

$$P_{AO_2} = (P_B - P_{H_2O}) \times F_iO_2 - P_ACO_2/R$$

gas exchange

acid-base balance

$$P_aO_2$$

$$pH = HCO_3^- / P_aCO_2$$

$$P_aCO_2 = k \times V'CO_2 / V'_A$$

$$P_aCO_2 = k \times V'CO_2 / V'_E \times (1 - V_D/V_T)$$

ventilation

neuro-muscular drive \longrightarrow

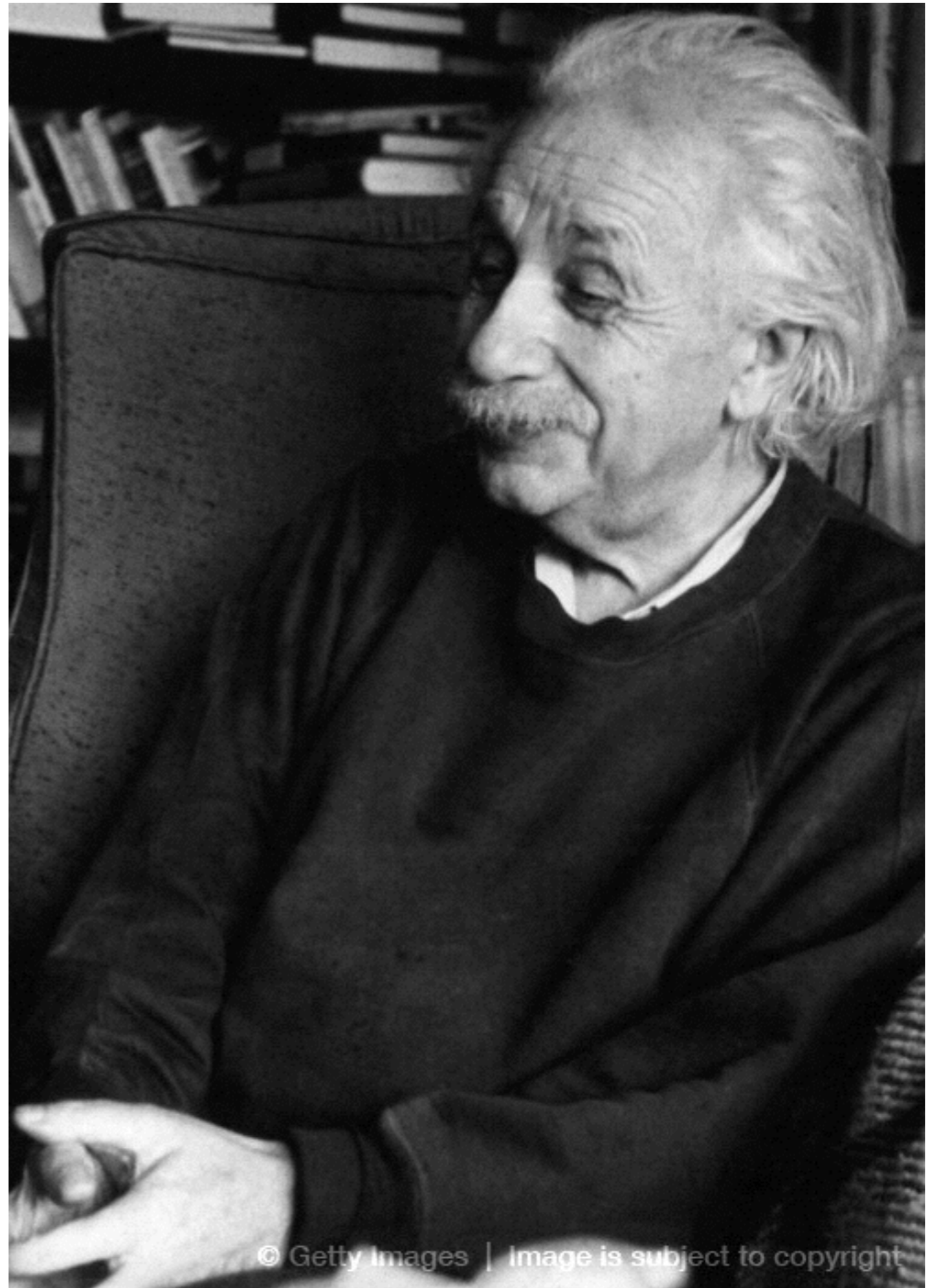
$$P_{mus} = C/V_T + R/V' + PEEP_i$$

$$P_{mus} = P_{el} + P_{res} + P_0$$

respiratory mechanics

**Everithything
should be made
as simple as
it can be**

BUT NOT SIMPLER



O_2

O_2



O_2

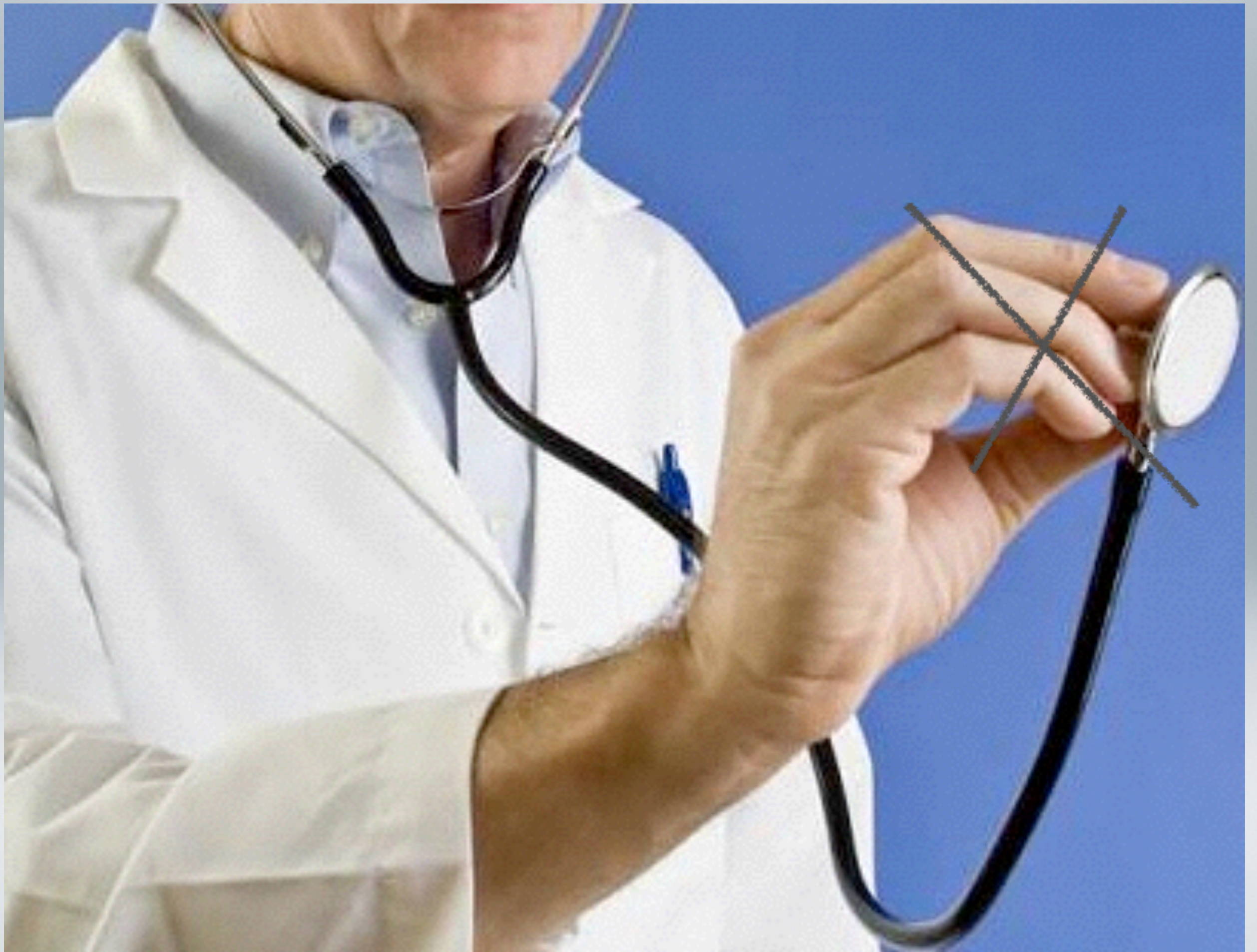
O_2

l'insufficienza respiratoria

- **NON** e' definita dalla presenza di una grave dispnea a riposo
- **E'** una condizione definita da una anomalia della pressione parziale dei gas nel sangue arterioso:
 - **ipossiemia** = $\text{PaO}_2 < 60 \text{ mmHg}$ associata o meno a
 - **ipercapnia** = $\text{PaCO}_2 > 45 \text{ mmHg}$.

DIAGNOSI

- QUINDI, la diagnosi di insufficienza respiratoria richiede la **misura diretta della pressione parziale di ossigeno e anidride carbonica nel sangue arterioso** (PaO_2 e PaCO_2 , rispettivamente) mediante una procedura definita **emogasanalisi** (o emogasometria) arteriosa, realizzata con un prelievo di sangue arterioso a livello dell'arteria radiale o brachiale o femorale (con la scelta in questo ordine secondo la situazione).



**INSUFFICIENZA
RESPIRATORIA**

```
graph TD; A[INSUFFICIENZA RESPIRATORIA] --> B[INSUFFICIENZA VENTILATORIA]; A --> C[INSUFFICIENZA POLMONARE]; B --> D["IPERCAPNIA  
PaCO2 > 45 mmHg"]; C --> E["IPOSSIEMIA  
PaO2/FiO2 ≤ 300 mmHg"];
```

The diagram is a flowchart on a white background with a blue border. At the top is a red rounded rectangle containing the text 'INSUFFICIENZA RESPIRATORIA'. A blue line descends from this box and splits into two horizontal arrows pointing left and right. The left arrow points to a green rectangle containing 'INSUFFICIENZA VENTILATORIA'. Below this, a blue arrow points down to another green rectangle containing 'IPERCAPNIA PaCO₂ > 45 mmHg'. The right arrow points to a yellow rectangle containing 'INSUFFICIENZA POLMONARE'. Below this, a blue arrow points down to another yellow rectangle containing 'IPOSSIEMIA PaO₂/FiO₂ ≤ 300 mmHg'.

**INSUFFICIENZA
VENTILATORIA**

IPERCAPNIA
PaCO₂ > 45
mmHg

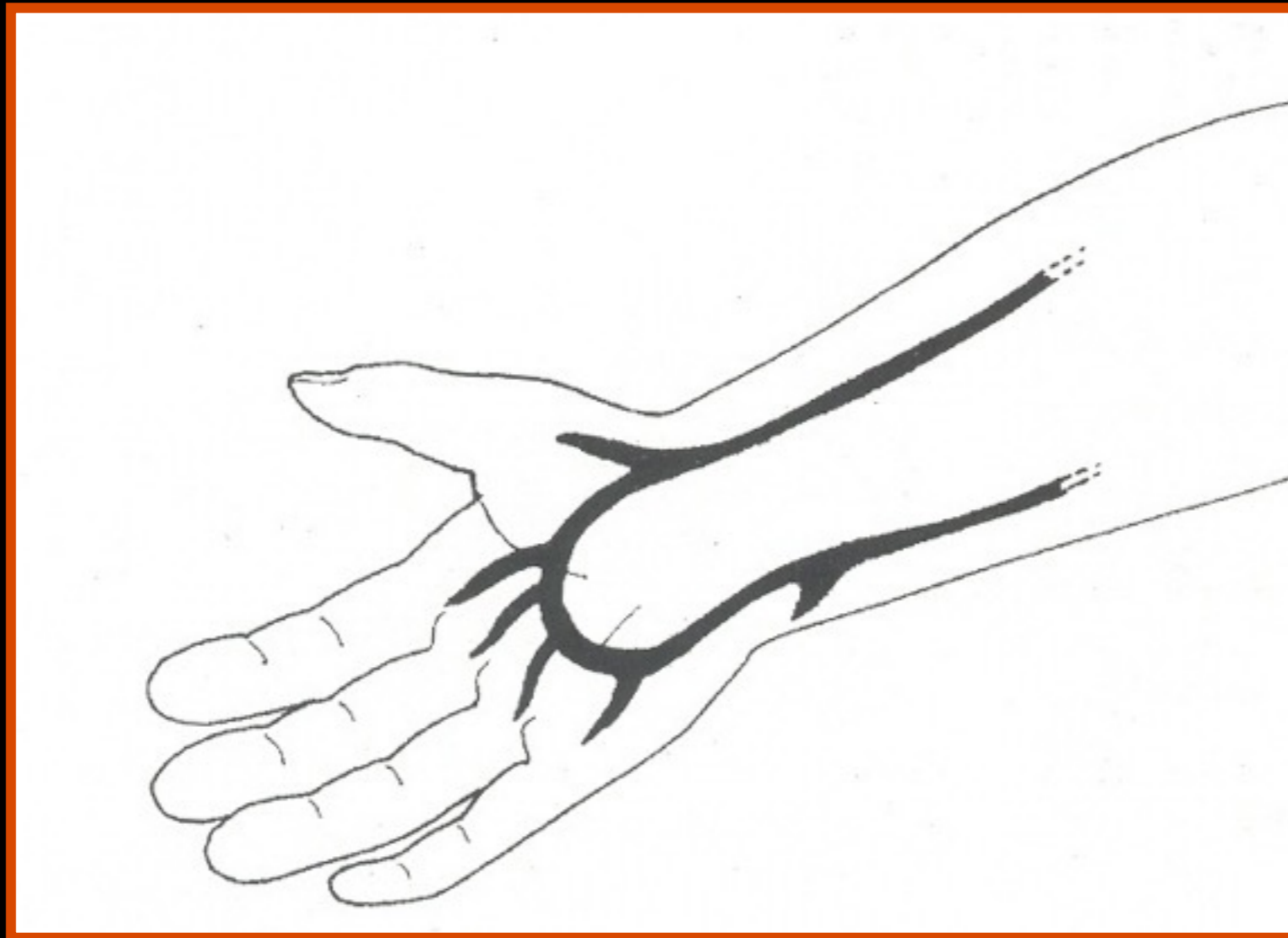
**INSUFFICIENZA
POLMONARE**

IPOSSIEMIA
PaO₂/FiO₂
≤ 300 mmHg

EMOGASANALISI ARTERIOSA

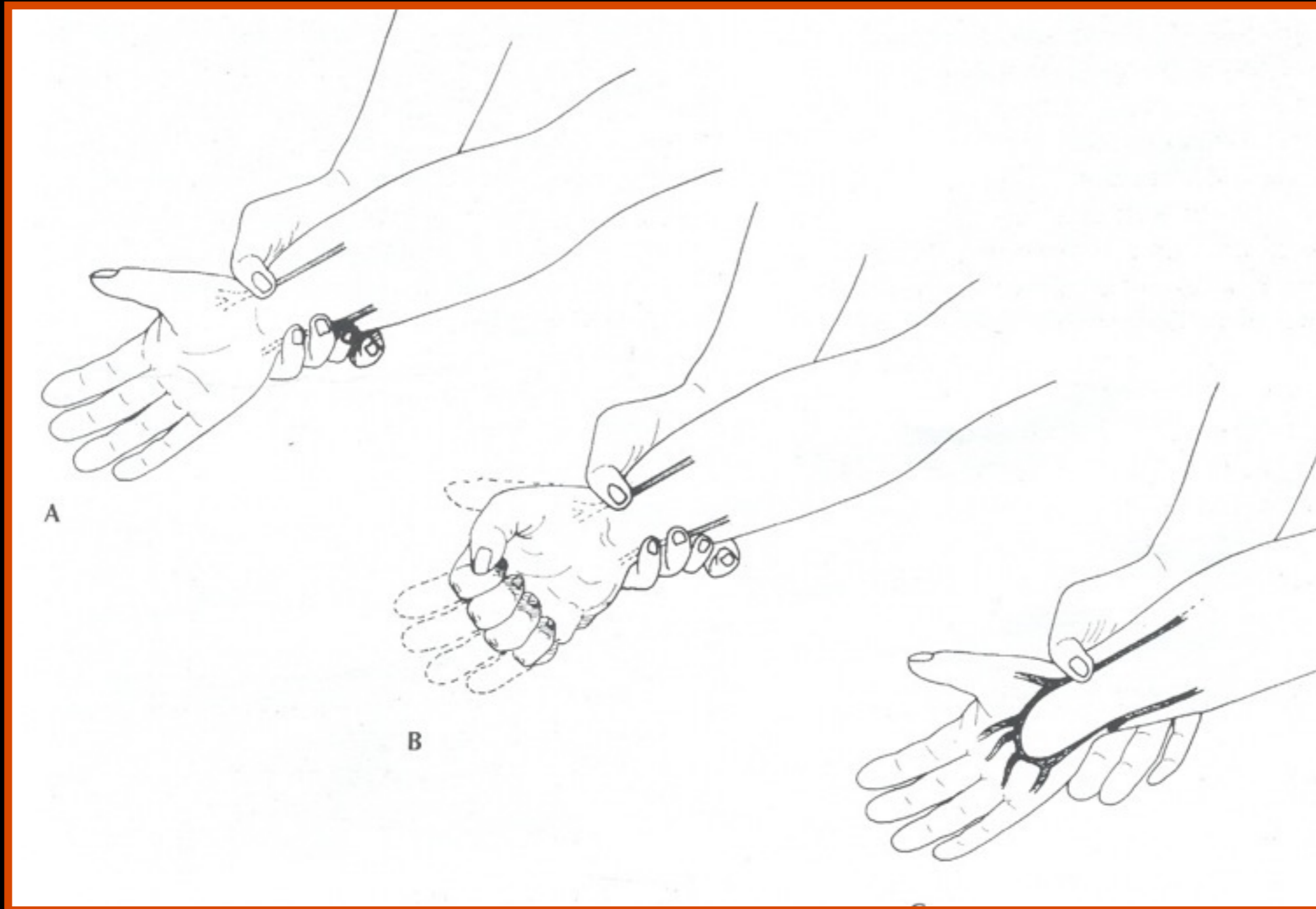
- la procedura per una emogasanalisi arteriosa prevede che:
- il paziente sia in posizione seduta o semiseduta (se il prelievo si esegue in posizione supina, si deve segnalare),
- venga ben individuata l'arteria (radiale: estensione del polso a 45gradi) da cui eseguire il prelievo, e si esegue il test di Allen,
- venga pulita con disinfettante la zona di inserimento dell'ago e, se ritenuto necessario, si faccia una piccola anestesia locale con 1ml di lidocaina al 2%,
- si inserisca a 45 gradi una siringa preconfezionata ed eparinata. la penetrazione nell'arteria sara' segnalata da uno spontaneo flusso di sangue rosso vivo nella siringa.
- 2ml di sangue sono generalmente sufficienti per la misura.

Test di Allen



- <7 secondi (circolo normale)
- 8-14 secondi (circolo rallentato)
- > 14 secondi (circolo inadeguato)

Test di Allen



emogasanalisi arteriosa

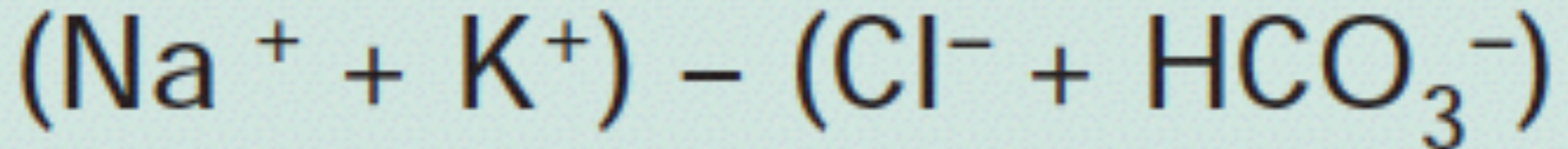
	PaO₂	PaCO₂	P(A-a)O₂
Normale	>60-80 mmHg	>35 e <46 mmHg	<15-20 mmHg
Insufficienza polmonare	<60 mmHg	<46 mmHg	>20 mmHg
Insufficienza ventilatoria	≤80-60 mmHg	>45 mmHg	<20 mmHg
Insufficienza respiratoria	<60 mmHg	>45 mmHg	>20 mmHg

Equilibrio Acido-Base

	pH	PaCO₂	HCO₃⁻
Normale	7,36-7,44	36-45 mmHg	24-26 mEq/L
Acidosi respiratoria	< 7,36	> 45 mmHg	26 mEq/L
Alcalosi metabolica	> 7,44	< 45 mmHg	> 26 mEq/L
Alcalosi respiratoria	> 7,44	< 36 mmHg	24 mEq/L
Acidosi metabolica	< 7,36	< 45 mmHg	< 24 mEq/L

GAP ANIONICO

mEq/L



$$(140 + 4) - (105 + 24) = 15 \pm 3$$

Legge di Dalton

La pressione parziale esercitata da un gas contenuto in una miscela gassosa è direttamente proporzionale alla sua concentrazione percentuale nella miscela stessa.

$$P_{\text{gas}} = \%_{\text{gas}} \cdot P_{\text{totale}}$$

L'aria a livello del mare ha $P = 760$ mmHg, con la seguente composizione

20.84% O_2	$pO_2 = 159$ mmHg
78.62% N_2	$pN_2 = 597$ mmHg
0.04% CO_2	$pCO_2 = 0.3$ mmHg

L'aria che entra nelle vie aeree viene umidificata. Il vapore acqueo, alla temperatura corporea, esercita una pressione parziale di 47 mmHg. Poiché la P totale è sempre 760 mmHg, e le percentuali relative degli altri gas non variano la loro pressione parziale diminuisce.

Aria inspirata

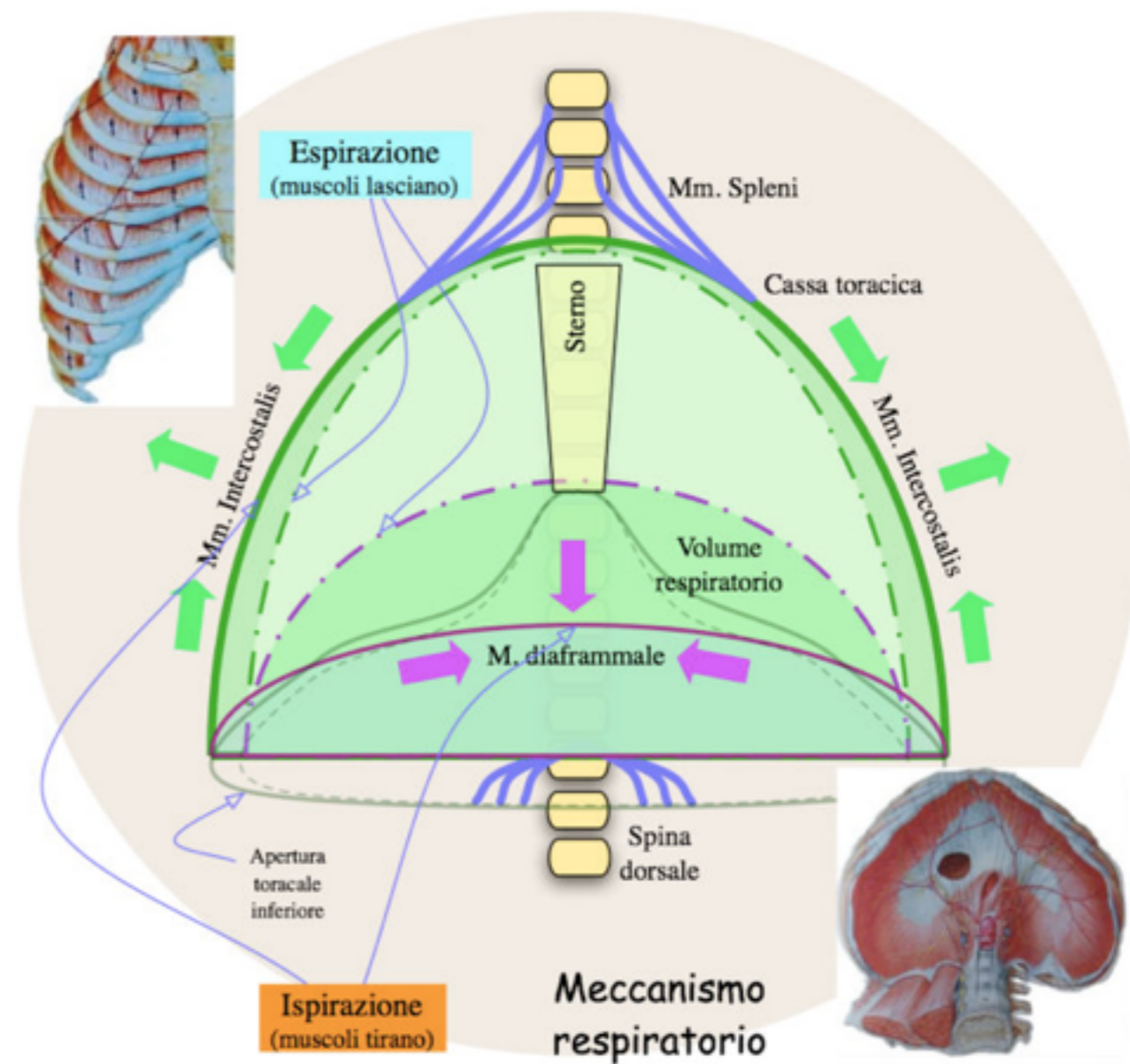
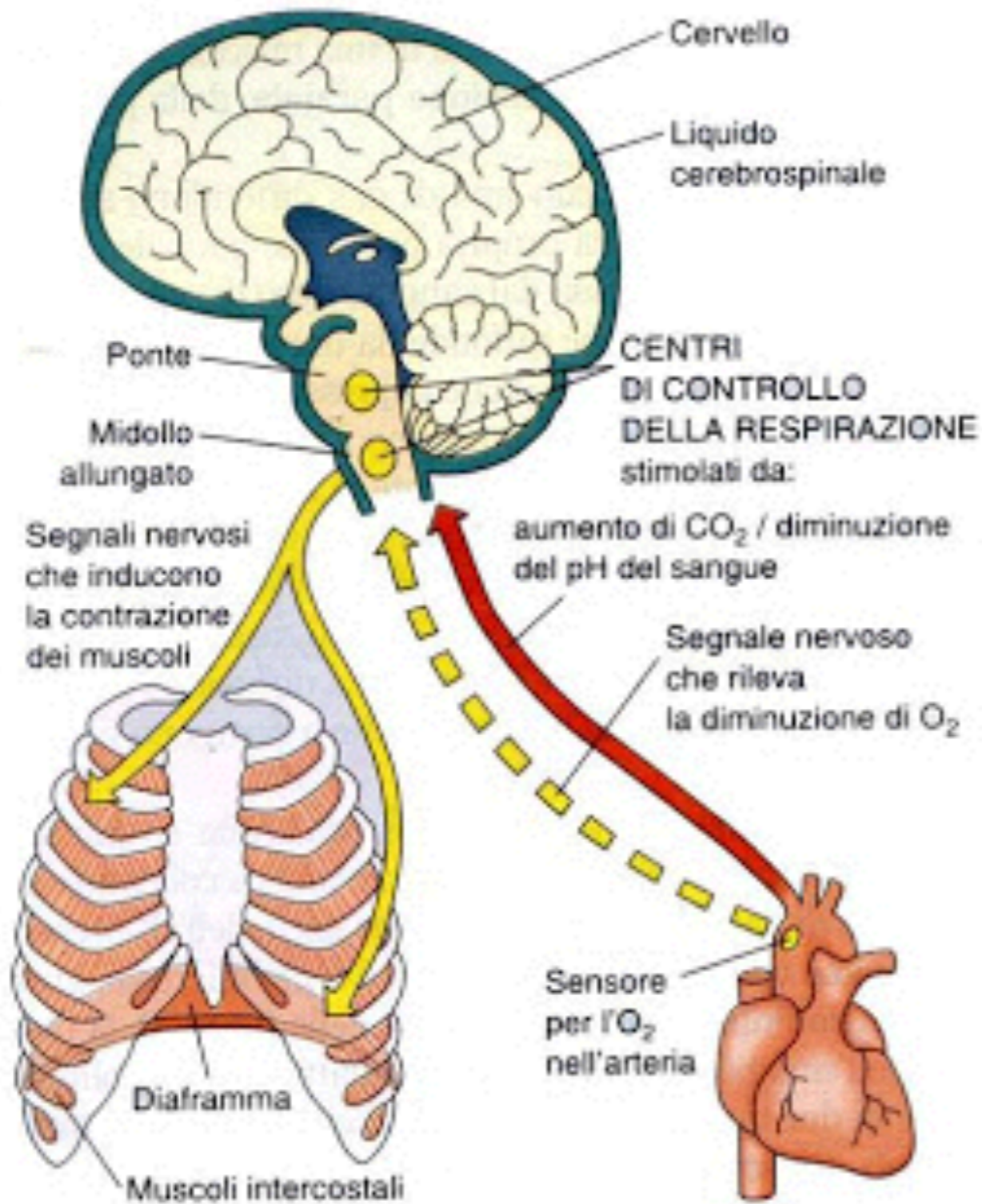
$$P_{\text{gas}} = \%_{\text{gas}} \cdot (P_{\text{miscela}} - P_{\text{H}_2\text{O}})$$

$$p_{\text{O}_2} = 149 \text{ mmHg}$$

$$p_{\text{N}_2} = 563 \text{ mmHg}$$

$$p_{\text{CO}_2} = 0.3 \text{ mmHg}$$

controllo della ventilazione



149 O₂

Aria

0,3 CO₂

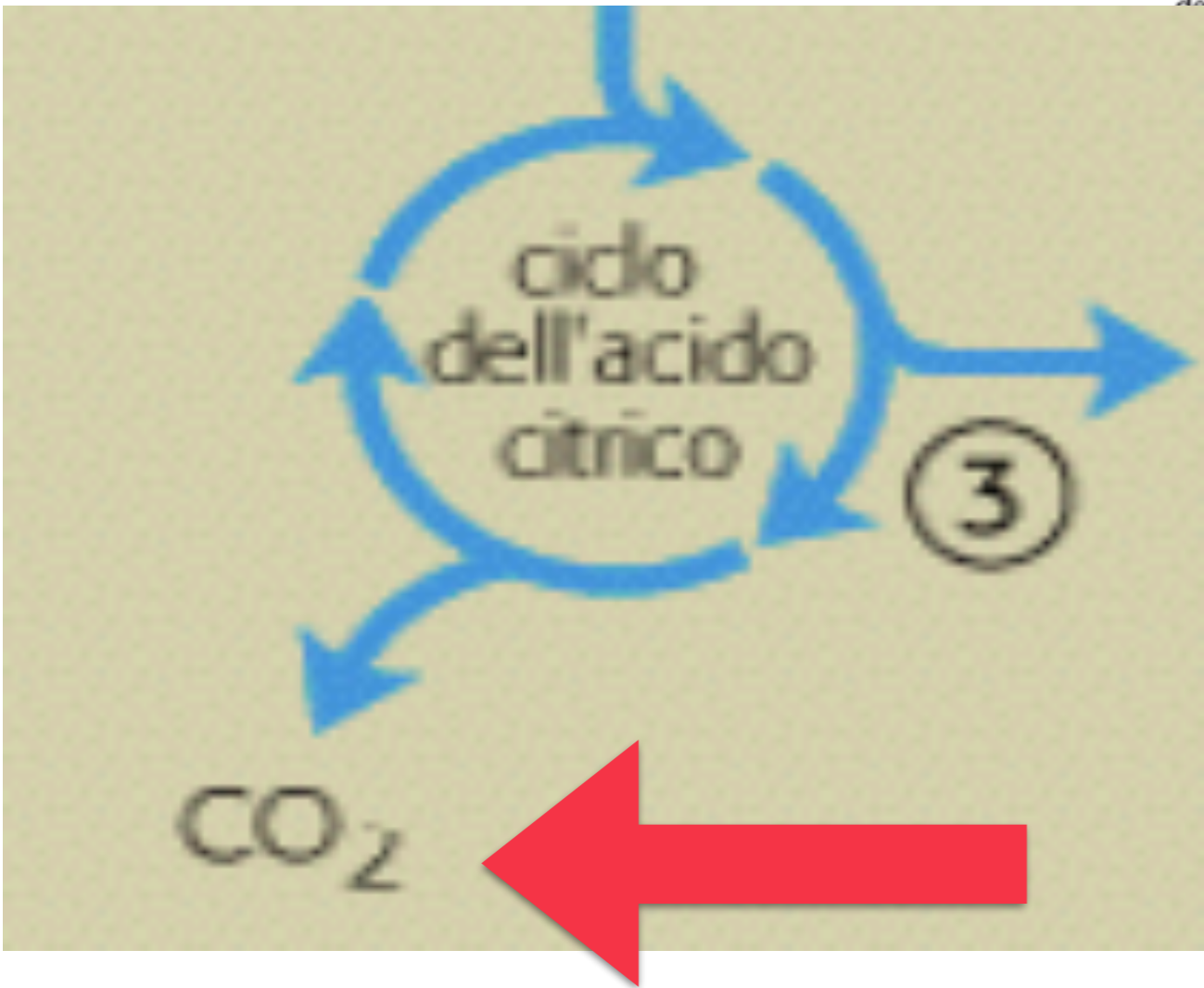
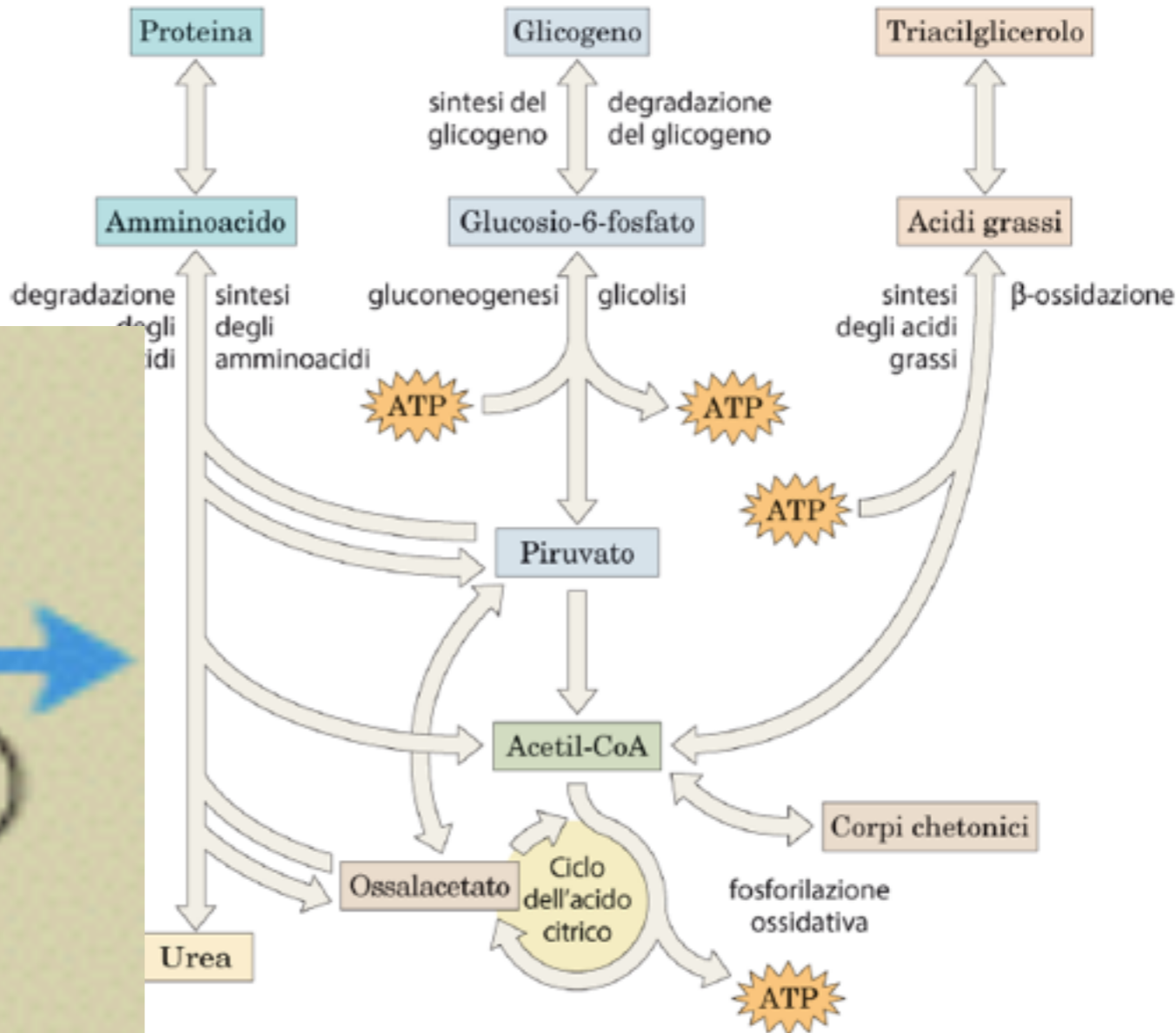
Alveolo

100

40

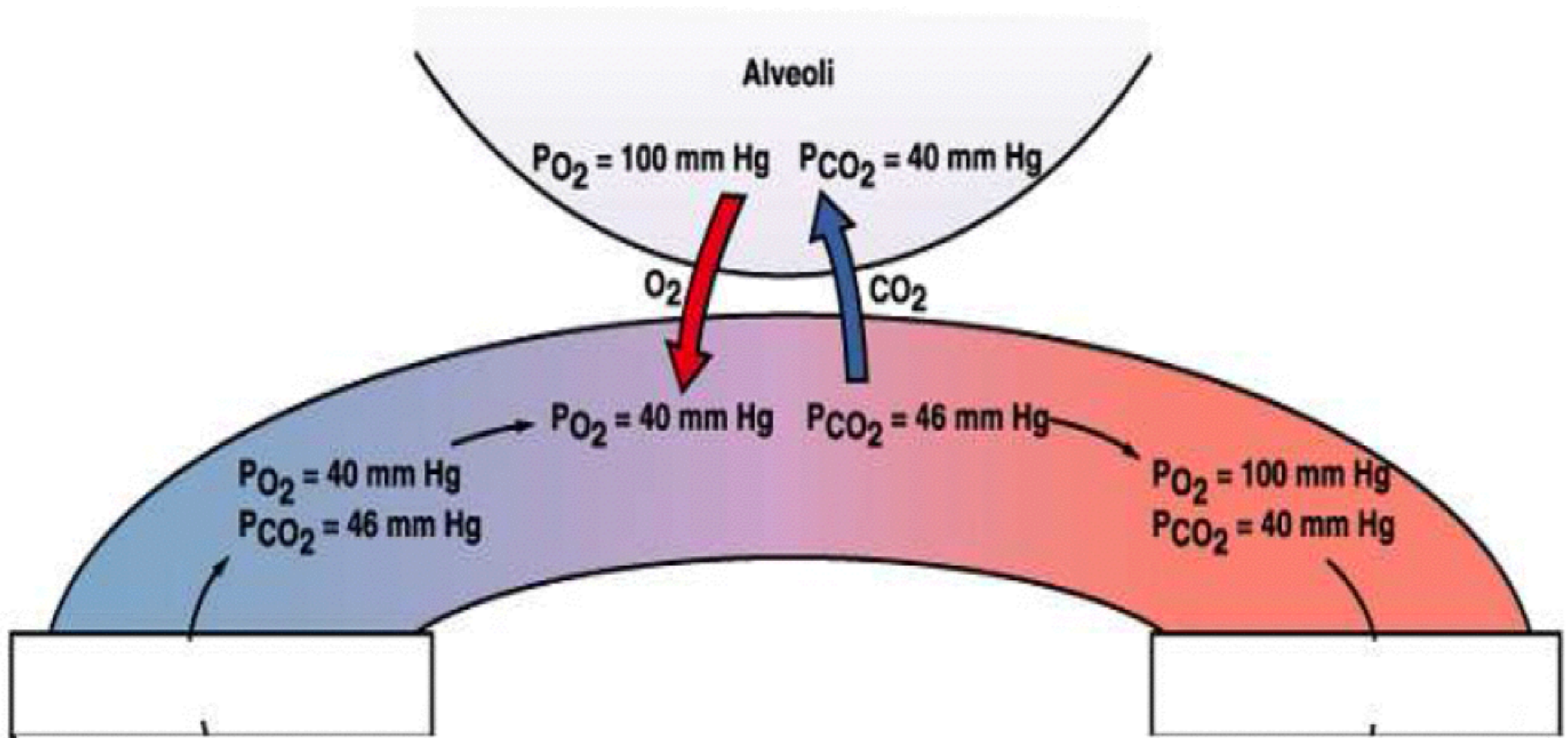


Le principali vie del metabolismo energetico



$$P_{A}O_2 = (P_b - P_{H_2O}) \times F_iO_2 - P_{A}CO_2/R$$

$$100 = (760 - 47) \times 0,21 - 40/0,9$$



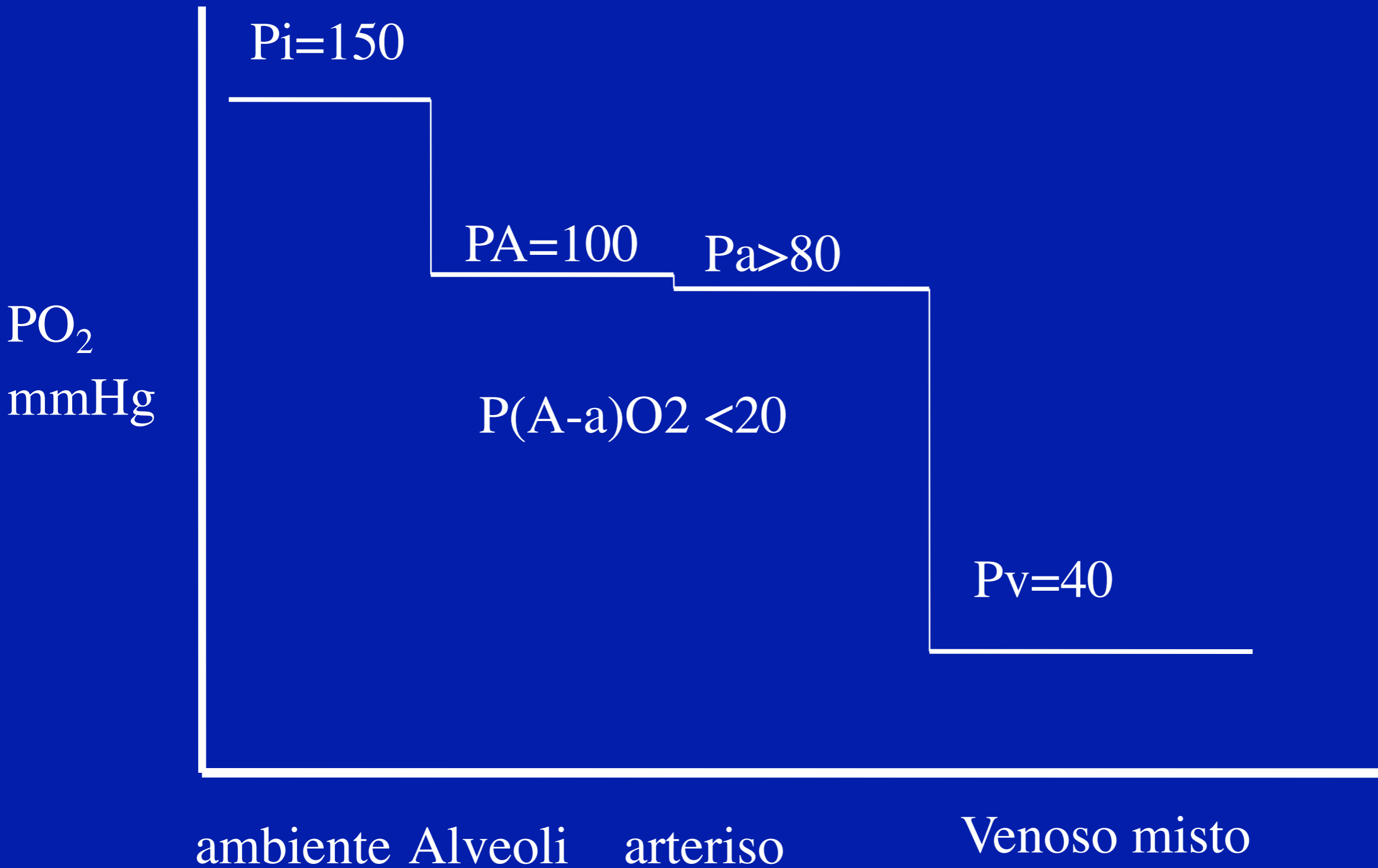
O₂ = 100-40 mmHg (60)

CO₂ = 46-40 mmHg (6)

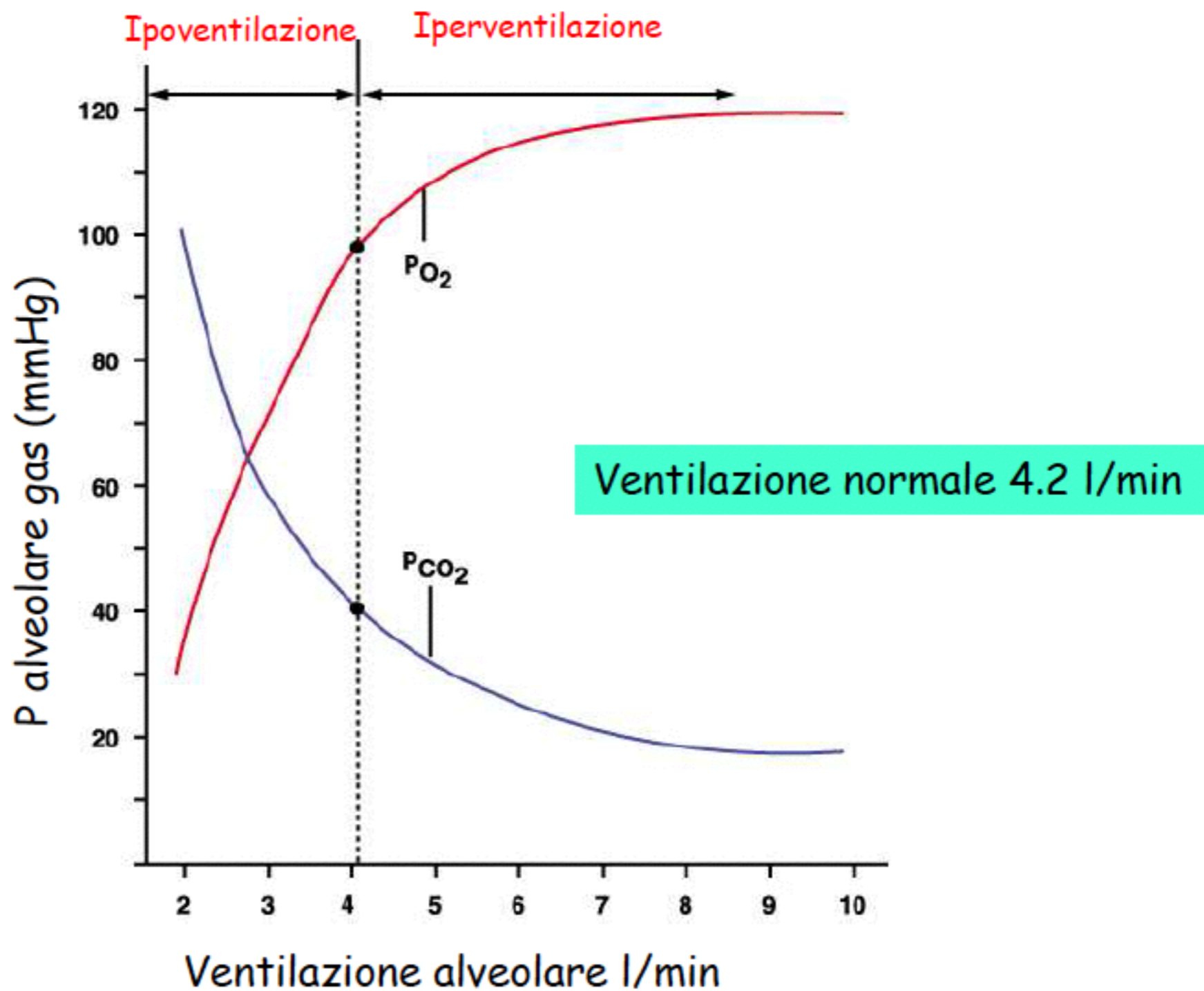
100

40

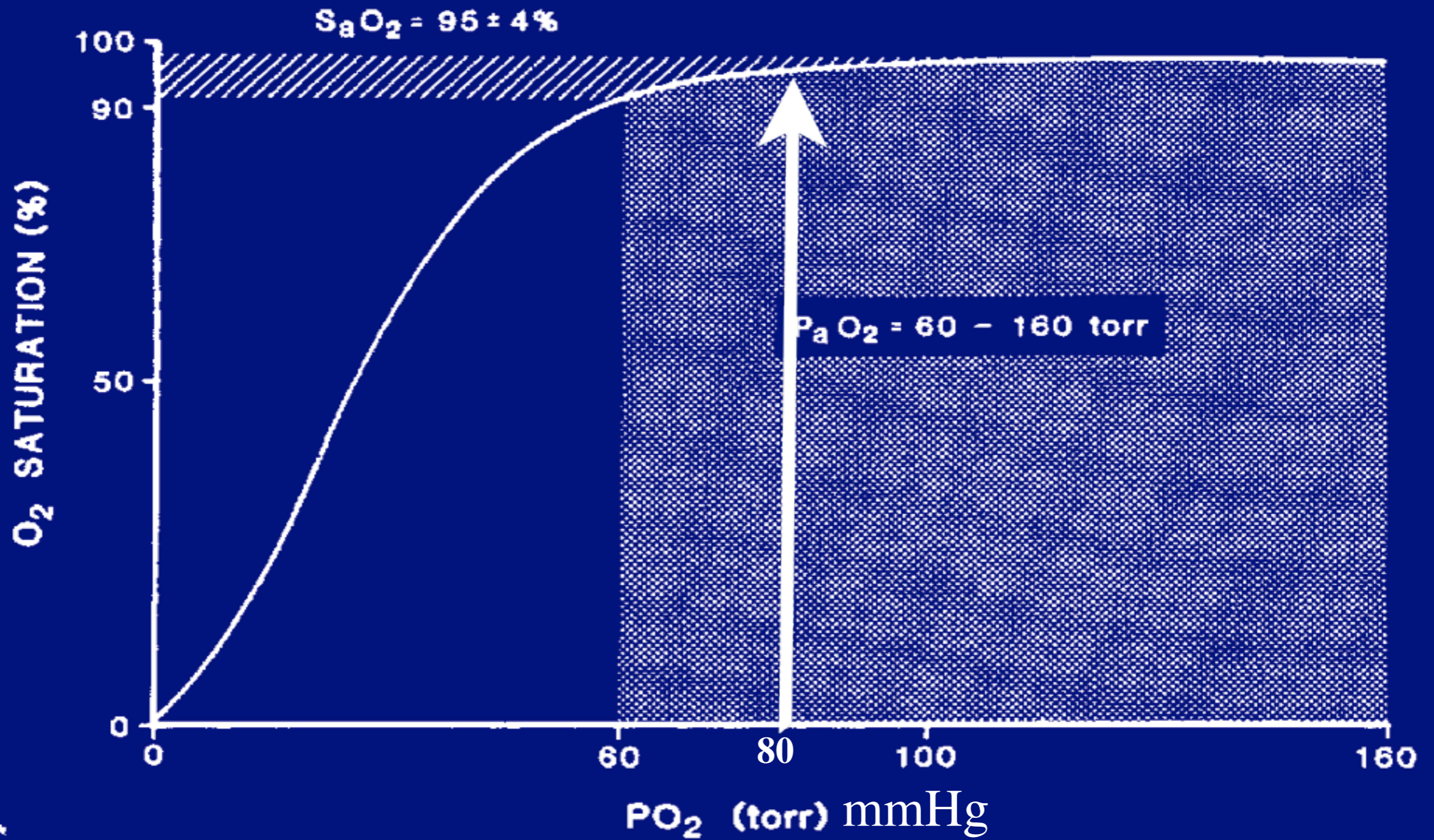
Cascata dell'ossigeno



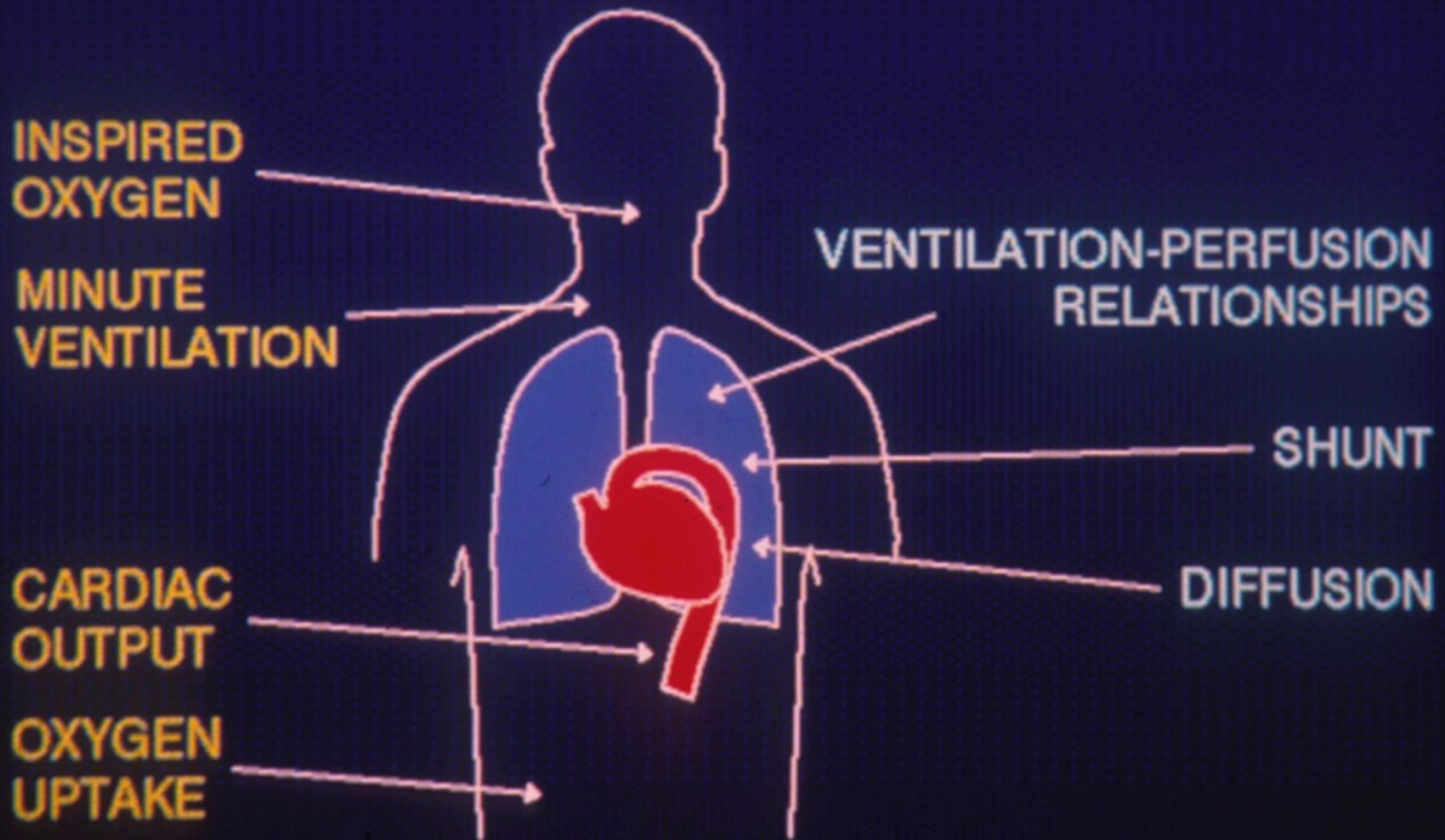
La pO_2 e pCO_2 alveolari dipendono dalla ventilazione alveolare



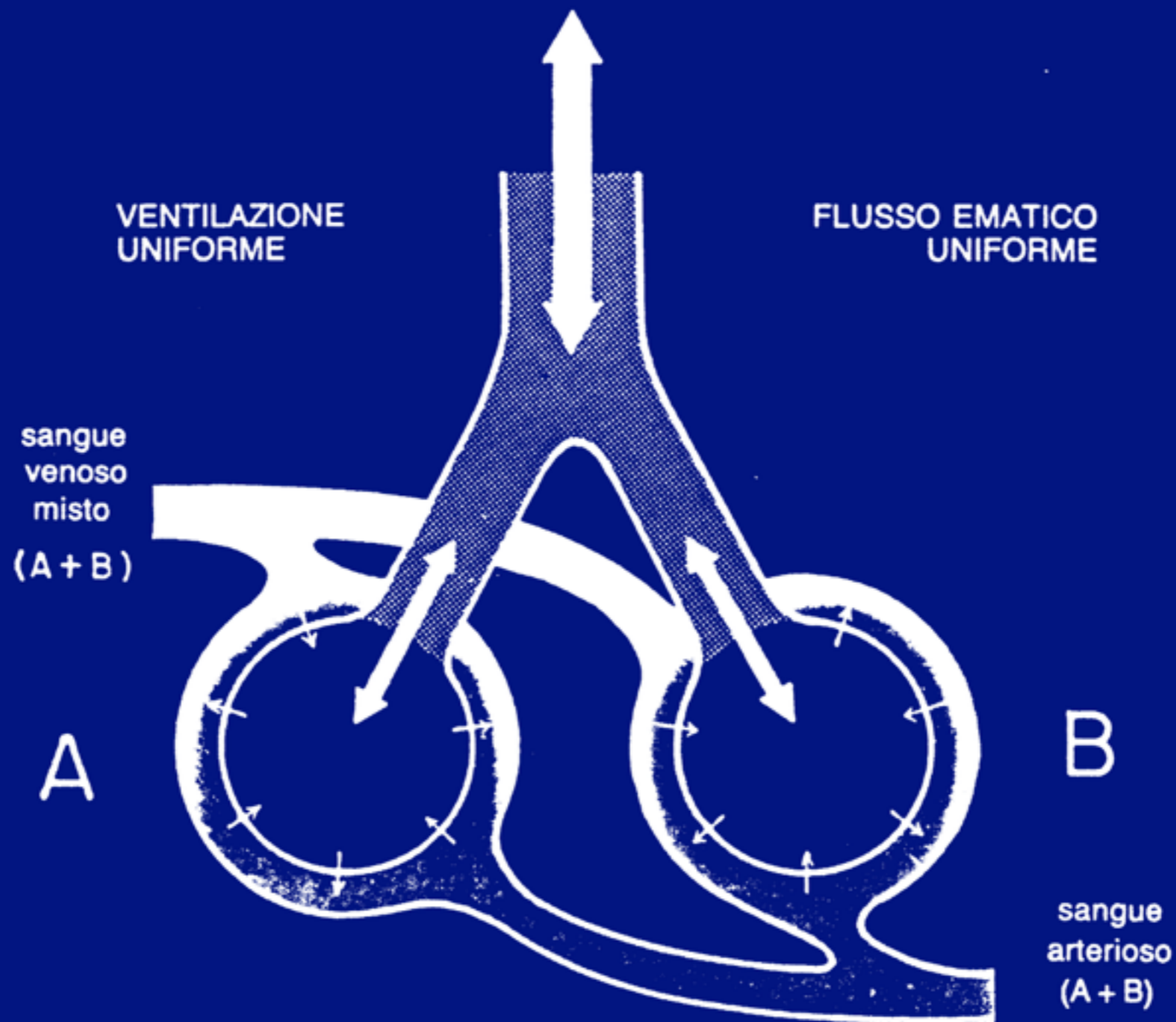
Curva di dissociazione dell'emoglobina



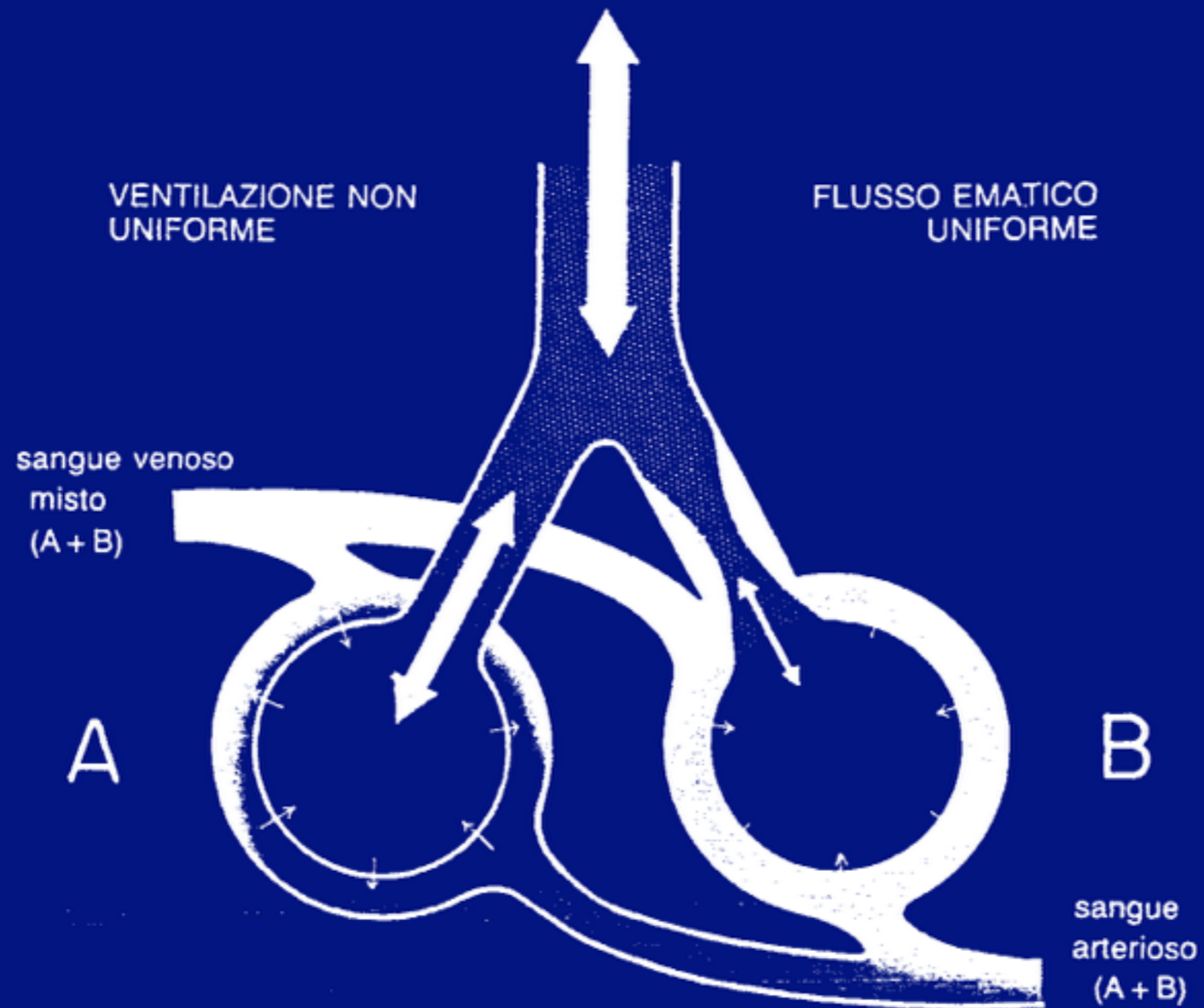
FACTORS DETERMINING PaO₂



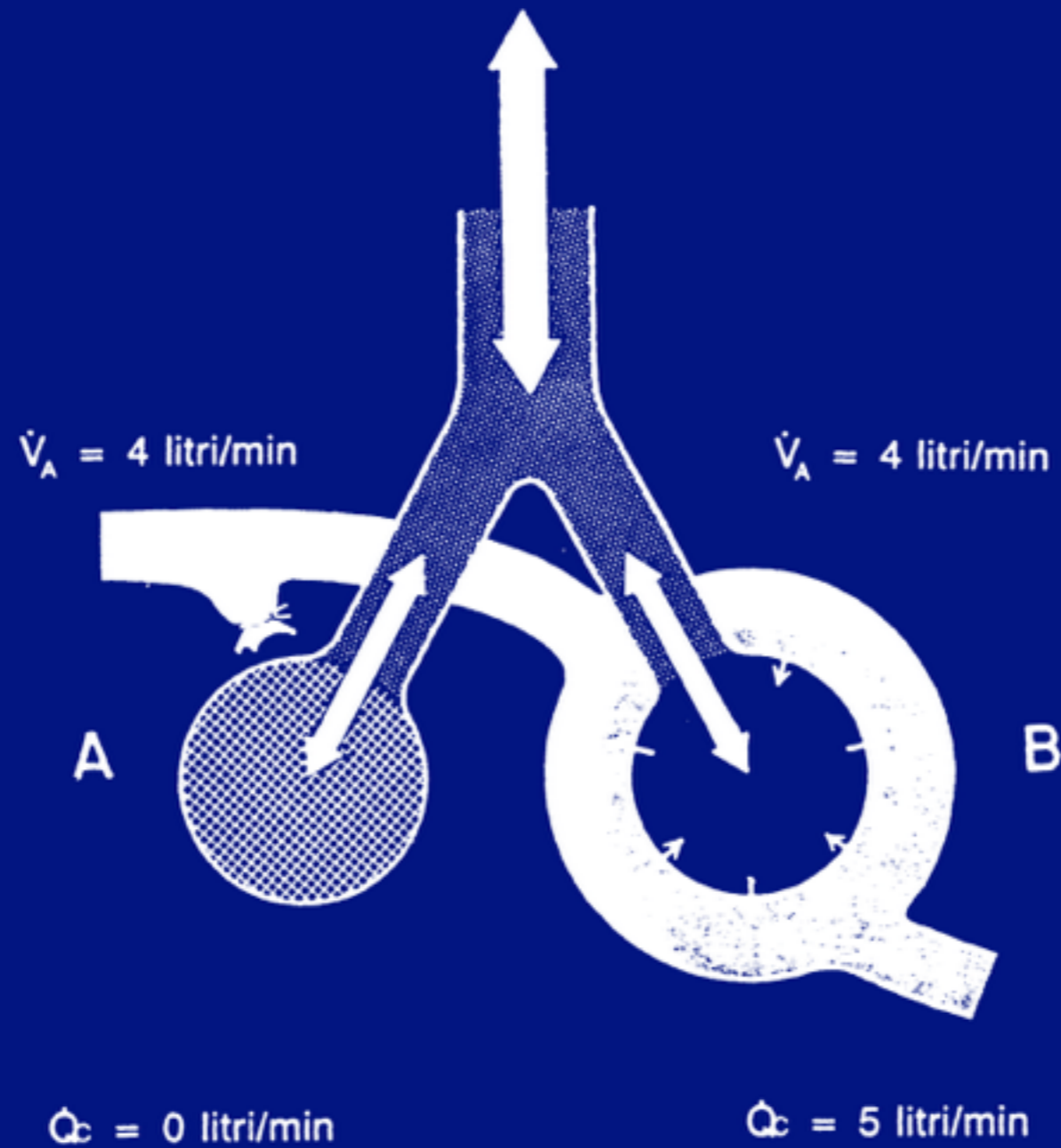
NORMALE



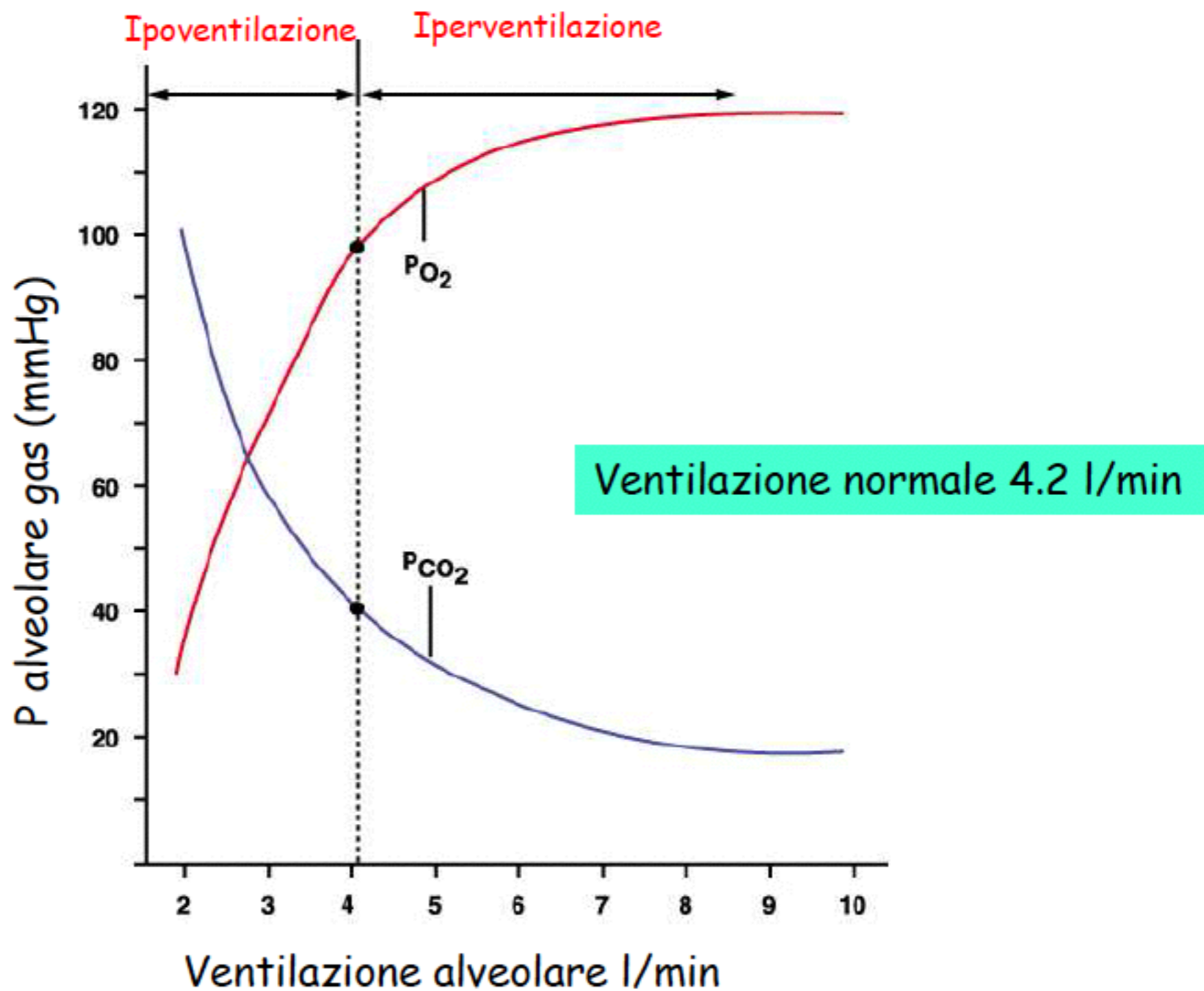
VENTILAZIONE NON UNIFORME



PERFUSIONE NON UNIFORME

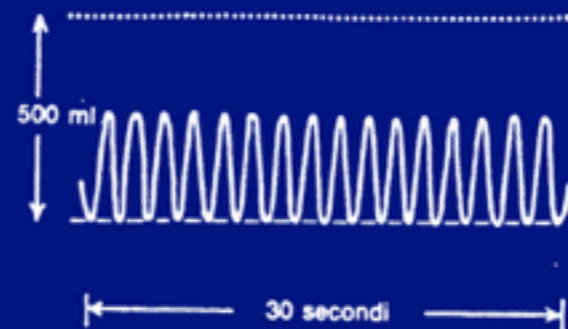


La pO_2 e pCO_2 alveolari dipendono dalla ventilazione alveolare

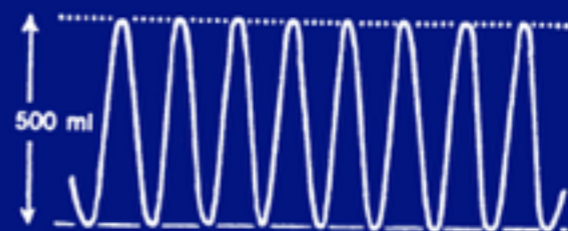
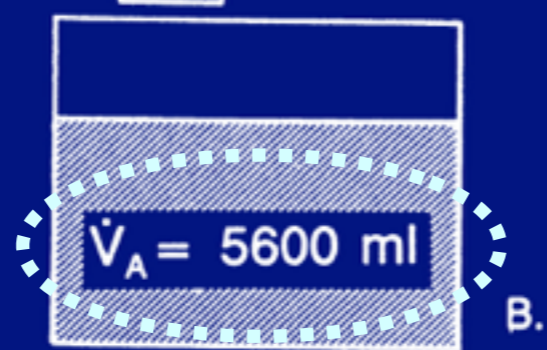


$$\text{PaCO}_2 = \frac{\text{VCO}_2 \times k}{\text{VE} (1 - \text{VD}/\text{VT})}$$

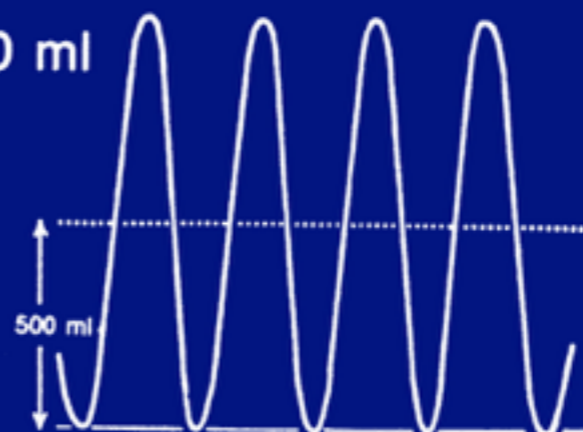
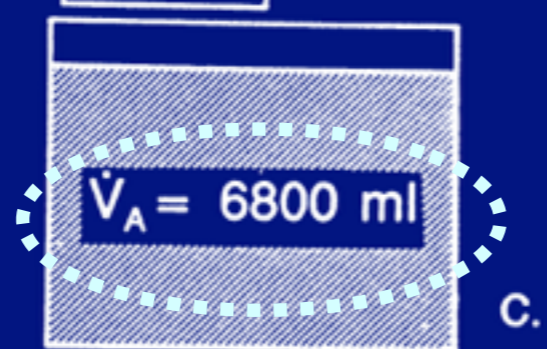
VOLUME CORRENTE x FREQUENZA = VOLUME MINUTO



500 X 16 = 8000 ml



1000 X 8 = 8000 ml



$(V_T - S.M.) \times \text{FREQUENZA} = \text{VENTILAZIONE ALVEOLARE } (\dot{V}_A)$

**INSUFFICIENZA
RESPIRATORIA**

```
graph TD; A[INSUFFICIENZA RESPIRATORIA] --> B[INSUFFICIENZA VENTILATORIA]; A --> C[INSUFFICIENZA POLMONARE]; B --> D["IPERCAPNIA  
PaCO₂ > 45 mmHg"]; C --> E["IPOSSIEMIA  
PaO₂/FiO₂ ≤ 300 mmHg"]
```

The diagram is a flowchart on a white background with a blue border. At the top is a red rounded rectangle containing the text 'INSUFFICIENZA RESPIRATORIA'. A blue line descends from this box and splits into two horizontal arrows pointing left and right. The left arrow points to a green rectangle containing 'INSUFFICIENZA VENTILATORIA'. Below this, a blue arrow points down to another green rectangle containing 'IPERCAPNIA PaCO₂ > 45 mmHg'. The right arrow points to a yellow rectangle containing 'INSUFFICIENZA POLMONARE'. Below this, a blue arrow points down to another yellow rectangle containing 'IPOSSIEMIA PaO₂/FiO₂ ≤ 300 mmHg'.

**INSUFFICIENZA
VENTILATORIA**

IPERCAPNIA
PaCO₂ > 45
mmHg

**INSUFFICIENZA
POLMONARE**

IPOSSIEMIA
PaO₂/FiO₂ ≤ 300 mmHg

INSUFFICIENZA REPIRATORIA

Insufficienza
del polmone

Insufficienza
della pompa

Insufficiente scambio dei gas

IPOSSIEMIA

Insufficienza ventilatoria
(ipoventilazione alveolare)

IPERCAPNIA

Depressione
centrale

Difetto
meccanico

FATICA

emogasanalisi arteriosa

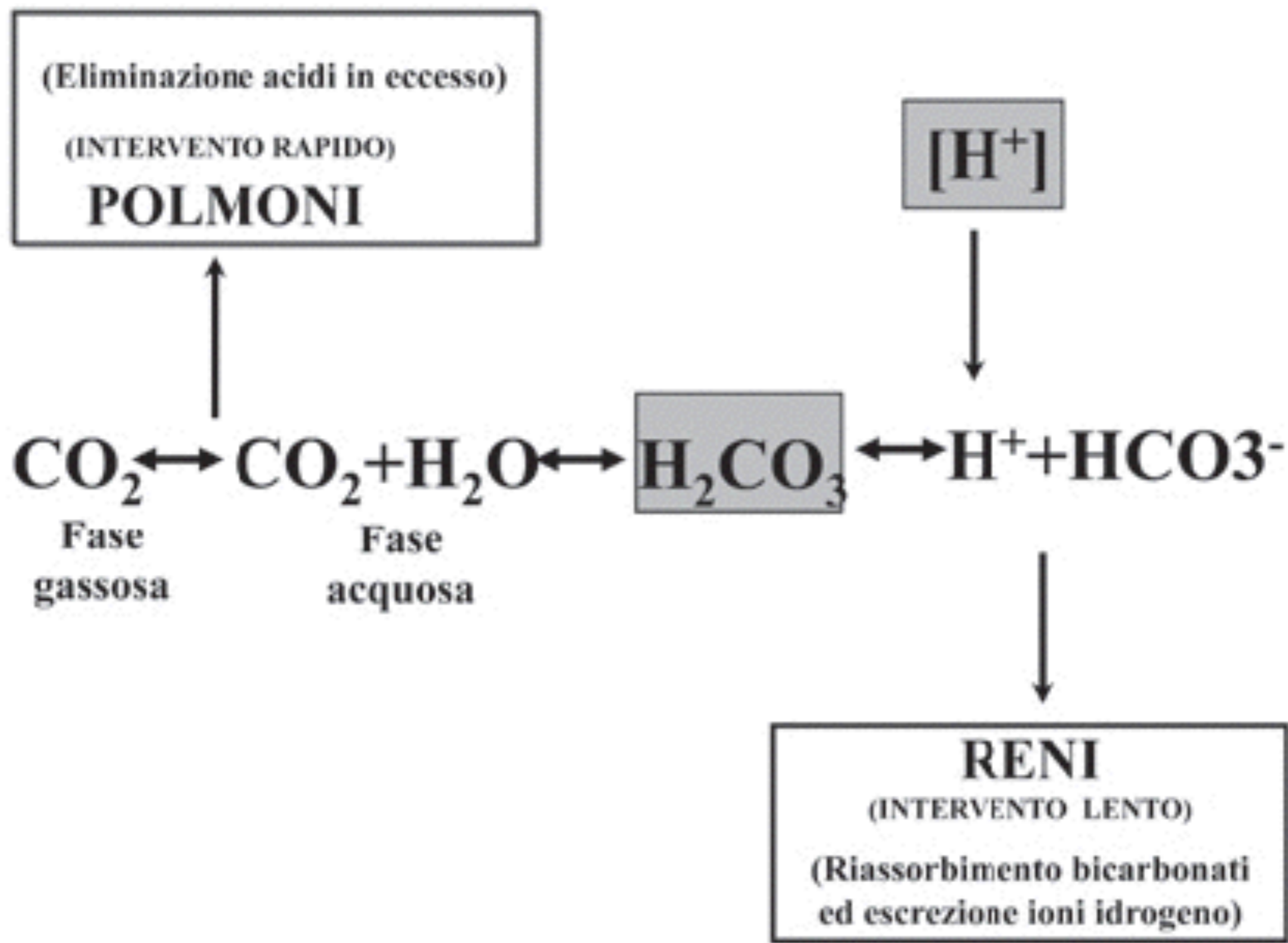
	PaO ₂	PaCO ₂	P(A-a)O ₂
Normale	>60-80 mmHg	>35 e <46 mmHg	<15-20 mmHg
Insufficienza polmonare	<60 mmHg	<46 mmHg	>20 mmHg
Insufficienza ventilatoria	≤80-60 mmHg	>45 mmHg	<20 mmHg
Insufficienza respiratoria	<60 mmHg	>45 mmHg	>20 mmHg

$\text{PaO}_2 < 60 \text{ mmHg}$

$\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 < 300 \text{ mmHg}$

- $\text{PaCO}_2 > 45 \text{ mmHg}$
- $\text{pH} < 7.36$
- tachypnea $> 25 \text{ breaths/min}$
- severe dyspnoea

$$\text{pH} = \log_{10} 1/[\text{H}^+]$$

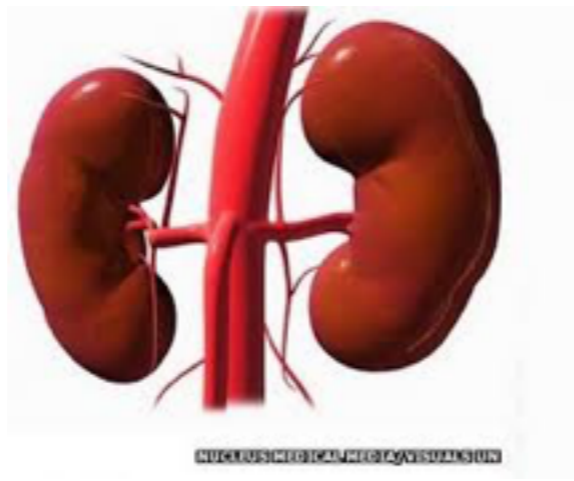


Eq. di Henderson

$$[H^+] = K \frac{[PCO_2]}{[HCO_3^-]}$$

$$pH = HCO_3^- / P_aCO_2$$

Eq. di Henderson-Hasselbach



24-26 mEq/L

7,36-7,44



pH = k x

PaCO₂ = k

36-45 mmHg

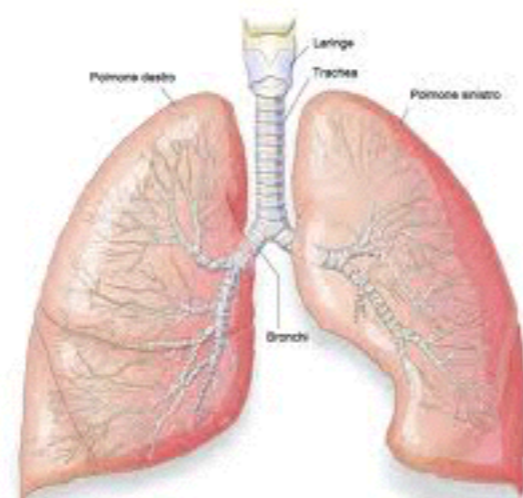
V'CO₂

200 ml/min

V'A = [V'E (1-V_D/V_T)]

5 L/m

[7,5 L/m (0,7)]



	pH	PaCO₂	HCO₃⁻
Normale	7,36-7,44	36-45 mmHg	24-26 mEq/L
Acidosi respiratoria	< 7,36	> 45 mmHg	26 mEq/L
Alcalosi metabolica	> 7,44	< 45 mmHg	> 26 mEq/L
Alcalosi respiratoria	> 7,44	< 36 mmHg	24 mEq/L
Acidosi metabolica	< 7,36	< 45 mmHg	< 24 mEq/L

Figure 11

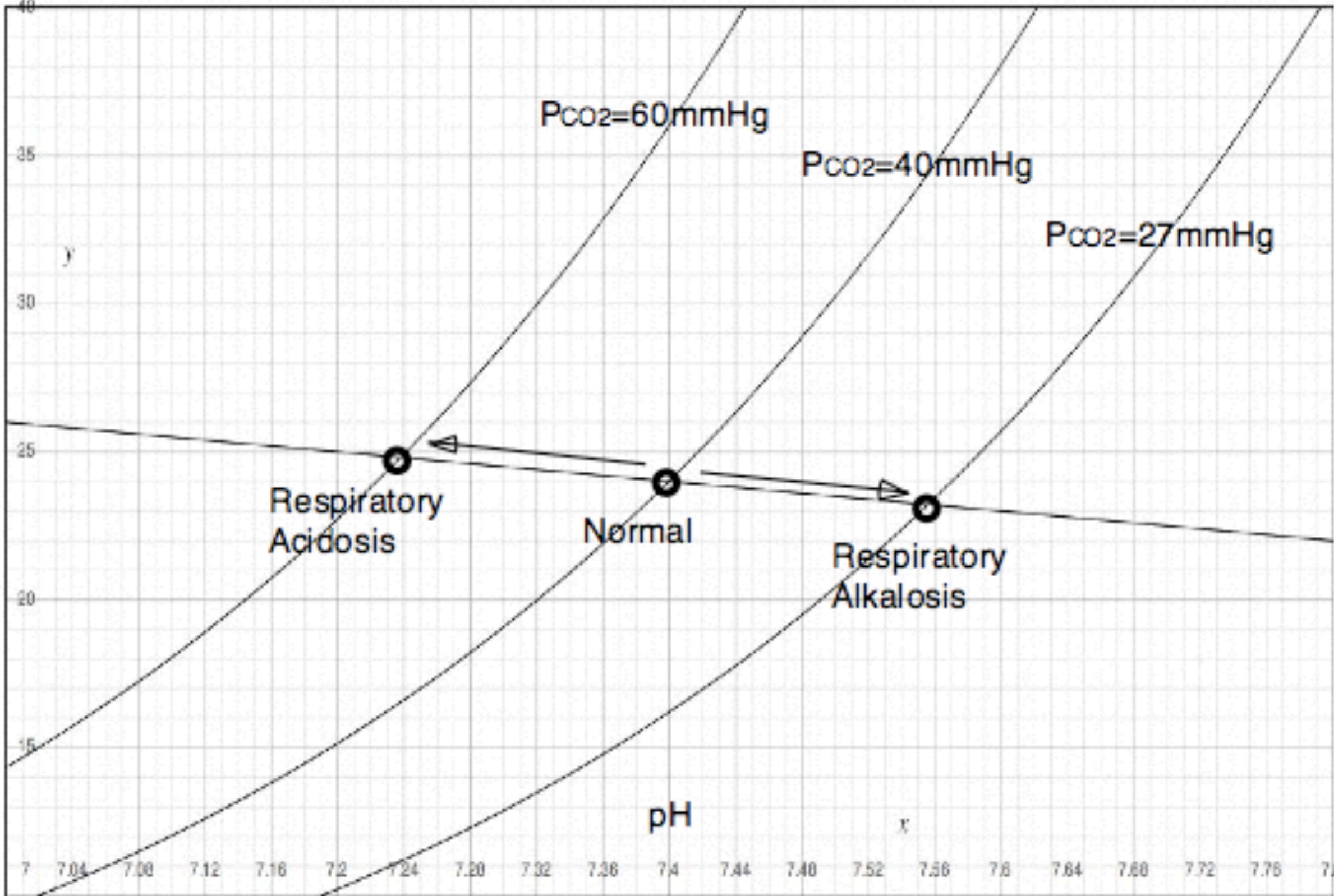


Figure 11

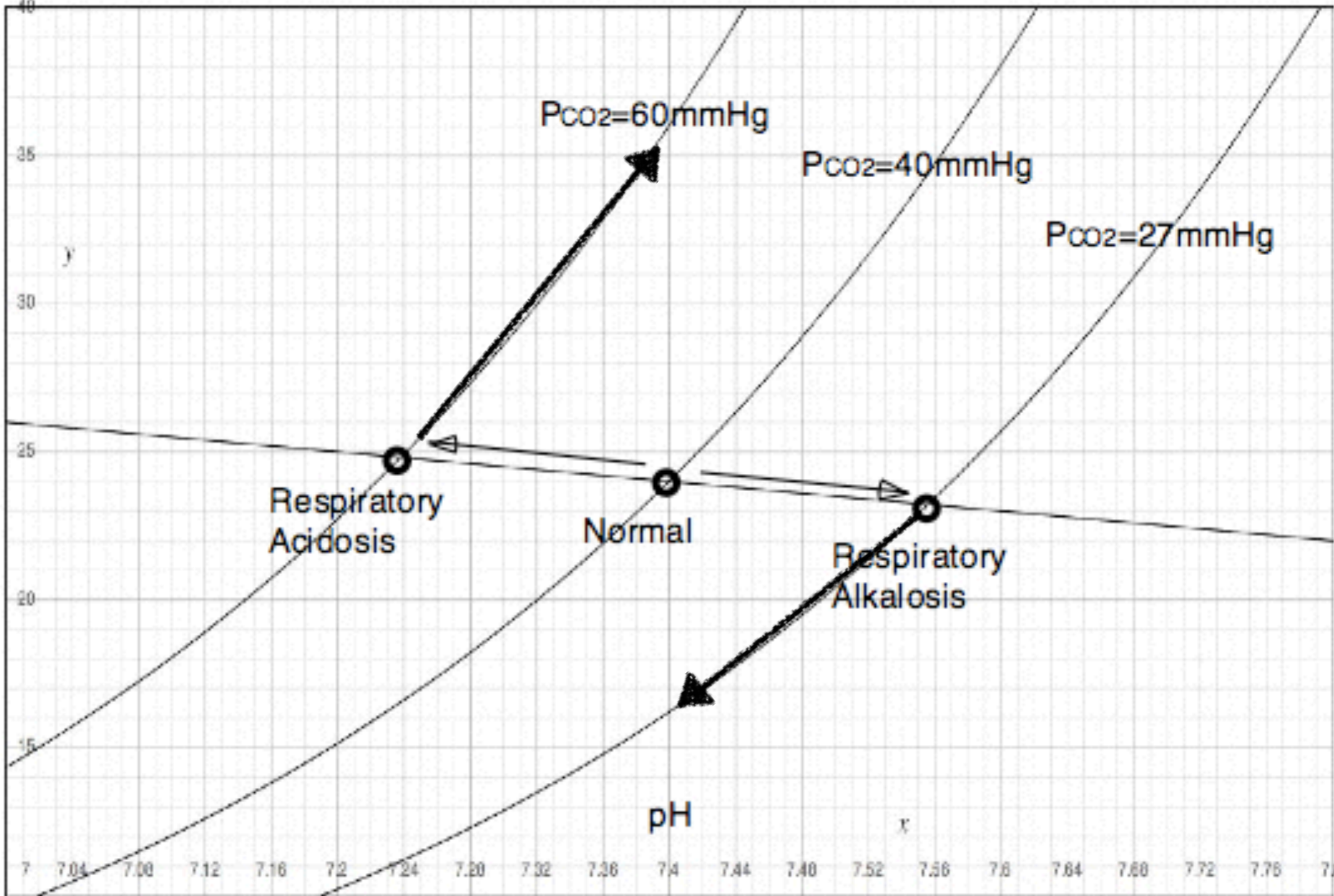
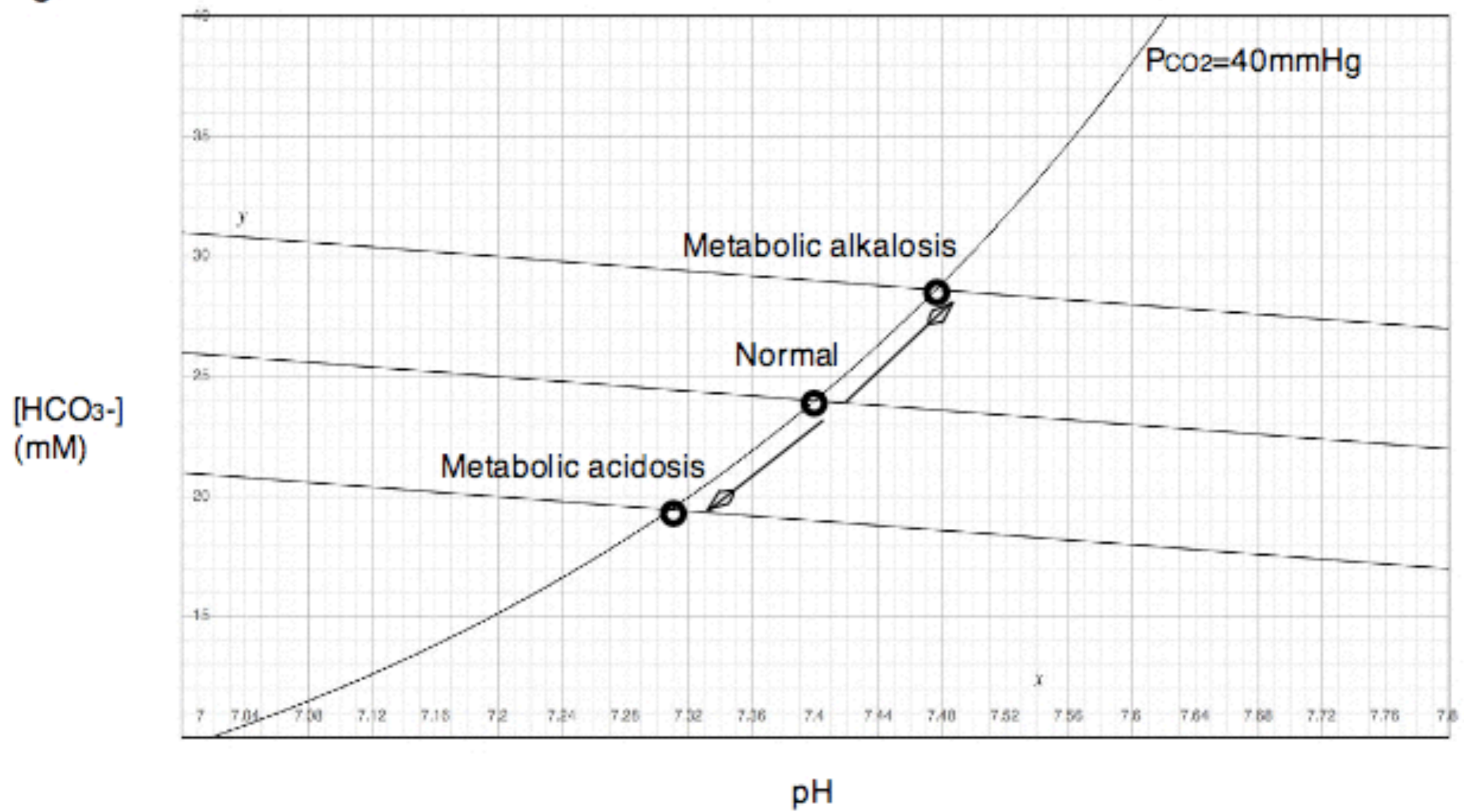
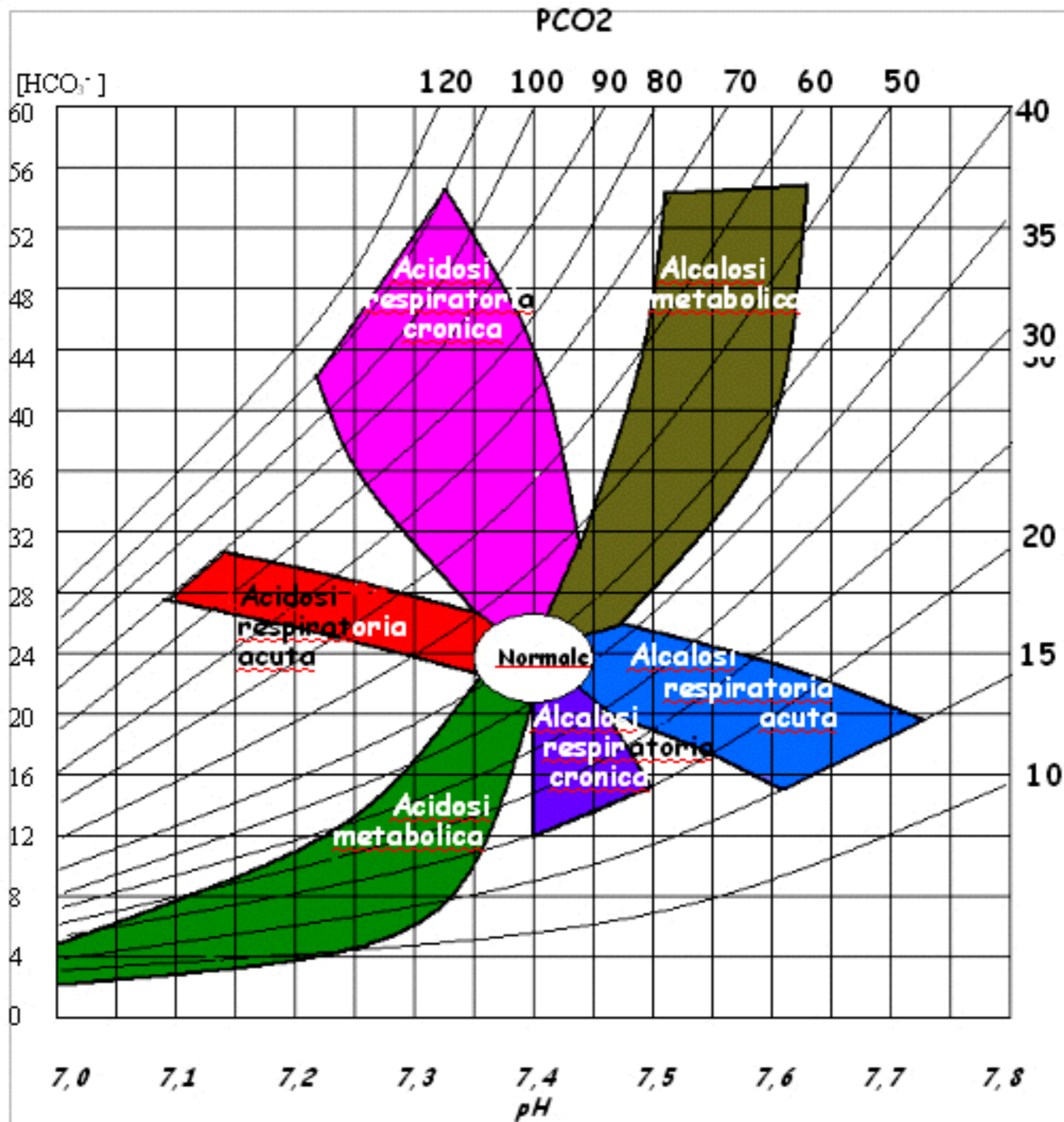


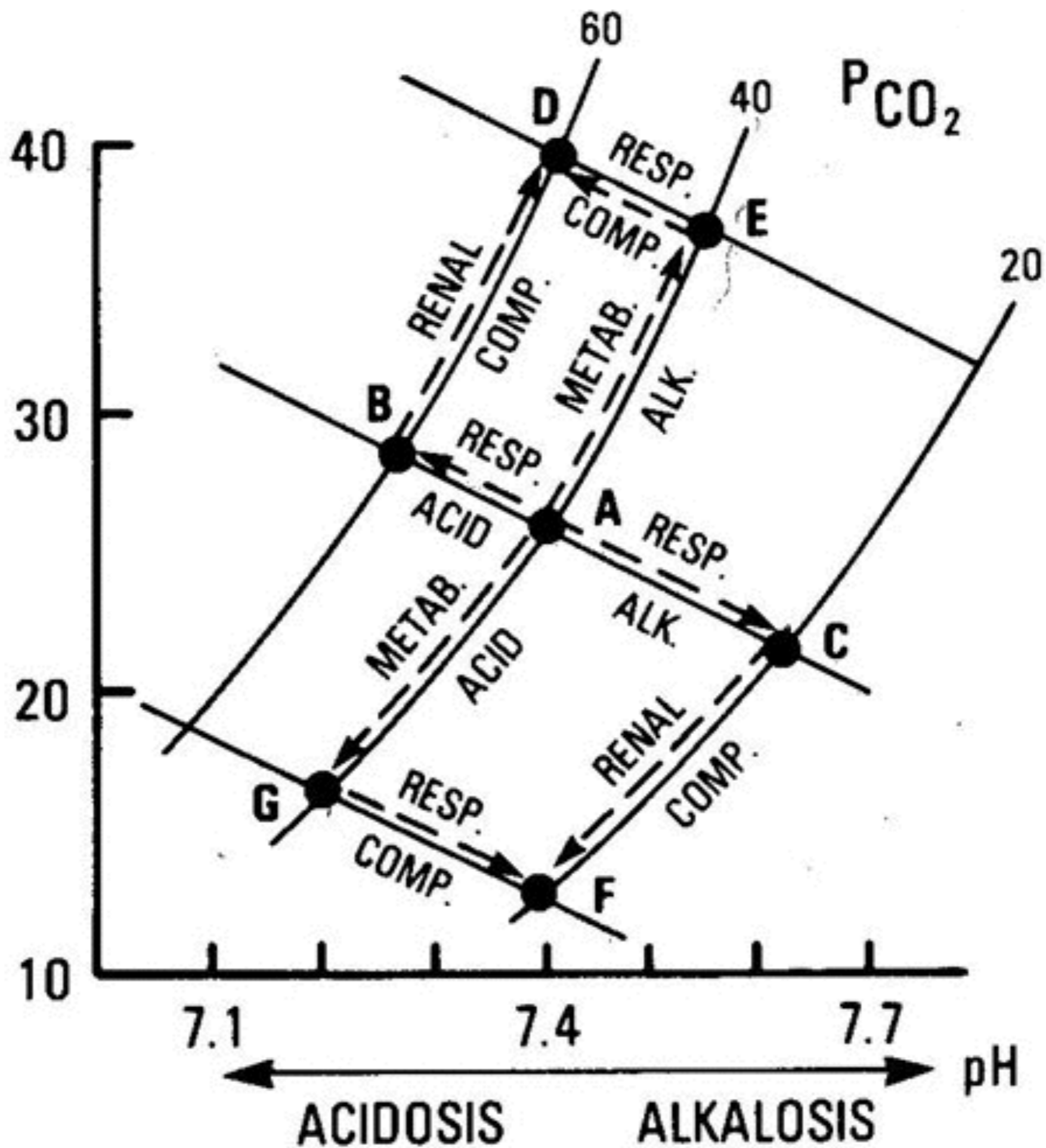
Figure 12





Equilibrio acido base

PLASMA $[\text{HCO}_3^-]$ mEq/L



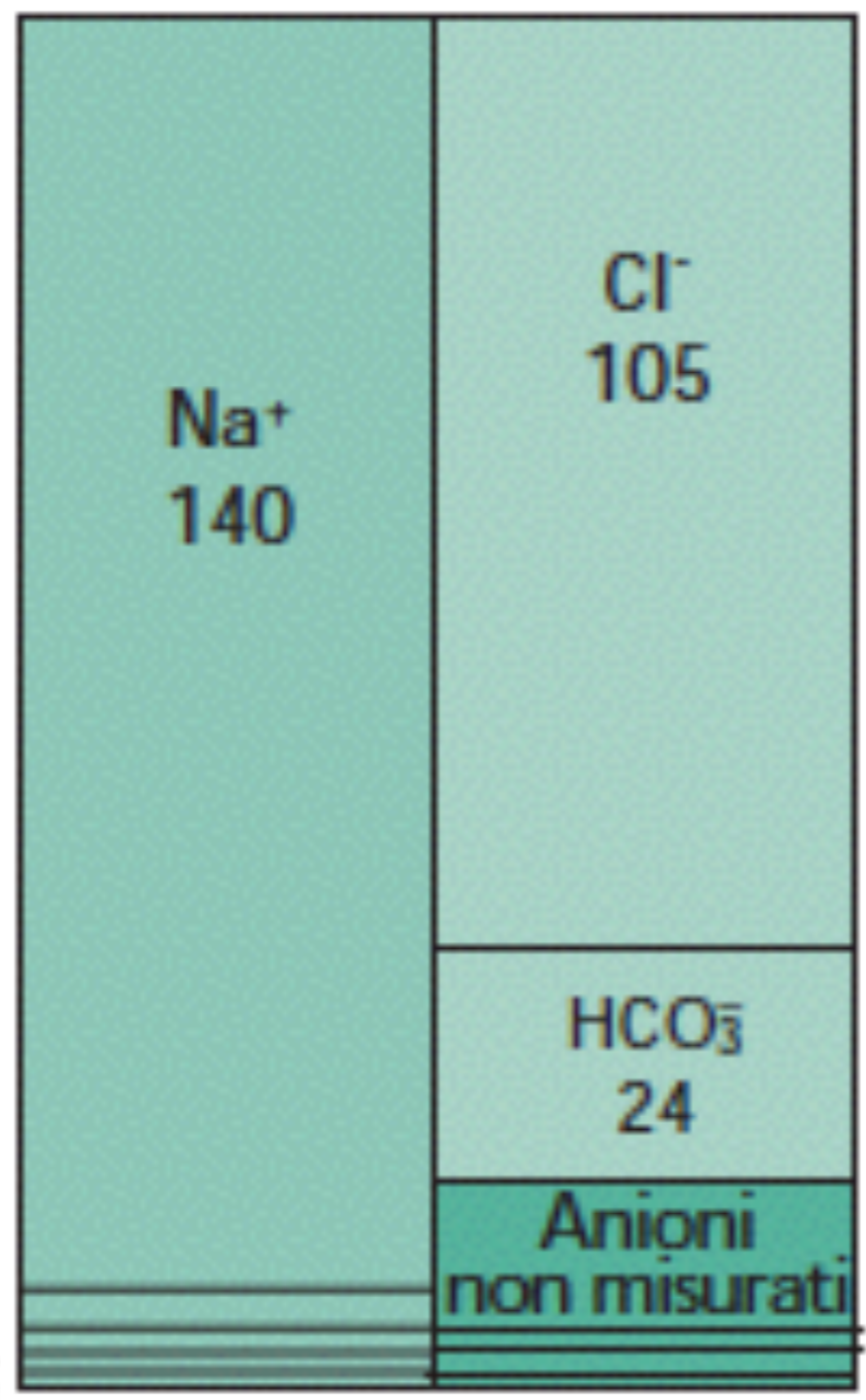
180
170
160
150
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10

mEq/L

Principio di elettroneutralità

154

154



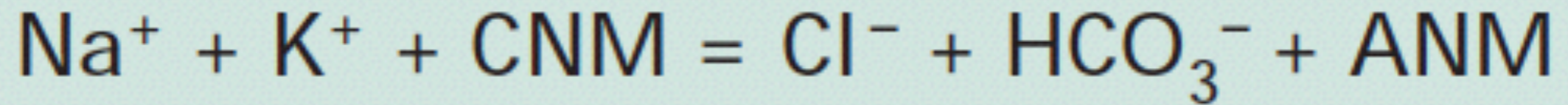
Cationi

Anioni

(+)

(-)

16 Proteine
6 Ac.
organici
2 Fosfati
1 Solfati



dove *CNM* e *ANM* sono rispettivamente i cationi e gli anioni non misurabili.

$$\begin{array}{ccc} (\text{Na}^+ + \text{K}^+) & - & (\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-) = (\text{ANM} - \text{CNM}) \\ 94\% & & 84\% \end{array}$$

$$\begin{array}{l} (\text{Na}^+ + \text{K}^+) - (\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-) \\ (140 + 4) - (105 + 24) = 15 \pm 3 \end{array}$$

GAP ANIONICO

Cause di diminuzione del gap anionico

- Diminuzione degli anioni non dosati
 - Emodiluizione
 - Ipoalbuminemia
- Sottostima della natriemia
 - Ipernatremia sottostimata dallo spettrofotometro a fiamma
 - Iperviscosità (inadeguatezza delle pompe aspiranti e diluenti degli analizzatori automatici)
 - Iperlipidemia
- Sovrastima della cloremia
 - Bromismo (pseudoipercloremia)
 - Intossicazione da iodio
 - Iperlipidemia
- Aumento dei cationi non dosati (calcio, magnesio, litio, paraproteine)
- Paraproteinemie (aumento dei cationi non dosati e diminuzione del sodio)

Cause di elevato gap anionico

- Acidosi metabolica
 - Acidosi lattica
 - Chetoacidosi
 - Insufficienza renale
 - Intossicazioni
 - Salicilati
 - Metanolo o formaldeide
 - Glicole etilenico
 - Paraldeide
 - Toluene
 - Solfuro
 - Rabdomiolisi massiva
 - Proteinemia elevata (es. massiva fibrinolisi)
- Disidratazione
- Terapia con sali di sodio contenenti anioni non misurati e non metabolizzati adeguatamente
- Terapia con alcuni antibiotici ricchi di sodio
- Riduzione dei cationi non dosati (ipocalcemia, ipomagnesiemia)

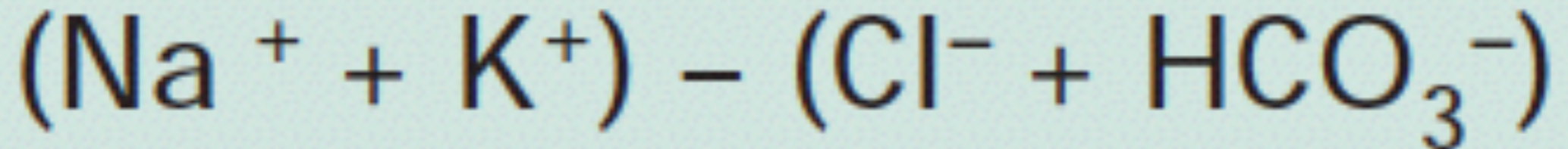
emogasanalisi arteriosa

	PaO ₂	PaCO ₂	P(A-a)O ₂
Normale	>60-80 mmHg	>35 e <46 mmHg	<15-20 mmHg
Insufficienza polmonare	<60 mmHg	<46 mmHg	>20 mmHg
Insufficienza ventilatoria	≤80-60 mmHg	>45 mmHg	<20 mmHg
Insufficienza respiratoria	<60 mmHg	>45 mmHg	>20 mmHg

	pH	PaCO₂	HCO₃⁻
Normale	7,36-7,44	36-45 mmHg	24-26 mEq/L
Acidosi respiratoria	< 7,36	> 45 mmHg	26 mEq/L
Alcalosi metabolica	> 7,44	< 45 mmHg	> 26 mEq/L
Alcalosi respiratoria	> 7,44	< 36 mmHg	24 mEq/L
Acidosi metabolica	< 7,36	< 45 mmHg	< 24 mEq/L

GAP ANIONICO

mEq/L



$$(140 + 4) - (105 + 24) = 15 \pm 3$$