

Fisiologia della Respirazione

7.Meccanica respiratoria: dinamica

FGE aa.2015-16

Obiettivi

- Relazione P-flusso in regime di flusso lineare; resistenze
- Flusso turbolento e numero di Reynolds
- Flusso di transizione
- Resistenze aeree polmonari
- Pressioni pleurica, alveolare, e transpolmonare durante il ciclo respiratorio
- Lavoro respiratorio

Analogo Meccanico dell'Apparato Respiratorio

$$P = f_1 V + f_2 \dot{V} + I \ddot{V}$$

- Il termine $f_2 \dot{V}$ rappresenta la reazione al moto dell'aria e dei tessuti e viene studiato in **dinamica**

Flusso Laminare

- Il flusso \dot{V} è proporzionale alla differenza di pressione (ΔP) ed è inversamente proporzionale alla resistenza R

$$\dot{V} = \frac{\Delta P}{R}$$

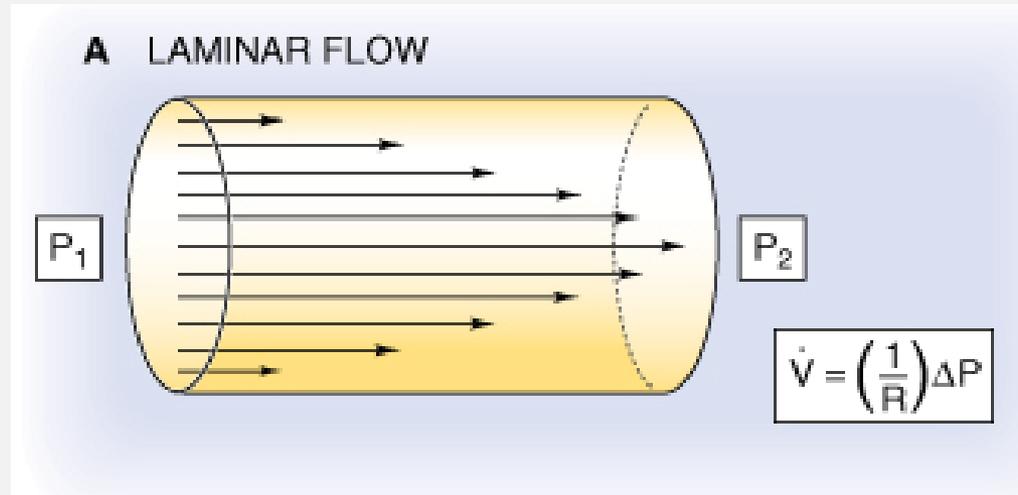
ΔP è la pressione necessaria per sostenere il moto dell'aria e vincere le resistenze viscosse delle strutture tessutali; essa è data dalla differenza fra la pressione a monte e a valle delle masse in moto: P_B e P_A

Resistenze al flusso

- R è proporzionale alla viscosità (η) ed alla lunghezza (l) del condotto, ma è inversamente proporzionale alla quarta potenza del raggio r

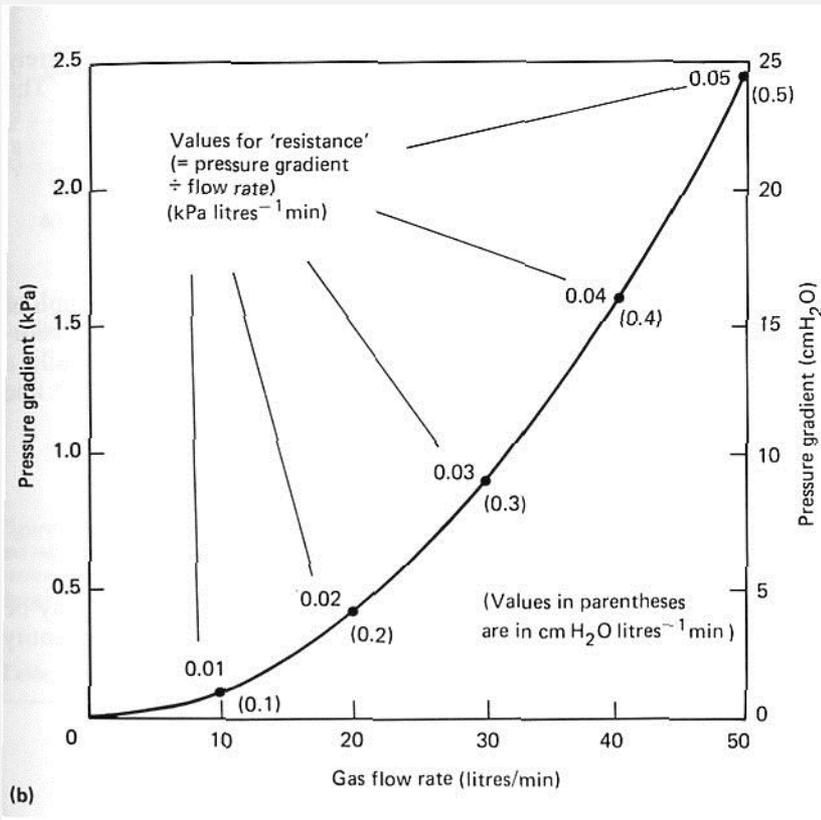
$$R = \frac{8}{\pi} \cdot \frac{\eta l}{r^4}$$

- Il profilo della velocità di liquido che si muove con flusso laminare è parabolico



Flusso turbolento

- Se la velocità media del flusso supera un certo valore **critico**, il flusso diventa **turbolento**;
- In questo caso si sviluppano vortici e R aumenta notevolmente. La relazione tra flusso e pressione non è più lineare.



$$\Delta P = k_1 V' + k_2 (V')^2$$

$$\Delta P \text{ (cm H}_2\text{O)} = 2.4 V' + 0.3 (V')^2$$

$$\Delta P = K (V')^n$$

$$\Delta P \text{ (cm H}_2\text{O)} = 2.4 (V')^{1.3}$$

Flusso turbolento

- In condizioni ideali, il flusso rimane lineare se il cosiddetto numero di Reynolds (Re) è inferiore a 2000*

$$\text{Re} = \frac{2 r \bar{v} \rho}{\eta}$$

La caratteristica del gas che influenza Re è il rapporto tra η e ρ : la viscosità cinematica del gas (ν);

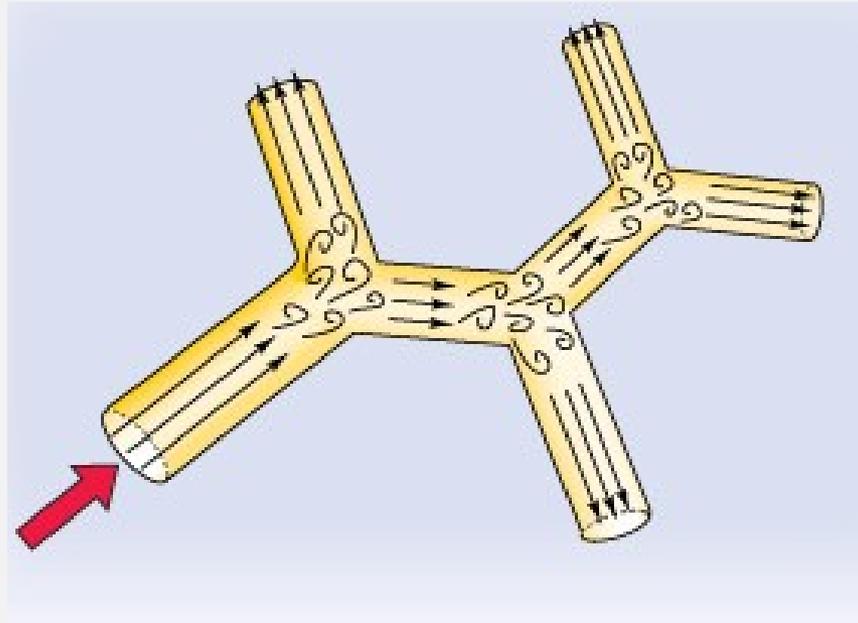
η dei gas respiratori (O_2 , N_2 , He, N_2O) è molto simile, mentre vi sono marcate differenze nelle singole ρ .

	Viscosità	Densità	ν
Ossigeno	1.11	1.11	1.00
70% N_2O /30% O_2	0.89	1.41	0.63
80% He/20% O_2	1.08	0.33	3.22

*se Re è > 3000, il flusso è turbolento, se Re è tra 2000 e 3000 il flusso è instabile

Flusso di transizione

- La particolare anatomia delle vie aeree (curve, biforcute, corte) induce turbolenza nelle vie aeree anche quando Re è inferiore a 2000;
- Si parla di flusso di **transizione**;
- Re fisiologico è addirittura uguale a 1;
- In pratica il flusso laminare è solo presente nelle vie aeree distali



Resistenze aeree nel polmone sano e patologico

- Nel polmone sano, la frazione più grande della resistenza al flusso è dovuta alle grandi vie aeree
- Quelle piccole (diam < 2mm) sono moltissime e disposte in parallelo

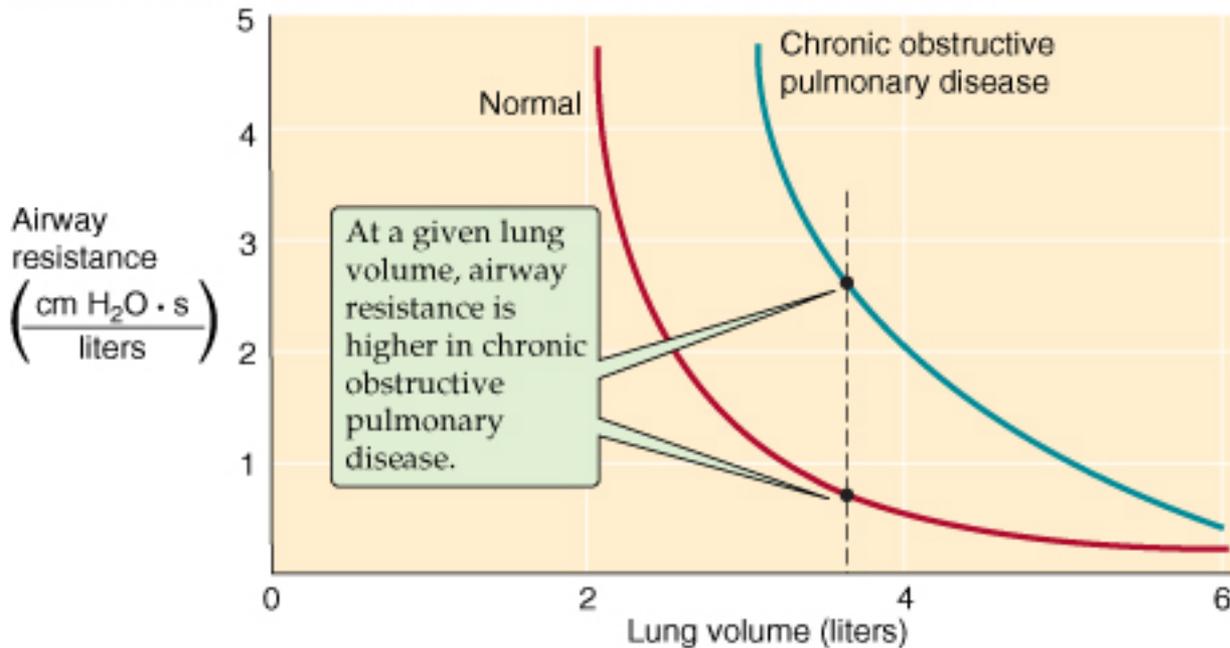
Localizzazione	Normale	COPD
Faringe - Laringe	0.6	0.6
Vie aeree > 2mm Ø	0.6	0.9
Vie aeree < 2mm Ø	0.3	3.5
Resistenza Totale	1.5	5.0

U.M.: cm H₂O/(l s⁻¹)

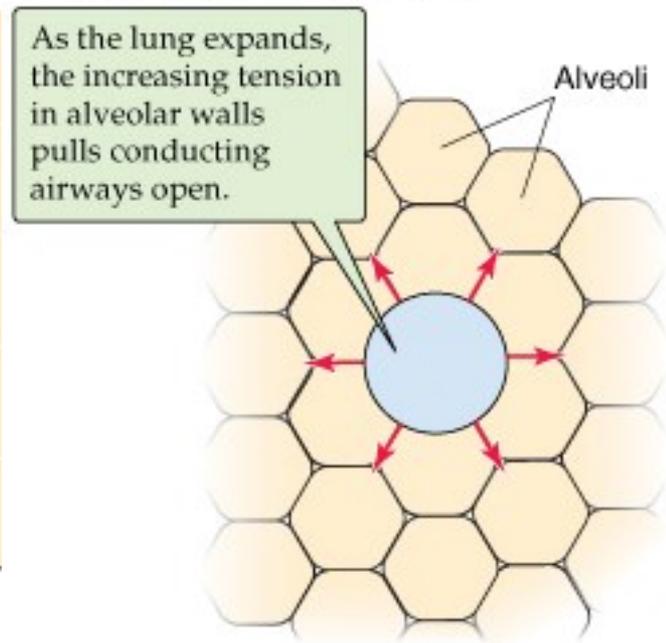
- COPD: tutto l'incremento delle R_t è dovuto all'aumento di R nelle piccole vie aeree

Volume polmonare e resistenze

A DEPENDENCE OF AIRWAY RESISTANCE ON LUNG VOLUME



B MECHANICAL TETHERING



Pressioni pleurica, alveolare e transpolmonare durante il ciclo respiratorio

- La pressione transpolmonare P_{tp} è la differenza tra P_A e P_{pl} (P_{es})

$$P_{tp} = P_A - P_{pl}$$

- P_A è sempre uguale alla somma di P_{pl} (P_{es}) e P_{tp} :

$$P_A = P_{pl} + P_{tp}$$

- P_{tp} è un parametro **statico**. Essa determina, assieme alla compliance, il volume polmonare sia in condizioni *statiche* che in condizioni *dinamiche* (ciclo respiratorio)
- P_A è un parametro **dinamico**. Essa determina, assieme alle resistenze, il flusso ventilatorio.
- P_{pl} è la pressione che viene direttamente controllata dai centri respiratori

$$P_{pl} = (-P_{tp}) + P_A$$

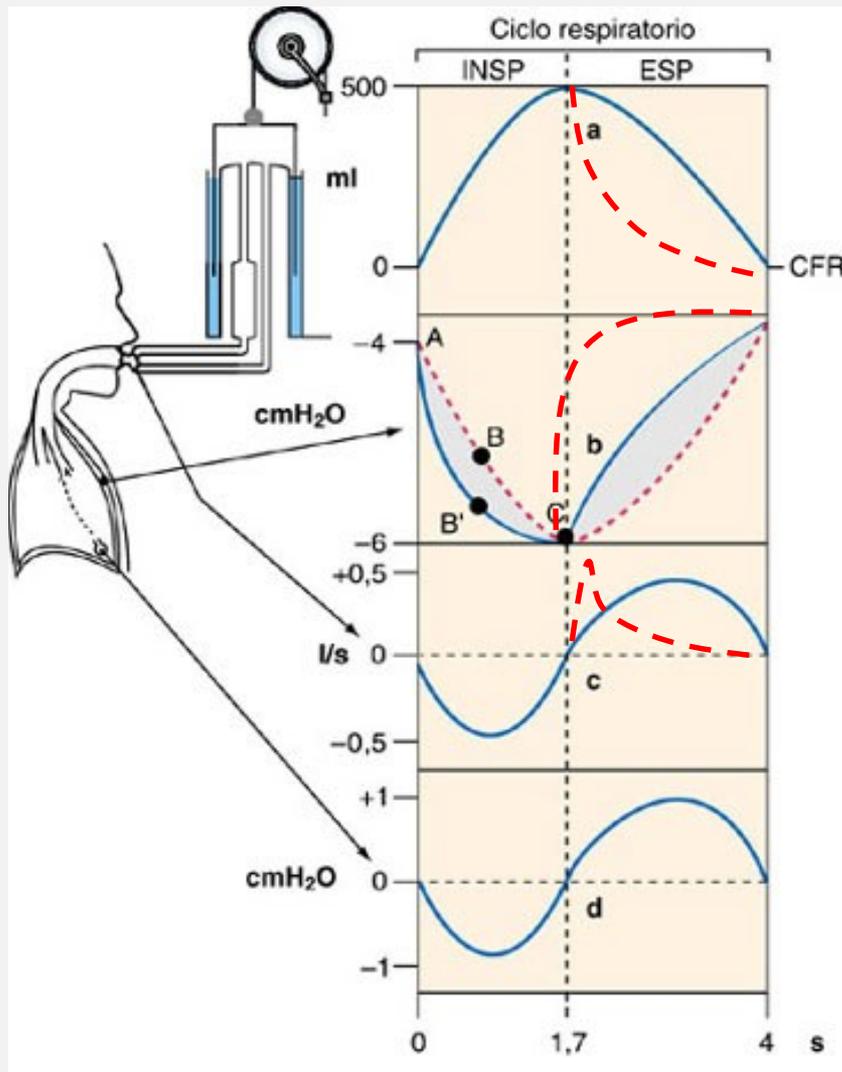
Pressioni pleurica, alveolare e transpolmonare durante il ciclo respiratorio

Quindi durante l'inspirazione, il fatto che P_{pl} assuma valori negativi ha due effetti

1. Il sistema fa sì che P_A diventi transitoriamente negativa. Ciò sostiene il flusso inspiratorio ed aumenta il volume polmonare.
2. Mano a mano che l'inspirazione procede, la tensione dei muscoli respiratori è dedicata a rendere sempre più grande e positiva P_{tp} . Ciò consente di mantenere il volume raggiunto a causa dell'incremento di flusso.
3. Al termine dell'inspirazione, tutta la tensione muscolare è impiegata per mantenere il volume.

Ciclo respiratorio spontaneo

V , V' , P_{pl} e P_A durante il ciclo respiratorio



1. A riposo

L'inspirazione ha una durata inferiore rispetto all'expiratione

La pressione generata dai muscoli inspiratori raggiunge il picco poco prima della fine dell'inspirazione e si riduce gradualmente nella prima metà dell'expiratione.

L'attività persistente dei muscoli inspiratori durante la prima fase dell'expiratione ha un effetto frenante (lavoro negativo)

I muscoli espiratori non intervengono

2. Esercizio fisico di media intensità

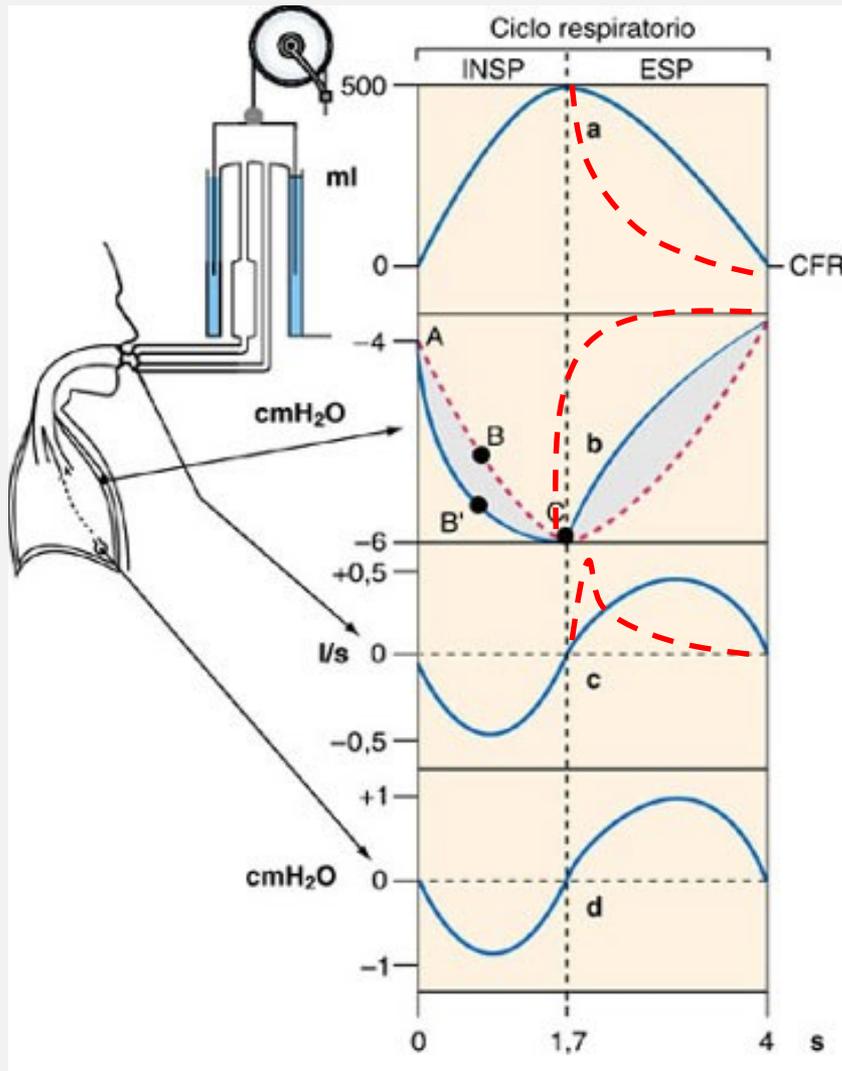
Inspirazione e expiratione hanno circa la stessa durata

L'attività dei muscoli inspiratori in expiratione si riduce

Nella seconda metà dell'expiratione intervengono i muscoli espiratori

Ciclo respiratorio spontaneo

V , V' , P_{pl} e P_A durante il ciclo respiratorio

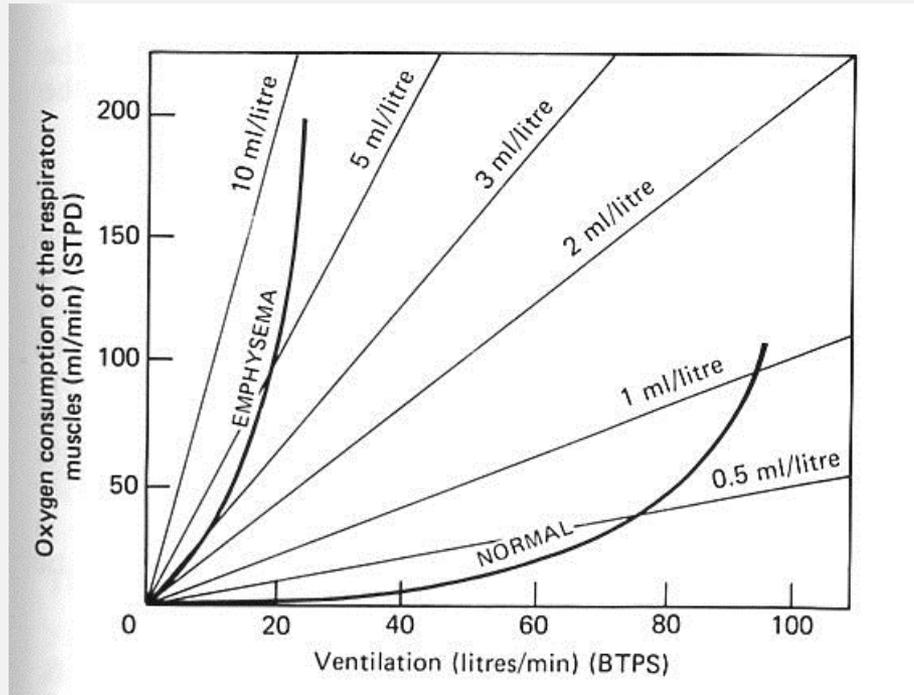


3. Massimo esercizio aerobico
Volume a fine espirazione diventa inferiore a FRC
Il contributo dei muscoli espiratori diventa notevole
L'attività di quelli inspiratori inizia prima che sia cessata quella dei muscoli espiratori
4. Esercizio fisico sovramassimale
VT sino a 50 % di CV
Dopo, aumenta solo frequenza (sino a 45 cicli al minuto)

Lavoro della Respirazione

A riposo, metà del lavoro meccanico inspiratorio è dissipato in calore per vincere le resistenze al flusso

L'altra metà è svolto per deformare le strutture elastiche ed è immagazzinato come energia potenziale



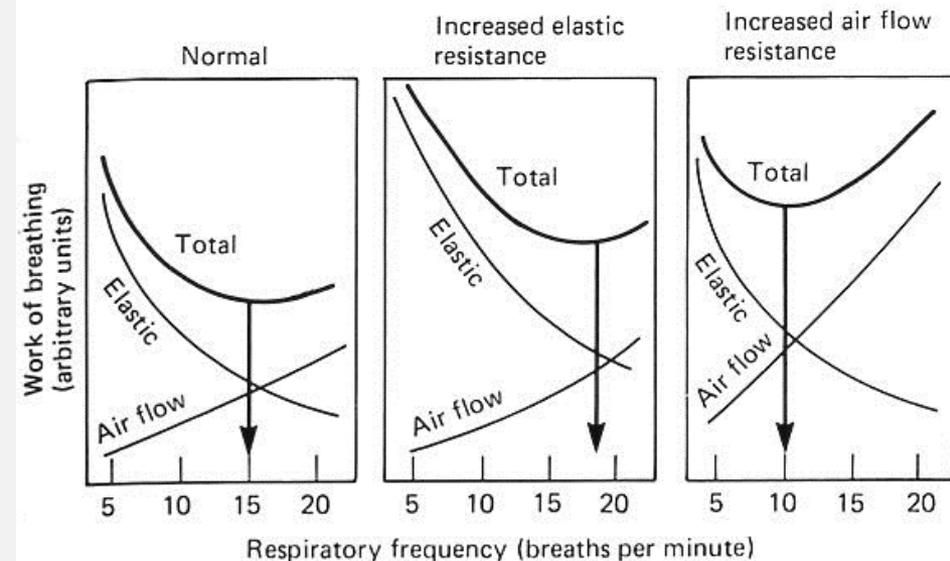
$V'O_2$ normalmente a riposo è circa 3 ml/min (< 2 % del metabolismo basale)

Il rendimento meccanico della respirazione è circa del 10 %

Esso decade ulteriormente alle ventilazioni massimali e in alcune patologie

In questo caso, l'incremento di $V'O_2$ raggiunto grazie all'incremento della ventilazione è utilizzato esclusivamente per compiere lavoro respiratorio

Minimo Lavoro della Respirazione



- Per la stessa ventilazione polmonare totale, il lavoro compiuto contro le resistenze elastiche aumenta se la respirazione è lenta e profonda
- Al contrario, il lavoro contro le resistenze al flusso aumentano se la respirazione è superficiale e veloce
- Se si sommano le due componenti, si nota che il lavoro totale è minimizzato in corrispondenza di una determinata frequenza respiratoria
- Se aumenta il lavoro contro le resistenze elastiche → la frequenza ottimale aumenta
- Se aumenta il lavoro contro le resistenze al flusso → la frequenza ottimale diminuisce

Bibliografia

- **Fisiologia dell'Uomo, autori vari, Edi.Ermes, Milano**
 - Capitolo 12: I polmone (Capitoli 12.6, 12.7)
- **Fisiologia Medica, a cura di Conti F, seconda edizione, Edi.Ermes, Milano**
 - Capitolo 50.2: Dinamica del sistema toracopolmonare
- **West JB, Fisiologia della Respirazione, IV edizione italiana, PICCIN, Padova**