Corso pre-congressuale

EQUILIBRIO ACIDO-BASE ED EMOGASANALISI

Ivo Casagranda – Michele C. Santoro

Indicazioni all'Emogasanalisi
Insufficienza respiratoria ed analisi dei gas nel sangue

Dr. Michele Cosimo Santoro

Pronto Soccorso Policlinico «Gemelli» Roma
Direttore: Prof. Francesco Franceschi

DEFINIZONE DI EMOGASANALISI

- *Arterial blood gases* (ABGs) is a collective term applied to three separate measurements – pH , P_{CO_2} , and P_{O_2} – generally made together to evaluate acid–base status, ventilation, and arterial oxygenation.

- Oxygen (O_2) and carbon dioxide (CO_2) are the most important respiratory gases, pH, which measures hydrogen ion activity, is a conventional part of every arterial blood gas determination.

- Some calculated or derived variables may be reported with the ABGs. The bicarbonate concentration, which can be calculated from the pH and P_{CO_2}, is the most useful of these.

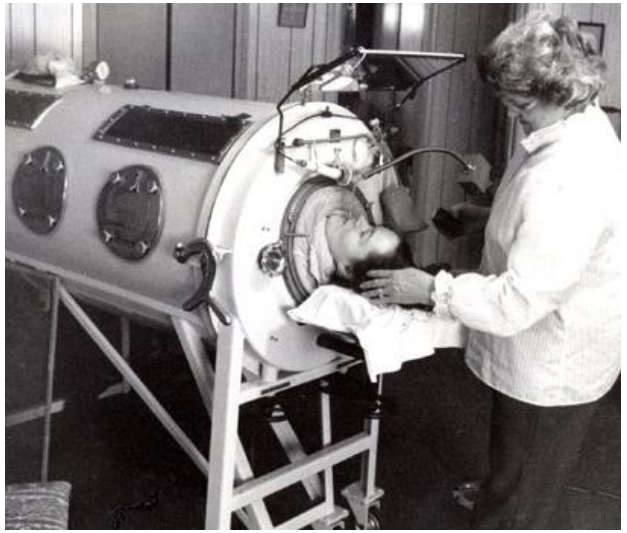
Clinical Methods: The History, Physical, and Laboratory Examinations. 3rd edition. 1990

Chapter 49Arterial Blood Gases E. P. Trulock, III

1952: NASCE LA TERAPIA INTENSIVA

The physiological challenges of the 1952 Copenhagen poliomyelitis epidemic and a renaissance in clinical respiratory physiology

Bjørn Aage Ibsen
(1915- 2007)
ideatore della prima
unità di terapia intensiva.



La necessità di una pronta ed accurata misurazione di pH, pCO_2, pO_2 (e non solo) ha reso l'emogasanalisi un indispensabile strumento di lavoro in area critica.

JB West - J Appl Physiol 2005
Blood Gas Analysis and Critical Care Medicine
JW Severinghaus, P Astrup et Al, Am J Respir Crit Care Med 1998

L'EMOGASANALISI FORNISCE MOLTE INFORMAZIONI

"Grande Torre di Babele"
Pieter Bruegel il vecchio,1563
Kunsthistorisches Museum, Vienna

Valori gas ematici			
pH	7,474		
pO_2	95,0	mmHg	
pCO_2	25,3	mmHg	
↑ FCOHb	1,4	%	[0,0 - 0,8]
Valori ossimetrici			
ctHb	11,8	g/dL	
Hct,c	36,2	%	
sO_2	98,3	%	
FO_2Hb	96,1	%	
FHHb	1,7	%	
FMetHb	0,8	%	
p50,e	23,71	mmHg	
ctO_2,c	16,0	Vol%	
Valori elettroliti			
cK^+	3,8 *	meq/L	[3,5 - 5,0]
cNa^+	138 *	meq/L	[136 - 146]
cCa^{2+}	2,35	meq/L	[2,30 - 2,58]
cCa^{2+}(7.4),c	2,45	meq/L	
↑ cCl^-	110	meq/L	[98 - 106]
Valori metaboliti			
cGlu	84	mg/dL	[70 - 105]
↓ cLac	0,5	mmol/L	[0,5 - 1,6]
Stato di ossigenazione			
$pO_2(a)/FO_2(i)$,c	453	mmHg	
$pO_2(A-a)$,e	20,9	mmHg	
Stato Acido Base			
cBase(Ecf),c	-4,6	mmol/L	
ABE,c	-3,6	mmol/L	
SBE,c	-4,6	mmol/L	
$ctCO_2$(P),c	43,0	Vol%	
$cHCO_3^-$(P),c	18,4	mmol/L	
Anion Gap,c	9,6	meq/L	

L'EMOGASANALISI FORNISCE MOLTE INFORMAZIONI

pH	
$PaCO_2$	mmHg
HCO^-_3	mmol/L
BE	mmol/L
Lattato	mmol/L

Na^+	mEq/L
K^+	mEq/L
Ca^{++}	mEq/L
Cl^-	mEq/L
AG	mEq/L

Hb g/dL
Hct %

PaO_2 mmHg
SaO_2 %
FO_2 Hb %
FCOHb %
FHHb %
FMetHb %
p50 mmHg
ctO_2

Valori gas ematici			
pH	7,474		
pO_2	95,0	mmHg	
pCO_2	25,3	mmHg	
↑ FCOHb	1,4	%	[0,0 - 0,8]
Valori ossimetrici			
ctHb	11,8	g/dL	
Hct,c	36,2	%	
sO_2	98,3	%	
FO_2Hb	96,1	%	
FHHb	1,7	%	
FMetHb	0,8	%	
p50,e	23,71	mmHg	
ctO_2,c	16,0	Vol%	
Valori elettroliti			
cK^+	3,8 *	meq/L	[3,5 - 5,0]
cNa^+	138 *	meq/L	[136 - 146]
cCa^{2+}	2,35	meq/L	[2,30 - 2,58]
cCa^{2+}(7.4),c	2,45	meq/L	
↑ cCl^-	110	meq/L	[98 - 106]
Valori metaboliti			
cGlu	84	mg/dL	[70 - 105]
↓ cLac	0,5	mmol/L	[0,5 - 1,6]
Stato di ossigenazione			
pO_2(a)/FO_2(I),c	453	mmHg	
pO_2(A-a),e	20,9	mmHg	
Stato Acido Base			
cBase(Ecf),c	-4,6	mmol/L	
ABE,c	-3,6	mmol/L	
SBE,c	-4,6	mmol/L	
$ctCO_2$(P),c	43,0	Vol%	
$cHCO_3^-$(P),c	18,4	mmol/L	
Anion Gap,c	9,6	meq/L	

VALUTAZIONE DEL PAZIENTE IN AREA CRITICA

Nei reparti *standard* valutare di base se il paziente:

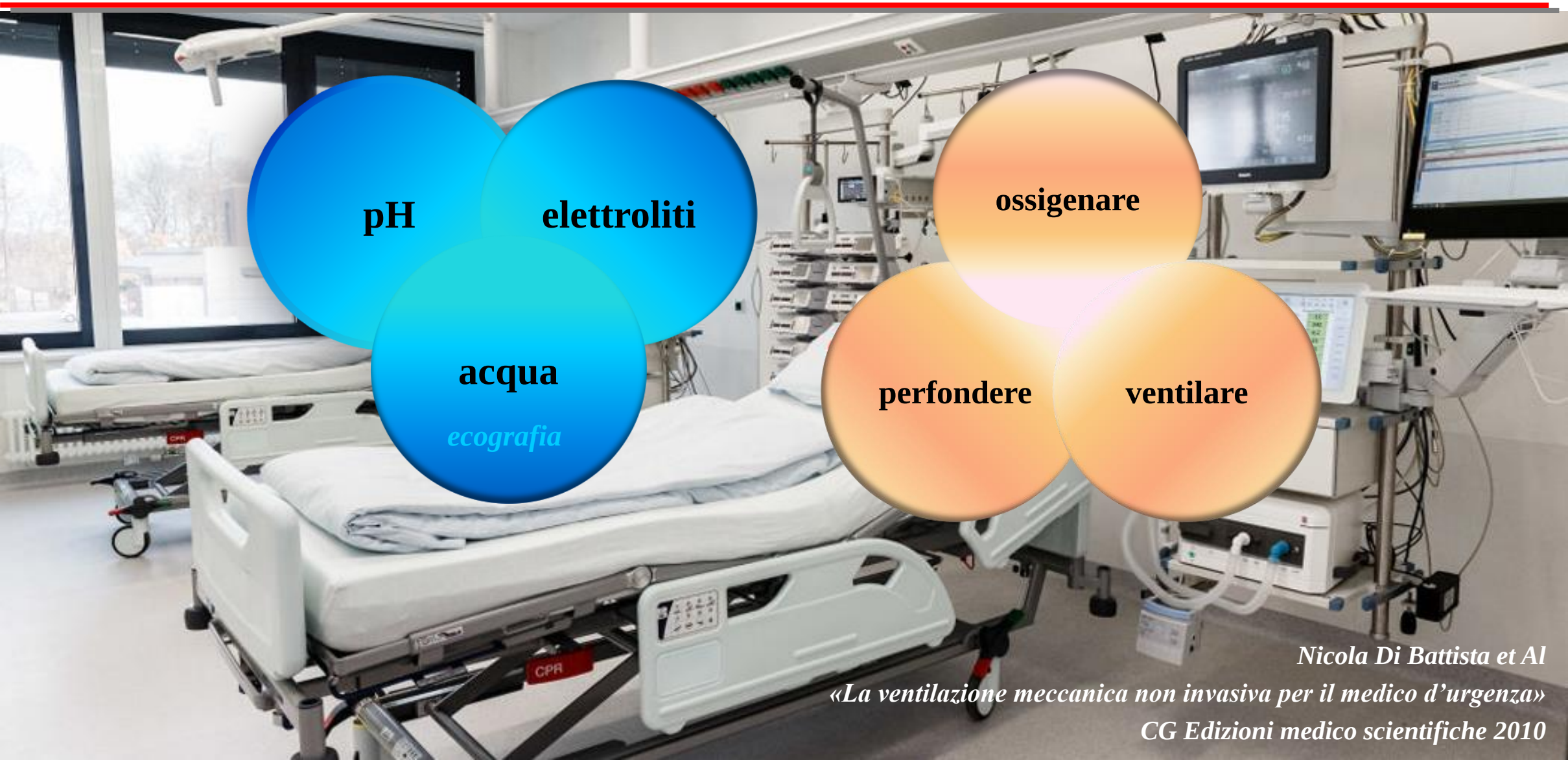
- **Mangia**
- **Beve**
- **Urina**
- **Evacua**

Peggioramento clinico

In PS ed area critica valutare di base:

- **Ossigenazione**
- **Ventilazione**
- **Perfusione**

L'EMOGASANALISI E' INDISPENSABILE IN AREA CRITICA



Nicola Di Battista et Al
«La ventilazione meccanica non invasiva per il medico d'urgenza»
CG Edizioni medico scientifiche 2010

DOTI CLINICHE DELL'EMOGASANALISI

- **Ossigenazione**
- **Ventilazione alveolare**
- **Perfusione**
- **Equilibrio acido-base**
- **Bilancia sodio-acqua**

Le 4 equazioni fondamentali:

- Equazione del CaO_2
- Equazione della $PaCO_2$
- Equazione dei gas alveolari
- Equazione di Kassirer-Bleich

«THE 4 MOST IMPORTANT EQUATIONS IN CLINICAL PRACTICE»

Equation Title	Complete Equation	Abbreviation Sufficient for Most Clinical Applications
1. PCO_2 equation	$PACO_2=VCO_2 \times 0.863 / VA$ where VA=VE-VD	$PaCO_2 \sim VCO_2 / VA$
2. Henderson-Hasselbalch equation	$pH=pK + \log HCO_3^- / 0.03(PaCO_2)$	$pH \sim HCO_3^- / PaCO_2$
3. Alveolar gas equation	$PAO_2=FIO_2(P_B-P_{H_2O})-PACO_2[FIO_2 + (1-FIO_2) / R]$	$PAO_2=FIO_2(P_B-47)-1.2(PaCO_2)$
4. Oxygen content equation	$CaO_2=(SaO_2 \times Hb \times 1.34) + .003(PaO_2)$ where: 1.34=ml O_2/gram Hb .003=ml O_2/mm Hg PaO_2/dl Hb=content in grams/dl	$CaO_2=SaO_2 \times 1.34 \times Hb$

Copyright © 1996-2009 Lawrence Martin, M.D.

EMOGASANALISI ED OSSIGENAZIONE

PaO_2 (Pressione parziale dell'ossigeno nel sangue arterioso)

SaO_2 (Saturazione dell'emoglobina con l'O_2 nel sangue arterioso)

Hb (Emoglobina)

FO_2Hb (Frazione dell'emoglobina ossigenata)

CaO_2 (Contenuto di ossigeno nel sangue arterioso)

PaO_2/FiO_2 (Pressione parziale dell'ossigeno / Frazione dell'O_2 inspirato)

$P(A\text{-}a)O_2$ (Differenza tra PO_2 alveolare e PaO_2)

P_{50} (Valore di PaO_2 per raggiungere il 50% di SaO_2)

Functional saturation vs fractional saturation

- Il termine "saturazione funzionale" si riferisce alla saturazione di Hb in grado di trasportare l'O_2, e corrisponde alla SO_2. Espressa come «**HbO_2/[Hb+HbO_2]**».
  Si riferisce alla **percentuale di Hb totale che risulta essere ossigenata** (escludendo specie di Hb come CO-Hb o met-Hb e misurando solo ossi- e deossi-Hb).

- **FO_2Hb** – La «saturazione frazionale» è misurata da un emogasanalizzatore dotato di co-ossimetro. Espressa come «**HbO_2/[Hb+HbO_2+MetHb + COHb + SHb]**».

- In individui sani SO_2 ed FO_2Hb sono molto simili, tuttavia, la SO_2 è sempre un po' più alta per la presenza di minuscole (~1%) frazioni di FMetHb e FCOHb.

- **In presenza di elevate concentrazioni di «dis-emoglobina», la SO_2 rimane normale, mentre l'effettivo trasporto di O_2 può gravemente compromesso. Invece FO_2Hb riflette accuratamente questa alterazione.**

EMOGASANALISI ED OSSIGENAZIONE

The fraction of oxygenated haemoglobin is a parameter which is calculated from values directly measured by absorption spectrophotometry. It is expressed as ***FO$_2$Hb***.

$$FO_2\,Hb = \frac{cO_2Hb}{ct\mathrm{Hb}}$$

Concentration of oxyhaemoglobin

Concentration of total haemoglobin

$$sO_2 = \frac{cO_2Hb}{ce\mathrm{Hb}}$$

Concentration of "effective" haemoglobin

EMOGASANALISI ED OSSIGENAZIONE

Total hemoglobin concentration (ctHb)

ctHb = cO2Hb + cHHb + cMetHb + cCOHb + cSHb

Hemoglobin oxygen saturation

SO2 = cO2Hb/cO2Hb + cHHb

(cO2Hb=Oxy Hb, cHHb= Deoxy Hb)

Fractional oxyhemoglobin

FO2Hb = cO2Hb/ctHb

As you can see, oxygen saturation and the fraction of oxygenated haemoglobin are ***not interchangeable.***

EQUAZIONE DEL CaO_2 (contenuto arterioso di ossigeno)

$$CaO_2 = (1.34 \times Hb \times SaO_2) + (0.003 \times PaO_2)$$

Precisamente $$CaO_2\ (ml/L) = \left[1.34 \times Hb\ (g/L) \times \frac{SaO_2}{100}\right] + \left[0.003 \times PaO_2\ (mm\ Hg)\right]$$

- Poiché 1 grammo di Hb lega 1.34 ml di O_2 → 150 x 1.34 = **201 ml/L è l'O_2 legato ad Hb**
- Poiché una pO_2 di 1 mm Hg fa sciogliere 0,003 ml di O_2 in 100 mL di acqua (o sangue), ossia 0.03 in 1000 mL se pO_2 = 100 mm Hg e consideriamo 1 L di sangue → 0.03 x 100 = **3 ml/L è l'O_2 disciolto nel sangue**

The ICU Book TERAPIA INTENSIVA Principi fondamentali
Paul L. Marino – 3° Ed. Elsevier ristampa 2011

EQUAZIONE DEL CaO_2 (contenuto arterioso di ossigeno)

$$CaO_2 = \underbrace{(1.34 \times Hb \times SaO_2)}_{201\ ml/L} + \underbrace{(0.003 \times PaO_2)}_{3\ ml/L}$$

CaO_2 = 201 + 3 mL = 204 ml/L (o 20 dl/L espresso anche come ctO_2 = 20%),

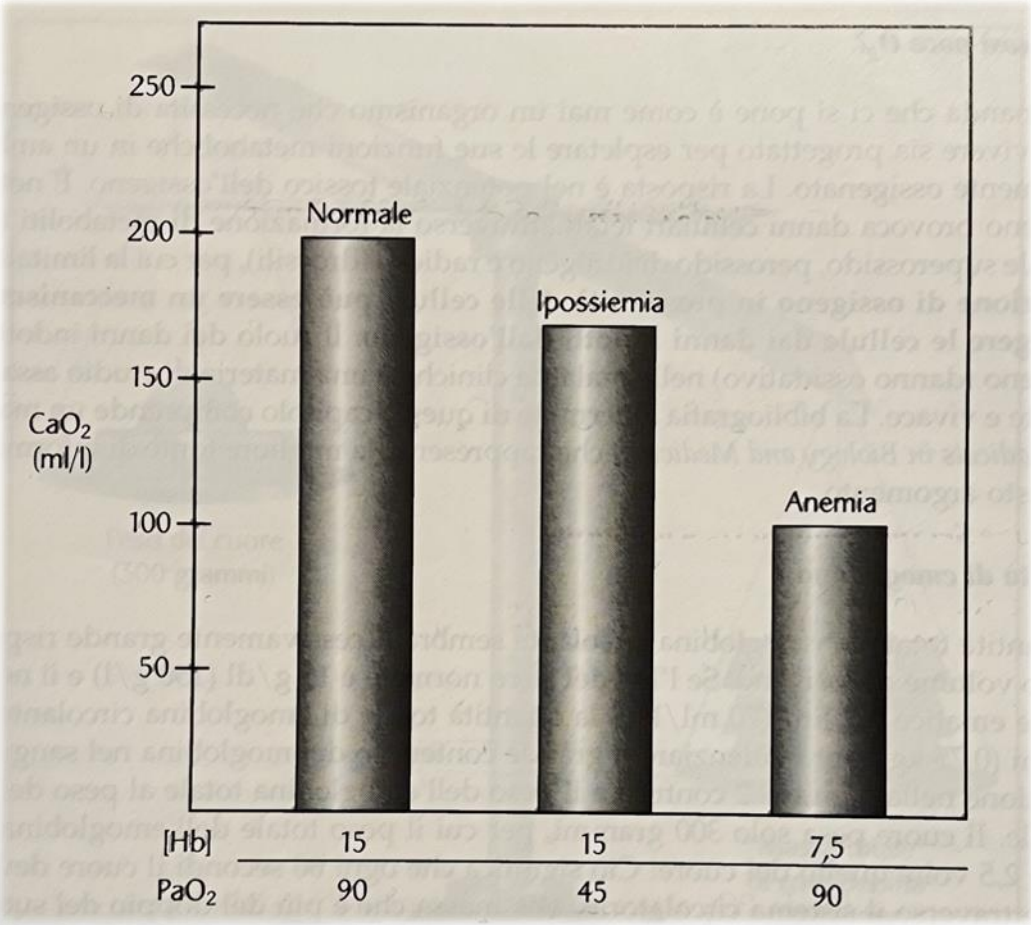
di cui **solo ~1.5% è la quota disciolta (PaO_2) → fondamentale il ruolo dell'Hb !!!**

Equazione semplificata $\boxed{CaO_2 = 1.34 \times Hb \times SaO_2}$

The ICU Book TERAPIA INTENSIVA Principi fondamentali
Paul L. Marino – 3° Ed. Elsevier ristampa 2011

EQUAZIONE DEL CaO_2 (contenuto arterioso di ossigeno)

$$CaO_2 = (1.34 \times Hb \times SaO_2) + (0.003 \times PaO_2)$$



ANEMIA vs IPOSSIEMIA

La riduzione del 50% di Hb impatta maggiormente sul CaO_2 rispetto ad una riduzione del 50% della PaO_2

The ICU Book TERAPIA INTENSIVA Principi fondamentali
Paul L. Marino – 3° Ed. Elsevier ristampa 2011

EQUAZIONE DEL CaO_2 (contenuto arterioso di ossigeno)

$$CaO_2 = (1.34 \times Hb \times SaO_2) + (0.003 \times PaO_2)$$

semplificando

$$CaO_2 = 1.34 \times Hb \times SaO_2$$

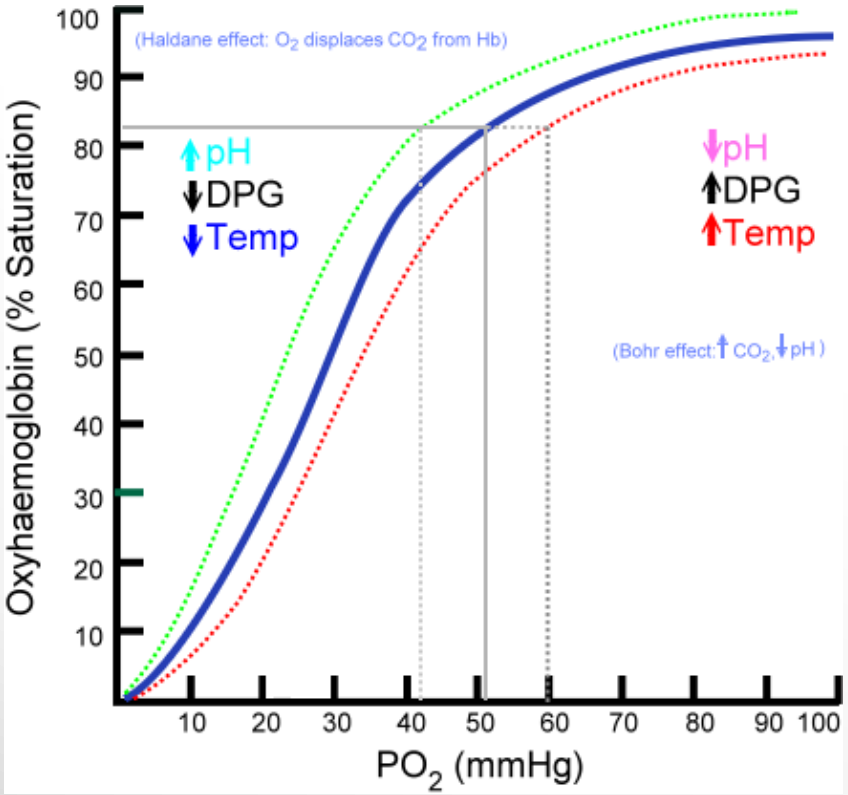
inserita nella più «grande» equazione

$$DO_2 = CO \times CaO_2$$

SaO_2 – SATURAZIONE DELL'OSSIGENO

La pulsi-ossimetria **sfrutta il rapporto tra pO_2 e SaO_2**, descritto nella curva di dissociazione dell'Hb:

- **relazione non lineare** (curva sigmoide)
- **influenza di fattori come pH, pCO_2, temperatura, DPG**



- In queste condizioni (↑ temp, ↑CO_2 → ↓pH) si riduce l'affinità di Hb per O_2, ossia l'Hb è più disponibile a cedere ossigeno ai tessuti.
- In queste condizioni la p50 > del fisiologico valore di 26.7 mm Hg.

Meta-analysis of arterial oxygen saturation by pulse oximetry in adults.
Jensen L et Al - Heart Lung 1998

LIMITI DELLA PULSI-OSSIMETRIA (intesa come *device*)

Limitations	Condition(s)
Inadequate signal	• Anemia • Dark skin • Bright external light • Intravenous dye • Nail polish • Low perfusion
False hypoxemia	• Elevated arterial oxygen tension (PaO_2) levels
Low reading	Venous pulsations such as • Tricuspid regurgitation • Severe right heart failure • Tourniquet or blood pressure cuff above the site of pulse oximeter
Unreliable readings	Dyshemoglobin • Methemoglobin • Carboxyhemoglobin

LIMITI DELLA SaO_2 (intesa come parametro clinico)

pH	7,388		[7,350 - 7,450
pCO_2	44,4	mmHg	[-
↓ pO_2	57,7	mmHg	[83,0 - 108
Valori ossimetrici			
ctHb	11,9	g/dL	[-
Hct_C	36,6	%	
↓ sO_2	88,3	%	[95,0 - 99,0]
↓ FO_2Hb	86,2	%	[94,0 - 97,0]
↑ FCOHb	2,1	%	[0,0 - 0,8]
↑ FHHb	11,4	%	[0,0 - 5,0]
FMetHb	0,3	%	[0,2 - 0,6]
Valori elettroliti			
cK^+	4,4	mmol/L	[3,5 - 5,0]
cNa^+	137	mmol/L	[136 - 146]
↓ cCa^{2+}	4,52	mg/dL	[4,61 - 5,17]
cCl^-	104	mmol/L	[98 - 106]
Valori metaboliti			
↑ cGlu	228	mg/dL	[70 - 105]
cLac	1,1	mmol/L	[0,5 - 1,6]
ctBil	0,0		
Valori corretti con la temperatu			
pH(T)	7,388		
$pCO_2(T)$	44,4		
$pO_2(T)$	57,7		
Stato di ossigenazione			
ctO_2c	14,5	Vol%	
$ctCO_2(B)c$	55,1	Vol%	
$p50_c$	27,97	mmHg	
$ctCO_2(P)c$	63,0	Vol%	
Stato acido-base			
ABE_c	1,4	mmol/L	
SBE_c	1,8	mmol/L	
$cHCO_3^-(P,st)c$	25,4	mmol/L	
$cHCO_3^-(P)c$	26,8	mmol/L	
Anion Gap_c	6,8	mmol/L	
$mOsm_c$	287,5	mmol/kg	

PaO_2 58 mm Hg
SaO_2 88% aa
p50 28 mm Hg

↑ pH	7,519		[7,350 - 7,450]
pCO_2	32,0	mmHg	[-]
↓ pO_2	59,3	mmHg	[83,0 - 108]
Valori ossimetrici			
ctHb	14,6	g/dL	[-]
Hct_C	44,7	%	
↓ sO_2	93,3	%	[95,0 - 99,0]
↓ FO_2Hb	93,0	%	[94,0 - 97,0]
FCOHb	0,1	%	[0,0 - 0,8]
↑ FHHb	6,7	%	[0,0 - 5,0]
FMetHb	0,2	%	[0,2 - 0,6]
Valori elettroliti			
cK^+	3,7	mmol/L	[3,5 - 5,0]
cNa^+	137	mmol/L	[136 - 146]
↓ cCa^{2+}	4,24	mg/dL	[4,61 - 5,17]
↑ cCl^-	106	mmol/L	[98 - 106]
Valori metaboliti			
↑ cGlu	112	mg/dL	[70 - 105]
cLac	0,8	mmol/L	[0,5 - 1,6]
ctBil	0,0		
Valori corretti con la temperatu			
pH(T)	7,519		
$pCO_2(T)$	32,0		
$pO_2(T)$	59,3		
Stato di ossigenazione			
ctO_2c	19,0	Vol%	
$ctCO_2(B)c$	50,6	Vol%	
$p50_c$	22,61	mmHg	
$ctCO_2(P)c$	60,5	Vol%	
Stato acido-base			
ABE_c	3,7	mmol/L	
SBE_c	3,1	mmol/L	
$cHCO_3^-(P,st)c$	27,5	mmol/L	
$cHCO_3^-(P)c$	26,0	mmol/L	
Anion Gap_c	4,7	mmol/L	
$mOsm_c$	280,5	mmol/kg	

PaO_2 59 mm Hg
SaO_2 93% aa
p50 22 mm Hg

	7,509		[35,0 -
↑ pH	36,2	mmHg	[83,0 - 108]
pCO_2	67,7	mmHg	[13,5 - 17,5]
↓ pO_2			
Valori ossimetrici			
ctHb	13,7	g/dL	[95,0 - 99,0]
Hct_C	42,0	%	[94,0 - 97,0]
↓ sO_2	94,9	%	[0,0 - 0,8]
↓ FO_2Hb	93,7	%	[0,0 - 5,0]
FCOHb	0,8	%	[0,2 - 0,6]
FHHb	5,0	%	
FMetHb	0,5	%	
Valori elettroliti			
↓ cK^+	3,2	mmol/L	[3,5 - 5,0]
↓ cNa^+	134	mmol/L	[136 - 146]
↓ cCa^{2+}	4,34	mg/dL	[4,61 - 5,17]
↓ cCl^-	94	mmol/L	[98 - 106]
Valori metaboliti			
↑ cGlu	214	mg/dL	[70 - 105]
↑ cLac	2,8	mmol/L	[0,5 - 1,6]
ctBil			
Valori corretti con la temp			
pH(T)			
$pCO_2(T)$			
$pO_2(T)$			
Stato di ossigenazione			
ctO_2c	18,1	Vol%	
$ctCO_2(B)c$	56,8	Vol%	
$p50_c$	23,28	mmHg	
$ctCO_2(P)c$	67,1	Vol%	
Stato acido-base			
ABE_c	5,6	mmol/L	
SBE_c	5,8	mmol/L	
$cHCO_3^-(P,st)c$	29,4	mmol/L	
$cHCO_3^-(P)c$	28,8	mmol/L	
Anion Gap_c	10,5	mmol/L	
$mOsm_c$	279,3	mmol/kg	

PaO_2 68 mm Hg
SaO_2 94% aa
p50 23 mm Hg

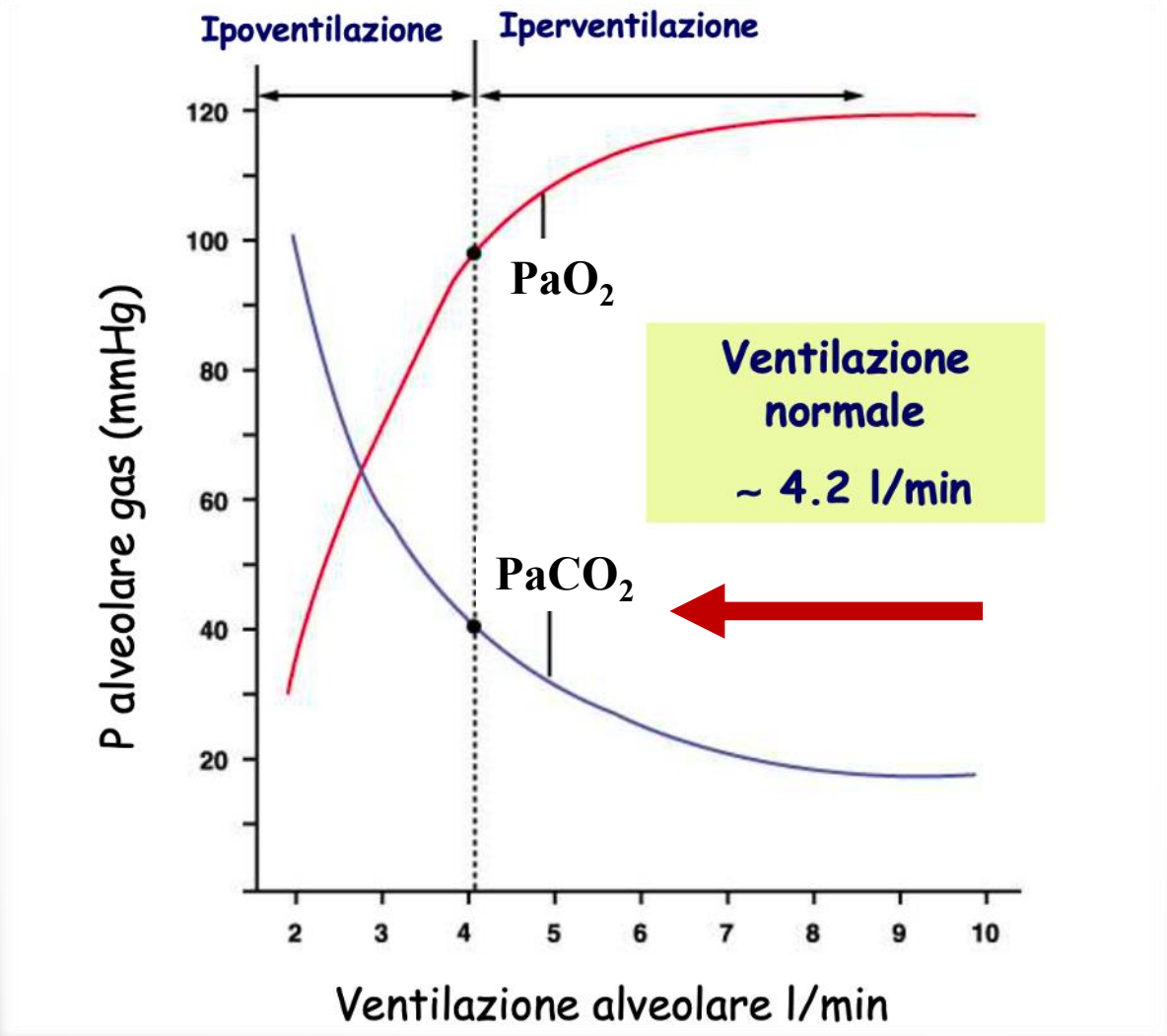
DOTI CLINICHE DELL'EMOGASANALISI

- Ossigenazione
- **Ventilazione alveolare**
- Perfusione
- Equilibrio acido-base
- Bilancia sodio-acqua

Le 4 equazioni fondamentali:

- Equazione del CaO_2
- **Equazione della $PaCO_2$**
- Equazione dei gas alveolari
- Equazione di Kassirer-Bleich

EQUAZIONE DELLA $PaCO_2$



$$PaCO_2 = \frac{VCO_2 \times 0.863}{VA}$$

DOTI CLINICHE DELL'EMOGASANALISI

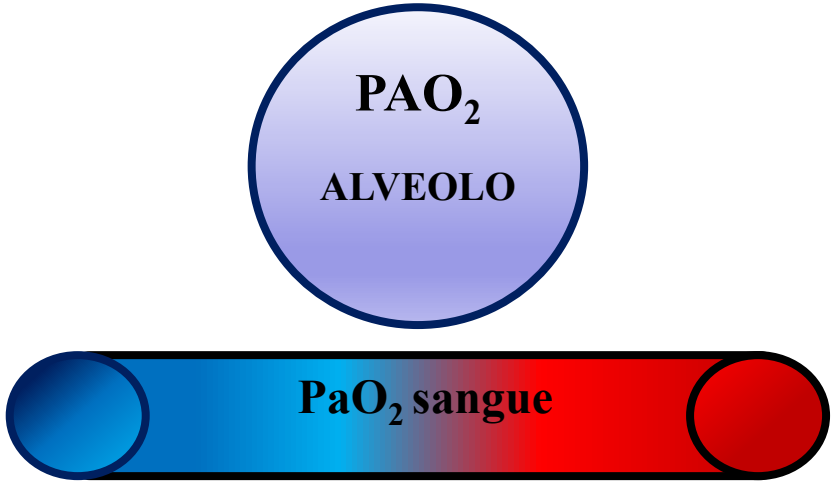
- **Ossigenazione**
- **Ventilazione alveolare**
- Perfusione
- Equilibrio acido-base
- Bilancia sodio-acqua

Le 4 equazioni fondamentali:

- Equazione del CaO_2
- Equazione della $PaCO_2$
- **Equazione dei gas alveolari**
- Equazione di Kassirer-Bleich

EQUAZIONE DEI GAS ALVEOLARI

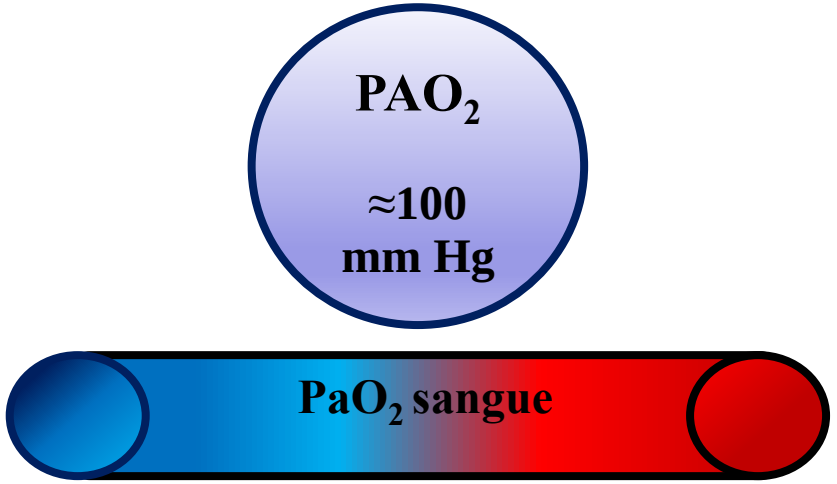
$$PO_2 \text{ Alveolare} = FiO_2 (P_{ATM} - P_{H2O}) - \frac{PaCO_2}{QR}$$



EQUAZIONE DEI GAS ALVEOLARI

$$PO_2 \text{ Alveolare} = FiO_2 (P_{ATM} - P_{H2O}) - \frac{PaCO_2}{QR}$$

FiO_2 = 0.21 (l'aria ambiente contiene il 20.8% di O_2)
P_{ATM} = 760 mm Hg
P_{H2O} = 47 mm Hg (vapore acqueo alveolare, che trattiene O_2)
$PaCO_2$ = 40 mm Hg
QR (quoziente respiratorio) = 0.8 (in condizioni standard)



PAO_2 = 0,21 x (760-47 mm Hg) – 40/0.8 = 149,73 – 48 = 101,73 ≈ **100 mm Hg**

Cosa ci dice l'equazione dei gas alveolari?

$$PO_2 \text{ Alveolare} = FiO_2\,(P_{ATM} - P_{H2O}) - \frac{PaCO_2}{QR}$$

- La **PAO_2 dipende dall'ossigeno che arriva negli alveoli** [$(P_{atm}-P_{H2O})\ xFiO_2$] **meno la CO_2 che negli alveoli c'è già** ($PaCO_2/RQ$).
- Poiché O_2 e CO_2 occupano lo stesso spazio (alveolo), **l'ipercapnia porta inevitabilmente all'ipossiemia.**

Una conferma [illegible]

L'iperventilazione [illegible]

La PAO_2, e quindi la PaO_2, può essere [illegible]

la CO_2 alveolare «spinge via» l'O_2

Cosa ci dice l'equazione dei gas alveolari?

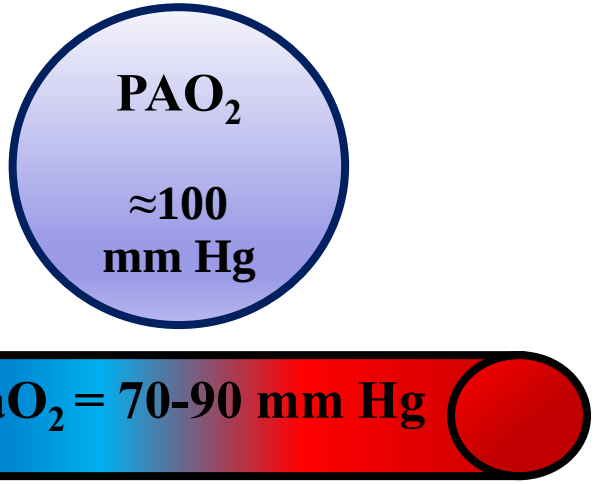
$$\mathbf{PO_2\ Alveolare = FiO_2\ (P_{ATM} - P_{H2O}) - \frac{PaCO_2}{QR}}$$

- La **PAO_2 dipende dall'ossigeno che arriva negli alveoli** [(P_{atm}-P_{H2O}) xFiO_2] **meno la CO_2 che negli alveoli c'è già** ($PaCO_2$/RQ).
- Poiché O_2 e CO_2 occupano lo stesso spazio (alveolo), **l'ipercapnia porta inevitabilmente all'ipossiemia.**
- Una corretta somministrazione di O_2 aiuta a ridurre la pCO_2.
- L'iperventilazione, riducendo la CO_2, aumenta l'O_2 nell'alveolo → nel sangue.
- La PAO_2 , e quindi la PaO_2, può essere influenzata dall'alimentazione agendo sul QR.

$P(A\text{-}a)O_2$ – Differenza Alveolo-arteriosa dell'O_2

$$PO_2 \text{ Alveolare} = FiO_2\,(P_{ATM} - P_{H2O}) - \frac{PaCO_2}{QR}$$

da cui, conoscendo la PaO_2, si può calcolare la differenza alveolo-arteriosa



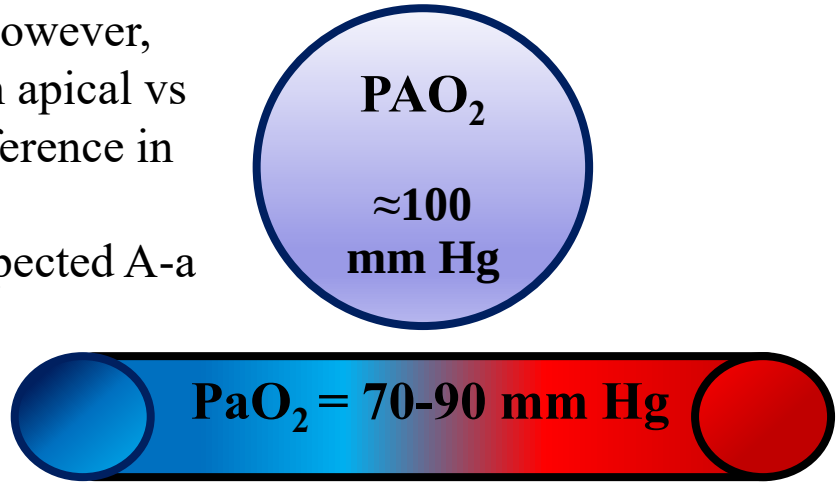
$$P(A\text{-}a)O_2 = FiO_2 \times (P_{ATM} - P_{H2O}) - PaCO_2/0.8 - PaO_2$$

$$P(A\text{-}a)O_2 = PAO_2 - PaO_2$$

$P(A\text{-}a)O_2$ – Differenza Alveolo-arteriosa dell'O_2

$$PO_2\ \text{Alveolare} = FiO_2\,(P_{ATM} - P_{H2O}) - \frac{PaCO_2}{QR}$$

«In a perfect system, no A-a gradient would exist: O_2 would diffuse and equalize across the capillary membrane … resulting in an A-a gradient of zero. However, there is a physiologic V/Q mismatch in the lungs due to heterogeneity in apical vs basilar perfusion and ventilation … in part responsible for the slight difference in O_2 tension between the alveoli and arterial blood. So …
a physiologic A-a gradient that changes based on a patient's age. The expected A-a gradient can be estimated with the following equation:
A-a gradient = (Age + 10) / 4 … » O anche «(età in anni / 4) + 4»



$$P(A\text{-}a)O_2 = PAO_2 - PaO_2 = 100 - (90 \div 70) \approx 10 \div 30\ \text{mm Hg}$$

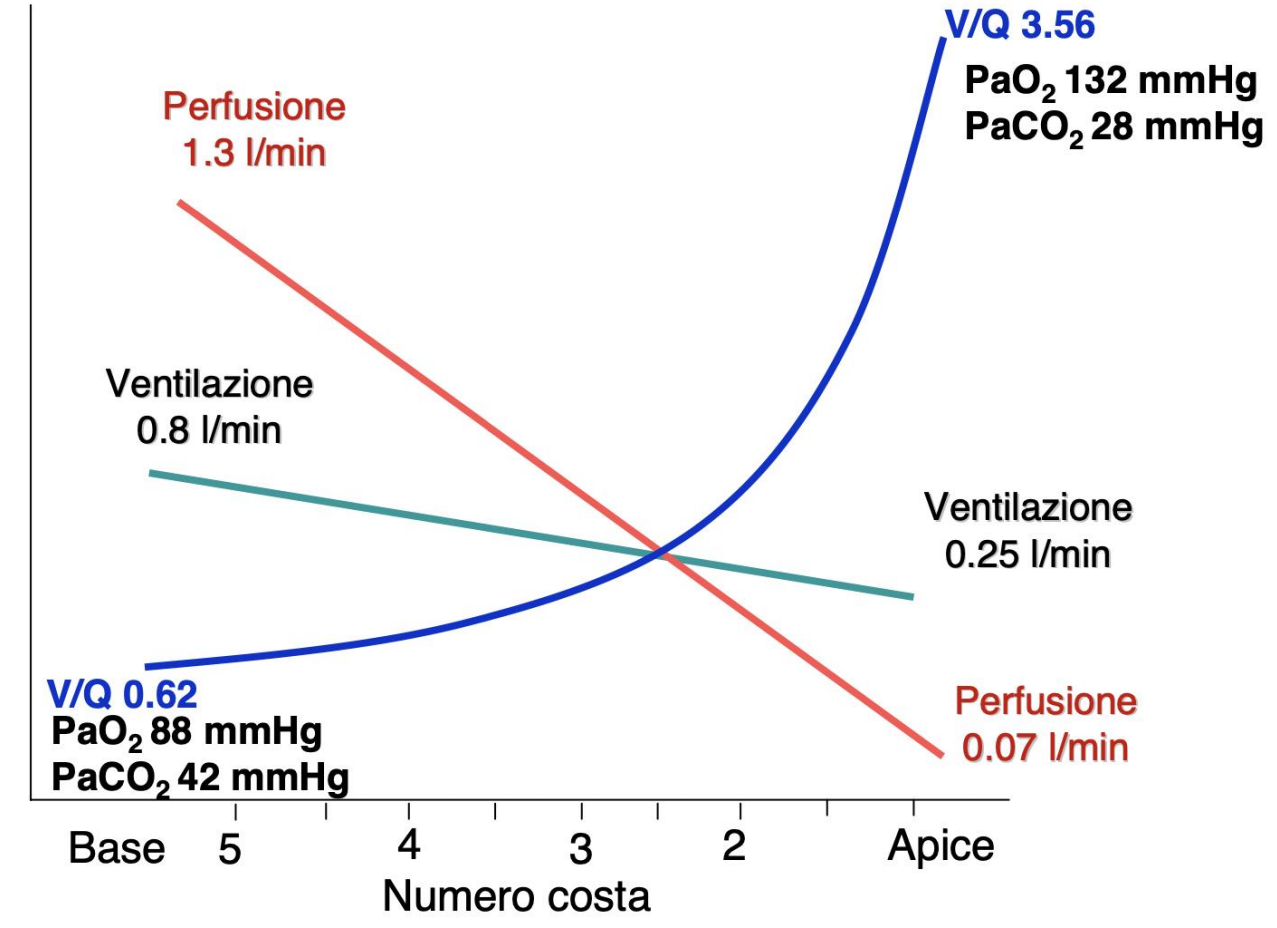
$$P(A\text{-}a)O_2\ \text{stimato per età} = (\text{età in anni}/4) + 4$$

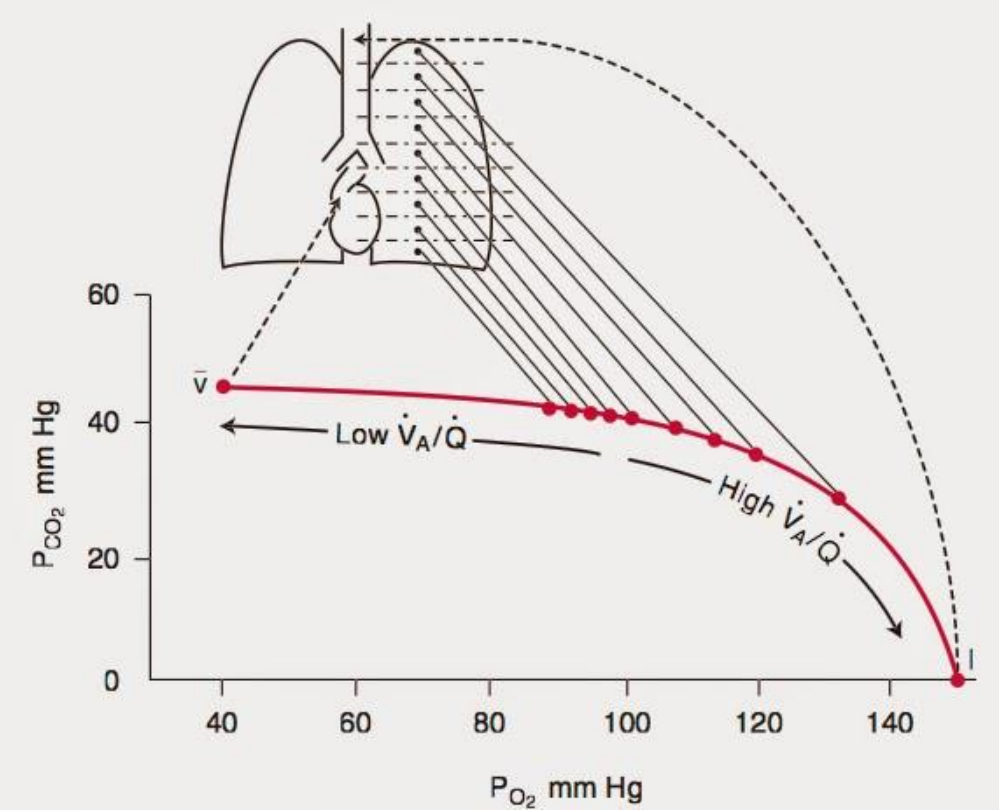
Hantzidiamantis PJ, Amaro E - StatPearls Publishing 2021

Shunt fisiologico dovuto al Mismatch Ventilazione/Perfusione (V/Q)

Con V alveolare 4.2 l/min e Q polmonare 5 l/min, V/Q (intero polmone) ≅ 0.8.

V/Q varia nelle diverse aree del polmone

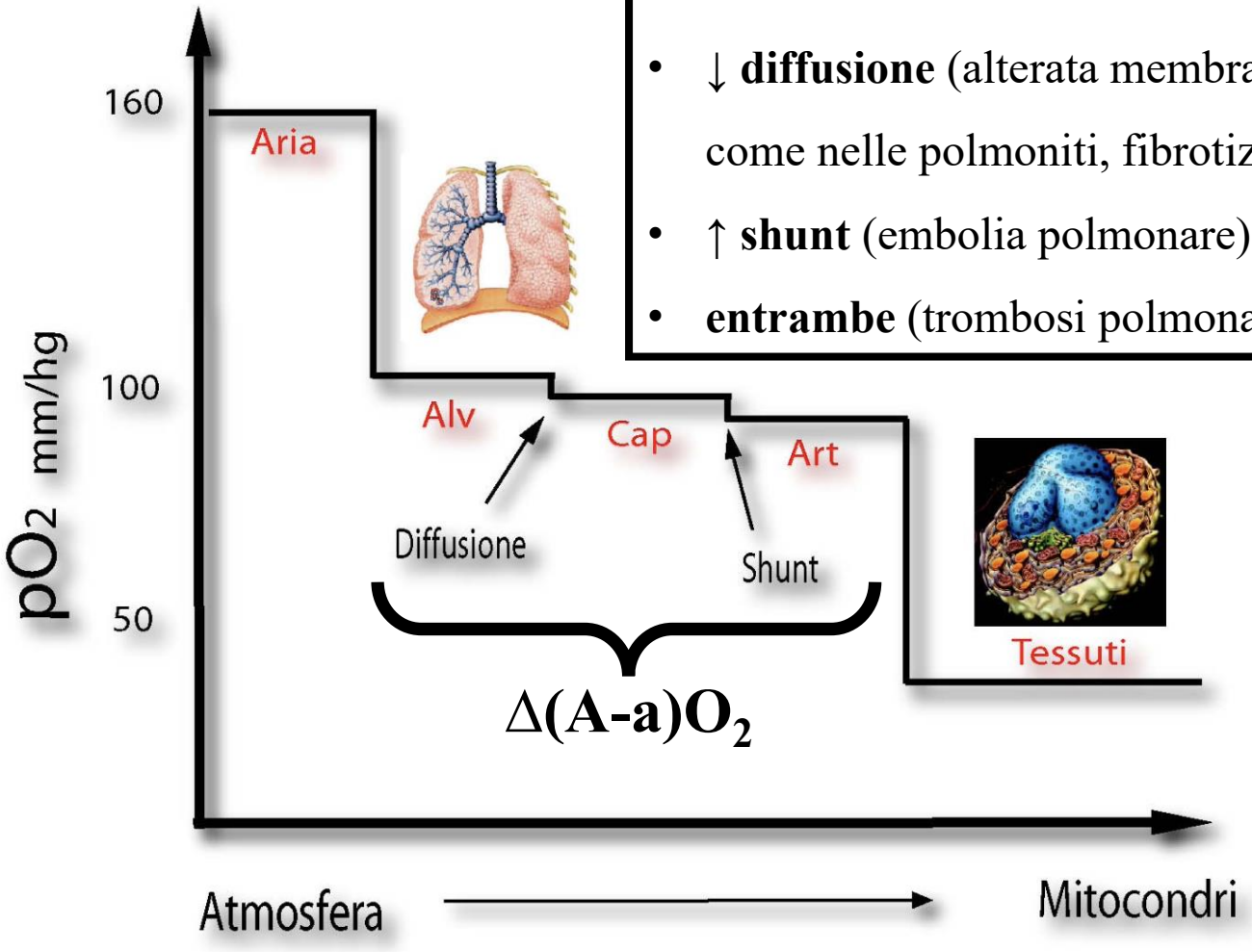


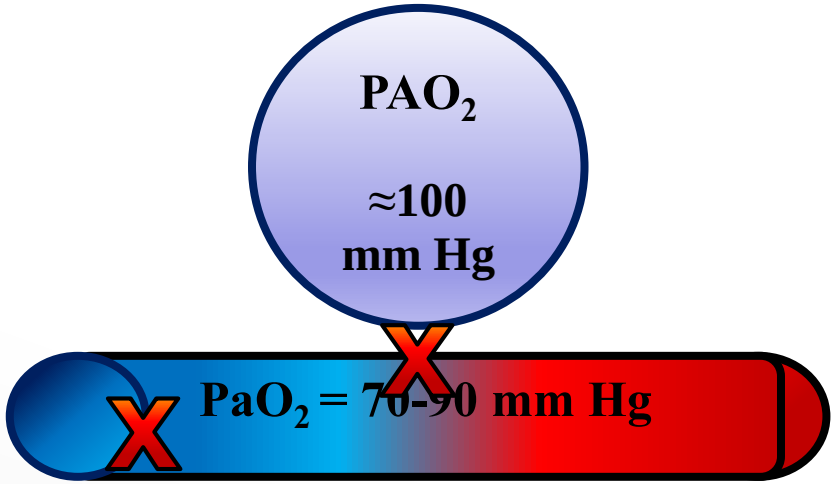


La cascata dell'ossigeno

La P(A-a)O_2 o Δ(A-a) O_2 aumenta in:

- ↓ **diffusione** (alterata membrana emato-alveolare, infiammata come nelle polmoniti, fibrotizzata come nelle FP, post RT)
- ↑ **shunt** (embolia polmonare)
- **entrambe** (trombosi polmonare in covid-19 pneumonia)





Utilizzo clinico pratico della $\Delta(A\text{-}a)O_2$

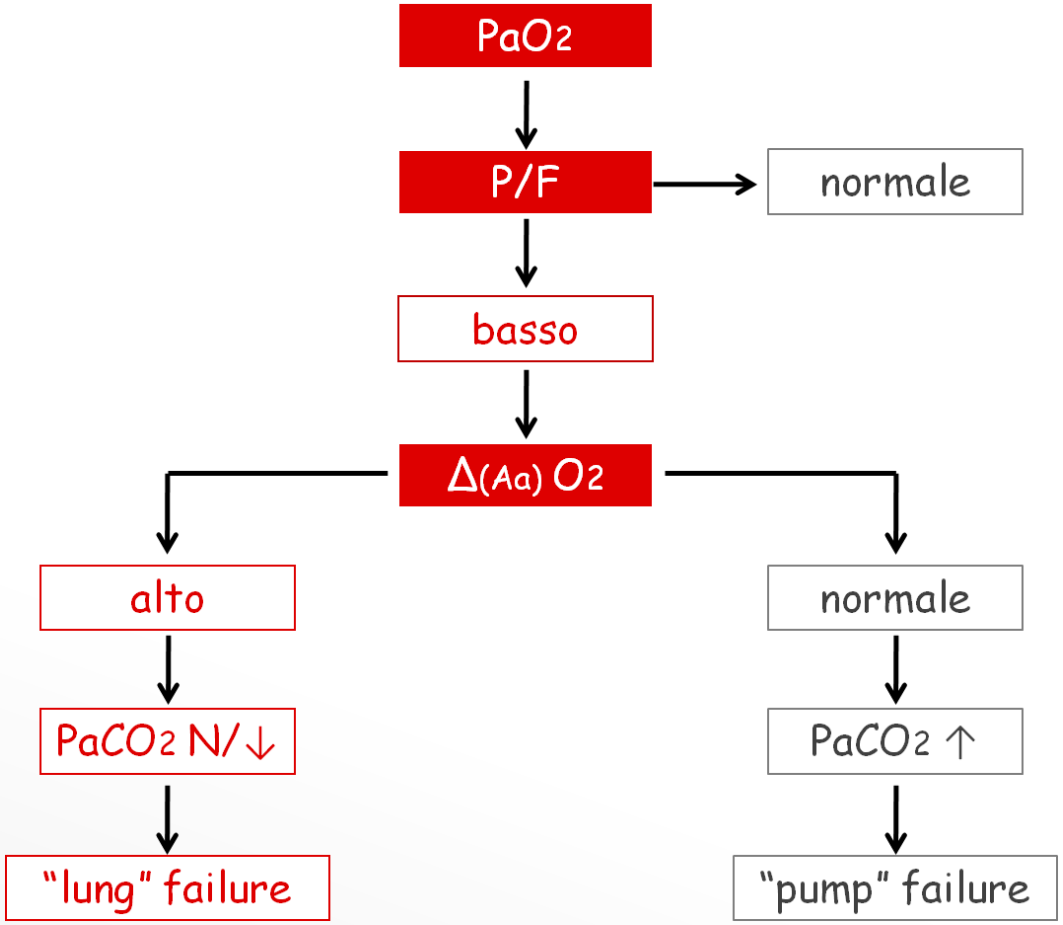
- Tutti usiamo il **P/F** perché semplice e rapido da calcolare, tuttavia non ci aiuta a fare diagnosi: ci dice "solo" **se** e **quanto** un soggetto è ipossiemco, ma – da solo – non ci dice **perchè**.

- La **differenza alveolo-arteriolare di O_2** (V.N. aa: età/4 ± 4**) rappresenta la capacità di scambio dei gas, ed è influenzata dell'integrità della membrana alveolo-capillare e/o del flusso capillare**

- $\uparrow\Delta(A\text{-}a)O_2$ nell'insufficienza respiratoria primitivamente dovuta a scambi gassosi alterati (**"lung failure"**);

- Normale $\Delta(A\text{-}a)O_2$ (a volte ridotto) in caso di ipossiemia secondaria ad ipercapnia (**"pump failure"**).

Utilizzo clinico pratico della $\Delta(A\text{-}a)O_2$



Stesso P/F, ma diversa pCO_2: $\Delta(A\text{-}a)O_2$ aiuta nella diagnosi

Δ (A-a)O2 vs P/F

PaO_2 48 mm Hg, FiO_2 0.21 → P/F 230

P/F 230	P/F 230
PCO_2 30	PCO_2 80
PAO_2 = 113	PAO_2 = 50
PaO_2 48 mm Hg	PaO_2 48 mm Hg
$\Delta(A\text{-}a)O2$ = 65	$\Delta(A\text{-}a)O2$ = 2
Ipossiemia da alterato scambio **Lung Failure** (TEP, polmonite)	**Ipossiemia da Ipercapnia** **Pump Failure** (BPCO riacut)

60 aa → $\Delta(A\text{-}a)O_2$ = 60/4 + 4 = 19

PO_2 Alveolare = FiO_2 (P_{ATM} - P_{H2O}) – $\frac{PaCO_2}{QR}$

$\Delta(A\text{-}a)O_2 = PAO_2 - PaO_2$

Stesso P/F 230 ma diversa pCO_2

↓

valuto $\Delta(A\text{-}a)O_2$

Poiché a parità di P/F i meccanismi sottostanti possono essere differenti, valutando la $\Delta(A\text{-}aO_2)$, il cui calcolo di fatto include la $PaCO_2$ (che influenza la PAO_2), possiamo meglio inquadrare il paziente.

modificato da
Empillsblog.com-metalettura dell'emogasanalisi

DOTI CLINICHE DELL'EMOGASANALISI

- Ossigenazione
- Ventilazione alveolare
- **Perfusione**
- Equilibrio acido-base
- Bilancia sodio-acqua

Le 4 equazioni fondamentali:

- Equazione del CaO_2
- Equazione della $PaCO_2$
- Equazione dei gas alveolari
- Equazione di Kassirer-Bleich

VALUTAZIONE DELLA PERFUSIONE

- **Refill capillare, marezzatura**

- **Pressione arteriosa**
- **Diuresi**

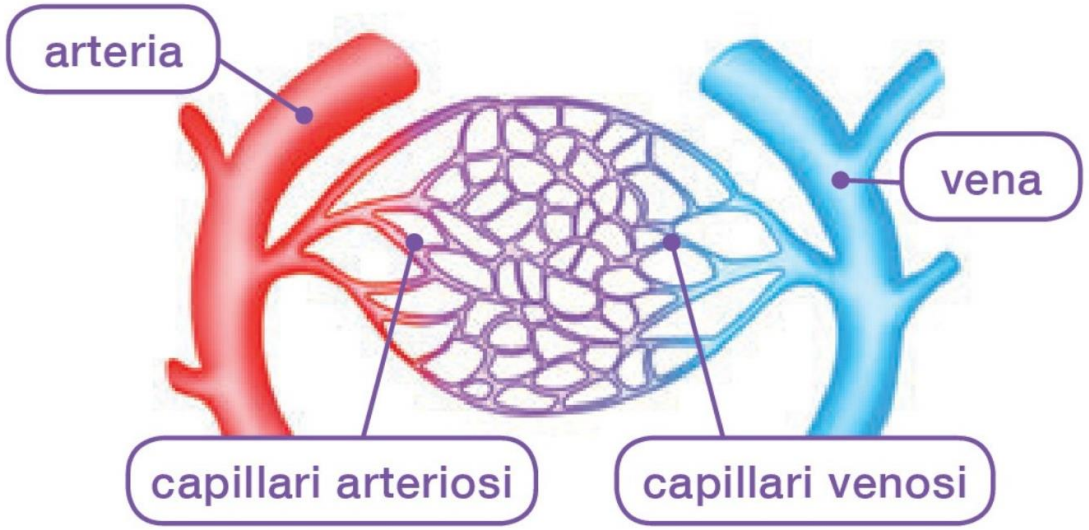
- **Lattati**
- **SvO_2**
- **Gap artero-venoso della pCO_2**

→ **EMOGASANALISI**

SvO_2 – Saturazione venosa dell'ossigeno

$VO_2 = DO_2 \times O_2ER$

Ricordando che $DO_2 = CO \times CaO_2$



$SaO_2 = 100\%$

$SvO_2 \approx 75\%$

$O_2ER \approx 25\%$

Se si reduce l'apporto (DO_2),
per garantire lo stesso consumo (VO_2),
non può che aumentare l'estrazione (O_2ER).

Se $\downarrow CO \rightarrow \downarrow DO_2 \rightarrow \uparrow O_2ER \rightarrow \downarrow SvO_2$

SvO_2 marker surrogato di gittata cardiaca

NB: sangue venoso misto o centrale !

Utilizzo clinico pratico della SvO_2

Venous oximetry

SvO_2 >75%	Normal extraction O_2 supply >O_2 demand
75% >SvO_2 >50%	Compensatory extraction Increasing O_2 demand or decreasing O_2 supply
50% >SvO_2 >30%	Exhaustion of extraction Beginning of lactic acidosis O_2 supply <O_2 demand
30% >SvO_2 >25%	Severe lactic acidosis
SvO_2 <25%	Cellular death

Certamente se↓CO → ↓DO_2 → ↑O_2ER → ↓SvO_2

Tuttavia, oltre un certo limite ($DO_{2\ crit}$) → ↑cLAC

cLAC, quindi, aumenta tardivamente rispetto alla riduzione di SvO_2

Bloos F, Reinhart K – Intensive Care Med 2005

Gap della pCO_2 – Differenza artero-venosa della pCO_2

Il gap della pCO_2 è espressione dell'adeguatezza del flusso ematico, quindi del CO,
nel determinare il wash out della CO_2 prodotta a livello tissutale.

«Lavandaie a Cagnes» 1912
Pierre-Auguste Renoir

Gap della pCO_2 – Differenza artero-venosa della pCO_2

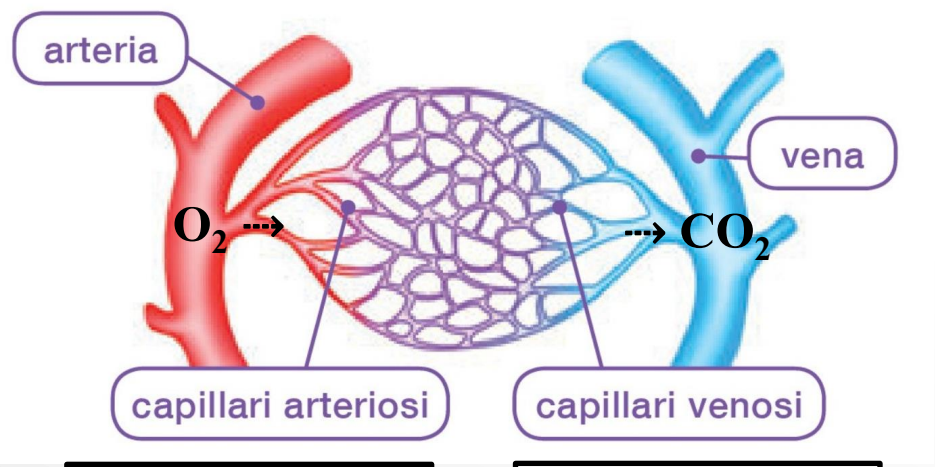
$VCO_2 = CO \times (CaCO_2 - CvCO_2)$ → $VCO_2 = CO \times K \times (PaCO_2 - PvCO_2)$ → $\mathbf{pCO_2\ gap = \frac{VCO_2}{CO \times K}}$

applicando la legge di Fick

K è una costante che mette in relazione il CCO_2 (arterioso o venoso) con la pCO_2 (arteriosa o venosa)

($PaCO_2$-$PvCO_2$), ossia il Gap della pCO_2, è influenzato dal CO

Gap della pCO_2 = 2-5 mm Hg



$PaCO_2$ = 40 mm Hg

$PvCO_2$ = 42-45 mm Hg

Il gap della pCO_2 è espressione dell'adeguatezza del flusso ematico, quindi del CO, nel determinare il wash out della CO_2 prodotta a livello tissutale.

NB: sangue venoso misto o centrale.

Se ↓CO → ↑pCO_2 gap

DOTI CLINICHE DELL'EMOGASANALISI

- Ossigenazione
- Ventilazione alveolare
- Perfusione
- **Equilibrio acido-base**
- Bilancia sodio-acqua

Le 4 equazioni fondamentali:

- Equazione della CaO_2
- Equazione della $PaCO_2$
- Equazione dei gas alveolari
- **Equazione di Kassirer-Bleich**

EMOGASANALISI ED EQUILIBRIO ACIDO BASE

pH	logaritmo negativo della concentrazione degli H^+
$PaCO_2$	pressione parziale dell'anidride carbonica
HCO_3^-	Bicarbonato
Na^+, K^+, Cl^-	elettroliti implicati nella valutazione acido base
AG	Gap degli anioni
BE	Eccesso di basi (o deficit se con valore negativo)

EQUAZIONE DI HENDERSON-HASSELBACH

$$HA \underset{}{\overset{K_a}{\rightleftharpoons}} A^- + H^+$$

Definizione di Acido secondo Bronsted-Lowry

$$K_a = \frac{[H^+][A^-]}{[HA]}$$

Elaborazione di Henderson, ossia applicazione della legge di azione di massa. (1908)

$$\log_{10} K_a = \log_{10}[H^+] + \log_{10}\frac{[A^-]}{[HA]}$$

$$-pK_a = -pH + \log_{10}\frac{[A^-]}{[HA]}$$

$$\boxed{pH = pK_a + \log_{10}\frac{[A^-]}{[HA]}}$$

Elaborazione di Hasselbach, ossia la trasformazione in forma logaritmica. (1916)

EQUAZIONE DI KASSIRER-BLEICH

$$[H^+] = K \times \frac{PaCO_2}{[HCO^-_3]}$$

EQUAZIONE DI KASSIRER-BLEICH - «La legge dell'equilibrista»

La pCO_2 e l'HCO_3^- si comportano come le due semi-aste di un equilibrista:

per mantenere l'equilibrio, se aumenta l'una, deve aumentare anche l'altro e viceversa.

DOTI CLINICHE DELL'EMOGASANALISI

- Ossigenazione
- Ventilazione alveolare
- Perfusione
- Equilibrio acido-base
- **Bilancia sodio-acqua**

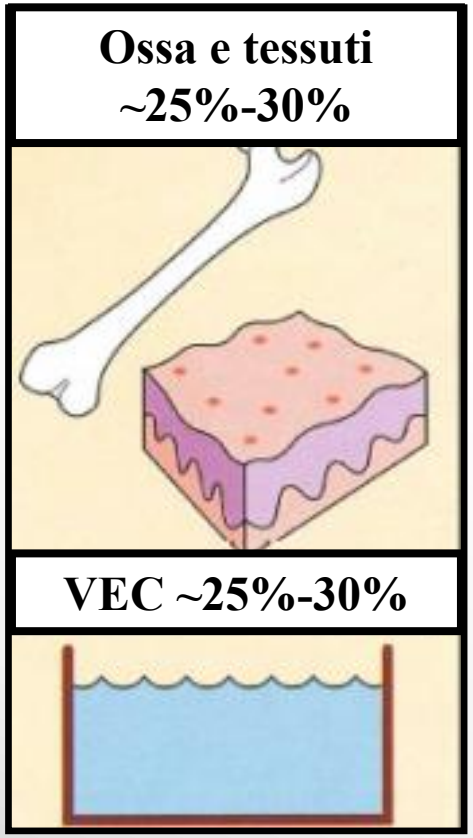
BILANCIA SODIO – ACQUA

$$[Na^+]\ \text{siero} = \frac{Na^+_E + K^+_E}{\text{Acqua totale corporea}}$$

SODIO – DISTRIBUZIONE NELL'ORGANISMO

Ossa e Tessuti ~25%-30%	Comparto extra-cellulare ~70-75%	Comparto intra-cellulare ~1%

Na^+_e, sodio scambiabile
(98-99% nel VEC , 1-2% nel VIC)



- In un uomo di 70 Kg il contenuto corporeo totale di Na^+ ammonta a circa 90-92 grammi, corrispondenti a circa 4000 mEq, di cui:

- ~ 75-70% è localizzato nel compartimento extra-cellulare (che comprende sangue ed interstizio) e rappresenta il così detto sodio scambiabile (Na^+_e o exchangeable).

- ~ 25-30% è localizzato nell'osso (ove funge da riserva) e costituisce la quota non scambiabile.

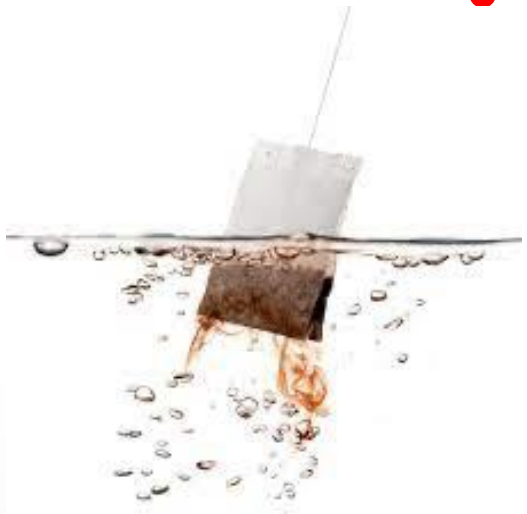
BILANCIA SODIO – ACQUA

Acqua corporea totale (TBW)

60% del peso corporeo nell'uomo, 50% nella donna

VIC (2/3 di TBW) (98-99% del K^+ è nel VIC)	VEC (1/3 di TBW) (98-99% del Na^+_e è nel VEC)	
MC	¾ interstiziale	¼ intra-vascolare E

- **La membrana cellulare (MC) e l'endotelio (E) si comportano come membrane semipermeabili.**
- **L'acqua passa liberamente attraverso le membrane, seguendo il sodio.**



Il Sodio è il principale determinante dell'osmolalità plasmatica

$$Osm_p = 2[Na^+ + K^+] + glicemia/18 + azoto\ ureico/2.8$$

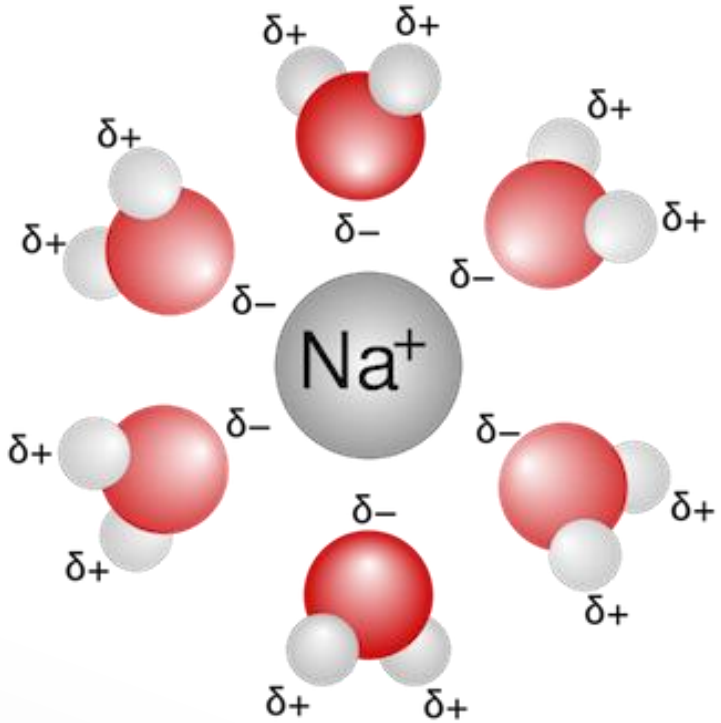
NB: Na^+ viene moltiplicato «x2» in quanto si tiene conto dell'osmolalità esercitata dal Cloro, che si associa al Sodio.

Può essere semplificata
poiché glucosio ed urea sono osmoli inefficaci, mentre K^+ ha un valore piccolo, trascurabile.

$$Osm_p \approx 2 \times [Na^+]_p \approx 280\text{-}300\ mOsm/Kg\ di\ H_2O$$

Le alterazioni della concentrazione plasmatica di sodio si riflettono in alterazioni della osmolalità plasmatica e, di conseguenza, sugli spostamenti dell'acqua tra il VIC ed il VEC.

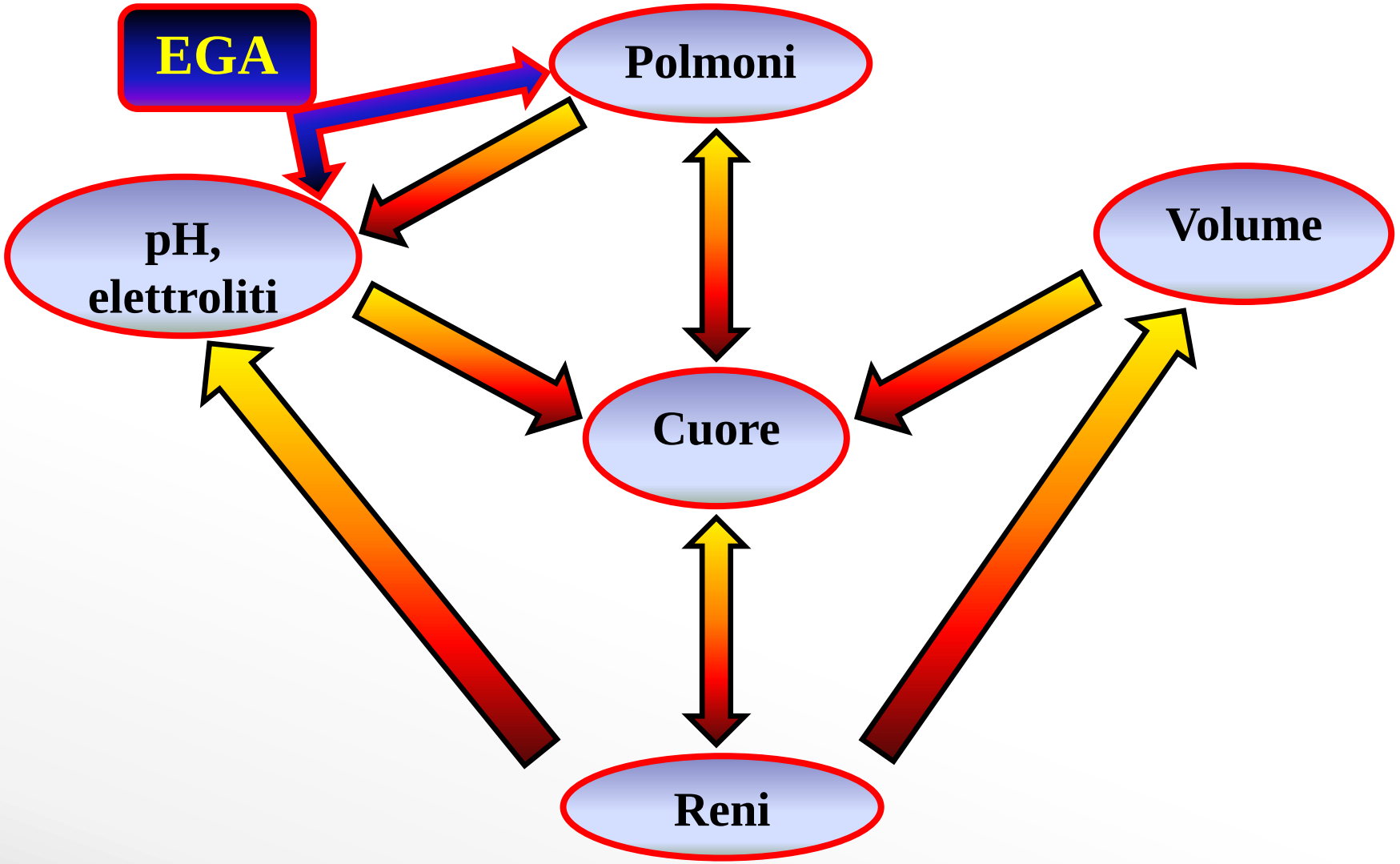
«Where sodium goes, there water follows»



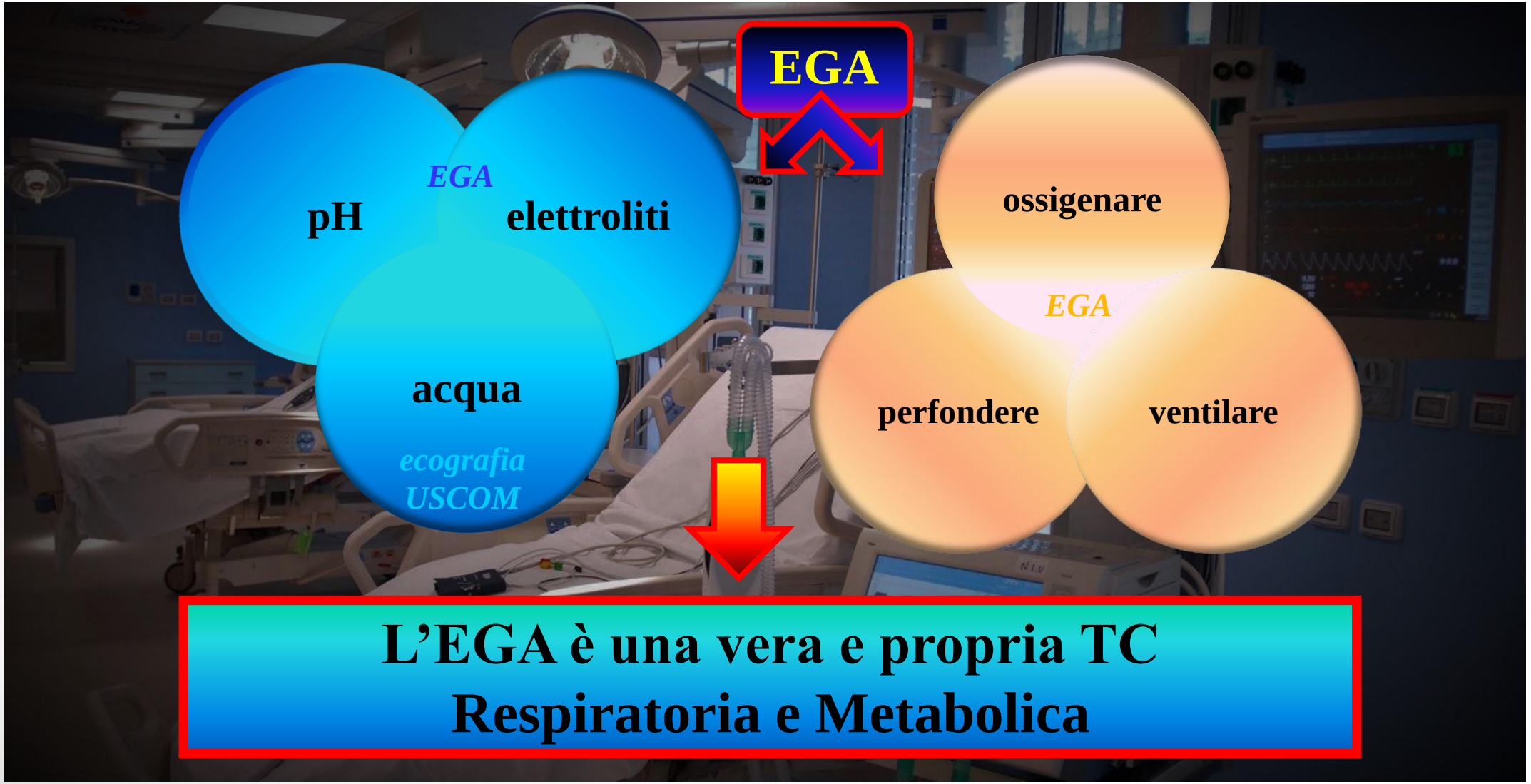
Se ↑Na^+ → ↑OSM_p → H_2O da VIC a VEC

Se ↓Na^+ → ↓OSM_p → H_2O da VEC a VIC

EMOGASANALISI E FISIOPATOLOGIA «SPICCIOLA»



EMOGASANALISI E FISIOPATOLOGIA «SPICCIOLA»



QUANDO FARE UN'EMOGASANALISI?

Patienti che arrivano in Pronto Soccorso con segni e sintomi come:

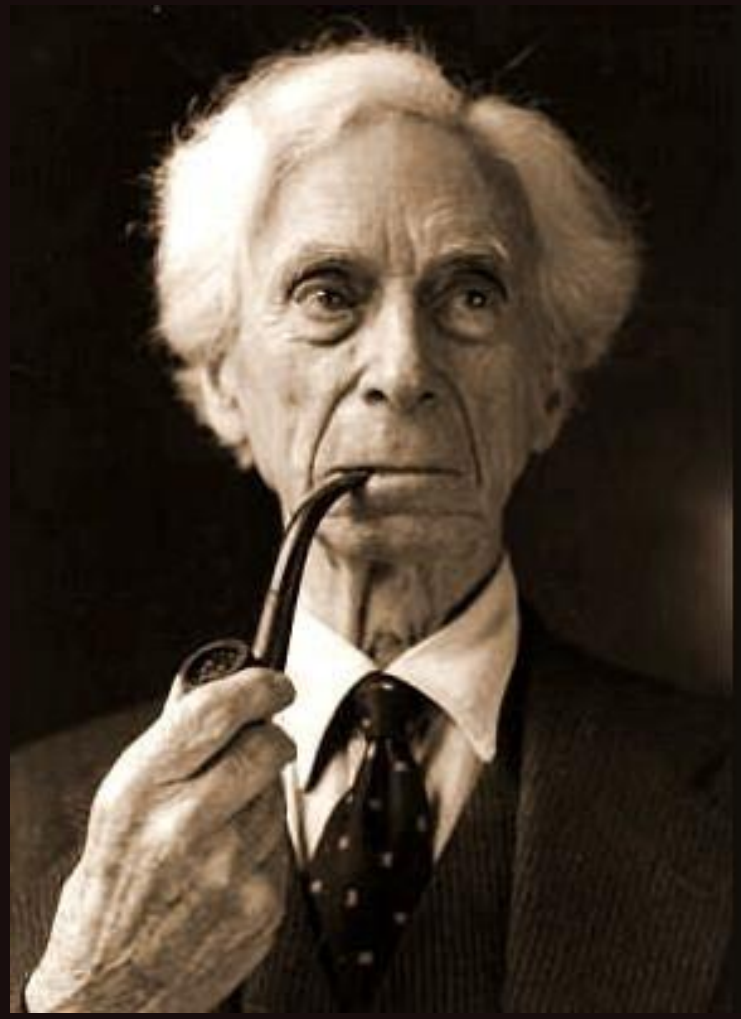
- Dispnea
- Dolore toracico
- Alterazione dello stato di coscienza
- Ridotta perfusione tessutale
- Emorragia acuta
- Intossicazione
- Disidratazione e/o ipovolemia
- Shock

QUANDO FARE UN'EMOGASANALISI?

Per inquadrare e trattare quanto prima condizioni patologiche come:

- Perdita transitoria di coscienza
- Trombosi venosa profonda o embolia polmonare
- Polmonite
- Sepsi
- Insufficienza cardiaca acuta
- Insufficienza renale acuta
- Chetoacidosi diabetica
- Dolore addominale acuto (ischemia o infarto intestinale)

DUBITO ERGO SUM



La causa principale
dei problemi è che
al mondo d'oggi
gli stupidi
sono strasicuri,
mentre gli intelligenti
sono pieni di dubbi.

Bertrand Russell

Grazie per
l’attenzione!!!