

Fisiologia della Respirazione

2.Ventilazione

FGE aa.2015-16

Obiettivi

- Muscoli inspiratori ed espiratori coinvolti nella respirazione a riposo, durante esercizio, iperpnea e iperventilazione
- Ventilazione polmonare totale e alveolare
- Volumi polmonari accessibili
- Determinazione del volume residuo
- Spazio morto alveolare e anatomico
- Distribuzione topografica della ventilazione

Muscoli respiratori

Muscoli inspiratori

1 Principali:

- **Diaframma** (n. frenico, C3-C5)

Sposta caudalmente il centro tendineo e fa espandere ed innalzare le coste sulle quali è inserito

- **Intercostali esterni** (n. spinali)

Irrigidiscono la cassa toracica; aumentano il diametro antero-posteriore della cassa toracica (azione a manico di secchio)

2 Accessori (inspirazione forzata)

- **Scaleni**
- **Sternocleidomastoideo**
- Muscoli del collo e del dorso
- Muscoli del primo tratto delle vie respiratorie

Muscoli respiratori

Muscoli espiratori

A riposo, l' espirazione è **passiva**. Non ci sono muscoli principali espiratori

2 Accessori (espirazione forzata, aumento delle resistenze al flusso, p.e. asma)

- **Addominali**

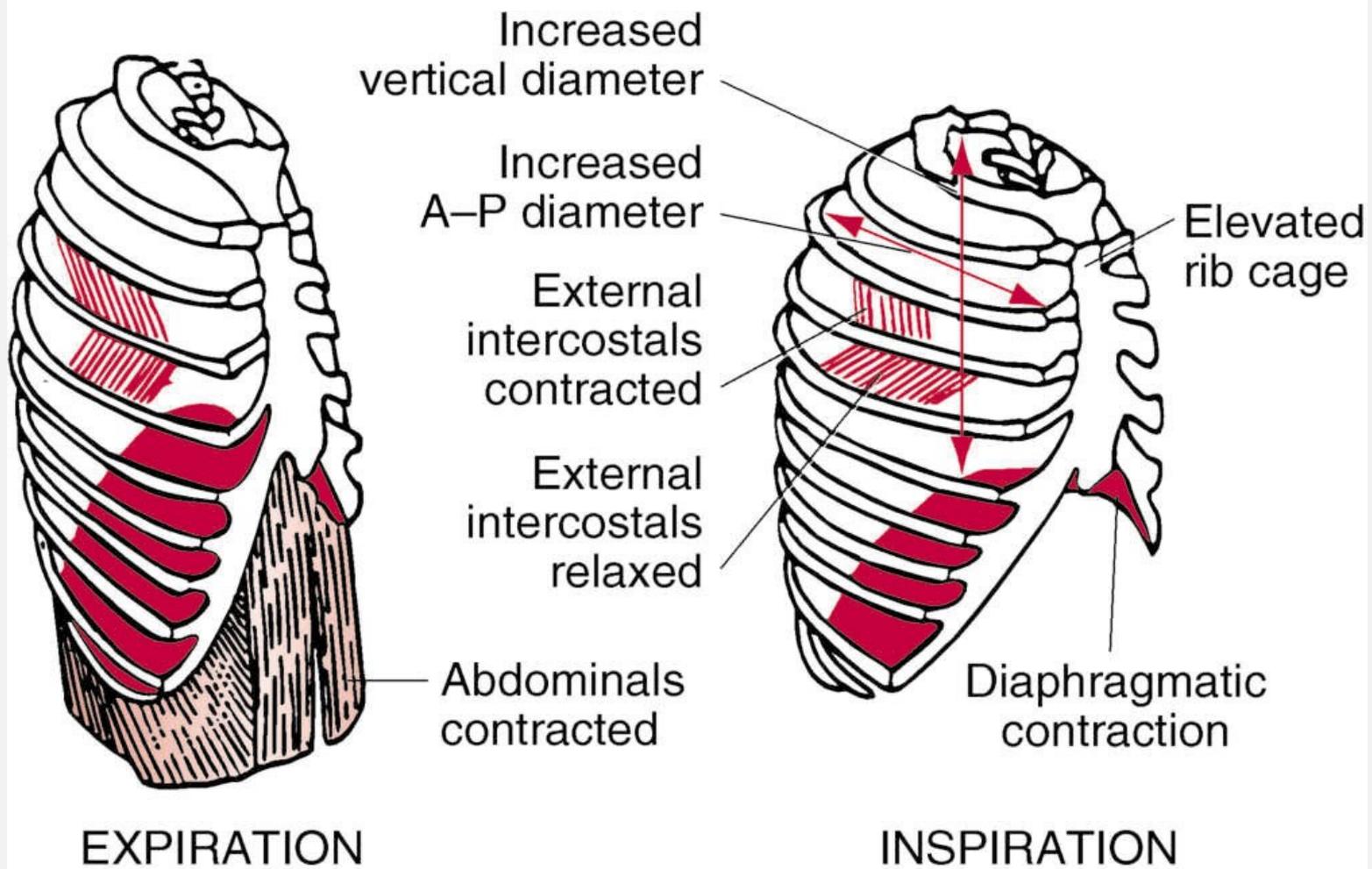
Aumentano la pressione addominale e spingono verso l' alto la cupola diaframmatica

- **Sternocleidomastoideo**

- **Intercostali interni**

- Muscoli del collo e del dorso

Muscoli respiratori



Ventilazione e Volumi Polmonari

- **Termini e definizioni**

Ventilazione polmonare totale ($V'_E{}^{\text{BTPS}}$, l min⁻¹)*

E' il volume di aria che entra ed esce nelle/dalle vie aeree in un minuto.

E' uguale al prodotto di **volume corrente** (V_T , l) per la **frequenza respiratoria** (f_r , cicli al minuto)

$$V'_E{}^{\text{BTPS}} = V_T \cdot f_r$$

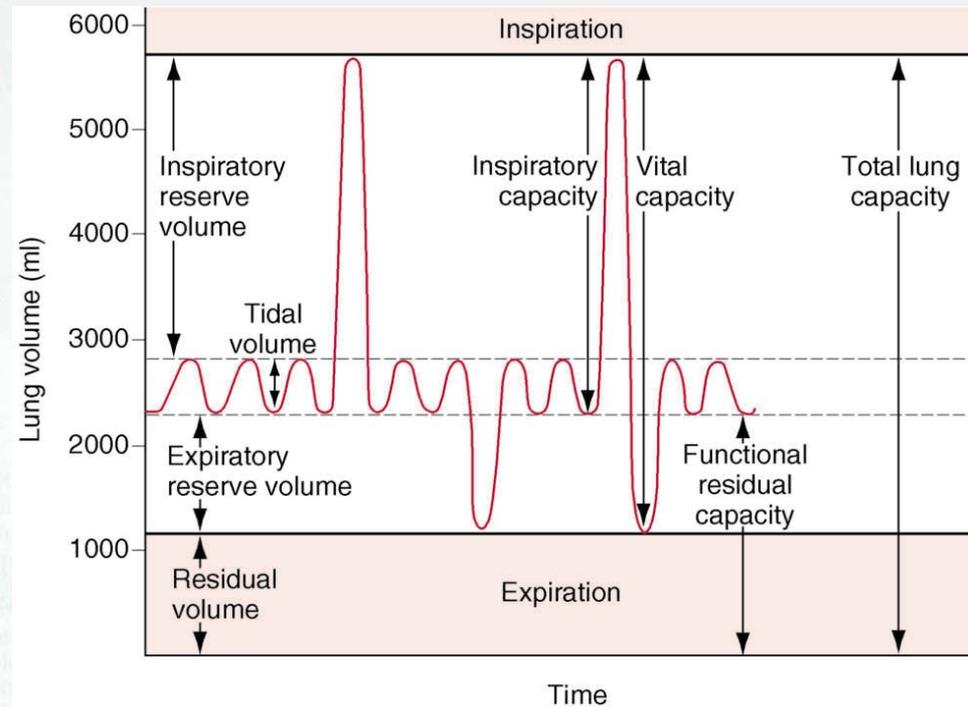
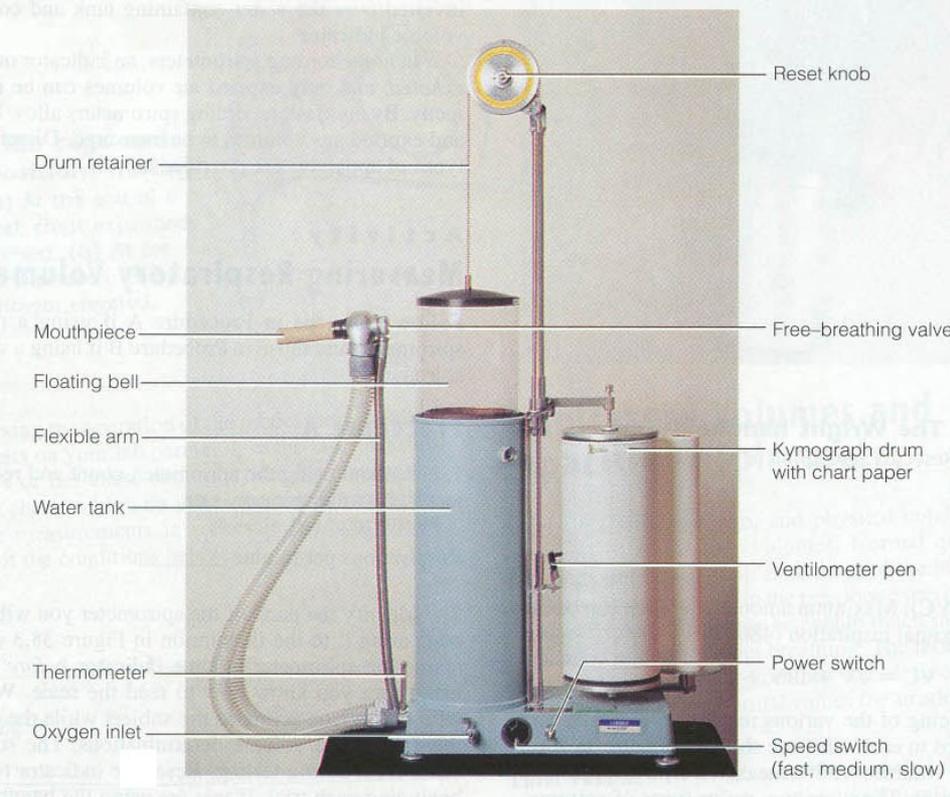
*Il volume inspiratorio è di solito di circa l' 1% più piccolo del volume che lascia le vie aeree. Si è deciso per convenzione di misurare il volume espiratorio.

Ventilazione Polmonare

	Riposo	Massimo lavoro aerobico	Lavoro sovramassimale anaerobico
V'_E BTPS	6	60	120
V_T BTPS	0.5	2	2.5
fr	12-15	30	44
$V' O_2$ STPD	0.25	2.5	3.5

Volumi polmonari

- La ventilazione ed i volumi polmonari si misurano in condizioni BTPS con lo **spirometro a campana**



Volumi Polmonari

- V_T : 0.4 - 0.5 l

- VRI: 1.9 - 2.5 l

(dipende dal volume corrente, dalla compliance polmonare, dalla forza dei muscoli inspiratori, dalla flessibilità della gabbia toracica, dalla postura)

- VRE: 1.1 - 1.5 l

- CV 3.4 - 4.5 l

- CPT: 4.9 - 6.4 l

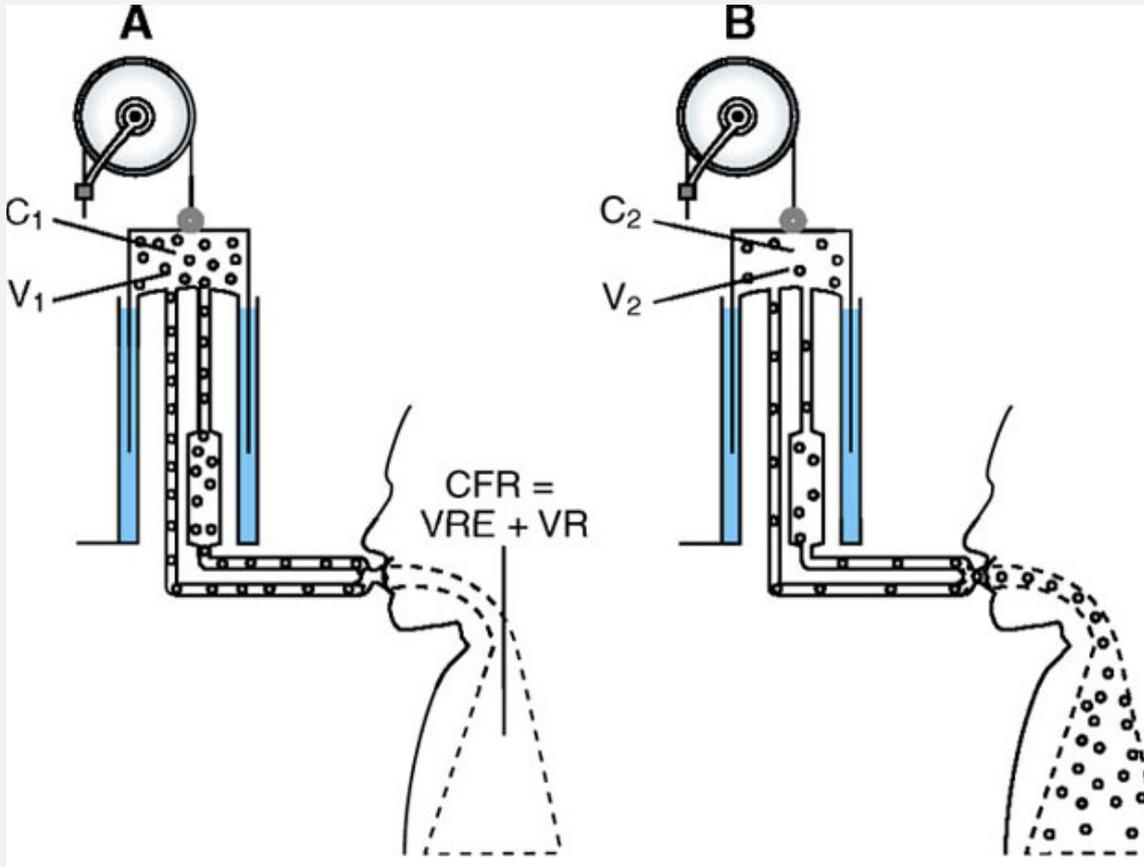
- CFR: 2.6 - 3.4 l

- CI: 2.3 - 3.0

- VR: è il volume di aria che rimane intrappolato nel polmone al termine di una espirazione forzata, 1.5 - 1.9 l

Determinazione del Volume Residuo

1. Metodo della diluizione dell'elio.

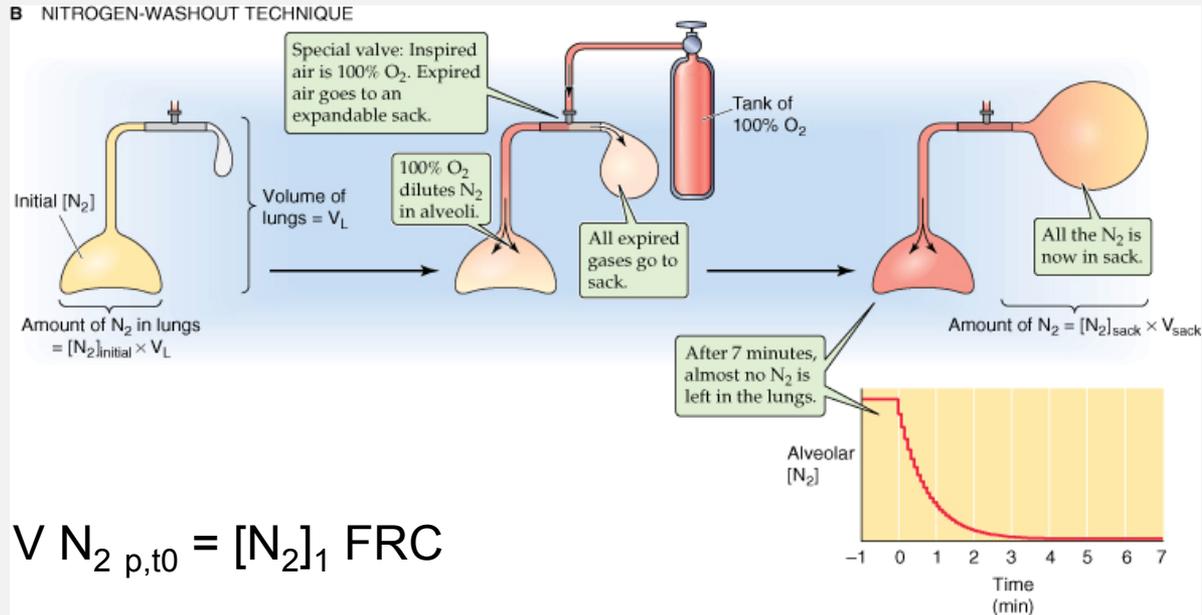


$$[He]_1 V_s = [He]_2 (V_s + V_{FRC})$$

$$V_{FRC} = V_s ([He]_1 / [He]_2 - 1)$$

Determinazione del Volume Residuo

2. Metodo del wash-out dell' azoto



$$V N_{2, p, t_0} = [N_2]_1 \text{ FRC}$$

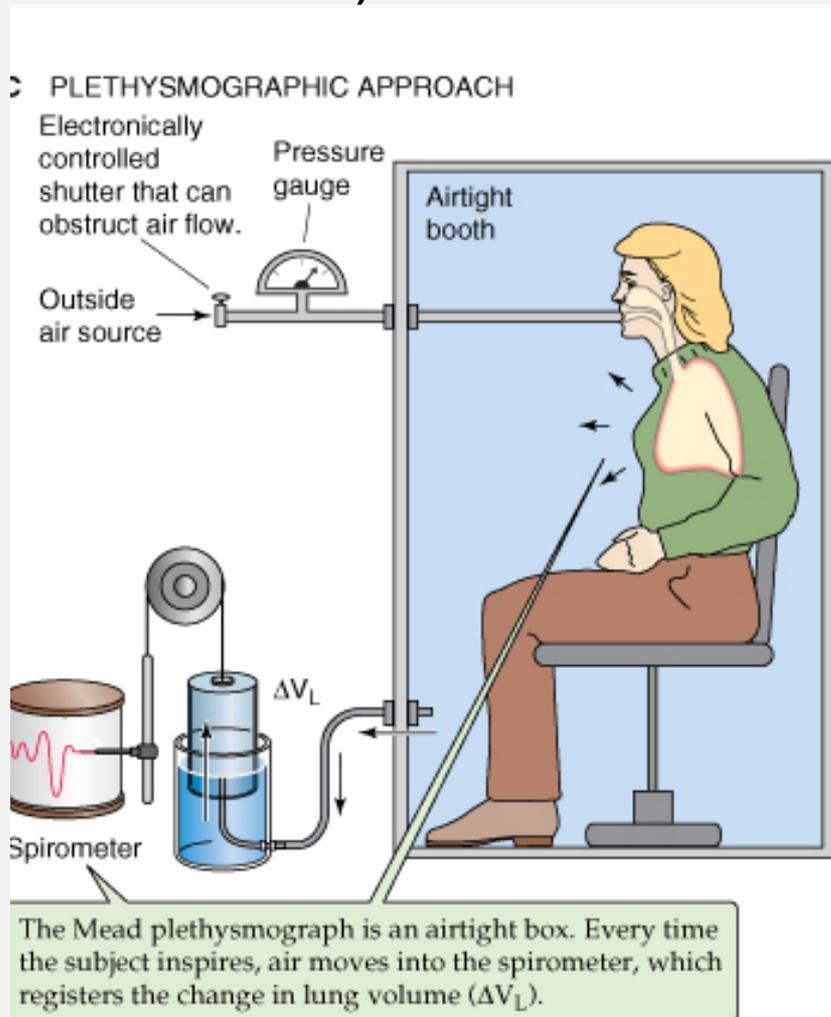
Si raccoglie tutta l' aria espirata in un sacco Douglas

$$[N_2]_1 \text{ FRC} = [N_2]_2 V_{\text{Douglas}}$$

$$\text{FRC} = ([N_2]_2 / [N_2]_1) V_{\text{Douglas}}$$

Determinazione del Volume Residuo

3. Metodo del pletismografo corporeo (metodo di Jerry Mead)



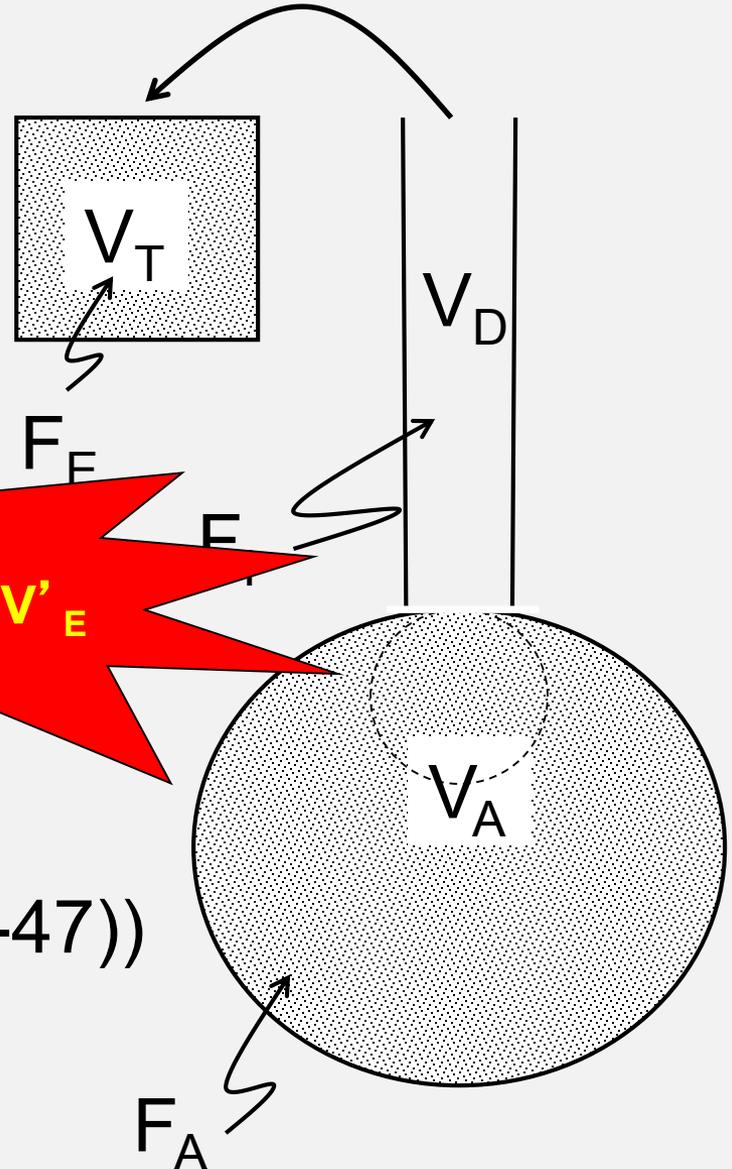
Legge di Boyle: $P V_L = \text{costante}$

- Si parte da $V_L = \text{FRC}$
- Durante inspirazione, lo spirometro legge l'aumento del volume polmonare ΔV_L
- Piccole inspirazioni contro resistenza infinita con aumento di V_L di un ammontare ΔV_L e diminuzione di P di una quantità ΔP
- $P V_L = (P - \Delta P) * (V_L + \Delta V_L)$
- $V_L = \Delta V_L * (P - \Delta P) / \Delta P$

- Es.o: $\text{FRC} = 0.05 \text{ L} * (760 - 12) \text{ mmHg} / 12 \text{ mmHg} = 3.11 \text{ L}$

Ventilazione totale (V_E) e alveolare (V_A)

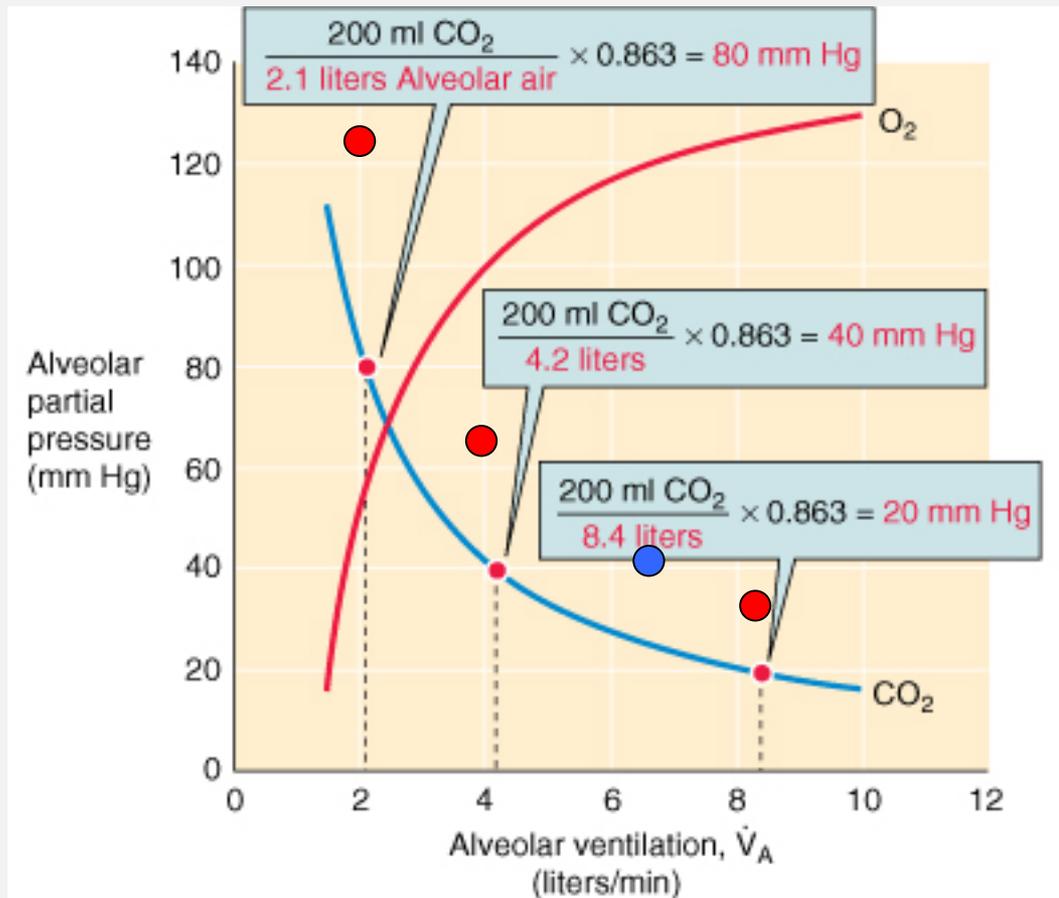
- $V_T = V_D + V_A$
- $V_T \cdot fr = (V_D + V_A) \cdot fr$
- $V'_E = V'_D + V'_A$
- $V'_A = V'_E - V'_D$
- $V'_{CO_2} = V'_A \cdot F_A CO_2$
- $V'_A = V'_{CO_2} \cdot 100 / \%CO_2$
- $V'_A = V'_{CO_2} \cdot 1 / F_A CO_2$
- $V'_A = V'_{CO_2} \cdot 100 / (PCO_2 / (P_B - 47))$
- $P_A CO_2 \approx P_a CO_2$



* V_{CO_2} in STPD

Ventilazione alveolare e \dot{V}'_{CO_2}

- $F_A CO_2 - P_A CO_2$ sono inversamente proporzionali a \dot{V}'_A



- $300/4.2 \times 0.863 = 61$ mmHg
- $300/40 \times 0.863 = 6.5$ L/min

Spazio morto fisiologico

- E' la **somma dello spazio morto anatomico ed alveolare** (alveoli ventilati e non perfusi)
- Si calcola con l' **equazione di Bohr**
- $V_E \cdot F_E \text{CO}_2 = V_A \cdot F_A \text{CO}_2 = V\text{CO}_2$
- $V_E = V_A + V_D$
- $V_A = V_E - V_D$
- $V_E \cdot F_E \text{CO}_2 = (V_E - V_D) \cdot F_A \text{CO}_2$

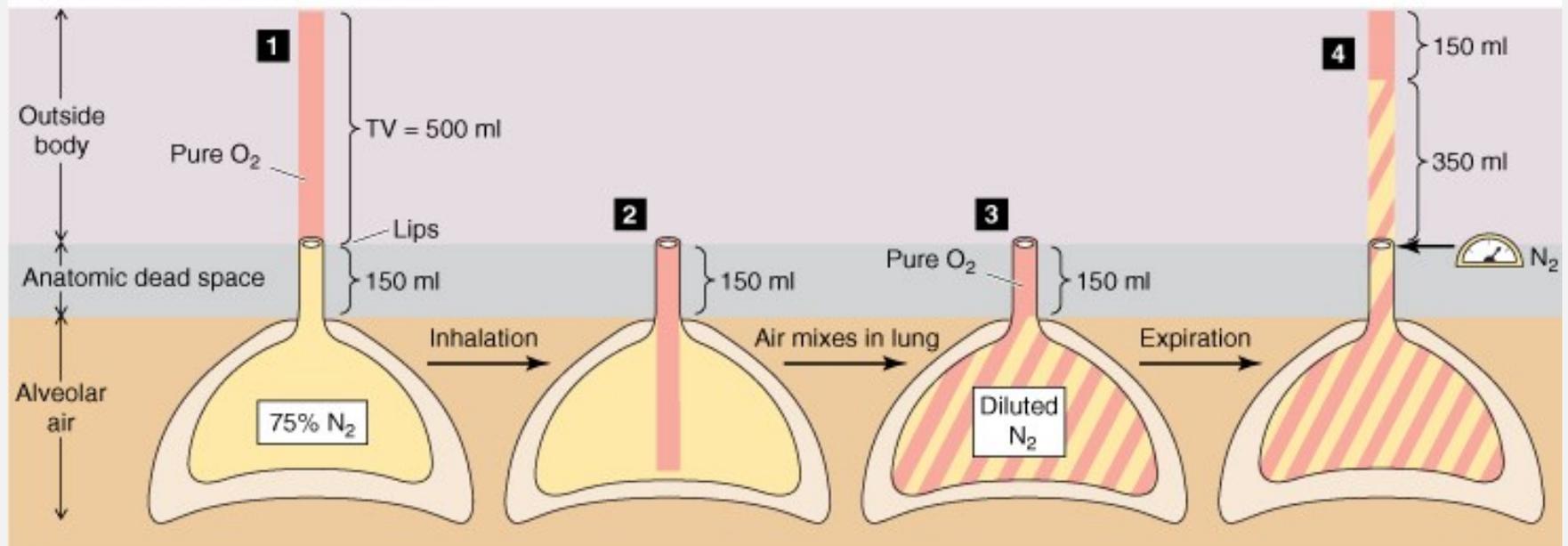
$$\frac{V_D}{V_E} = \frac{F_A - F_E}{F_A}$$

$$\frac{V_D}{V_E} = \frac{P_{a\text{CO}_2} - P_{e\text{CO}_2}}{P_{a\text{CO}_2}} = 0.2 - 0.35$$

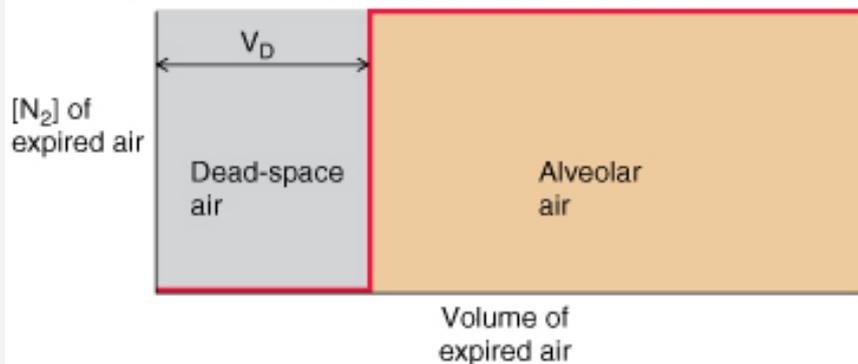
Spazio morto anatomico

- E' il volume delle vie di conduzione
- E' misurato con il metodo di Fowler (*single breath N₂ wash-out*)

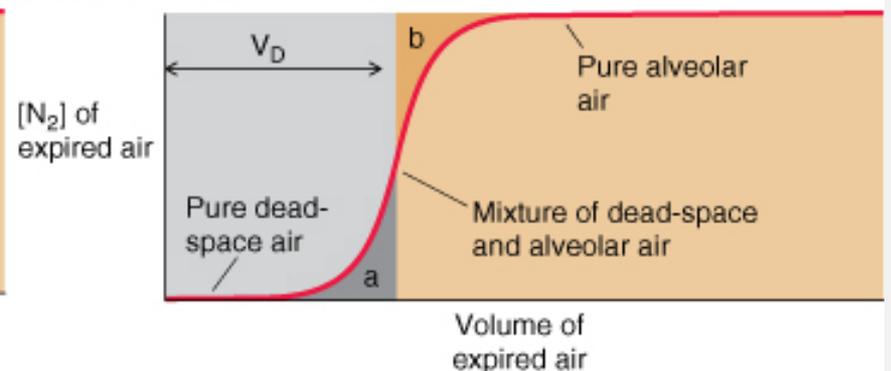
A DILUTION OF INSPIRED 100% O₂



B [N₂] PROFILE OF EXPIRED AIR WITH NO MIXING

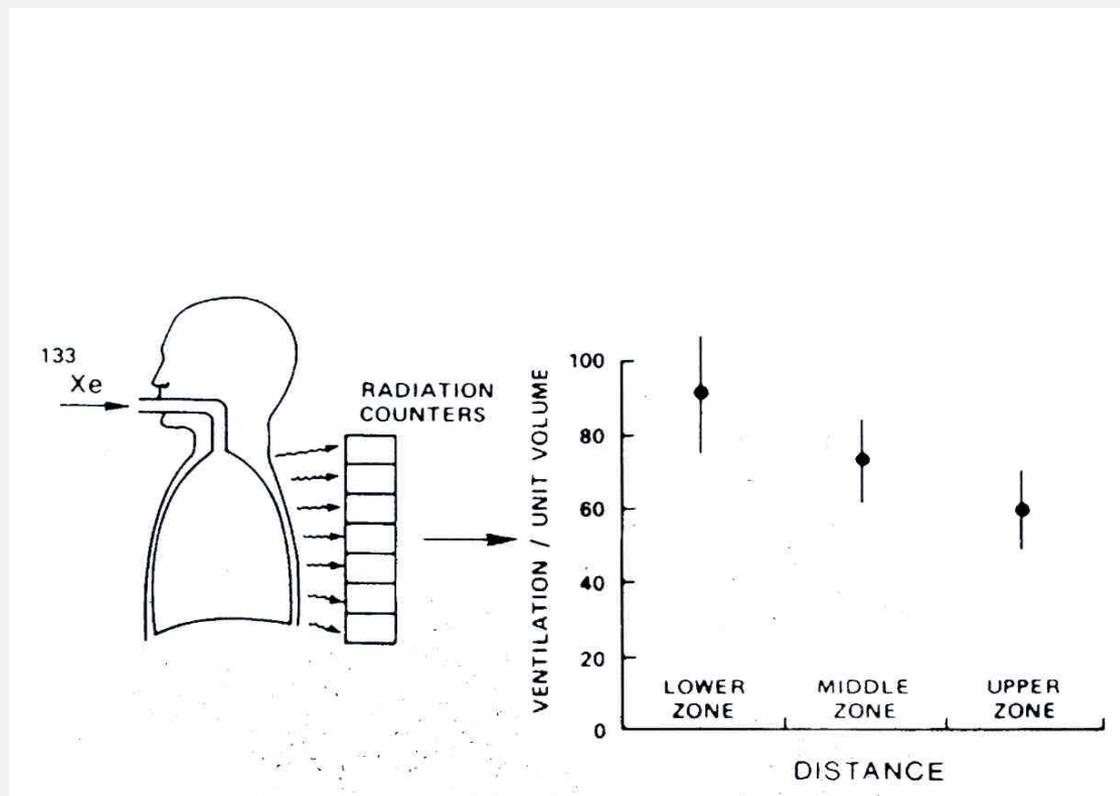


C MEASURED [N₂] PROFILE



Distribuzione regionale della ventilazione

- Ricordiamo come è distribuita la ventilazione alveolare
- L'aria inspirata non si distribuisce uniformemente nelle varie parti del polmone;
- **La ventilazione per unità di volume polmonare è maggiore nelle parti inferiori e minore in quelle superiori.**



Bibliografia

- **Fisiologia dell'Uomo, autori vari, Edi.Ermes, Milano**
 - **Capitolo 12: il Polmone (Capitolo 12.4)**
- Fisiologia Medica, a cura di Conti F, seconda edizione, Edi.Ermes, Milano
 - Capitoli 50 e 51: Meccanica respiratoria, Scambi gassosi
- West JB, Fisiologia della Respirazione, IV edizione italiana, PICCIN, Padova