expiratory muscles
-Internal Intercostal Muscles
-Abdominal Muscles

MUSCLES of EXPIRATION

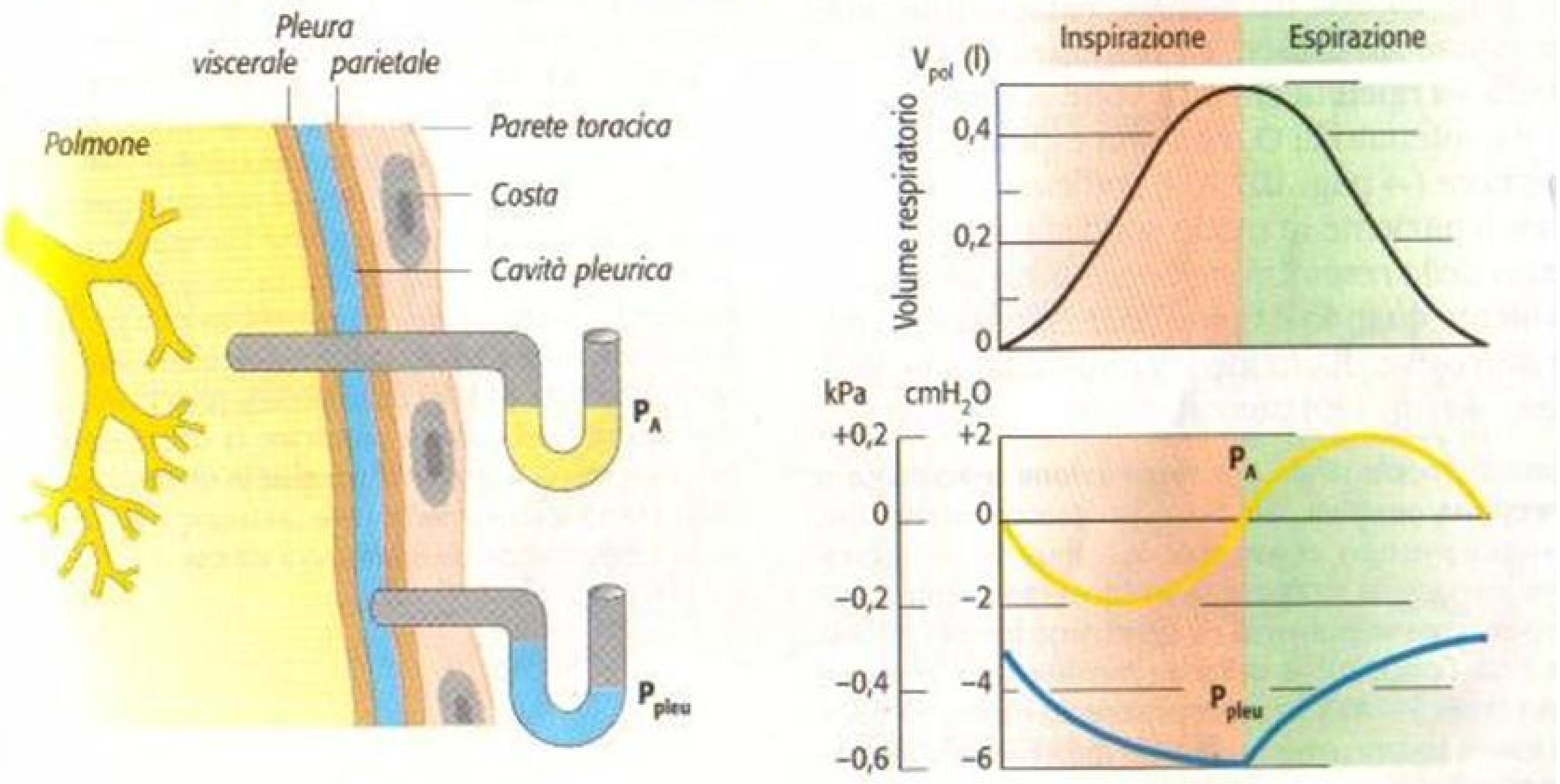
Internal intercostals
Abdominal Muscles:
External and Internal Oblique
Rectus and Transverse Abdominus

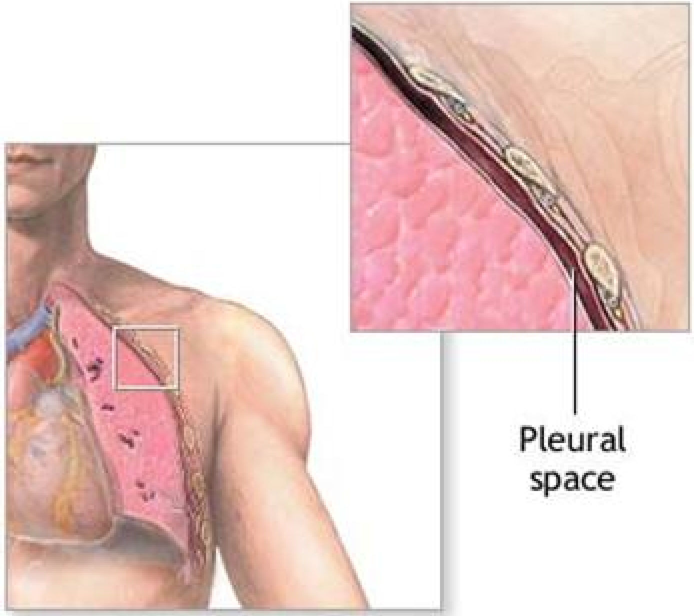


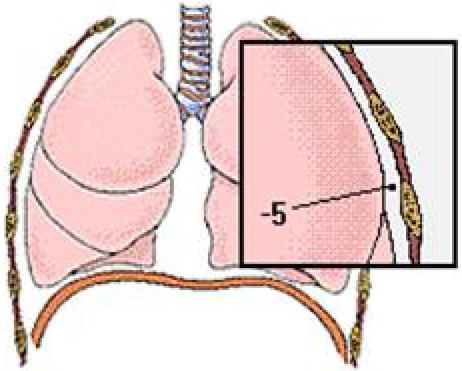
A. Muscolatura respiratoria

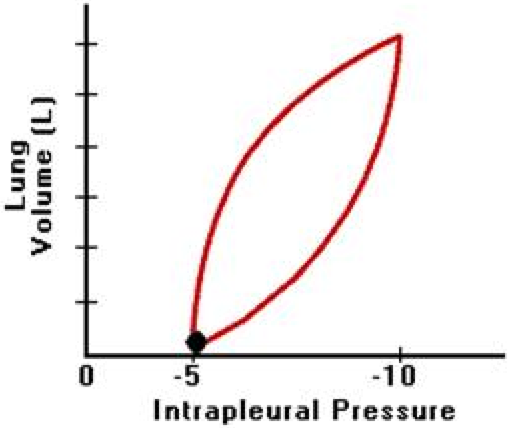


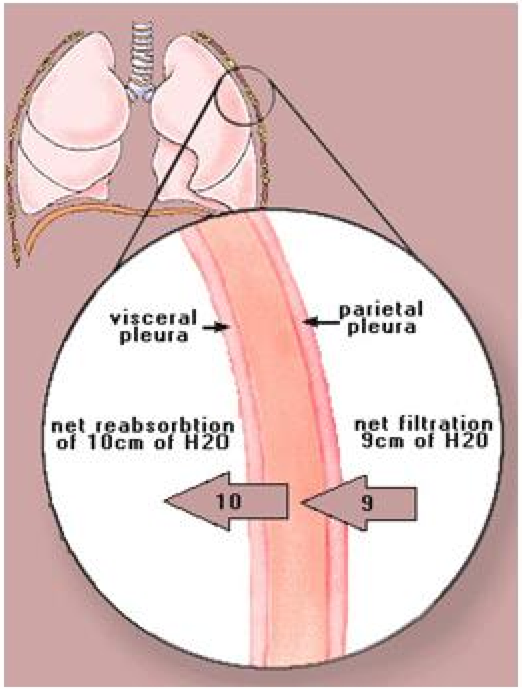
B. Pressione alveolare P_A e pressione pleurica P_{pleu} durante la respirazione



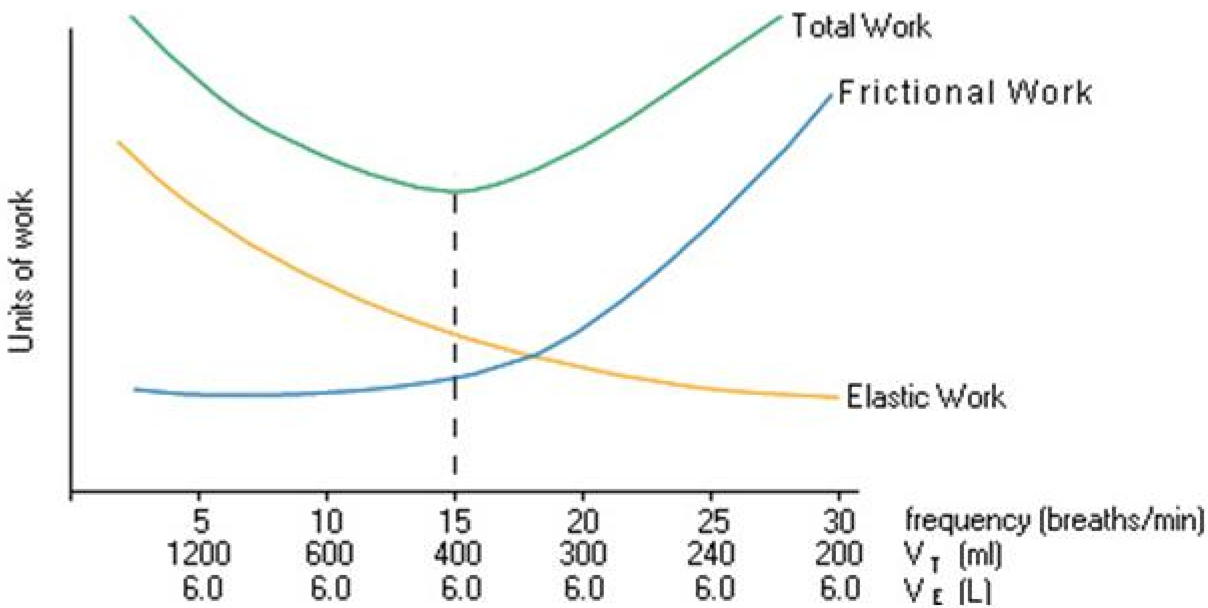

Pleural
space

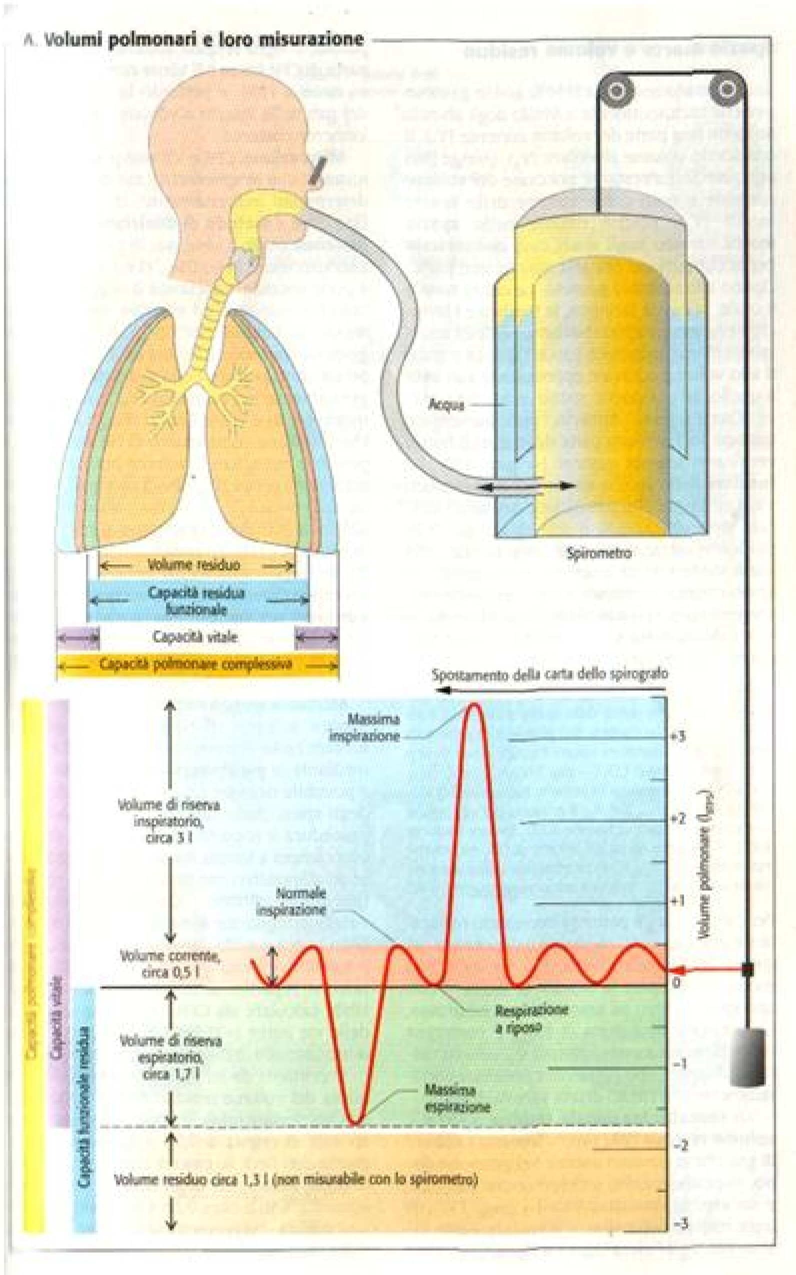

-5

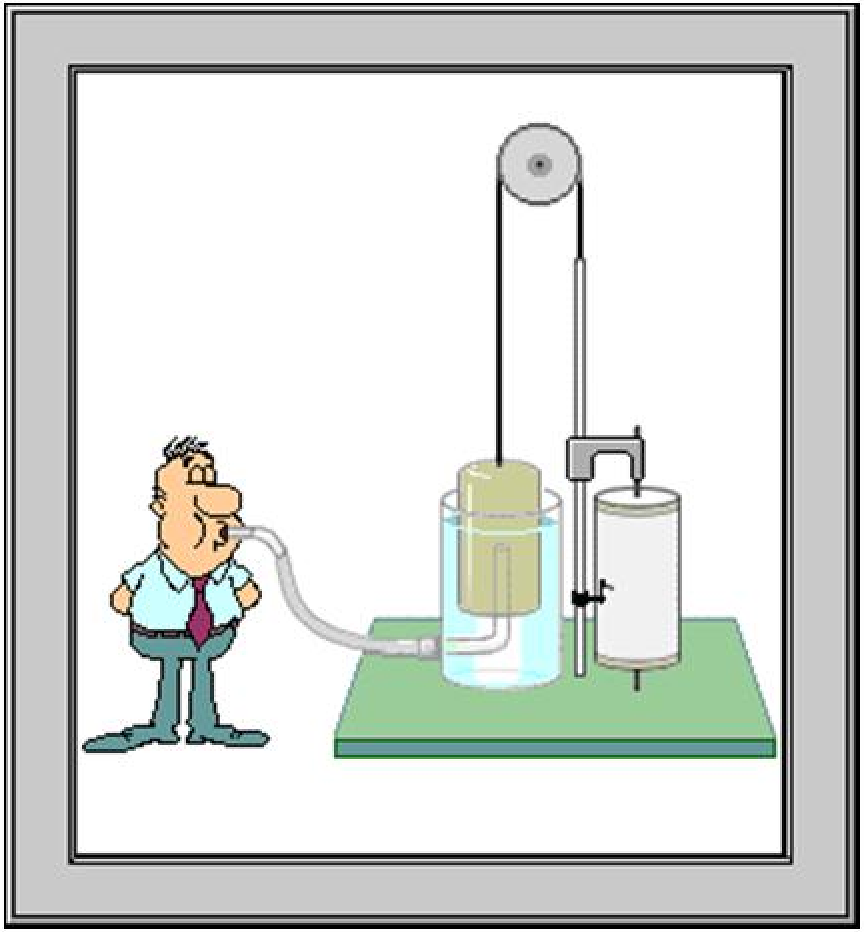

Lung
Volume (L)
0
-5
-10
Intrapleural Pressure


visceral
pleura
parietal
pleura
net reabsorbtion
of 10cm of H20
net filtration
9cm of H20
10
9

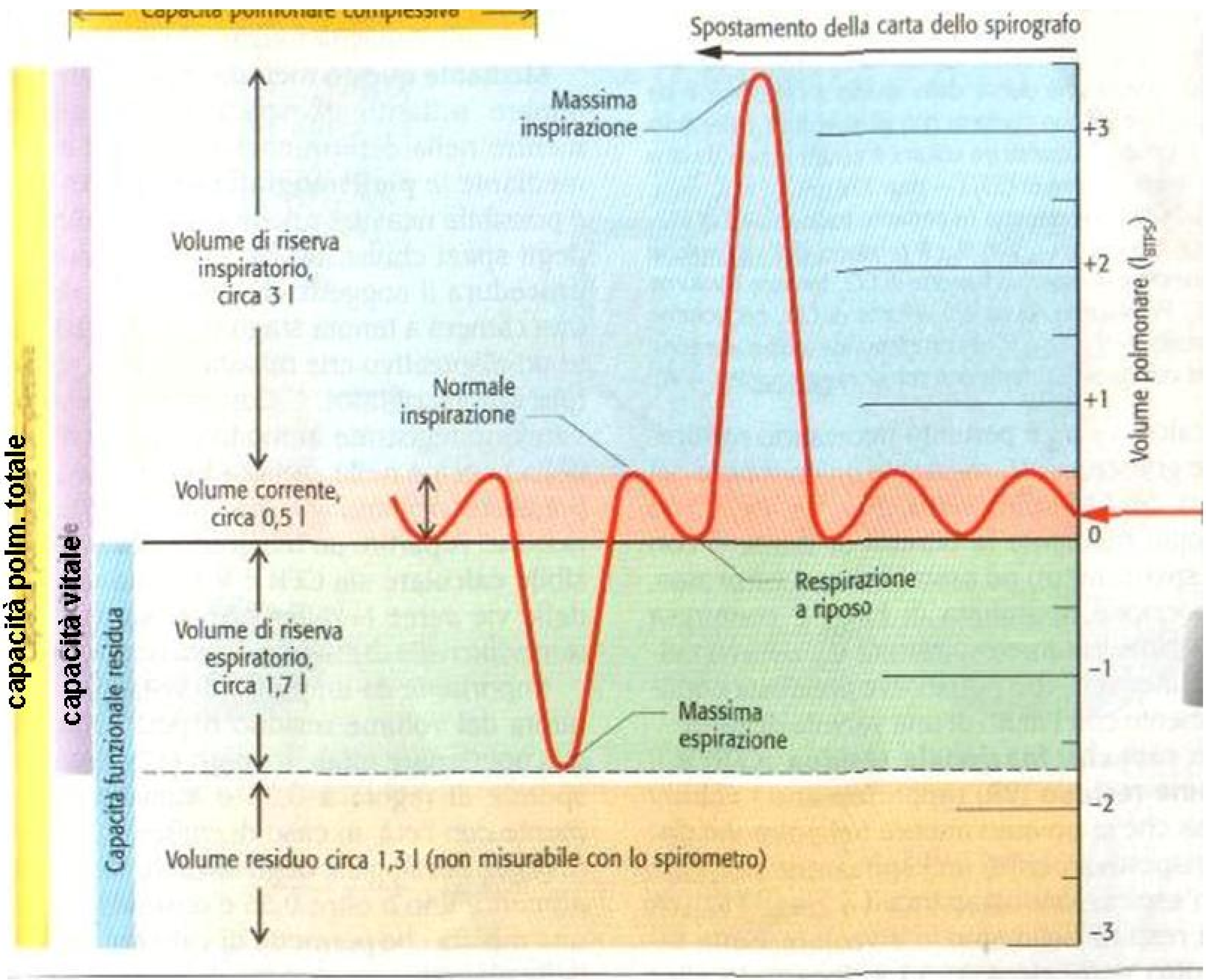
Type of Work	Contributing Components		%of Total Work Required
elastic (compliance)	lung	surface tension (50 - 80%)	60 - 66%
		tissue (50%)	
	chest cage		
frictional	viscous (20%)		30 - 35%
	airway (80%)		
inertia	lung		2-5%
	chest cage		
	air		







SPIROMETRO A CAMPANA
(a circuito chiuso)


Capacità polmonare complessiva
Spostamento della carta dello spirografo
Massima inspirazione
Volume di riserva inspiratorio, circa 3 l
Normale inspirazione
Volume corrente, circa 0,5 l
Respirazione a riposo
Volume di riserva espiratorio, circa 1,7 l
Massima espirazione
Volume residuo circa 1,3 l (non misurabile con lo spirometro)
Volume polmonare (l_{BTPS})
+3
+2
+1
0
−1
−2
−3
Capacità funzionale residua
capacità polm. totale
capacità vitale

Minute Ventilation

$$\dot{V}_E \text{ or } \dot{V}_I = V_T \times f \quad [1]$$

Alveolar ventilation

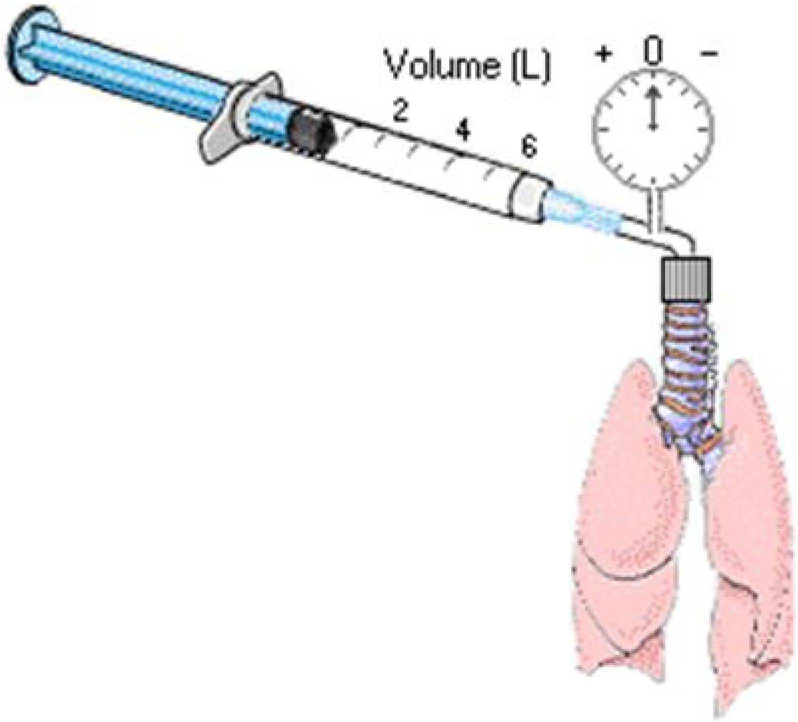
$$\dot{V}_A = [V_T - V_D] \times f \quad [2]$$

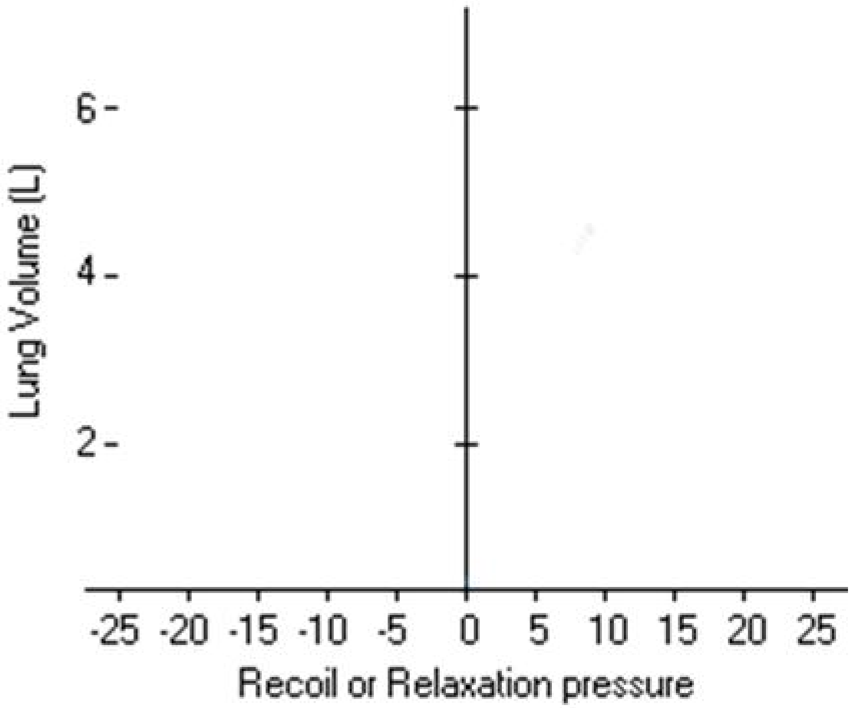
VT = VOLUME CORRENTE = 500 ml

VD = VOLUME SPAZIO MORTO = 150 ml

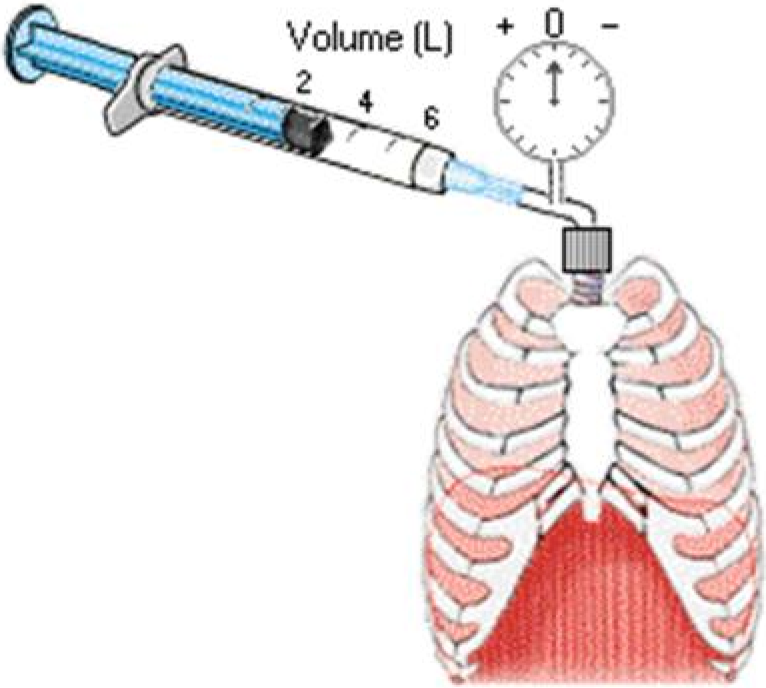
F = FREQUENZA RESPIRATORIA = 15 /min

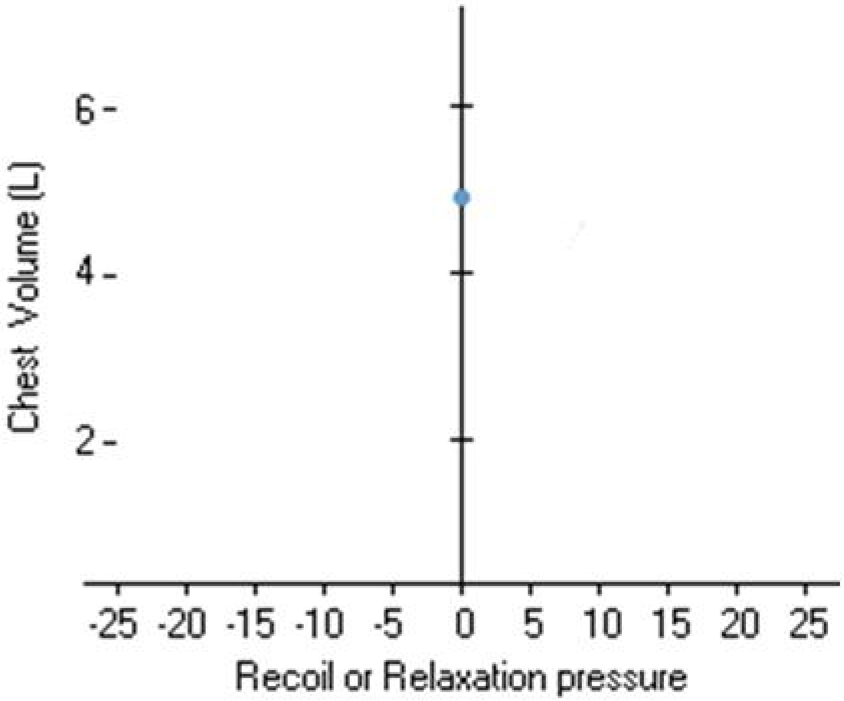
FORZE ELASTICHE PASSIVE DEL POLMONE



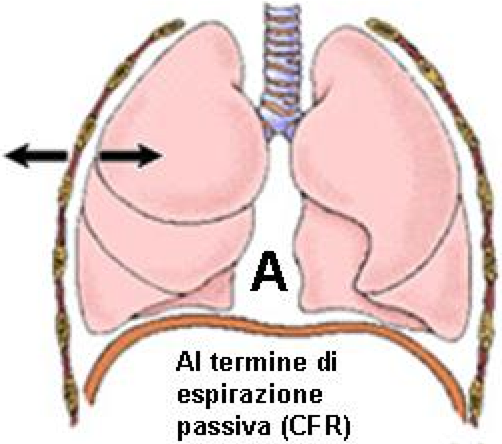


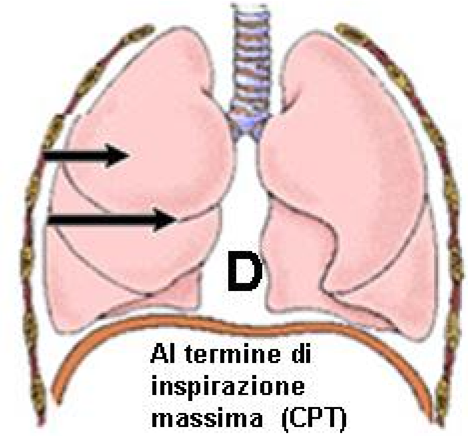
FORZE ELASTICHE PASSIVE DEL TORACE

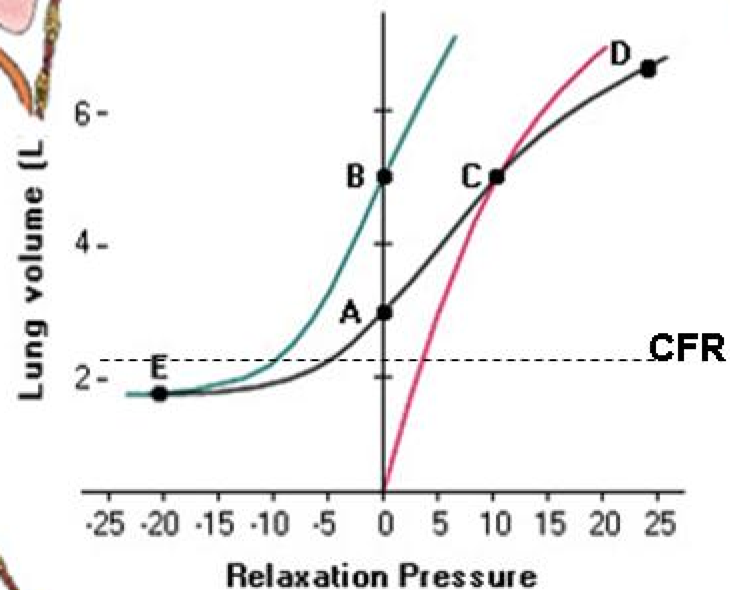


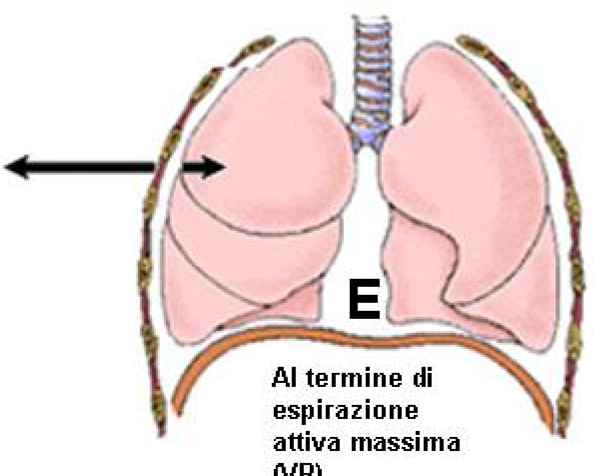


FORZE PASSIVE DI TORACE E POLMONE (pressione transmurale)



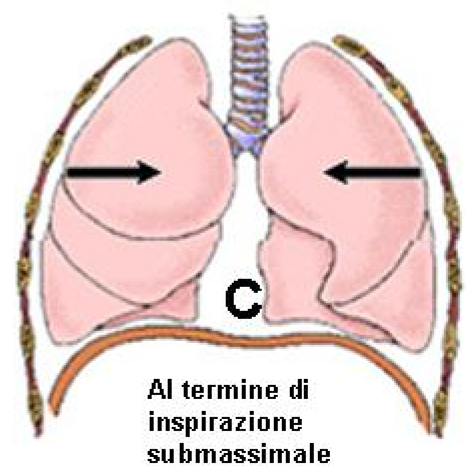




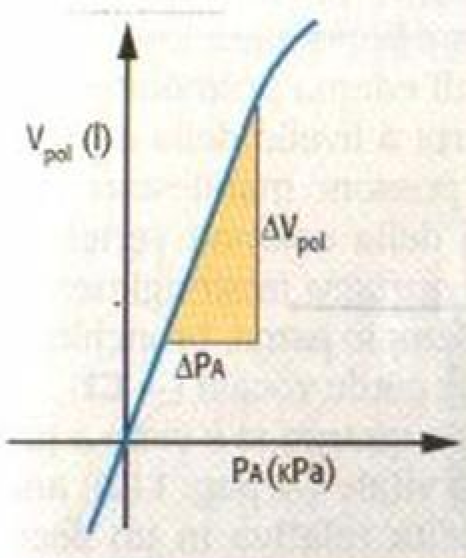


FORZA ESPANDENTE si oppone all'espirazione attiva

FORZA COLLASSANTE si oppone all'inspirazione

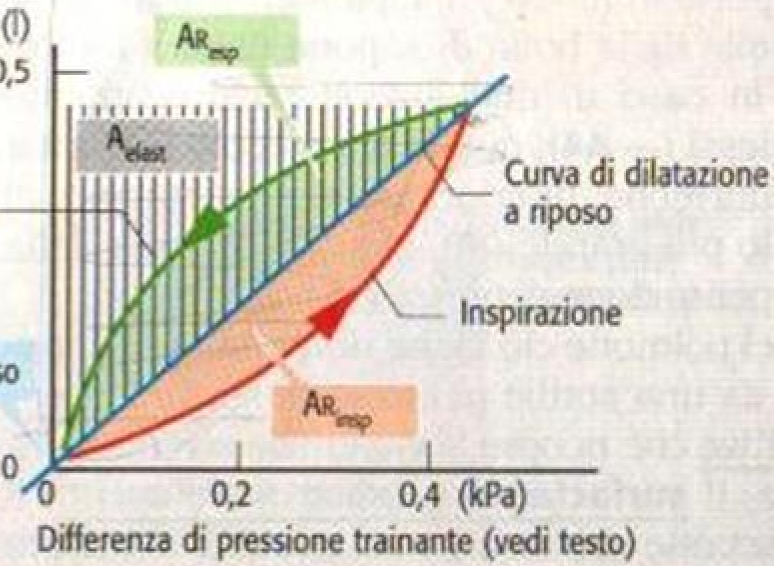


B. Complianza statica



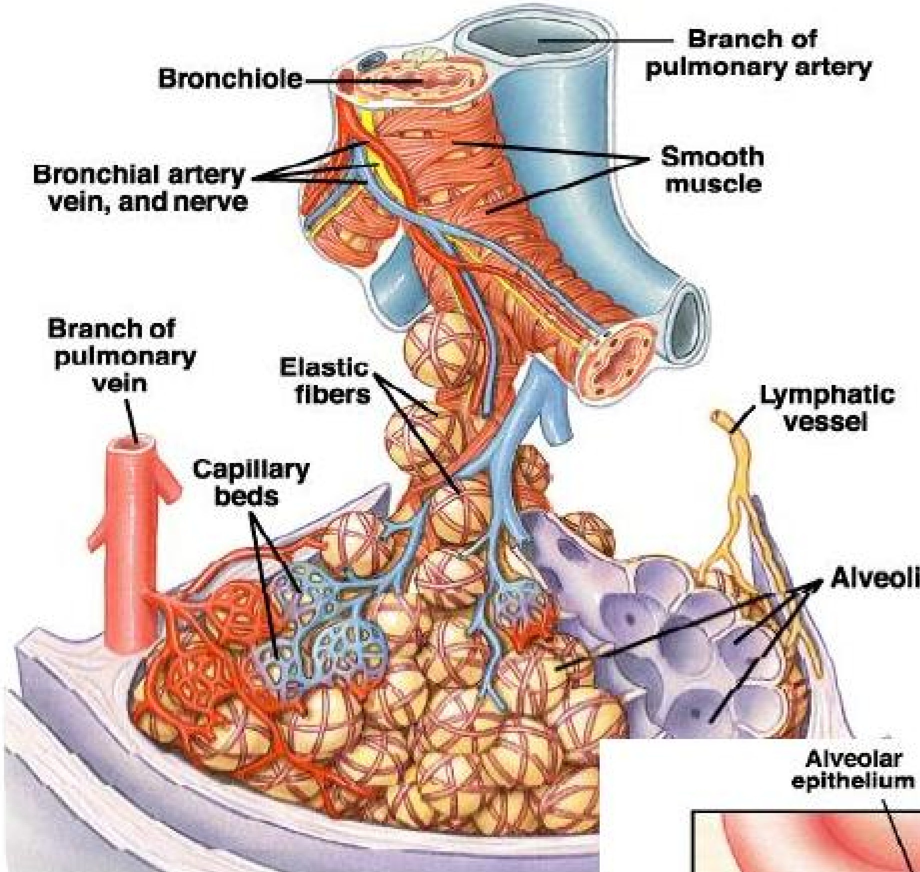
$\frac{\Delta V_{pol}}{\Delta P_A}$ = Complianza di polmone e torace

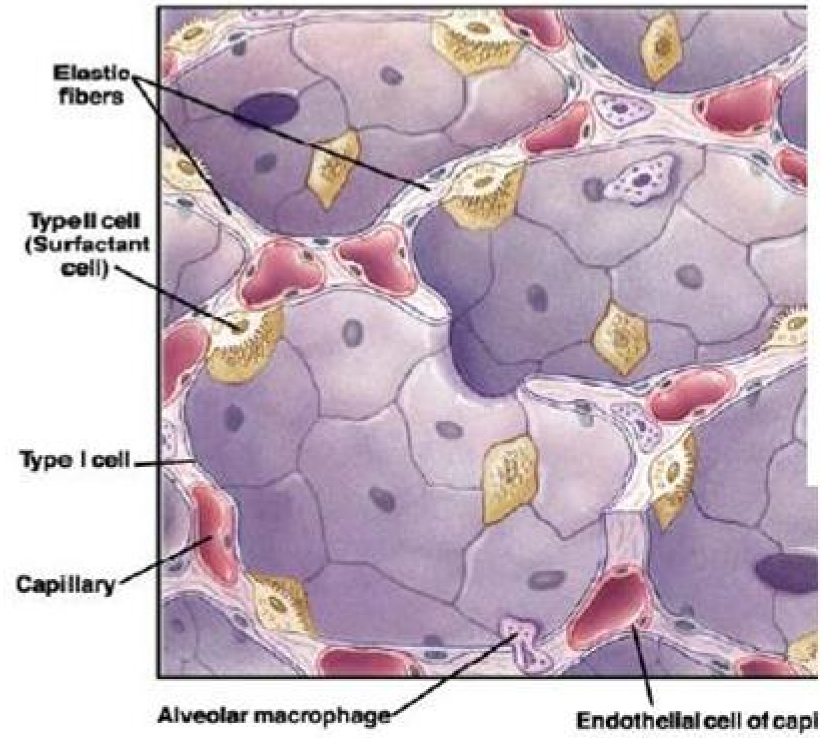
C. Diagramma dinamico pressione-volume

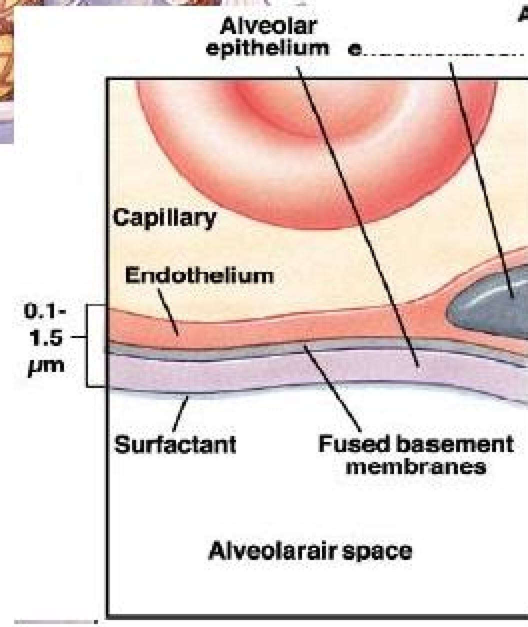


Lavoro respiratorio espiratorio: $AR_{insp} + A_{elast}$

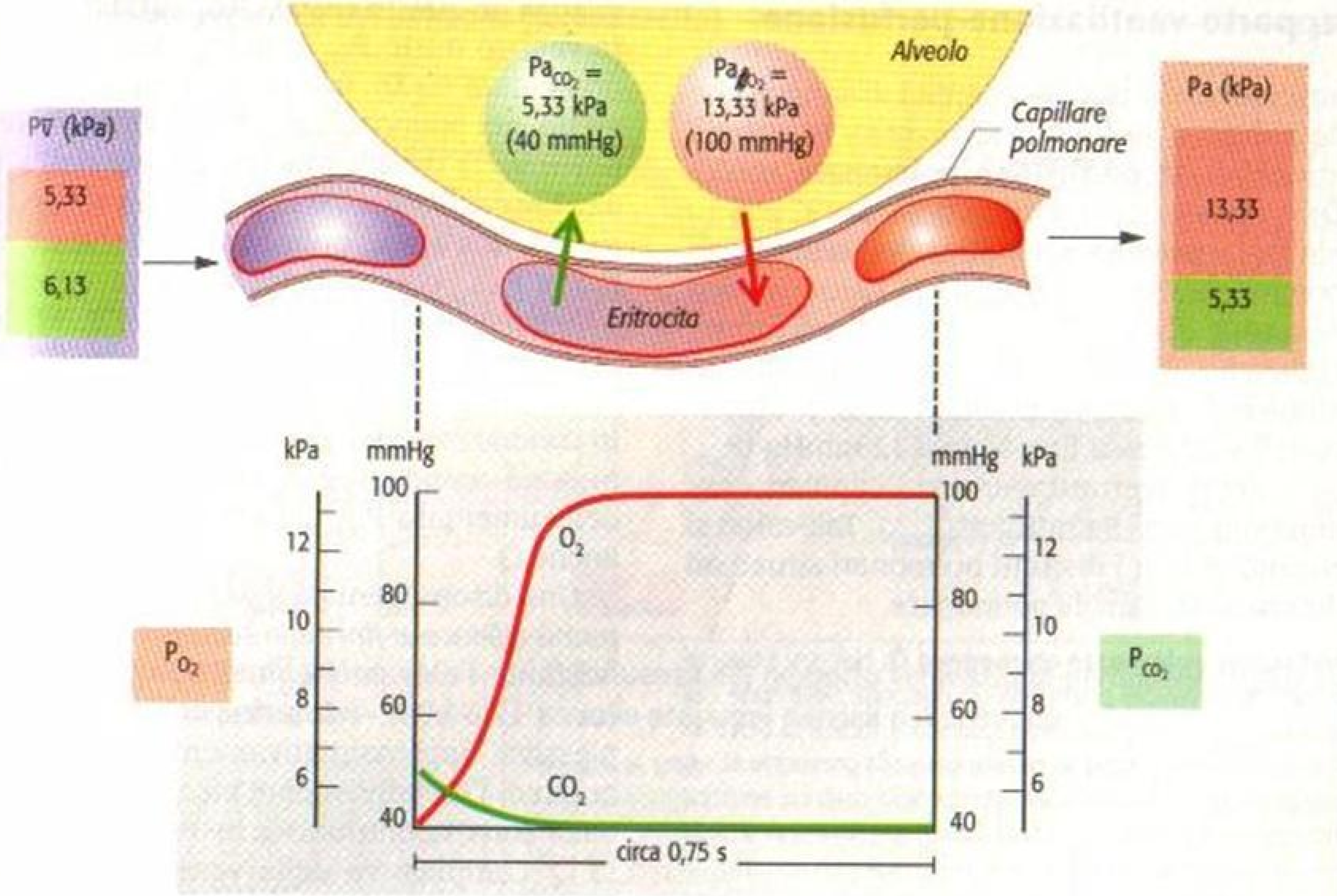
Lavoro respiratorio inspiratorio: $AR_{esp} - A_{elast}$


Branch of
pulmonary artery
Bronchiole
Bronchial artery
vein, and nerve
Smooth
muscle
Branch of
pulmonary
vein
Elastic
fibers
Lymphatic
vessel
Capillary
beds
Alveoli


Elastic
fibers
Type II cell
(Surfactant
cell)
Type I cell
Capillary
Alveolar macrophage
Endothelial cell of capi


Alveolar
epithelium
Capillary
Endothelium
0.1-
1.5
μm
Surfactant
Fused basement
membranes
Alveolar air space

A. Scambio gassoso nell'alveolo



LEGGE DI DALTON

In una miscela di due o più gas, perfetti o non perfetti, che non reagiscono tra loro:

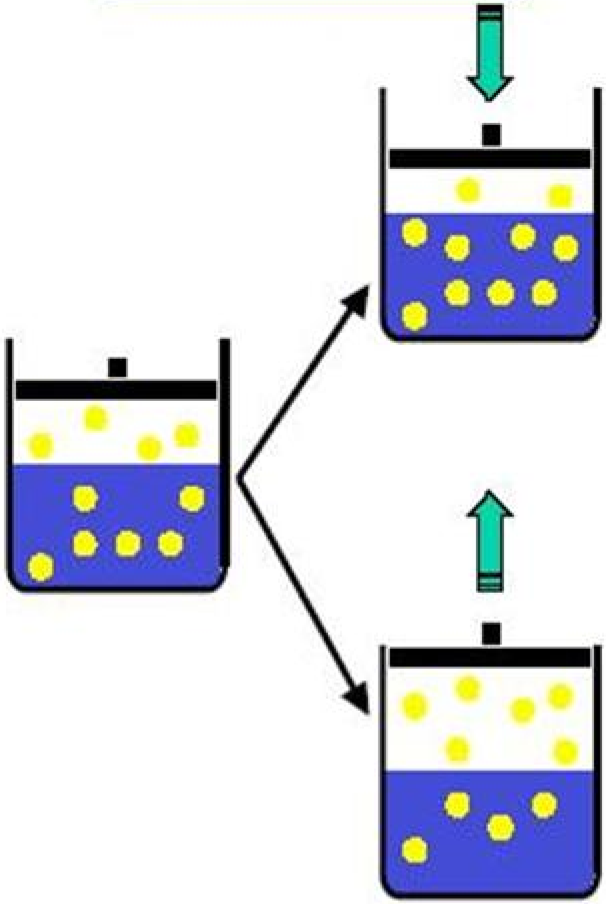
-la pressione totale esercitata dalla miscela è uguale alla somma delle pressioni parziali esercitate da ciascun gas

-ciascun gas esercita una pressione parziale uguale a quella che eserciterebbe se occupasse da solo tutto il volume a disposizione.

-la pressione parziale di ciascun gas è direttamente proporzionale alla concentrazione di quel gas nella miscela e alla pressione totale della miscela.

Esempio: aria. Ossigeno 21% Azoto 78%
p-tot=760mmHg
P (azoto)= 78% x 760mmHg = 593 mmHg
P(ossigeno)= 21% x 760mmHg = 160 mmHg

LEGGE DI HENRY



La solubilità di un gas in un liquido è direttamente proporzionale alla sua pressione parziale

Fick's Equation of Diffusion

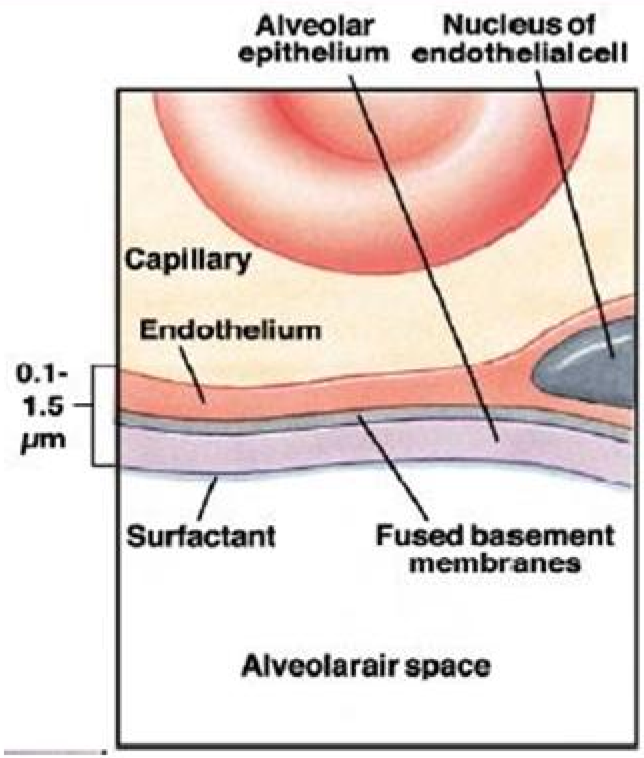
$$dQ/dt = k \cdot A \cdot dC/dl$$

where: dQ/dt = rate of diffusion or diffusion/unit time in ml/min

k = the diffusion coefficient, a proportionality constant reflecting the diffusion medium, participating gases and time.

A = area available for diffusion

dC = concentration difference of molecules across membrane.



$$dQ/dt = k \cdot A \cdot dC/\mathbf{dl}$$

Gaseous diffusion

- TRU
- ↓
- Surfactant

↓

Membrane diffusion

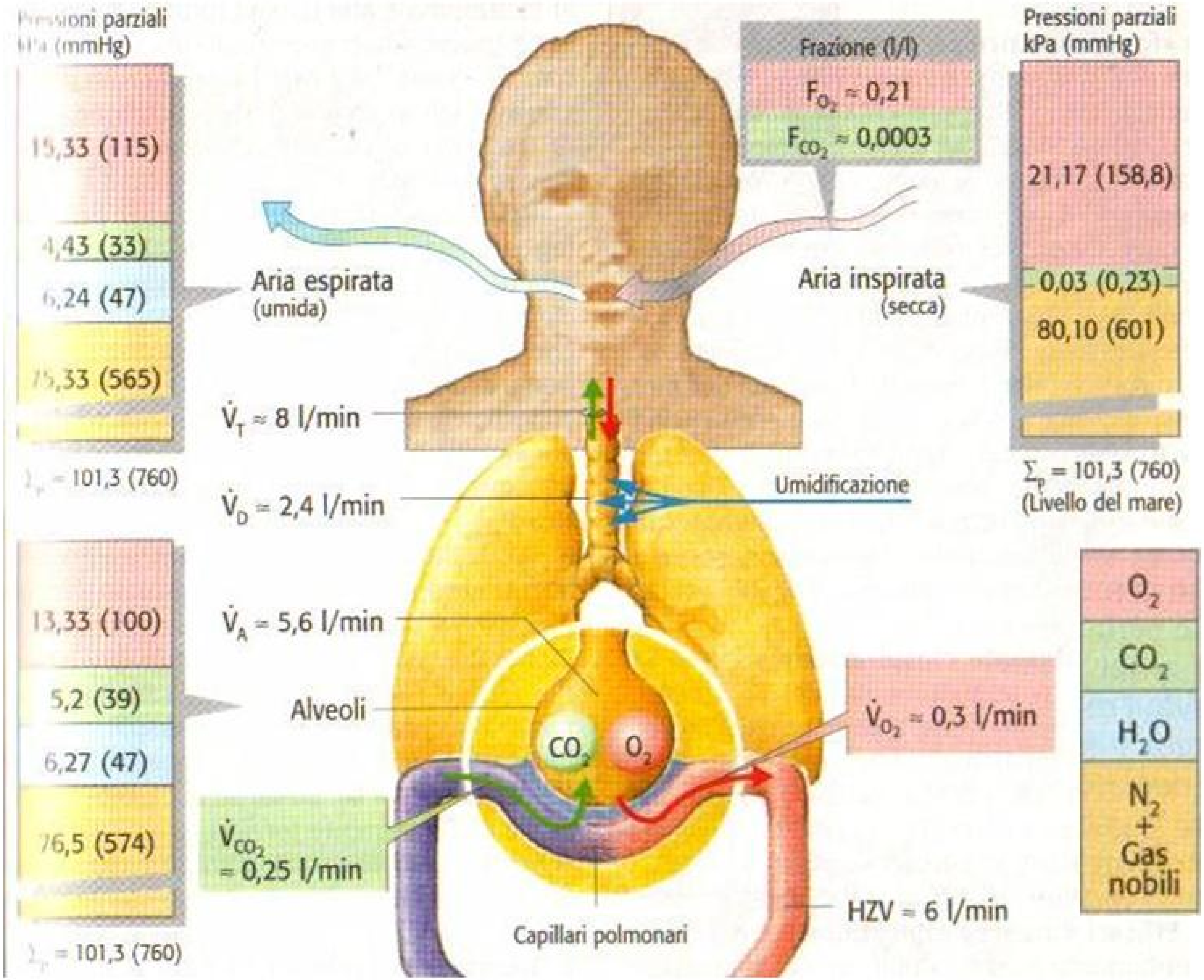
- alveolar epithelial cell
- ↓
- epithelial cell basement membrane
- ↓
- connective tissue
- ↓
- capillary basement membrane
- ↓

capillary endothelium

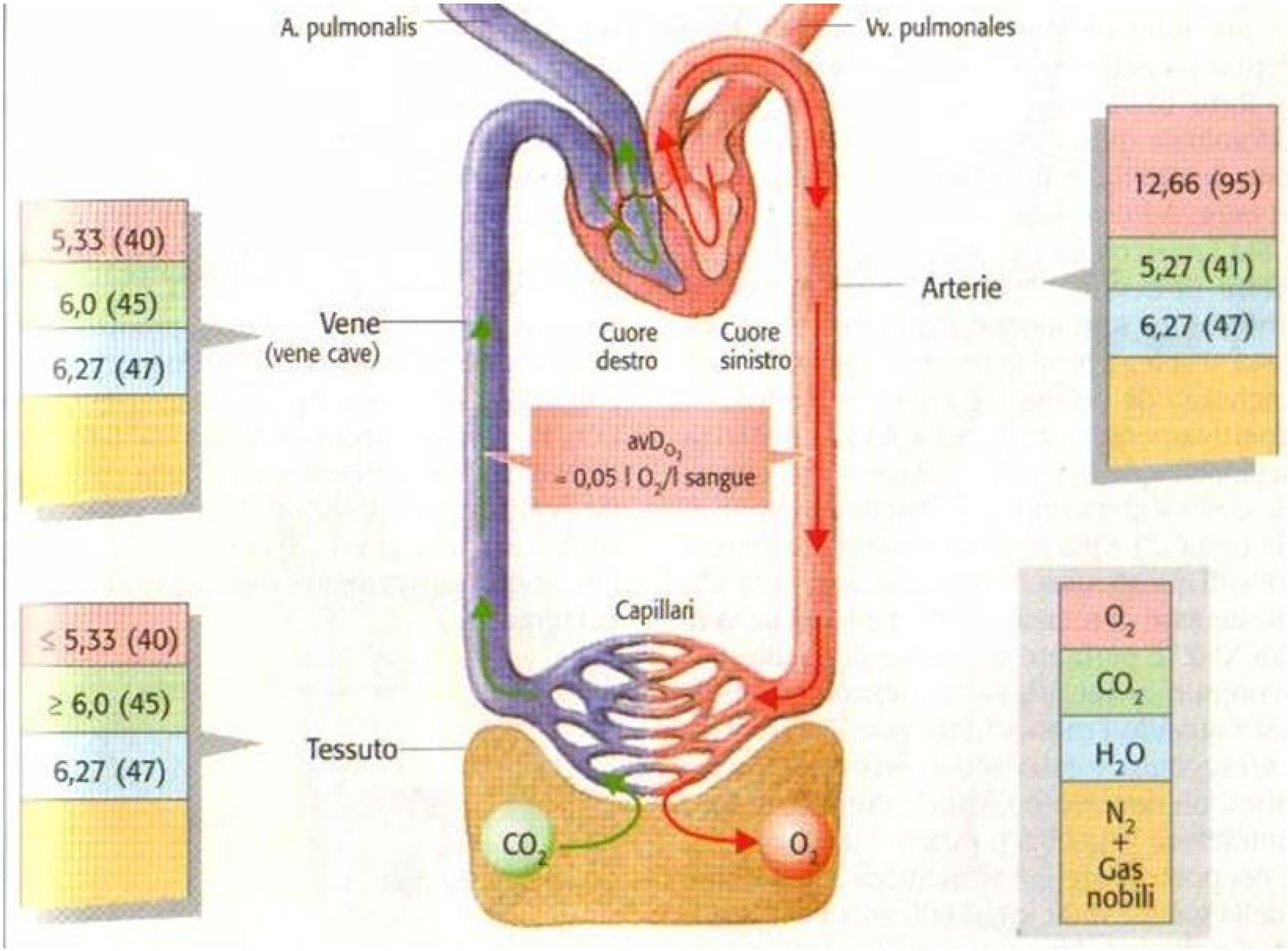
Blood diffusion

- ↓
- plasma
- ↓
- RBC membrane
- ↓
- RBC intracellular fluid
- ↓

reaction with Hb in RBC

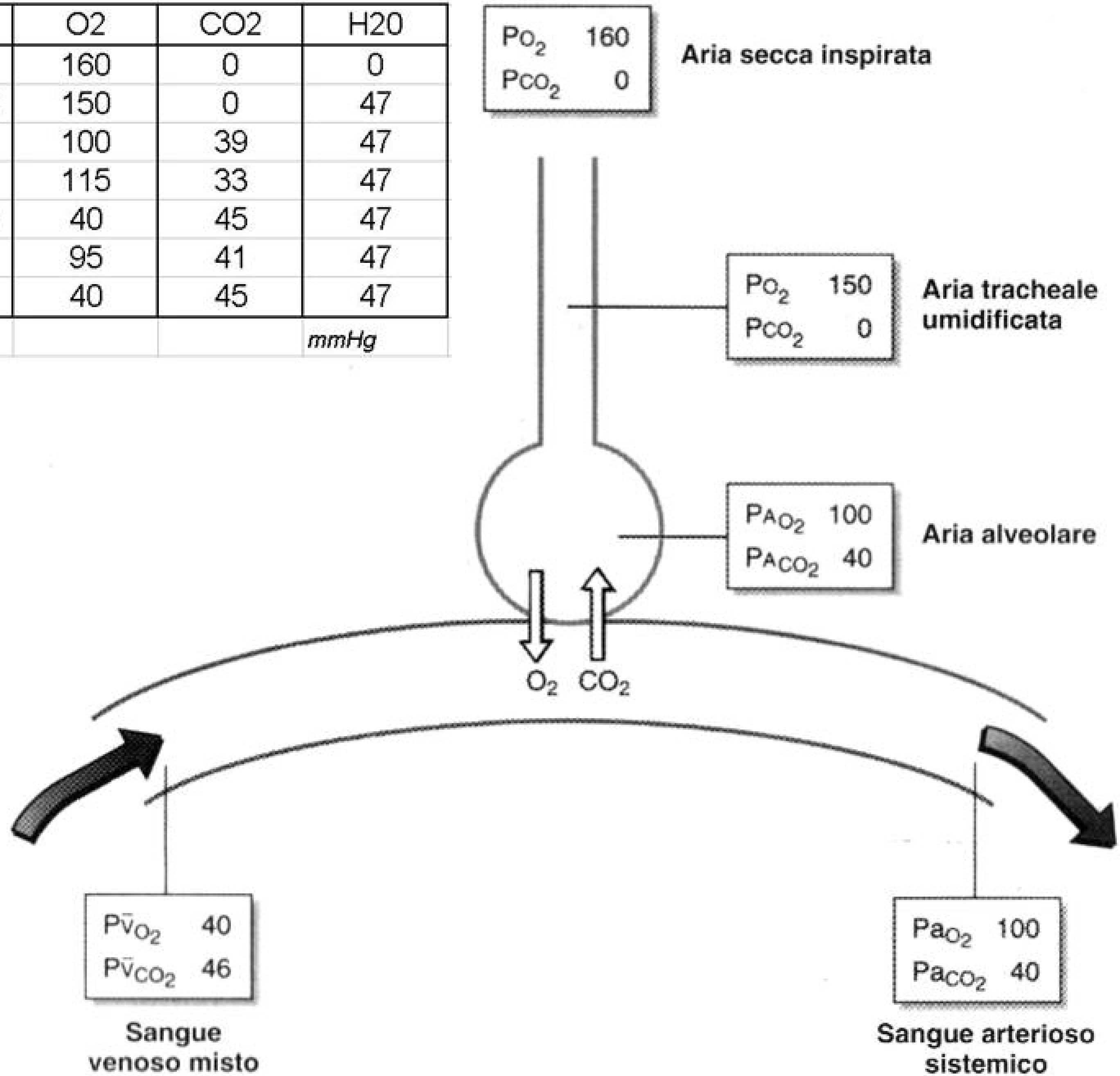


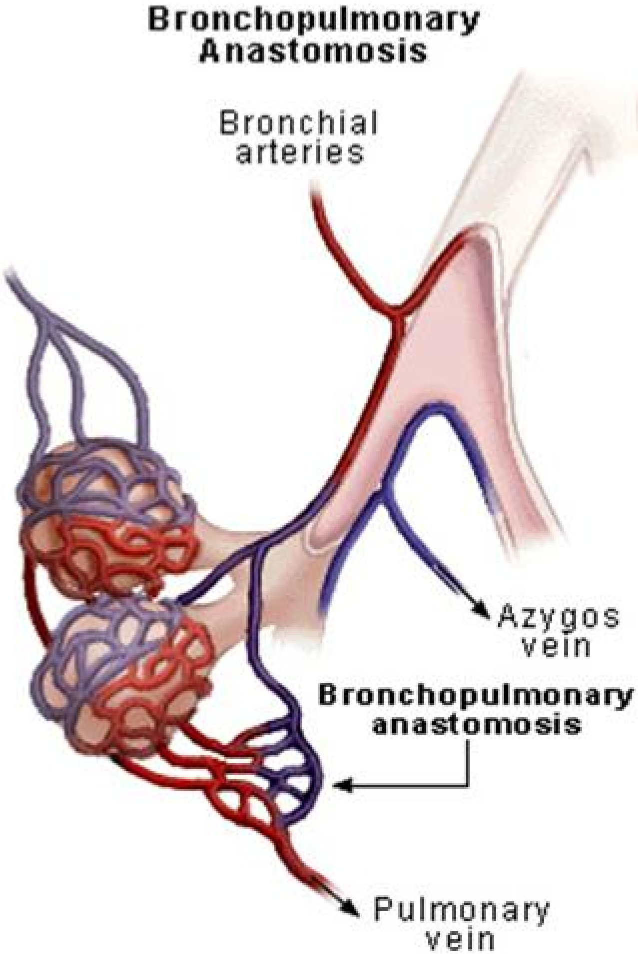
Pressioni parziali kPa (mmHg)
15,33 (115)
4,43 (33)
6,24 (47)
75,33 (565)
Σp = 101,3 (760)
Aria espirata (umida)
Frazione (l/l)
F_{O_2} ≈ 0,21
F_{CO_2} ≈ 0,0003
Pressioni parziali kPa (mmHg)
21,17 (158,8)
0,03 (0,23)
80,10 (601)
Σp = 101,3 (760) (Livello del mare)
Aria inspirata (secca)
$\dot{V}_T$ ≈ 8 l/min
$\dot{V}_D$ = 2,4 l/min
Umidificazione
$\dot{V}_A$ = 5,6 l/min
13,33 (100)
5,2 (39)
6,27 (47)
76,5 (574)
Σp = 101,3 (760)
Alveoli
CO_2
O_2
$\dot{V}_{O_2}$ ≈ 0,3 l/min
$\dot{V}_{CO_2}$ = 0,25 l/min
Capillari polmonari
HZV = 6 l/min
O_2
CO_2
H_2O
N_2 + Gas nobili

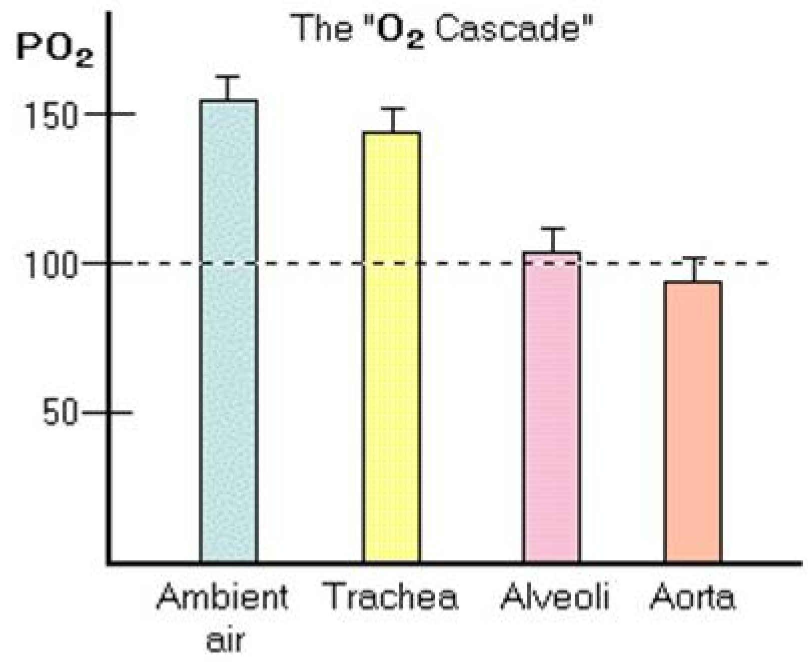


A. pulmonalis
Vv. pulmonales
12,66 (95)
5,27 (41)
6,27 (47)
Arterie
5,33 (40)
6,0 (45)
6,27 (47)
Vene
(vene cave)
Cuore destro
Cuore sinistro
avD$_{O_2}$
= 0,05 l O_2/l sangue
Capillari
≤ 5,33 (40)
≥ 6,0 (45)
6,27 (47)
Tessuto
CO_2
O_2
O_2
CO_2
H_2O
N_2 + Gas nobili

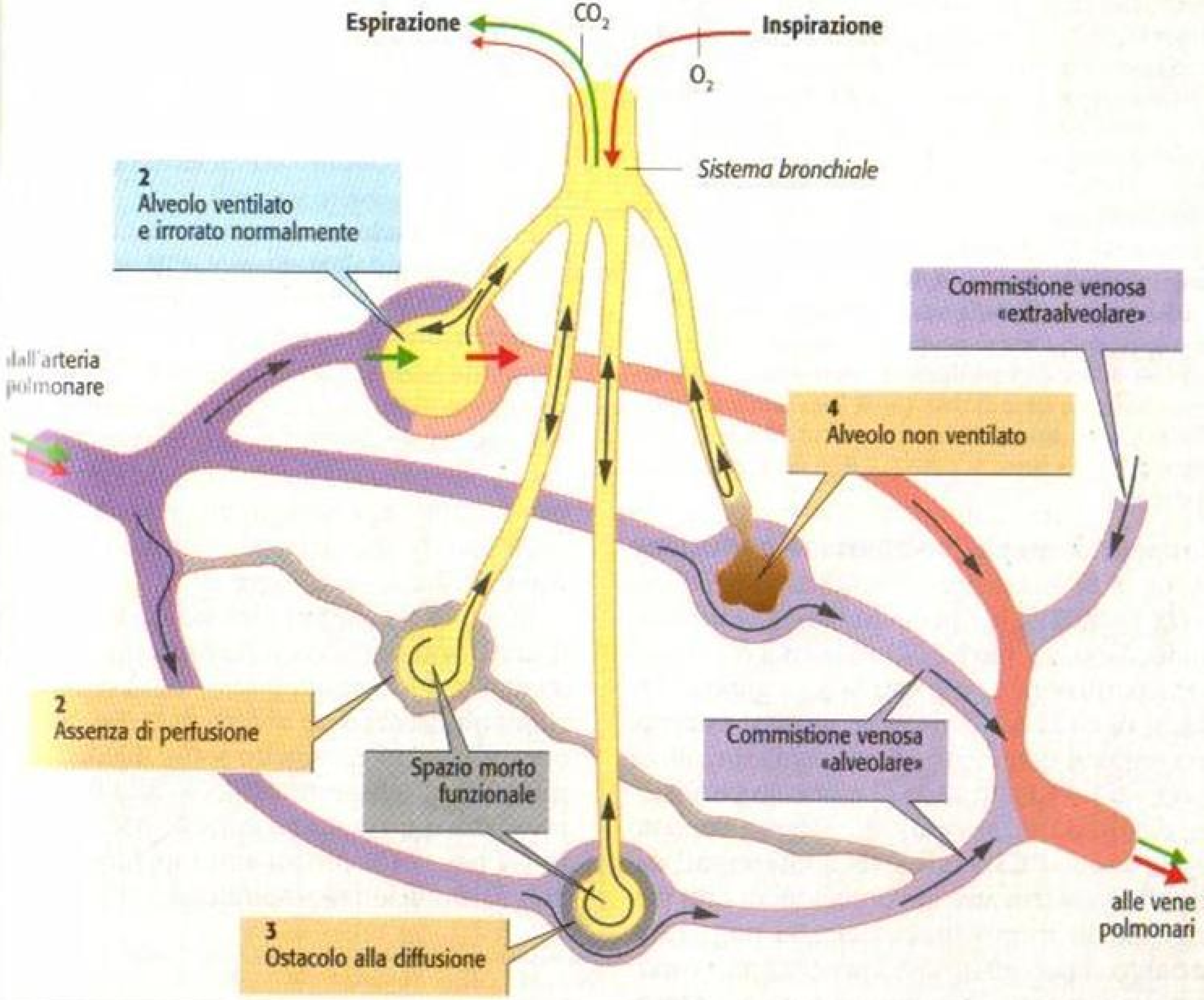
	O2	CO2	H20
ARIA INSPIRATA	160	0	0
ARIA TRACHEALE	150	0	47
ARIA ALVEOLARE	100	39	47
ARIA ESPIRATA	115	33	47
SANGUE VENOSO	40	45	47
SANGUE ARTER	95	41	47
TESSUTI PERIF	40	45	47
			mmHg



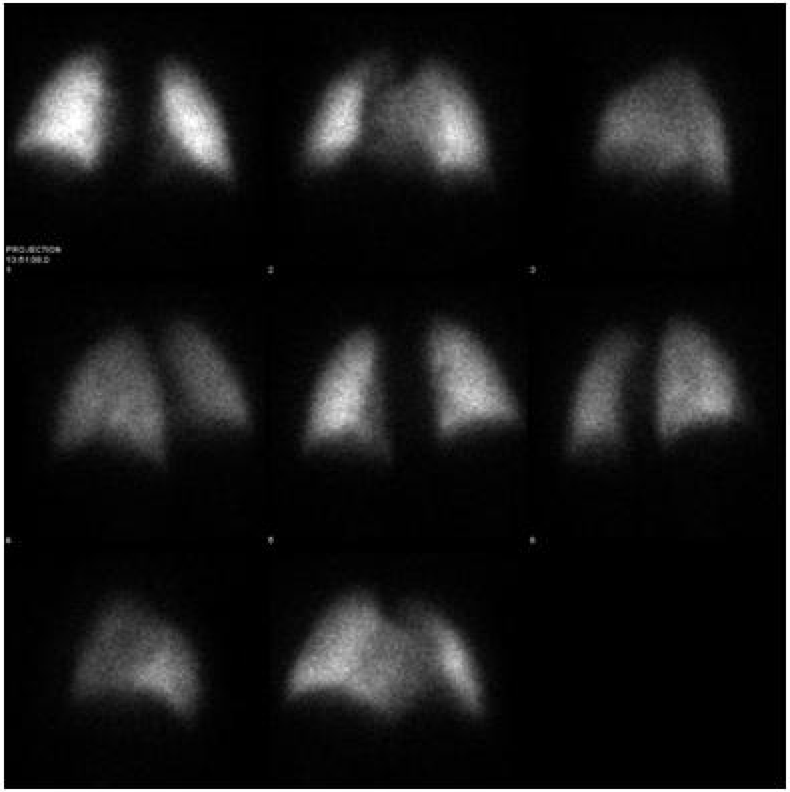

Bronchopulmonary
Anastomosis
Bronchial
arteries
Azygos
vein
Bronchopulmonary
anastomosis
Pulmonary
vein

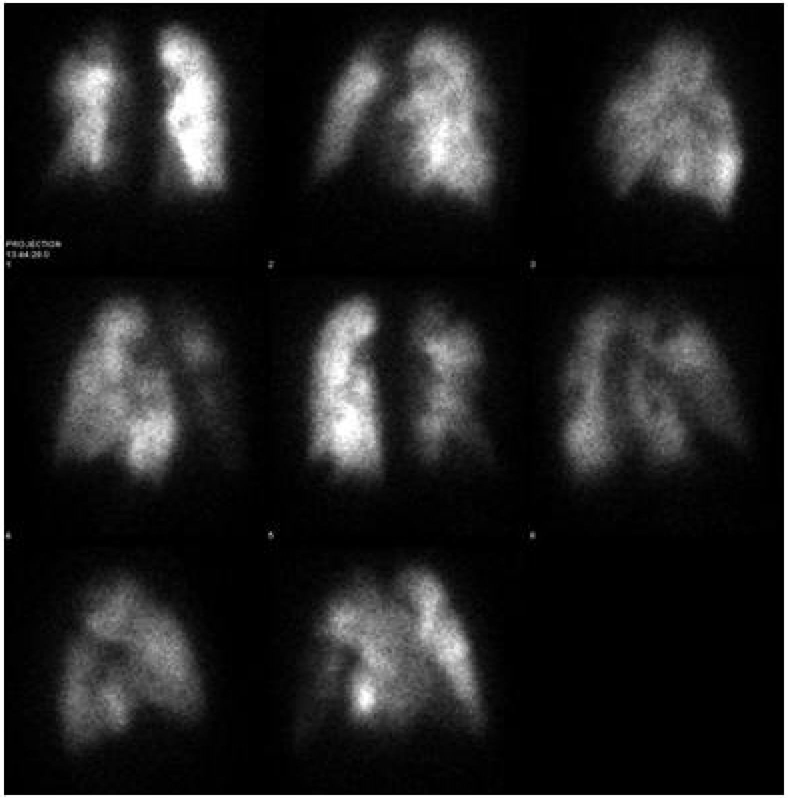

The "O2 Cascade"
PO2
150
100
50
Ambient
air
Trachea
Alveoli
Aorta

B. Disturbi della distribuzione dell'aria nel polmone



SCINTIGRAFIA POLMONARE DI PERFUSIONE

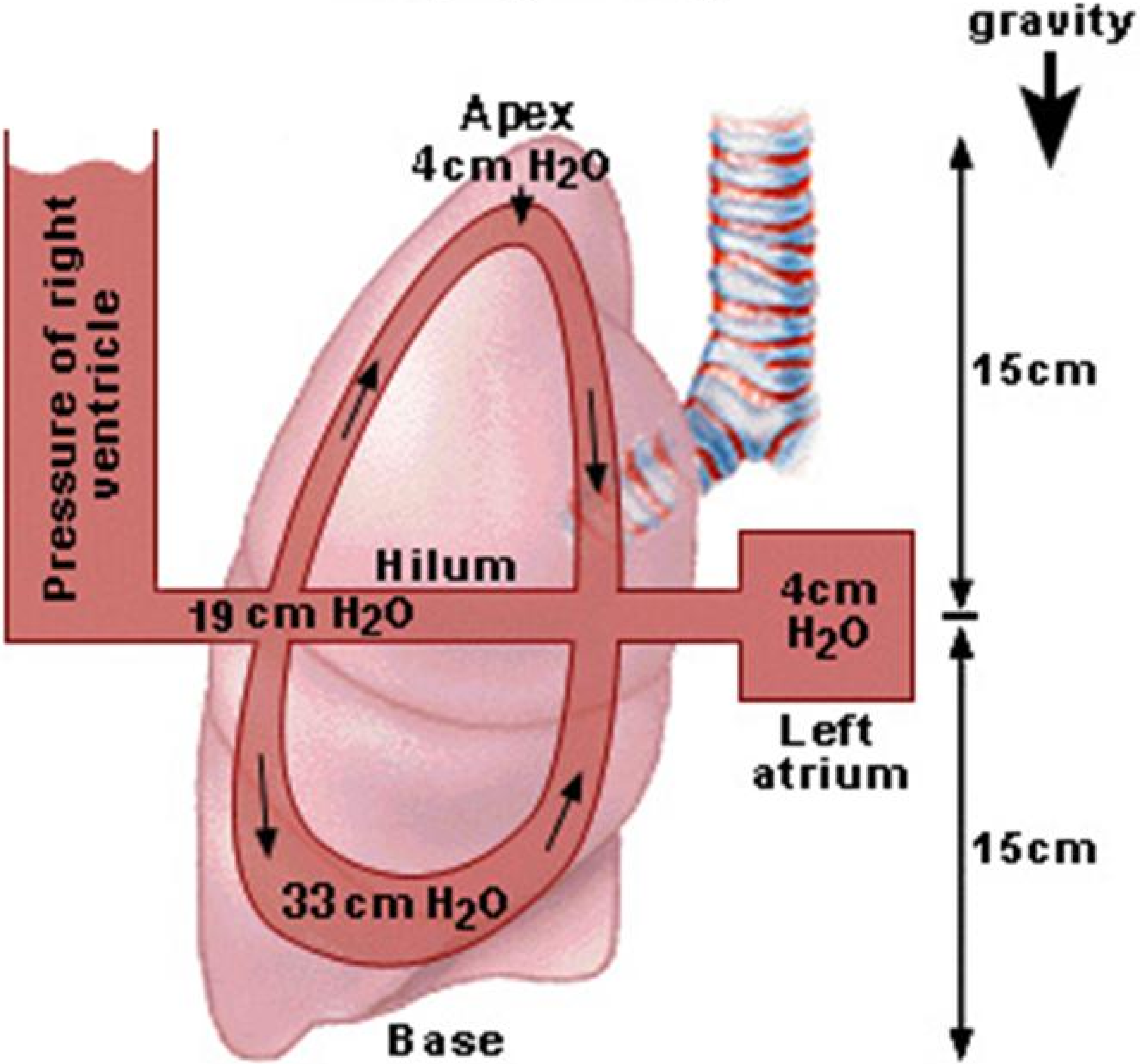




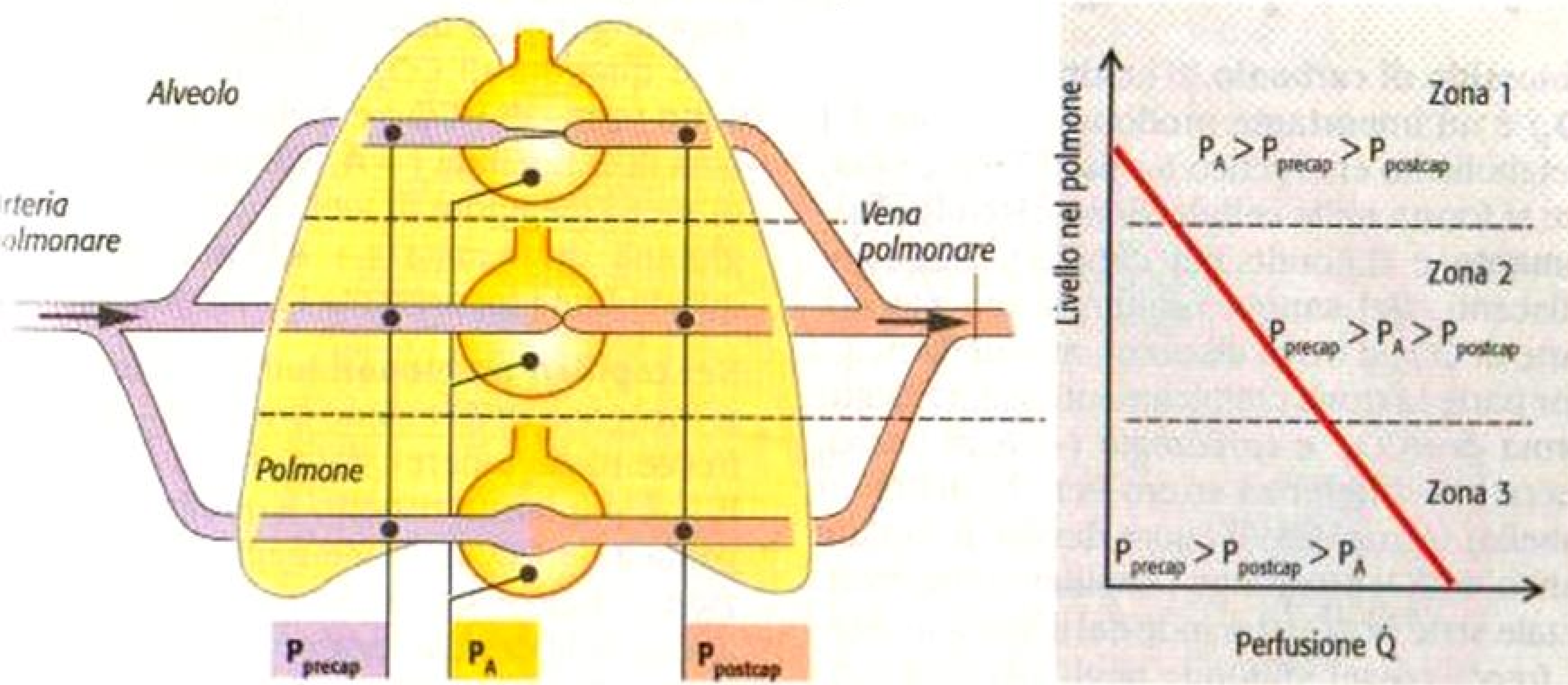
PERFUSIONE NORMALE

DIFETTI DI PERFUSIONE
(embolia polmonare)

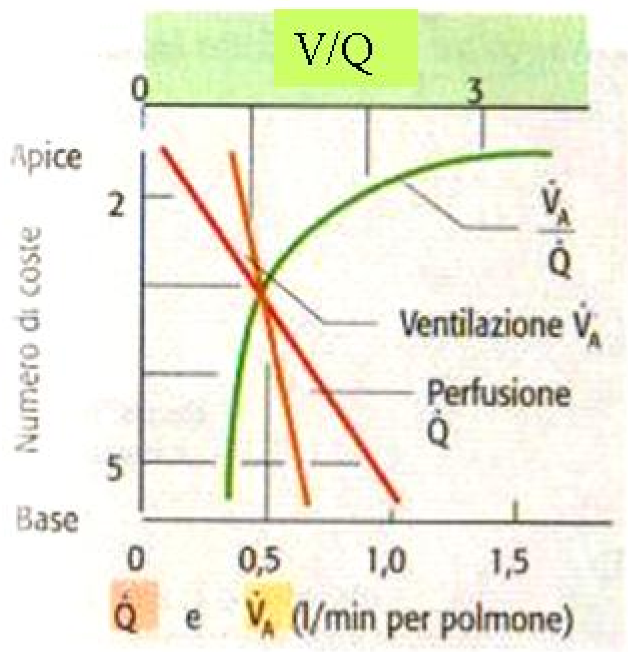
Mean Intravascular Pressure in Upright Lung



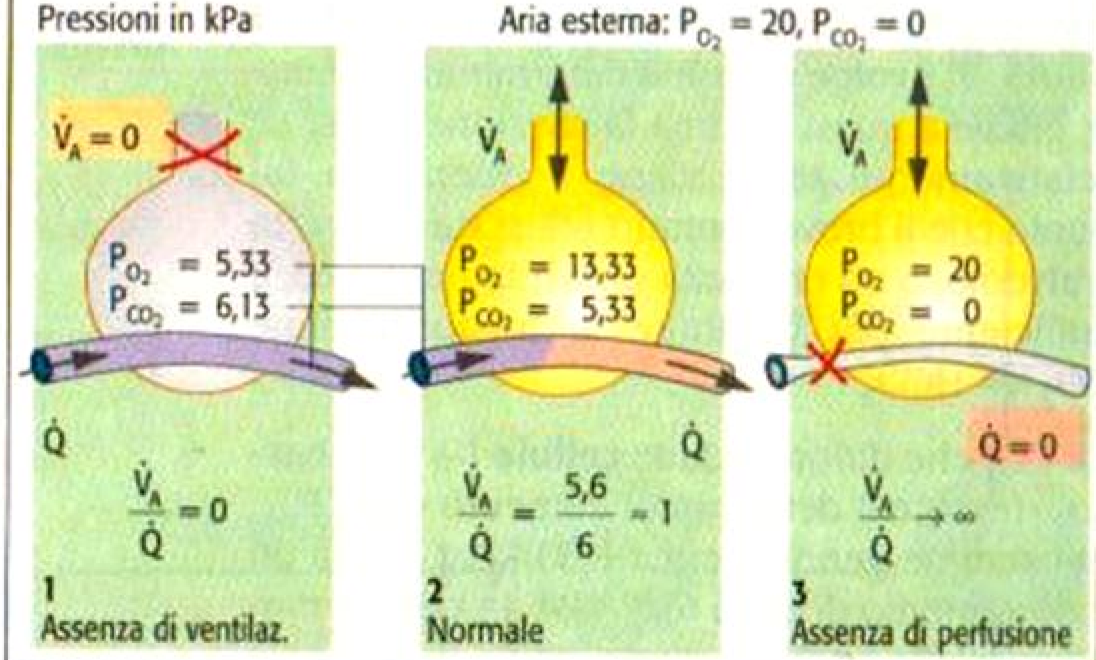
A. Perfusione regionale del polmone (torace eretto)



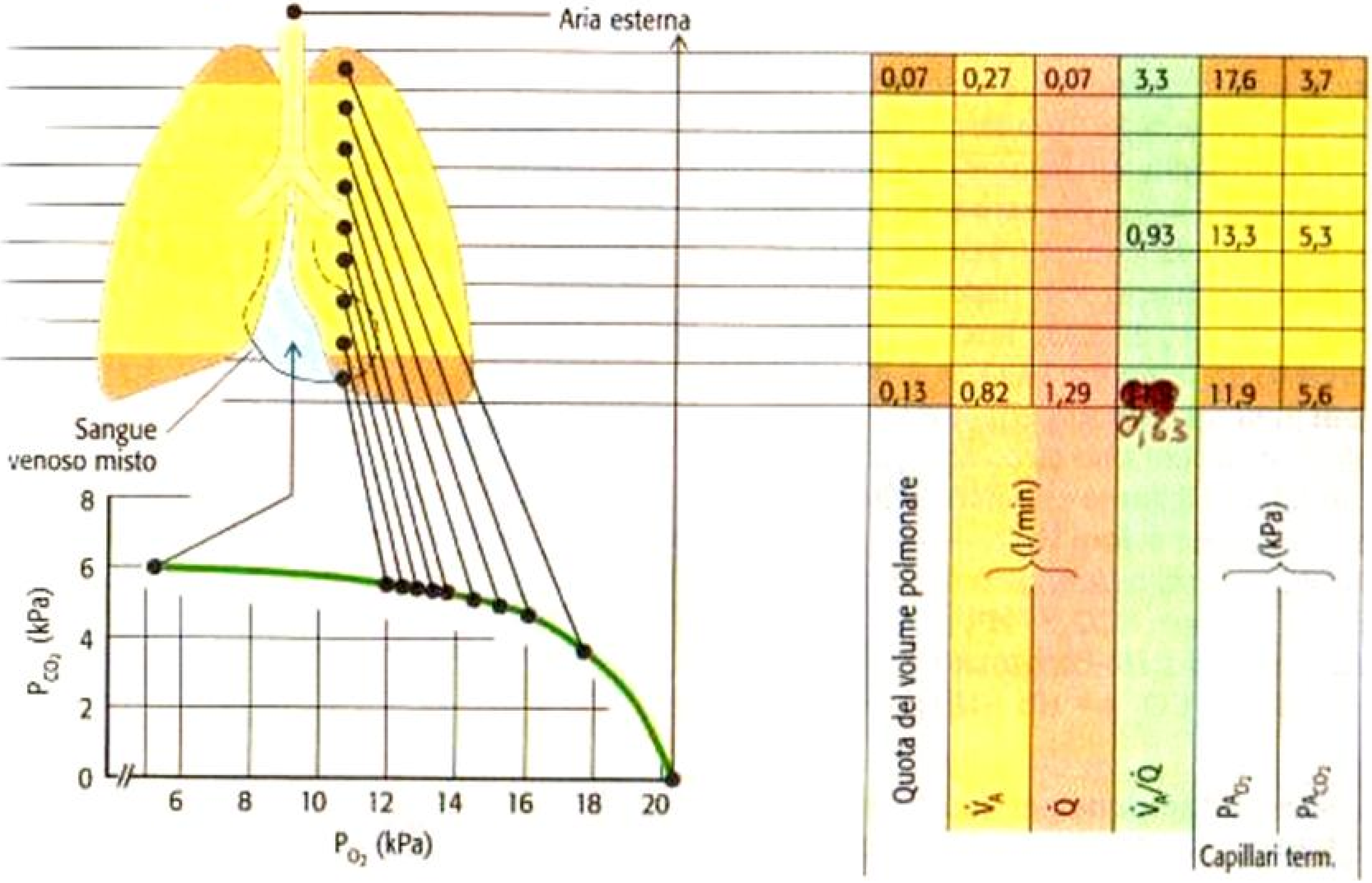
B. Perfusione e ventilazione delle regioni polmonari

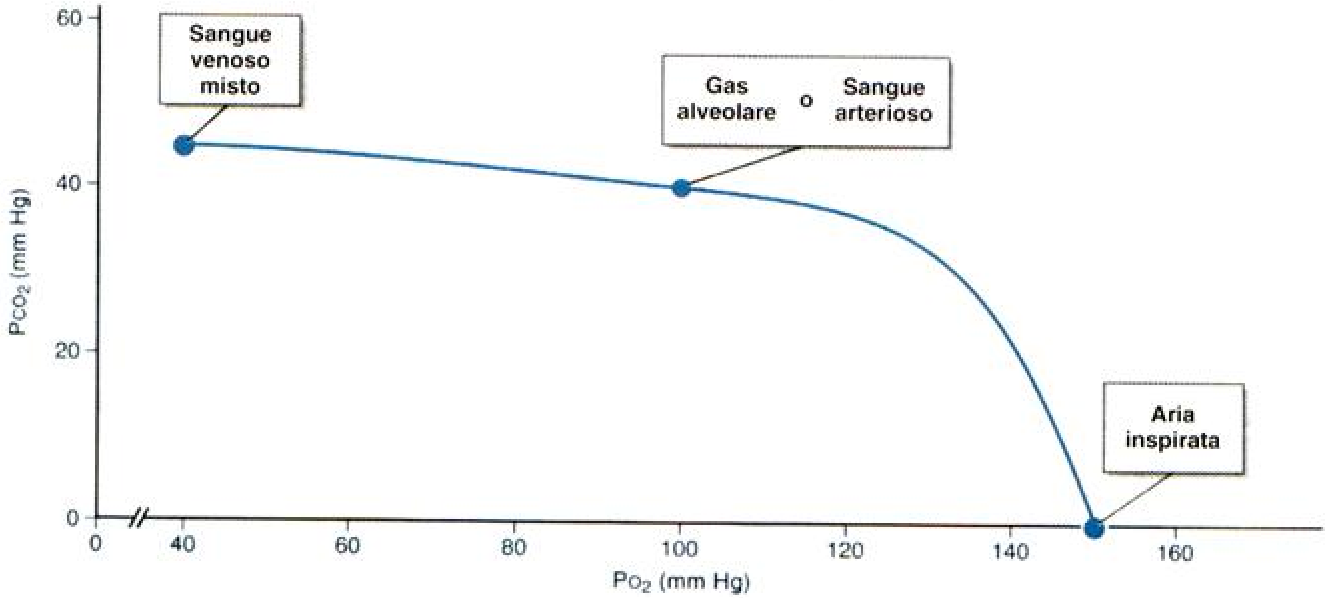


C. Influenza del rapporto ventilazione-perfusione ($\dot{V}_A/Q$) sulle pressioni parziali nel polmone



D. Parametri regionali della funzione polmonare





EQUAZIONE DEI GAS ALVEOLARI
paCO2 = f (paO2)

$$P_{A_{O_2}} = P_{I_{O_2}} - \frac{P_{A_{CO_2}}}{R} + \text{fattore di correzione}$$

in cui

$P_{A_{O_2}}$ = P_{O_2} alveolare (mmHg)

$P_{I_{O_2}}$ = P_{O_2} nell'aria inspirata (mmHg)

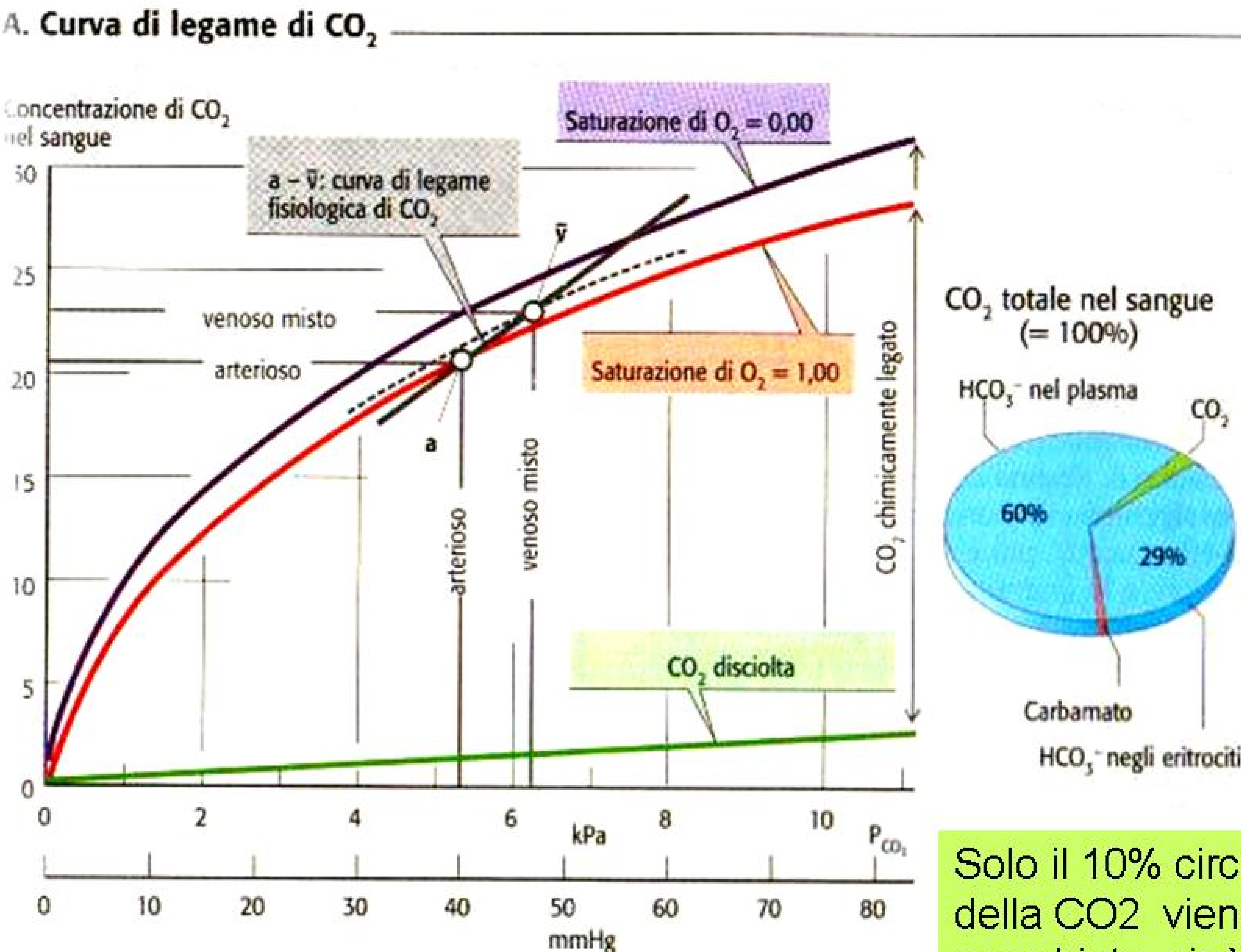
$P_{A_{CO_2}}$ = P_{CO_2} alveolare (mmHg)

R = quoziente respiratorio (CO_2 prodotta/O_2 consumato)

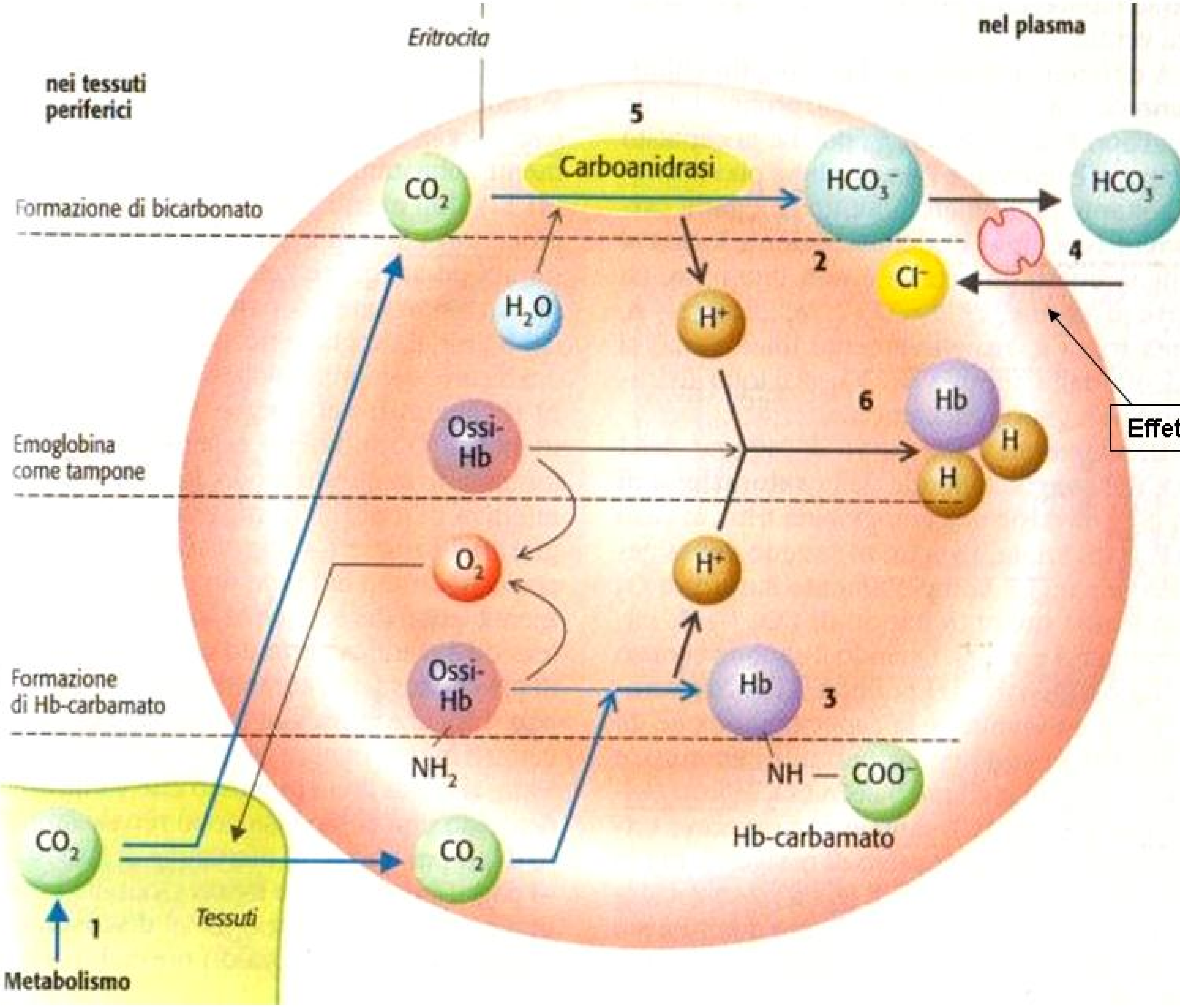
Solubilities of Respiratory gases

O_2 = 0.023 mlO_2/ml plasma/atm O_2
CO_2 = 0.515 mlCO_2/ml plasma/ atm CO_2
N_2 = 0.013 mlN_2/ml plasma/atm N_2

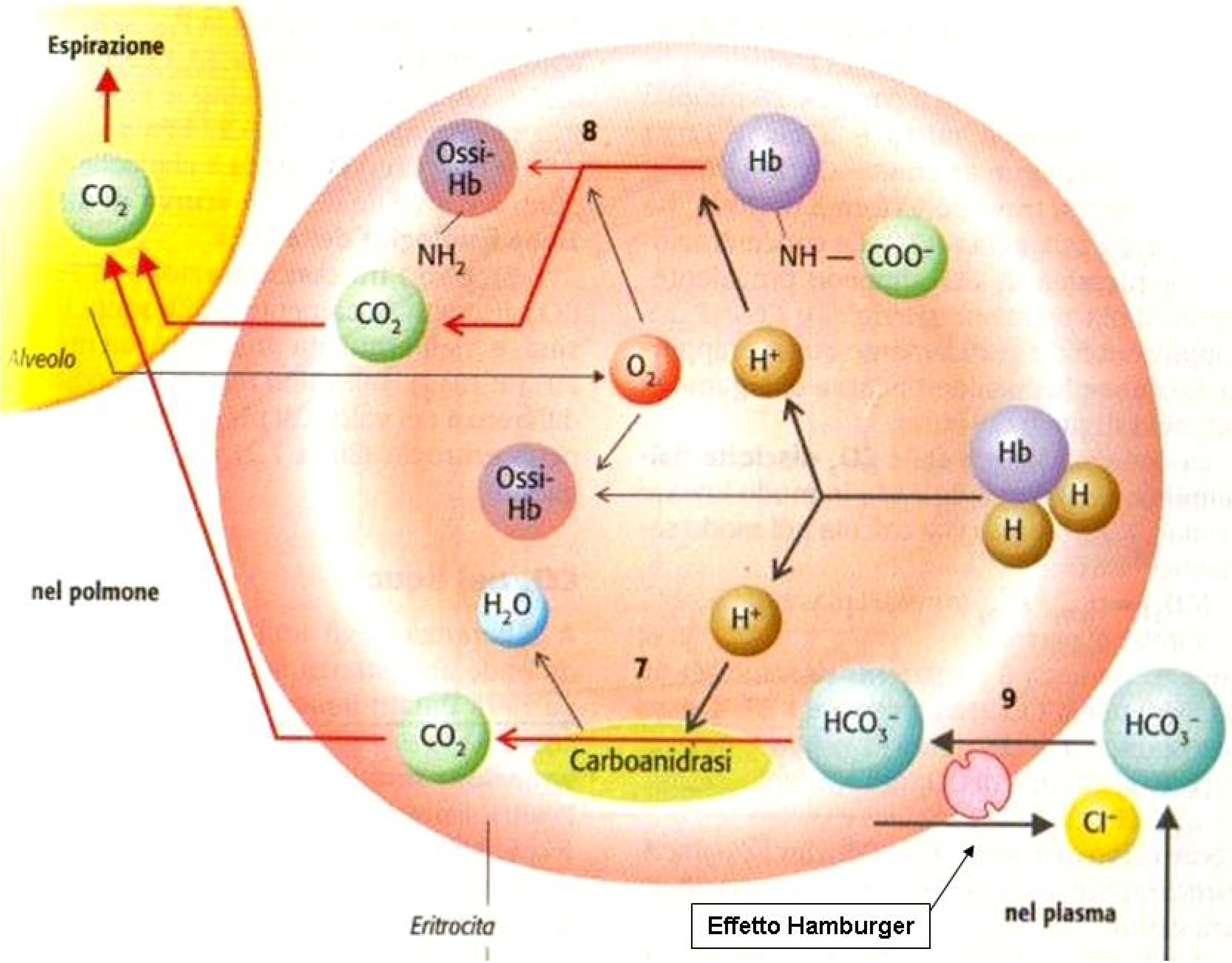
* Note the much greater solubility of CO2 than O2 or N2.

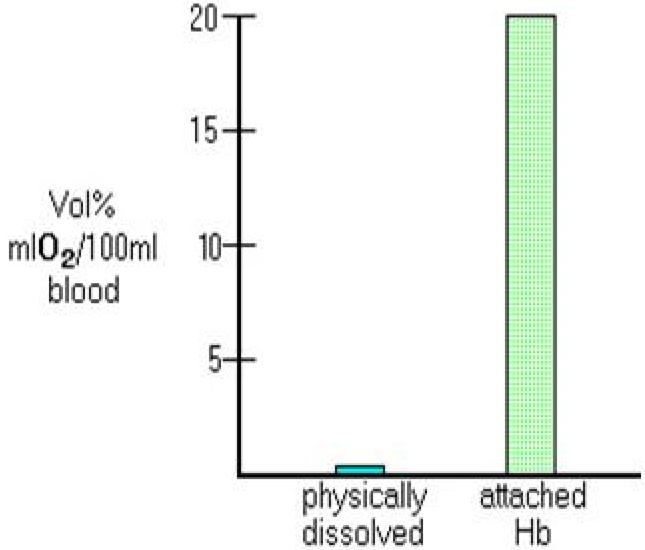


Solo il 10% circa della CO2 viene scambiata, cioè 5 ml

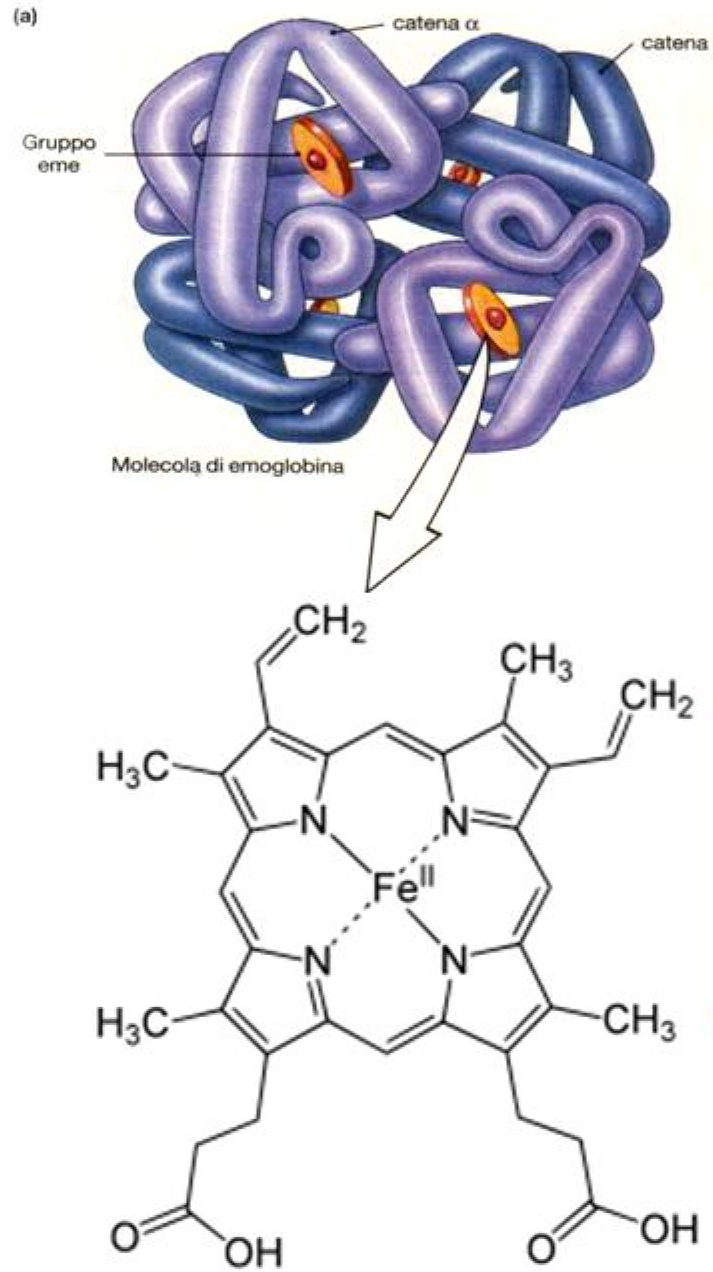


Effetto Hamburger


Espirazione
CO₂
Alveolo
8
Ossi-Hb
NH₂
CO₂
Hb
NH — COO⁻
O₂
H⁺
Hb
H
H
Ossi-Hb
nel polmone
H₂O
H⁺
7
9
CO₂
Carboanidrasi
HCO₃⁻
HCO₃⁻
Cl⁻
Eritrocita
Effetto Hamburger
nel plasma

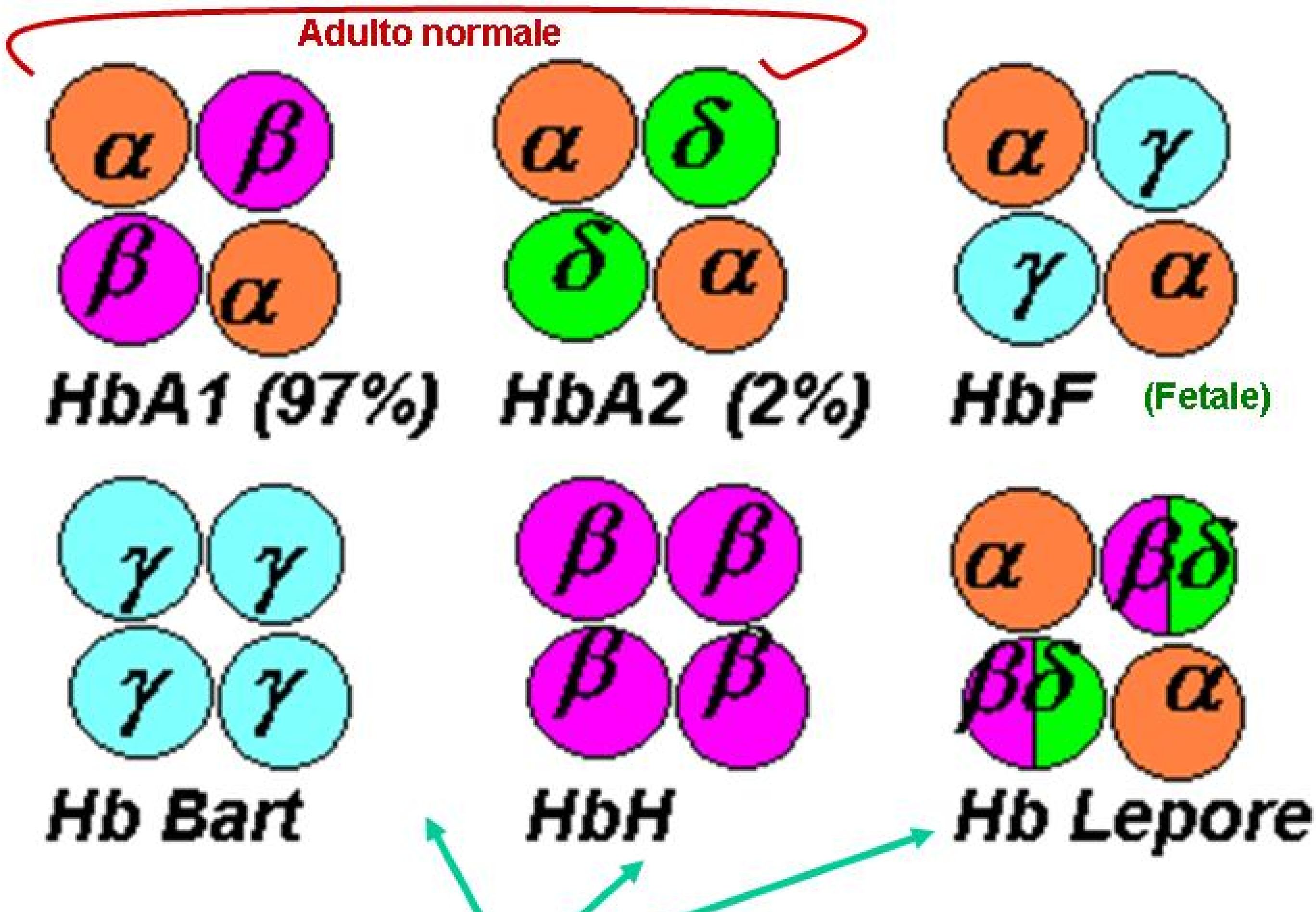


Il 98.5% dell'O2 è trasportato legato all'emoglobina
1 grammo di Hb lega 1,34 ml di O2. In 100 ml di sangue vi sono 15 grammi di Hb, per un totale di 20 ml di O2
In media, passando dal sangue arterioso al sangue venoso, viene ceduto il 25% dell'O2



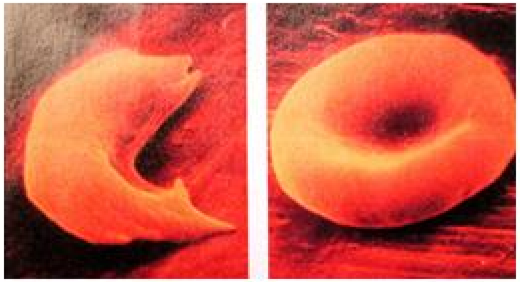
Eme

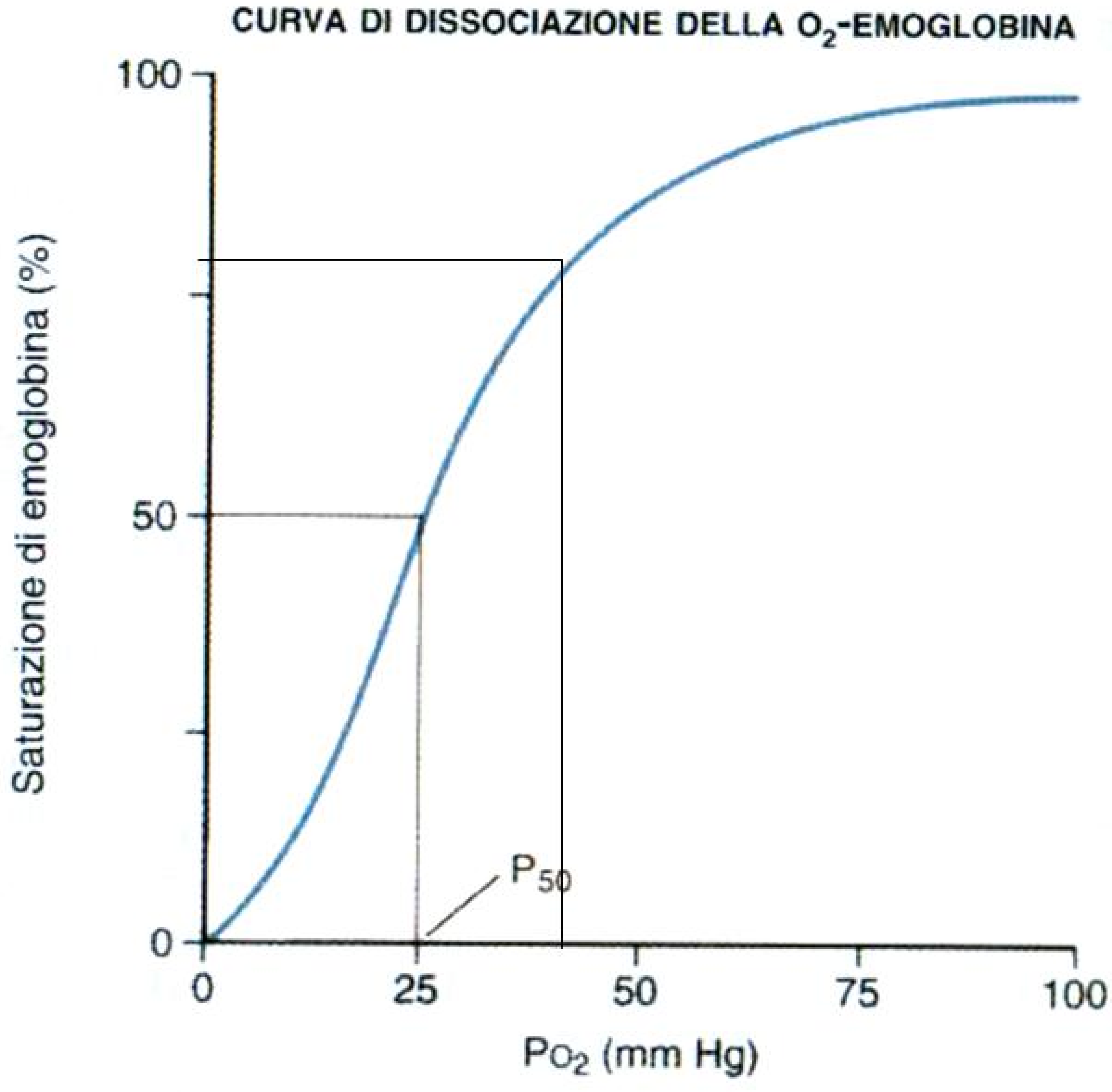
(Fe-proto-porfirina IX)



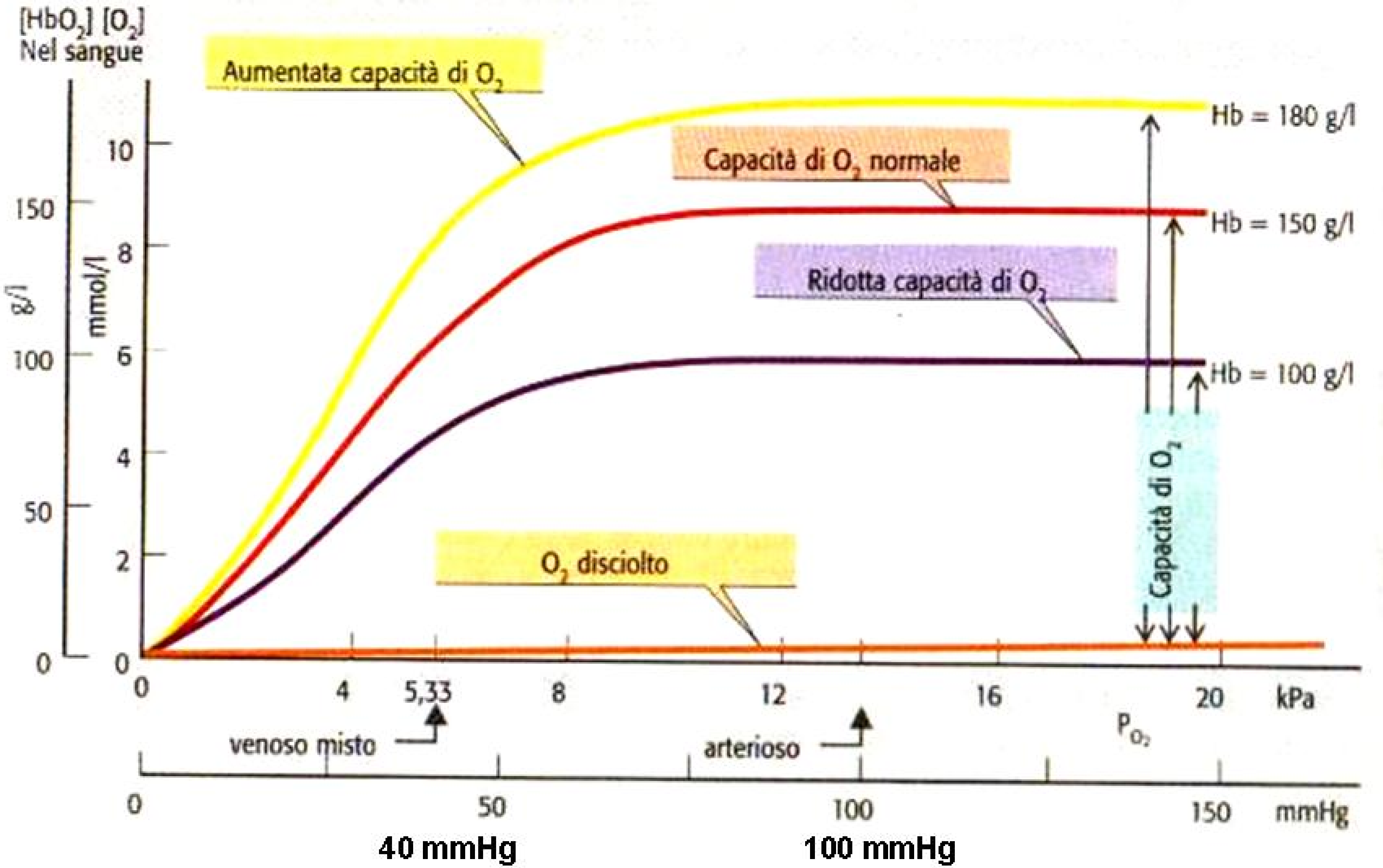
TALASSEMIA

DREPANOCITOSI → HbS

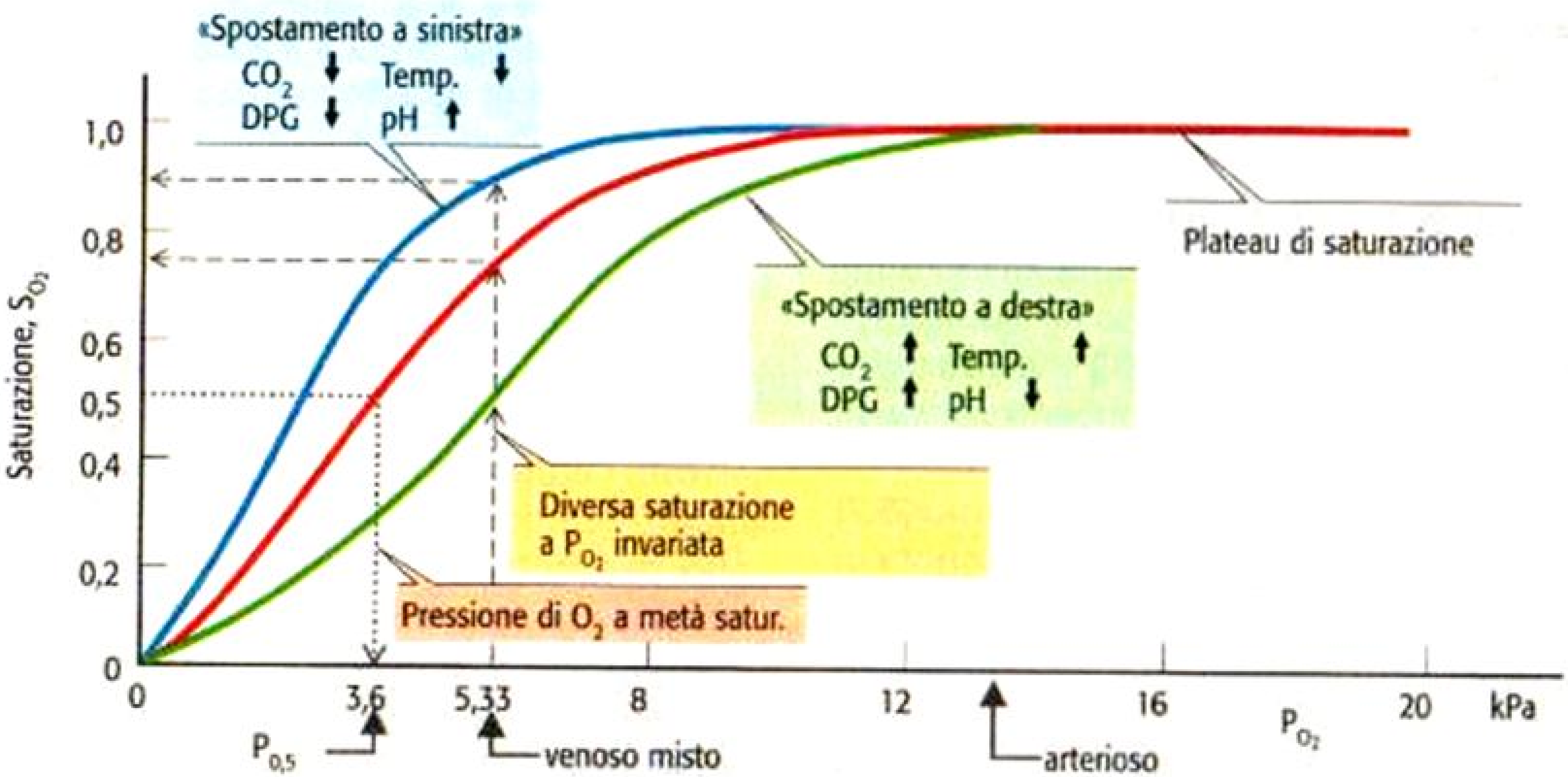



CURVA DI DISSOCIAZIONE DELLA O_2-EMOGLOBINA
Saturazione di emoglobina (%)
100
50
0
P50
0
25
50
75
100
P_{O_2} (mm Hg)

A. Curva di legame dell'O_2: capacità di O_2

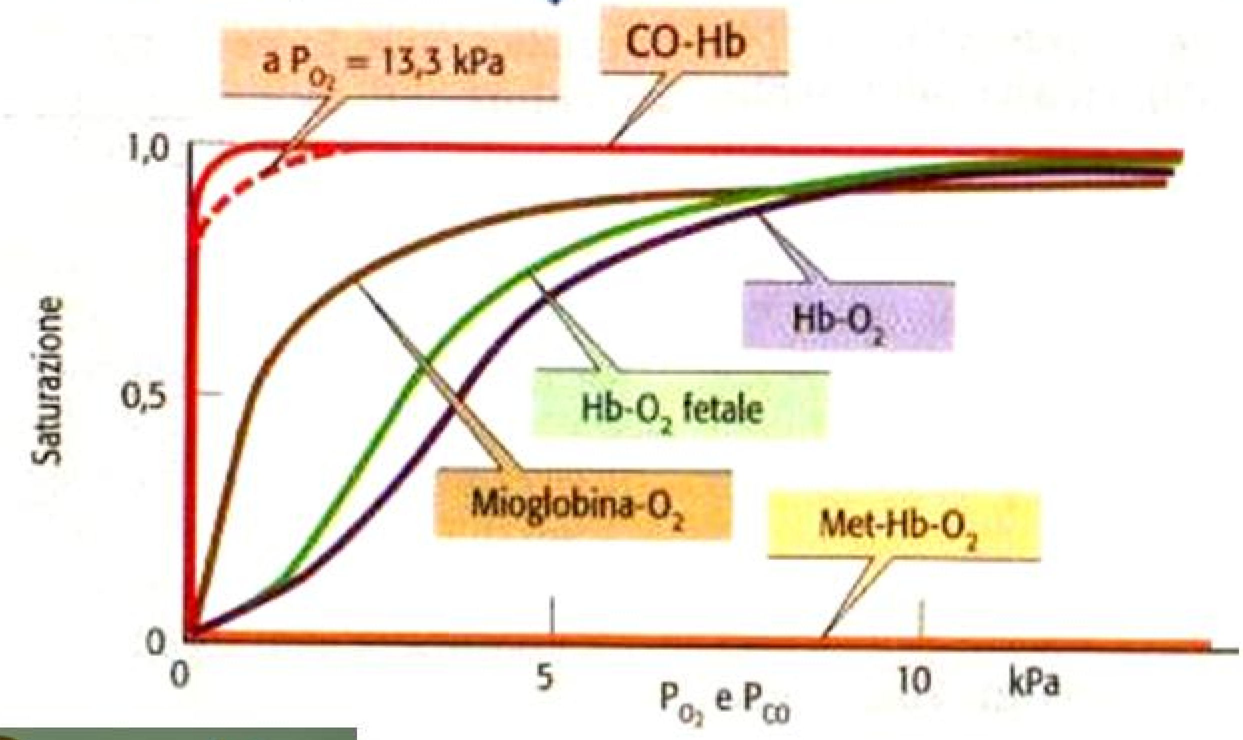


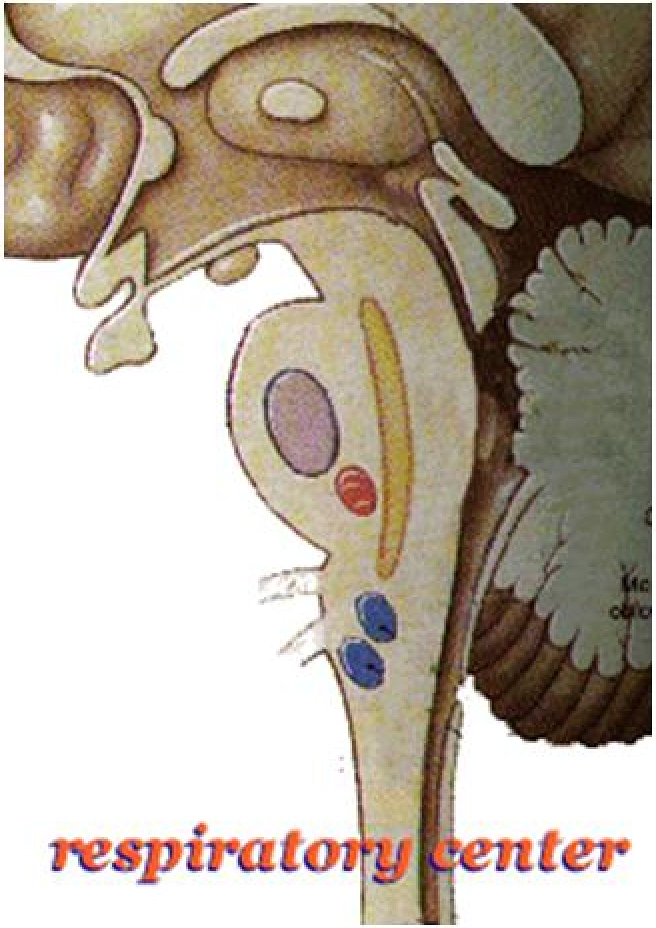
B. Curva di legame dell'O_2: saturazione di O_2

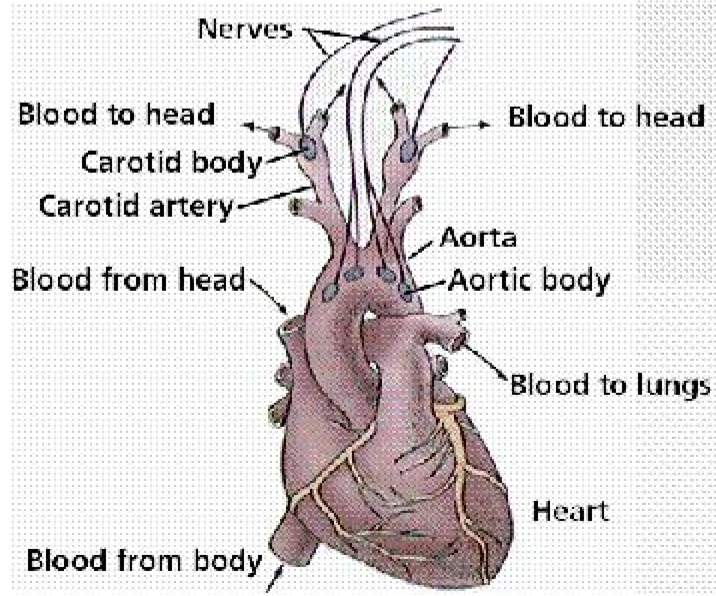


40 mmHg **100 mmHg**

Curve di legame dell'O_2 e della CO

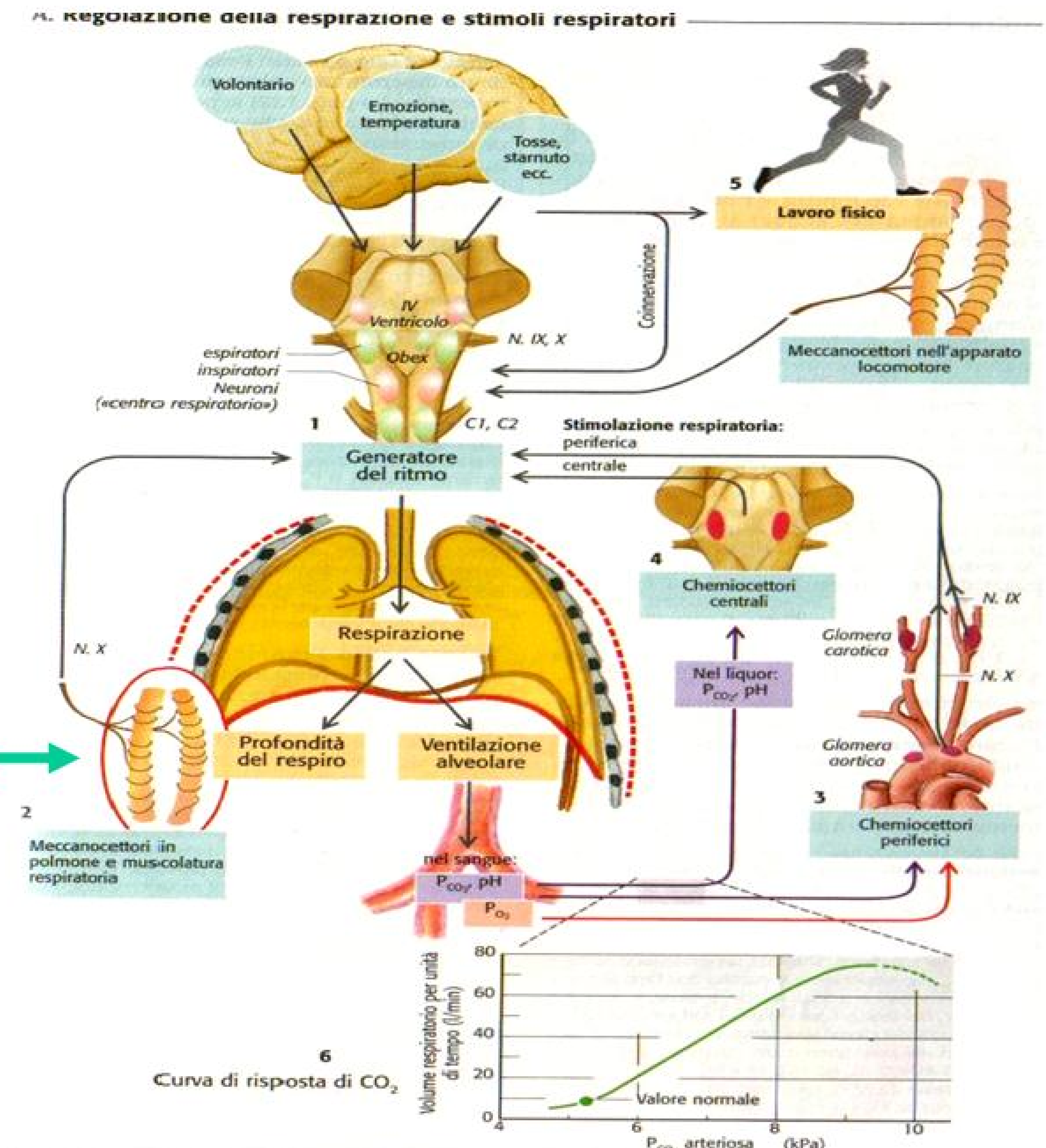


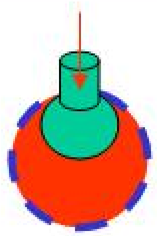




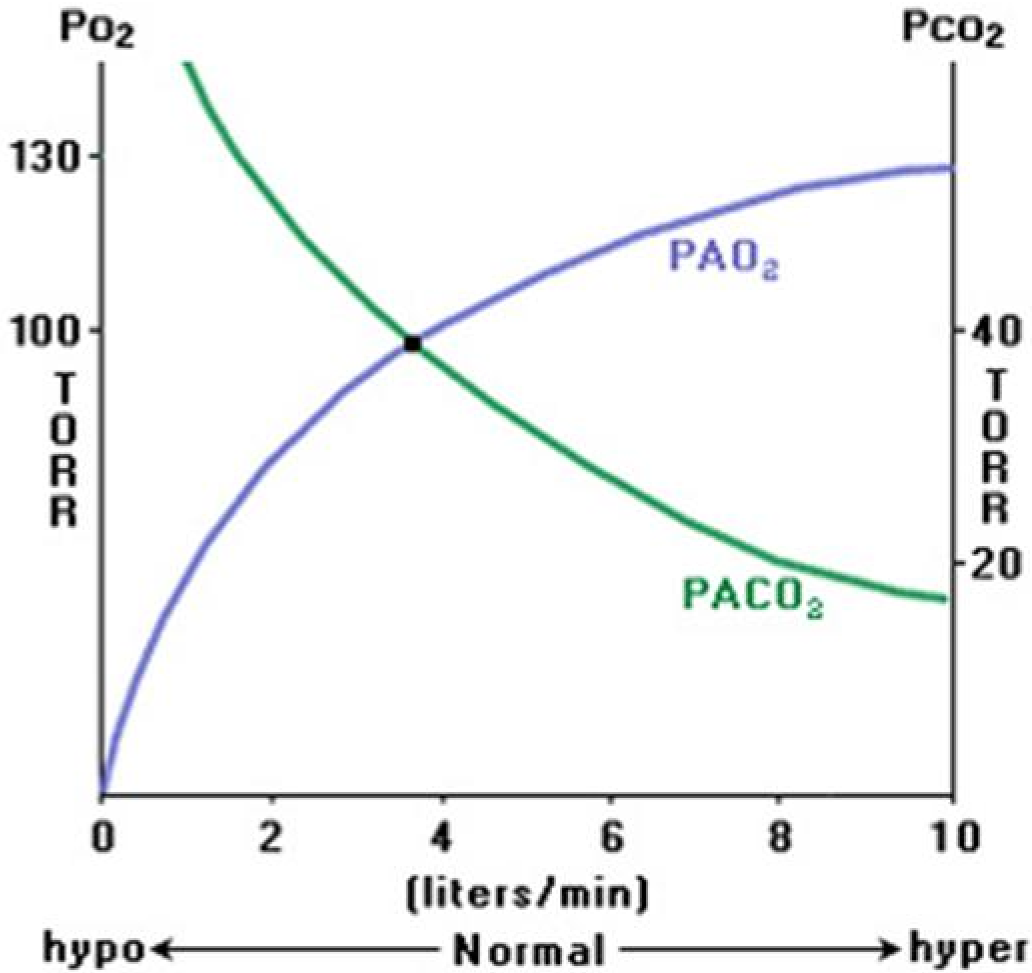
Vi sono dei chemocettori nei glomi aortici e carotidei (stessa posizione dei pressocettori): se la CO2 aumenta, se il pH diminuisce, o l'O2 diminuisce, aumenta la ventilazione.
La CO2 stimola anche direttamente i centri respiratori, aumentando la ventilazione

CENTRI BULBARI, regolati dai CENTRI PONTINI:
apneustico -> inspirazione
pneumotassico -> stop inspiraz



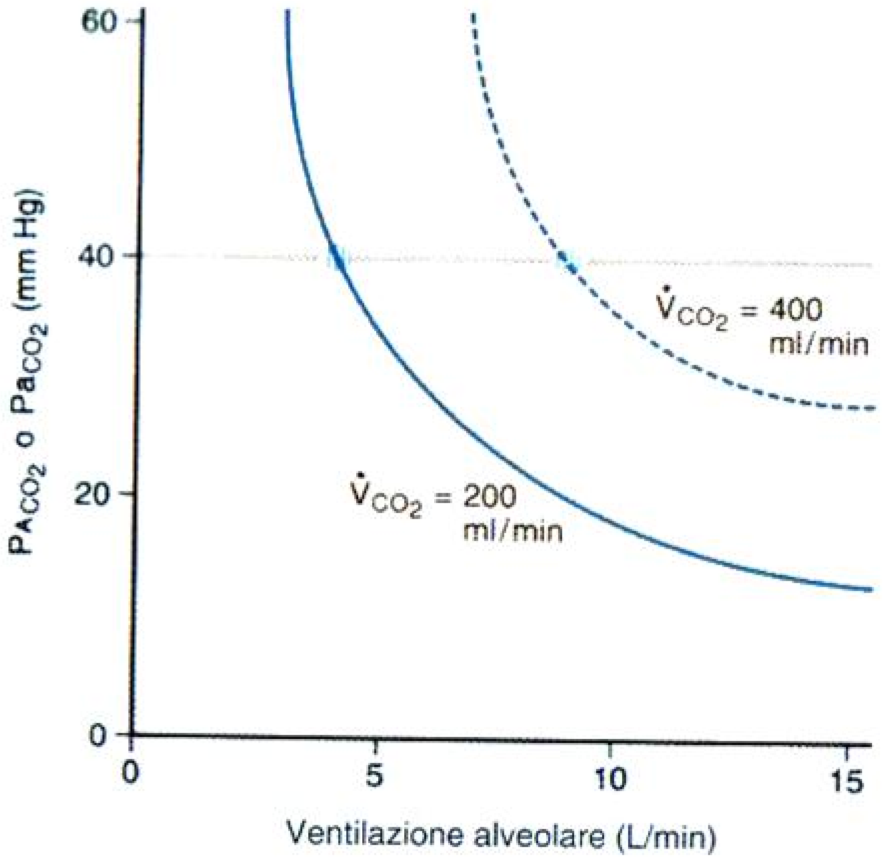


Riflesso di Hering-Breuer: origina da tensocettori alveolari. L'aumento di volume inibisce l'inspirazione (feed-back negativo)



Ventilation

Hypo-	Normal	Hyper-
↓ PAO_2	PAO_2 =100	↑ PAO_2
↑ $PACO_2$	$PACO_2$ =40	↓ $PACO_2$



EQUAZIONE DELLA VENTILAZIONE ALVEOLARE

paCO2 = f (Va)

$$P_{A_{CO_2}} = \frac{\dot{V}_{CO_2} \times K}{\dot{V}_A}$$

in cui

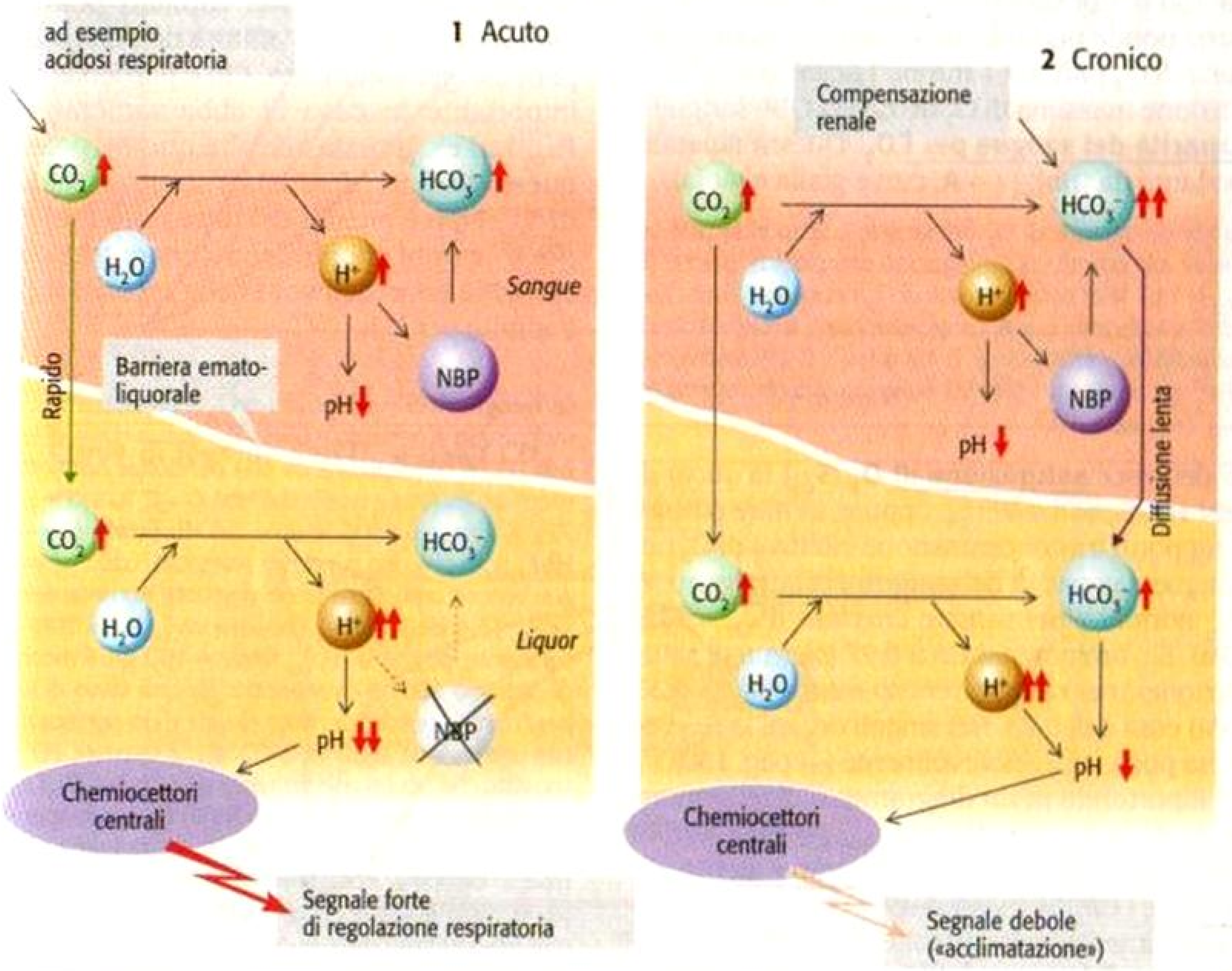
$\dot{V}_A$ = ventilazione alveolare (ml/min)

$\dot{V}_{CO_2}$ = velocità di produzione di CO_2

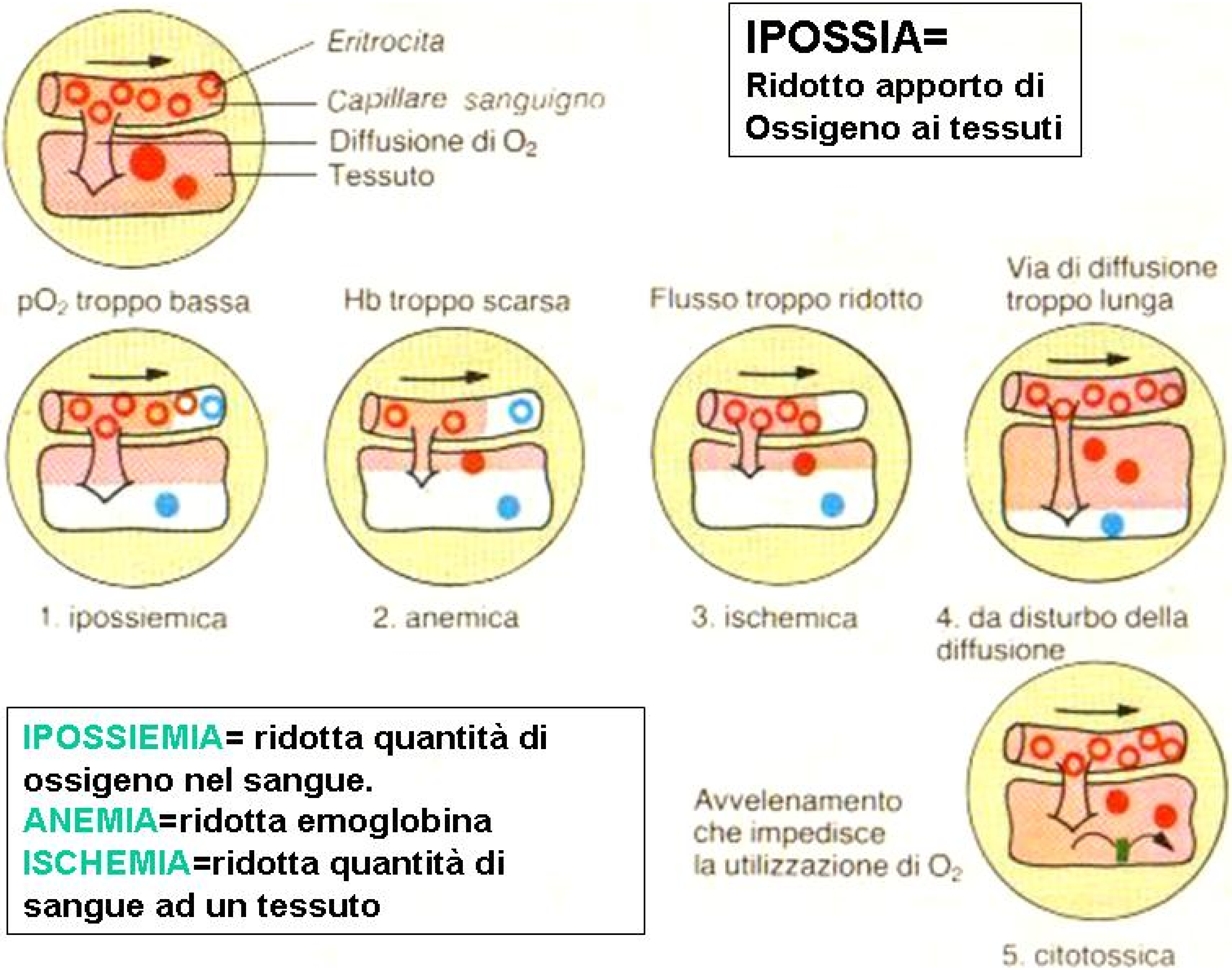
$P_{A_{CO_2}}$ = P_{CO_2} alveolare (mmHg)

K = costante (863 mmHg)

B. CO_2 e valore del pH nel sangue

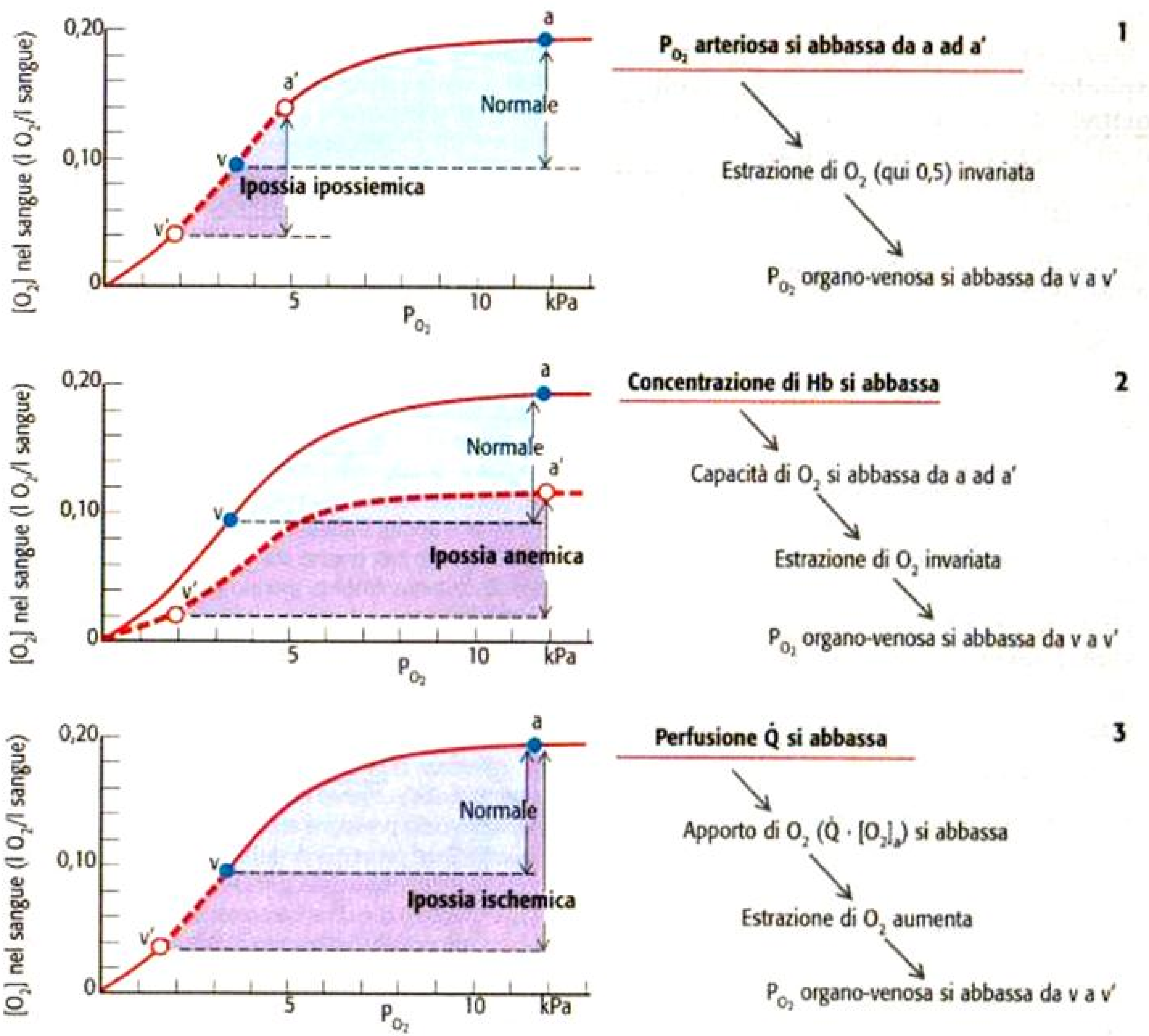


IPOSSIA=
Ridotto apporto di Ossigeno ai tessuti

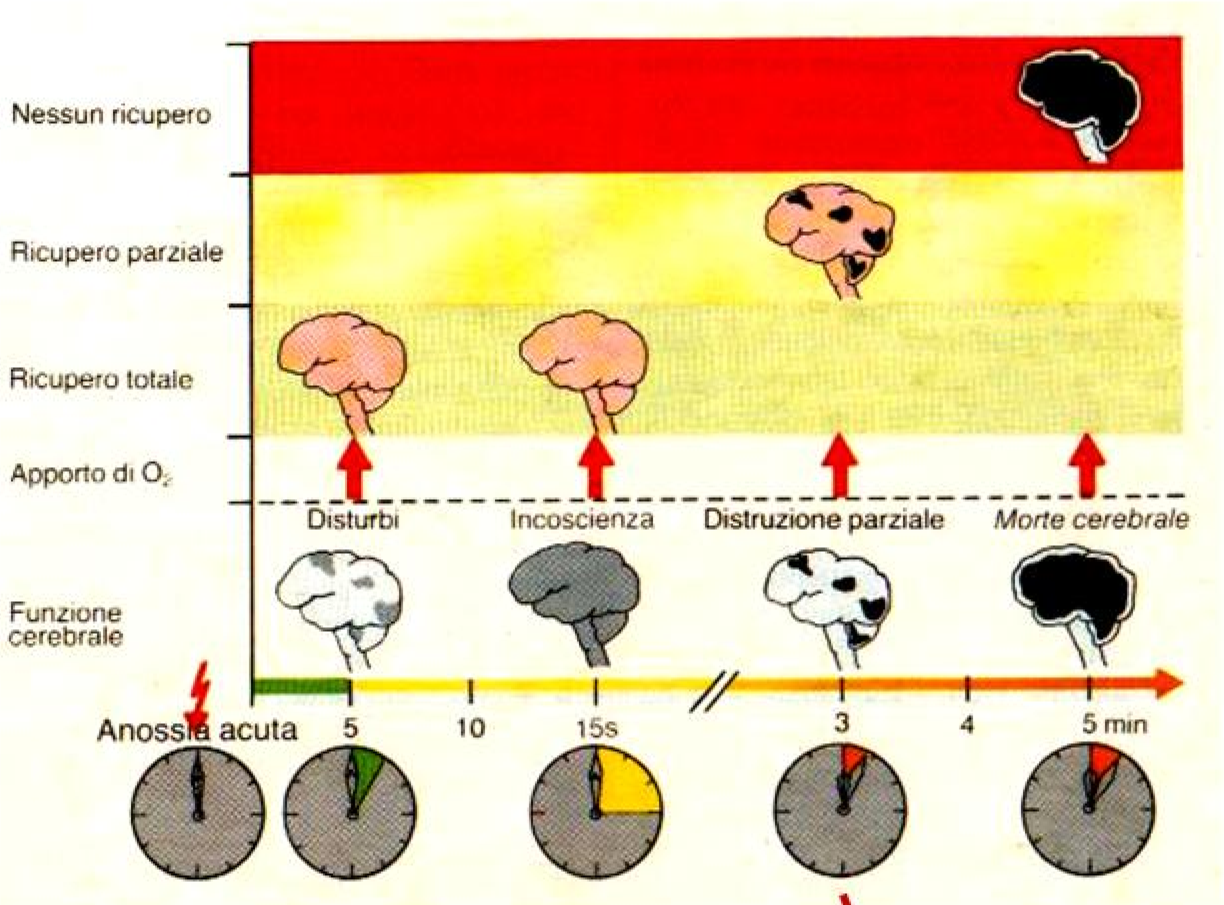


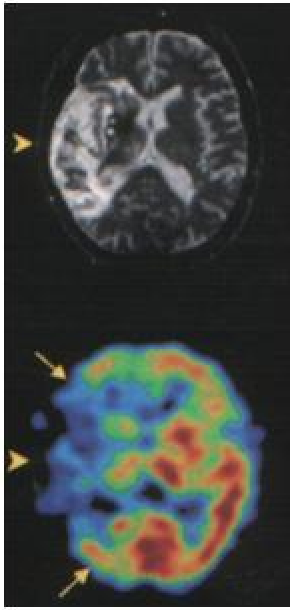
IPOSSIEMIA= ridotta quantità di ossigeno nel sangue.
ANEMIA=ridotta emoglobina
ISCHEMIA=ridotta quantità di sangue ad un tessuto

B. Ipossia

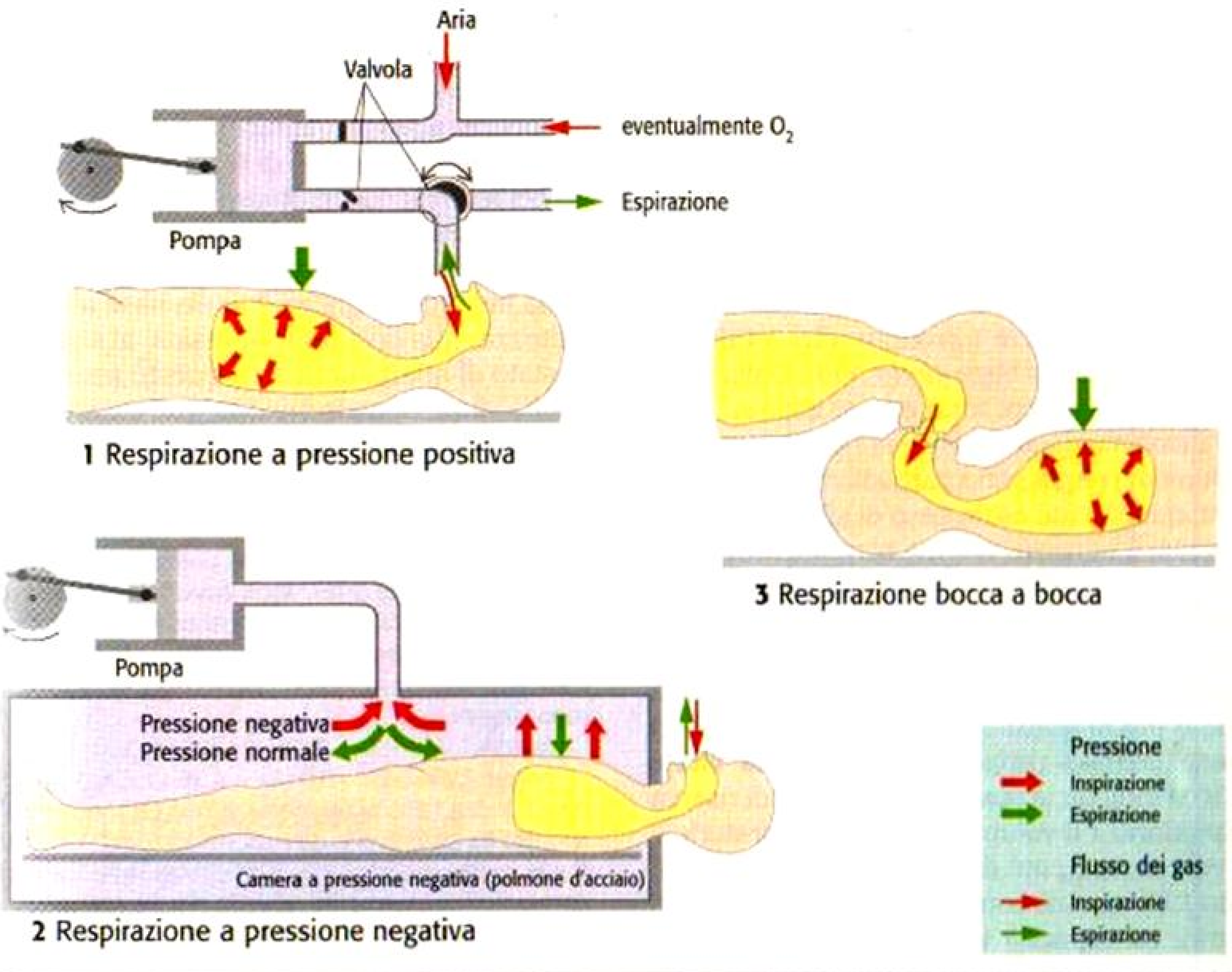


1
P_{O_2} arteriosa si abbassa da a ad a'
Estrazione di O_2 (qui 0,5) invariata
P_{O_2} organo-venosa si abbassa da v a v'
Normale
Ipossia ipossiemica
a
a'
v
v'
0,20
0,10
0
5
10
kPa
P_{O_2}
$[O_2]$ nel sangue (l O_2/l sangue)
2
Concentrazione di Hb si abbassa
Capacità di O_2 si abbassa da a ad a'
Estrazione di O_2 invariata
P_{O_2} organo-venosa si abbassa da v a v'
Normale
Ipossia anemica
3
Perfusione $\dot{Q}$ si abbassa
Apporto di O_2 ($\dot{Q} \cdot [O_2]_a$) si abbassa
Estrazione di O_2 aumenta
P_{O_2} organo-venosa si abbassa da v a v'
Normale
Ipossia ischemica

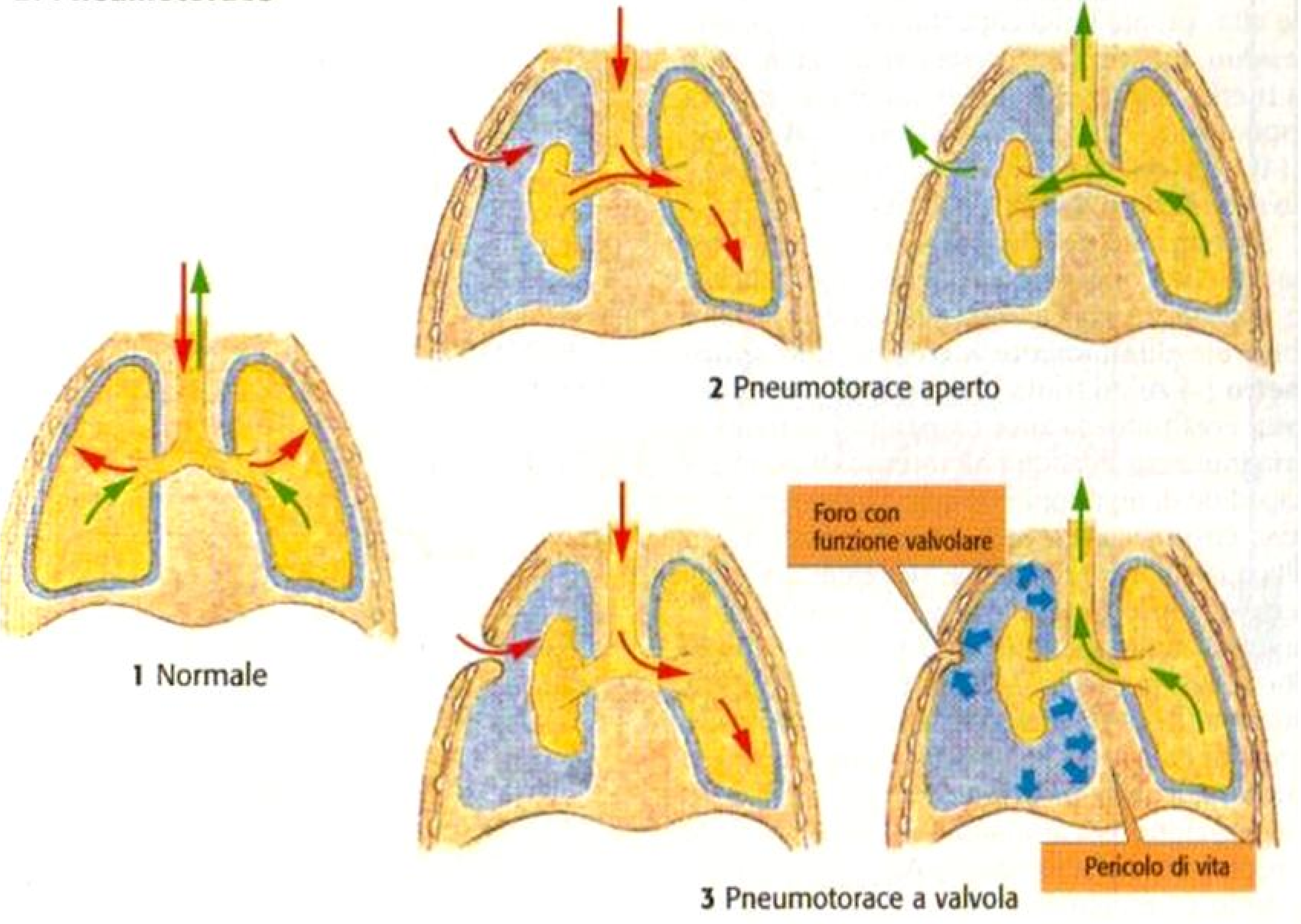

Nessun ricupero
Ricupero parziale
Ricupero totale
Apporto di O_2
Disturbi
Incoscienza
Distruzione parziale
Morte cerebrale
Funzione cerebrale
Anossia acuta
5
10
15s
3
4
5 min

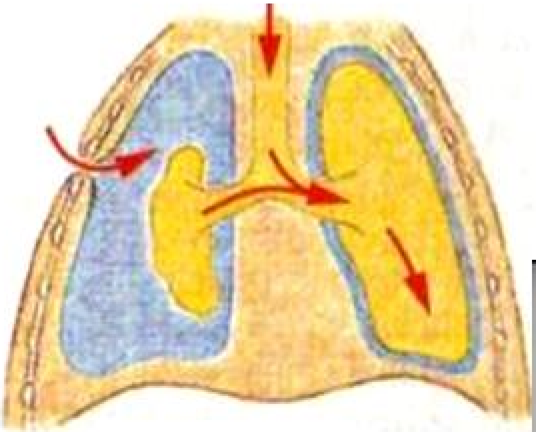


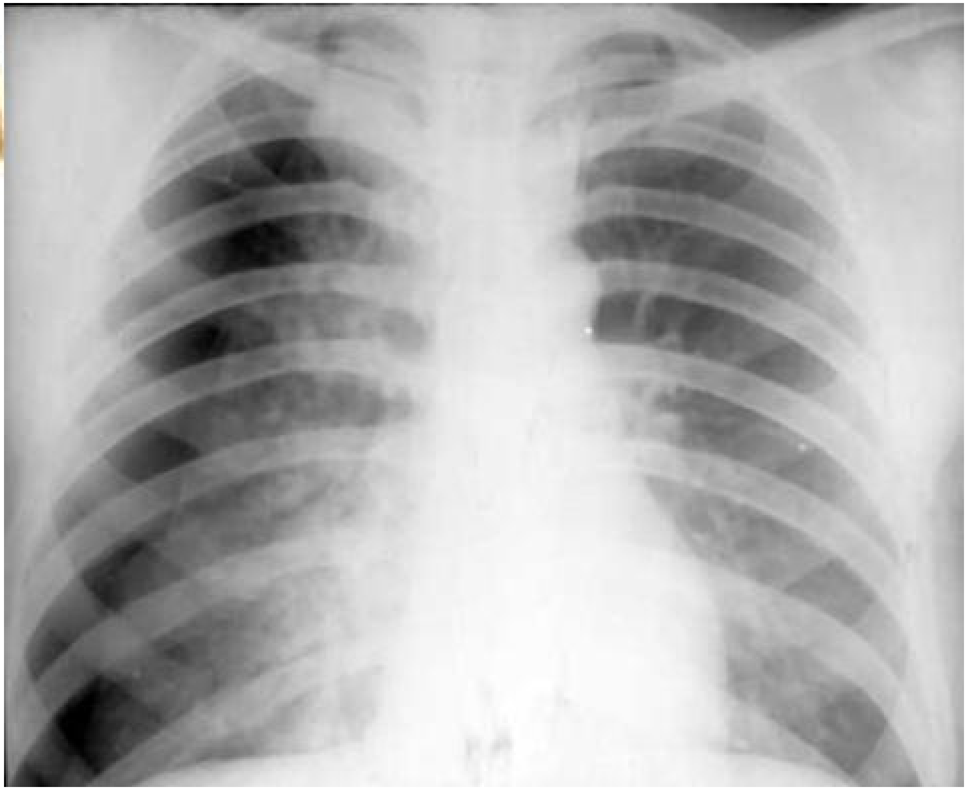
A. Respirazione artificiale

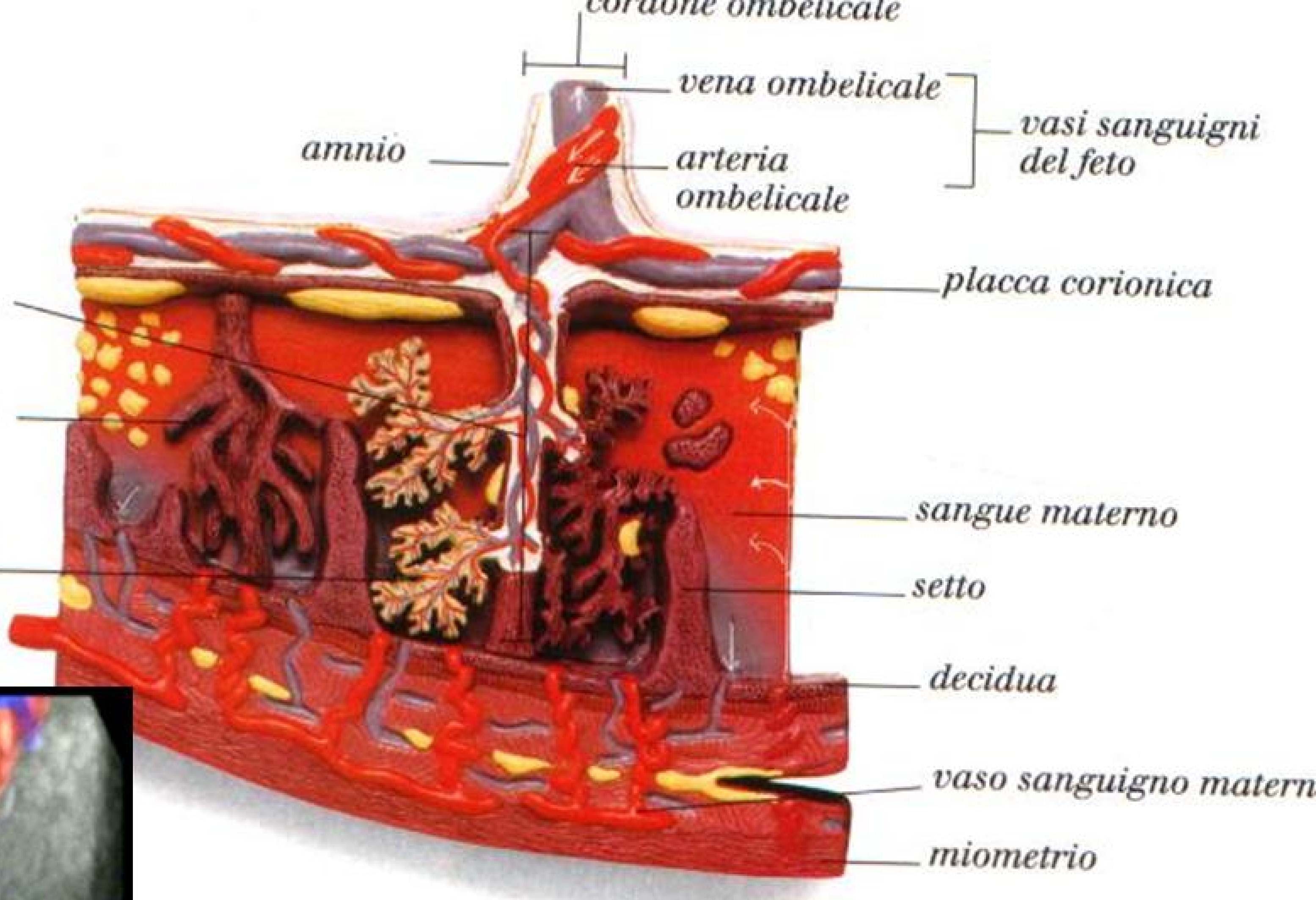


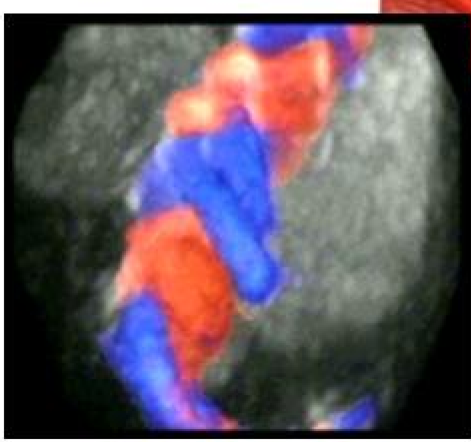
B. Pneumotorace



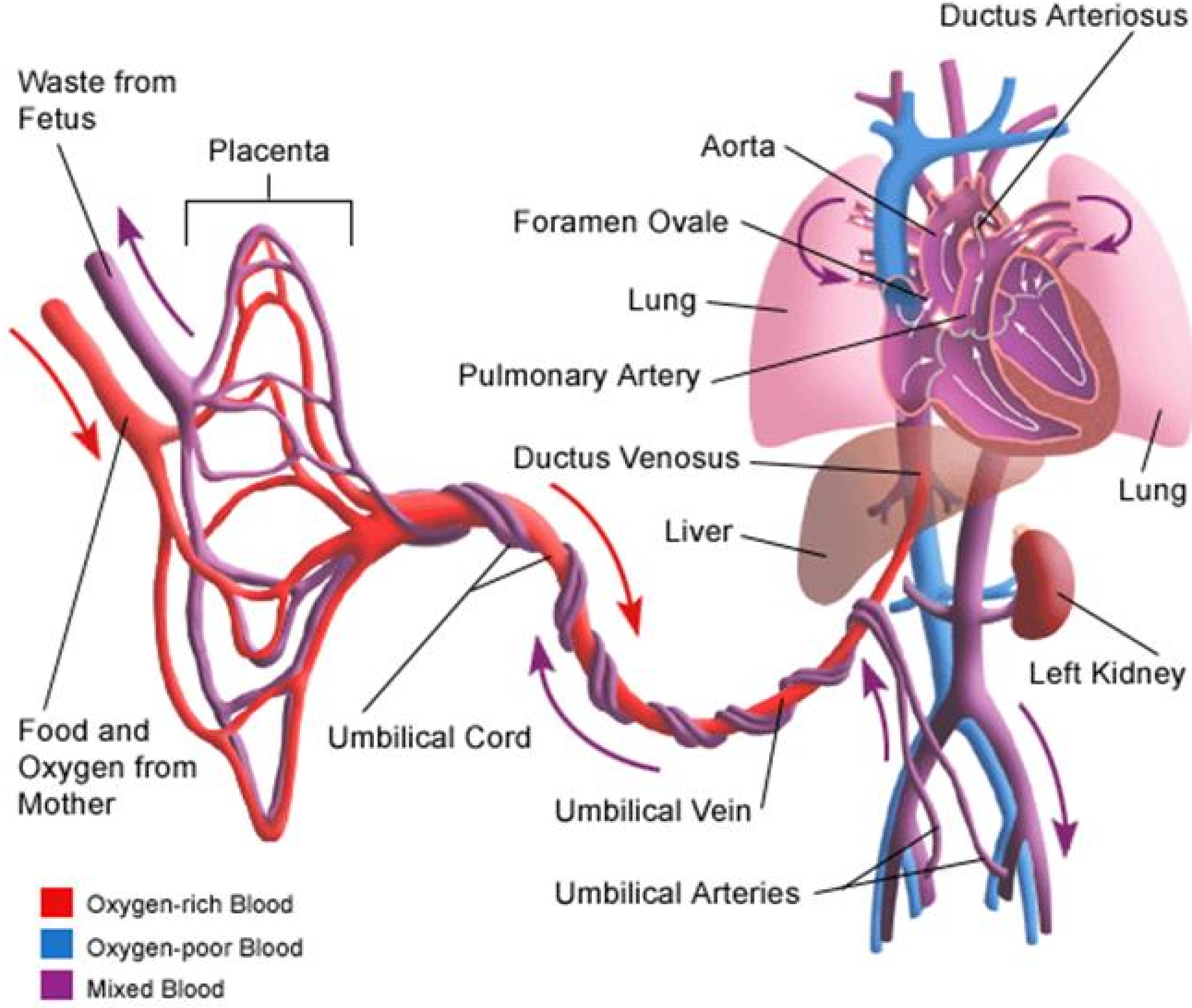


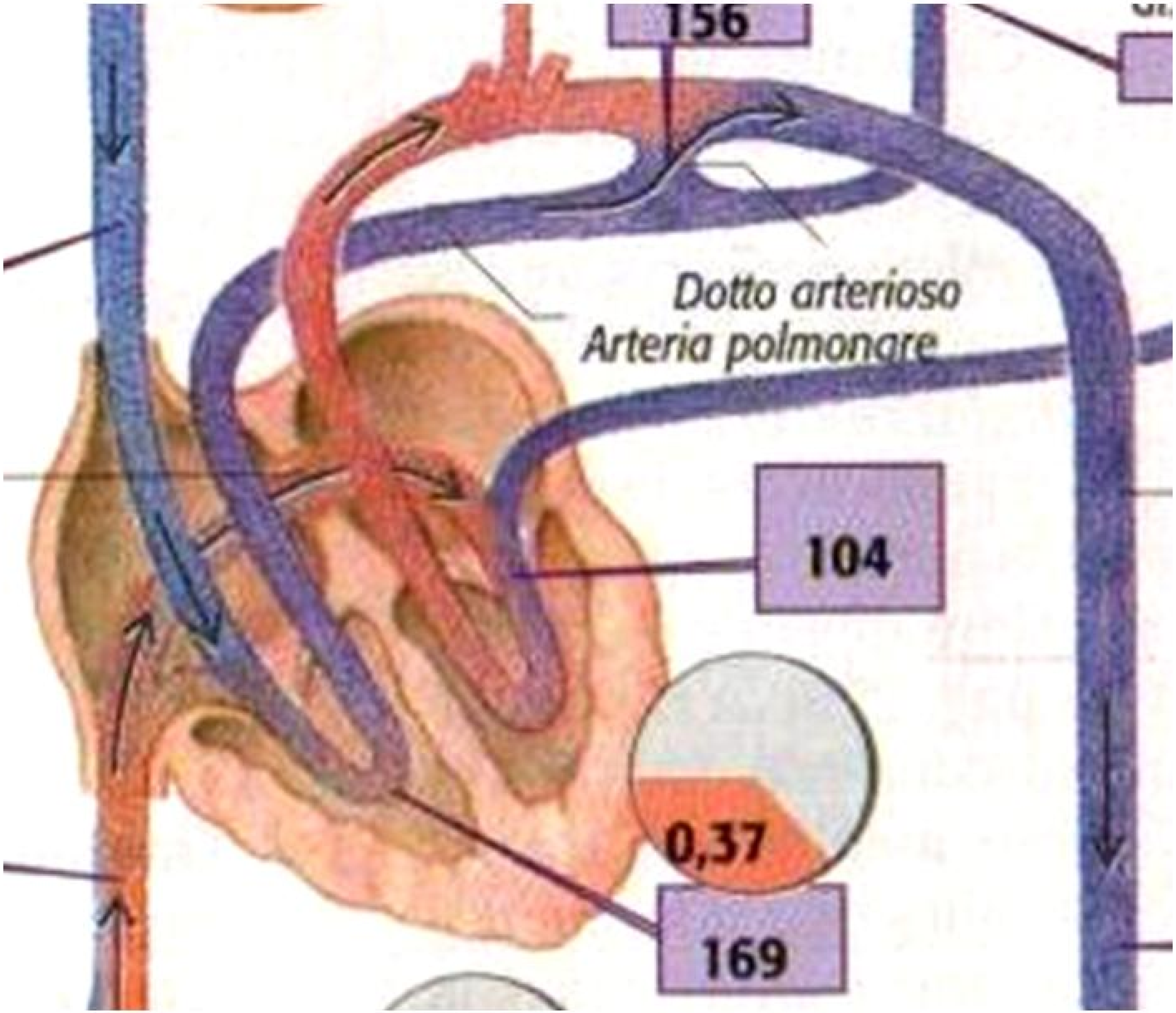



cordone ombelicale
vena ombelicale
vasi sanguigni del feto
amnio
arteria ombelicale
corion
placca corionica
trofoblasto
villo corionico
sangue materno
setto
decidua
vaso sanguigno matern
miometrio

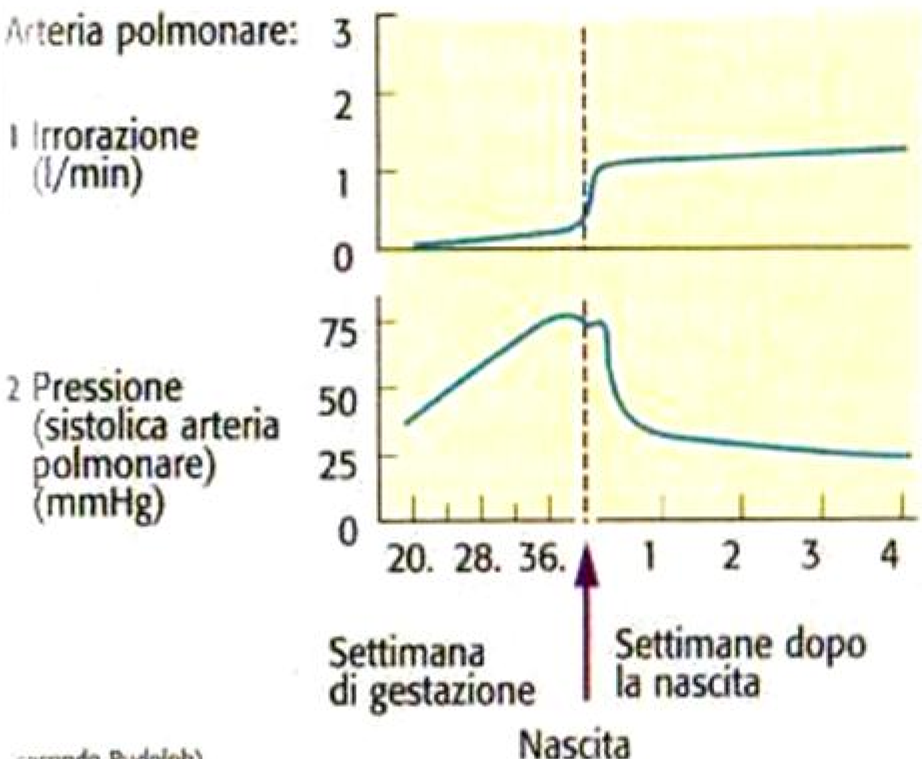


Fetal Circulation



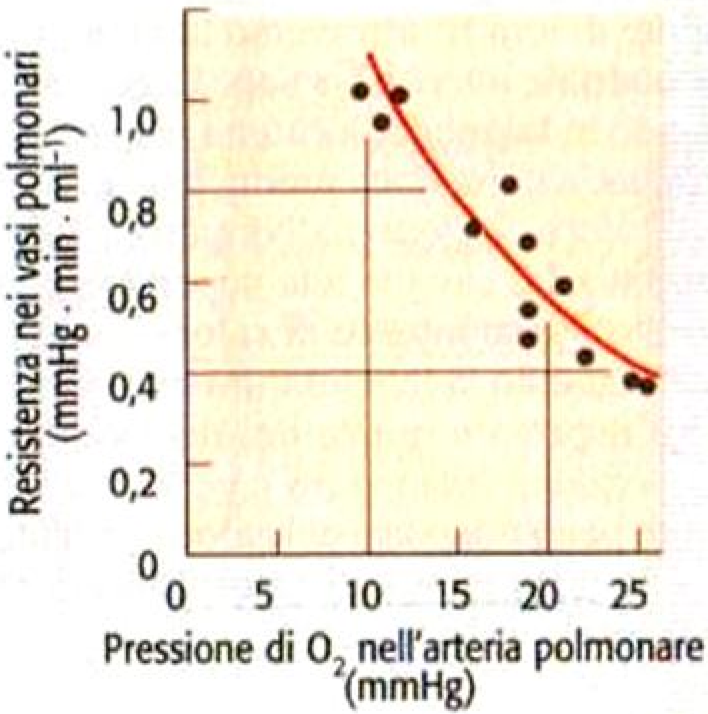

156
Dotto arterioso
Arteria polmonare
104
0,37
169

B. Circolazione polmonare prima e dopo la nascita

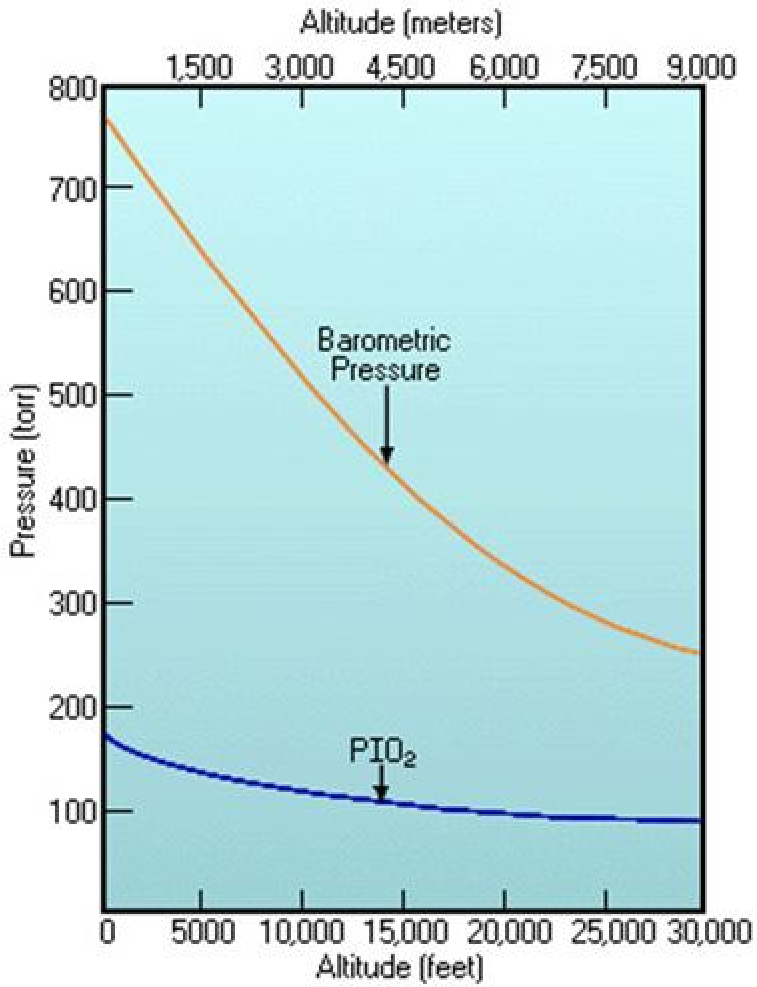


(secondo Rudolph)

C. Vasocostrizione ipossica nel feto



(secondo Levine) (Misurazione nel feto di agnello)



Alveolar and estimated arterial blood gases at sea level and at the summit of Mt. Everest.

Measure	Sea level	Summit
PB (Torr)	760	253
PIO_2 (Torr)	149	43
PAO_2 (Torr)	100	35
PaO_2 (Torr)	95	28
$PaCO_2$ (Torr)	40	7.5
pHa	7.4	> 7.7

Assume PAH_2O = 47 Torr