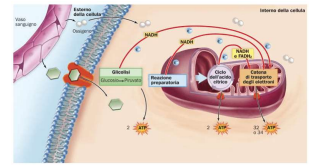


Sistema respiratorio

Siamo creature aerobie



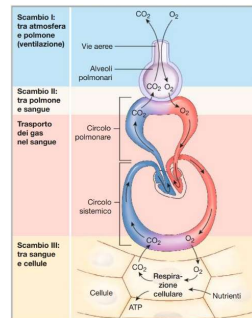
Abbiamo **un unico macro-obiettivo**:
garantire un **adeguato trasporto di ossigeno ai tessuti**
per sostenere il metabolismo ossidativo!

Garantire un adeguato trasporto di ossigeno ai tessuti

Interazione cardiopolmonare

Visione integrata della funzione dei sistemi respiratorio e cardiocircolatorio, anatomicamente e funzionalmente integrati

- interagiscono per apportare ossigeno ai tessuti (e rimuovere CO₂)
- cuore, polmoni e grossi vasi condividono uno spazio limitato da strutture osteo-muscolari: ogni variazione intratoracica di pressione o volume ha profonde influenze sulle strutture limitrofe



Principali funzioni del sistema respiratorio

Funzioni respiratorie

- Scambio di gas:
 - tra atmosfera e sangue (assorbimento di O₂)
 - tra sangue e atmosfera (eliminazione di CO₂)

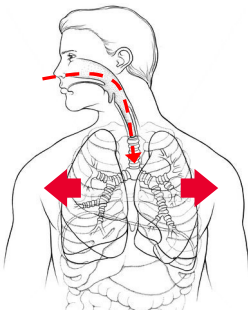
Funzioni non respiratorie

- Contributo al ritorno venoso (pompa respiratoria)
- Vocalizzazione
- Protezione da materiali inalati (es. microrganismi patogeni, polveri)
- Eliminazione di H₂O e cessione di calore
- Regolazione omeostatica del pH corporeo mediante escrezione e ritenzione selettiva di CO₂
- Conversione angiotensina 1 in angiotensina 2 (enzima ACE, endotelio vascolare polmonare)

Come ci arriva l'ossigeno nel sangue?

Necessari tre processi affinché l'ossigeno presente nell'ambiente esterno venga immesso nel sangue:

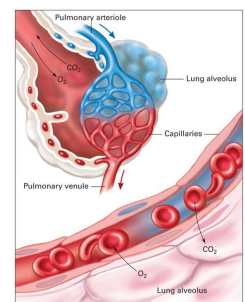
- Ventilazione**: processo attraverso cui l'aria viene inspirata ed espirata dai polmoni



Come ci arriva l'ossigeno nel sangue?

Necessari tre processi affinché l'ossigeno presente nell'ambiente esterno venga immesso nel sangue:

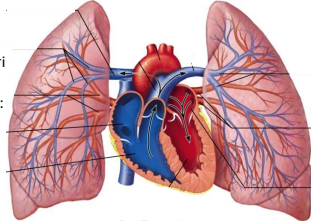
- Ventilazione**: processo attraverso cui l'aria viene inspirata ed espirata dai polmoni
- Diffusione**: passaggio dell'ossigeno dagli alveoli al sangue dei capillari polmonari



Come ci arriva l'ossigeno nel sangue?

Necessari tre processi affinché l'ossigeno presente nell'ambiente esterno venga immesso nel sangue:

- **Ventilazione:** processo attraverso cui l'aria viene inspirata ed espirata dai polmoni: trasporta O_2 e CO_2
- **Diffusione:** passaggio di O_2 e CO_2 dagli alveoli al sangue dei capillari polmonari
- **Perfusione:** flusso di sangue che il sistema cardiovascolare pompa attraverso i polmoni: trasporta O_2 e CO_2



Fisiologia del SISTEMA RESPIRATORIO

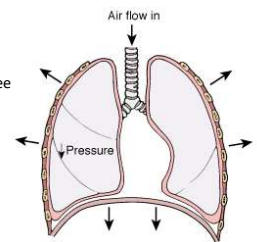
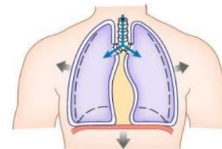
Flusso dell'aria nelle vie aeree: la VENTILAZIONE

Da cosa è generato il flusso d'aria nel sistema respiratorio?

- Se si riduce il volume di un gas la pressione aumenta, se il suo volume aumenta la pressione diminuisce (legge di Boyle)
- L'aria si sposta da zone ad alta pressione verso zone a bassa pressione
- I **cambiamenti di volume della cavità toracica** durante la ventilazione generano **gradienti di pressione** che determinano il flusso d'aria
- Meccanismo detto «flusso di massa» perché non selettivo per un solo gas: a muoversi è l'intera miscela dei gas che compongono l'aria

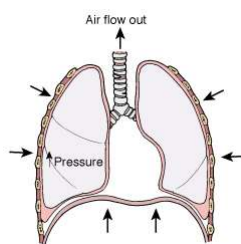
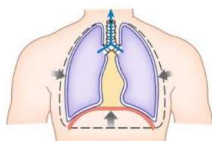
Cosa determina i cambiamenti di volume della cavità toracica?

INSPIRAZIONE
 ↓
 aumento volume gabbia toracica
 ↓
 creazione **pressione intratoracica negativa**
 ↓
 richiamo («aspirazione») dell'aria nelle vie aeree

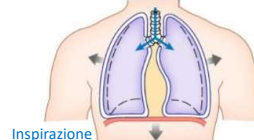
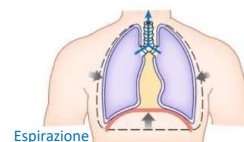


Cosa determina i cambiamenti di volume della cavità toracica?

ESPIRAZIONE
 ↓
 riduzione volume gabbia toracica
 ↓
 creazione **pressione intratoracica positiva**
 ↓
 uscita («espulsione») dell'aria dalle vie aeree



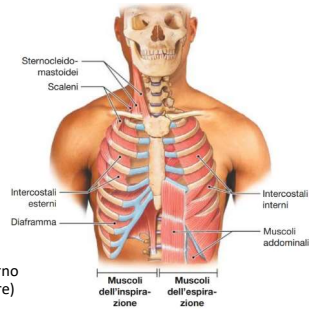
Il lavoro del muscolo diaframma



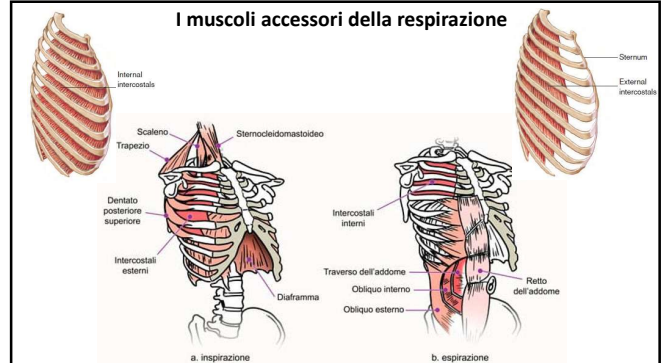
L'aiuto dei muscoli accessori della respirazione

Aumento volume intratoracico

- **Diaframma:** 60-75% (abbassamento con aumento diametro rostro-caudale)
- **Intercostali esterni e scaleni:** 25-40% (trazione delle coste verso l'alto e l'esterno con aumento diametro antero-posteriore)



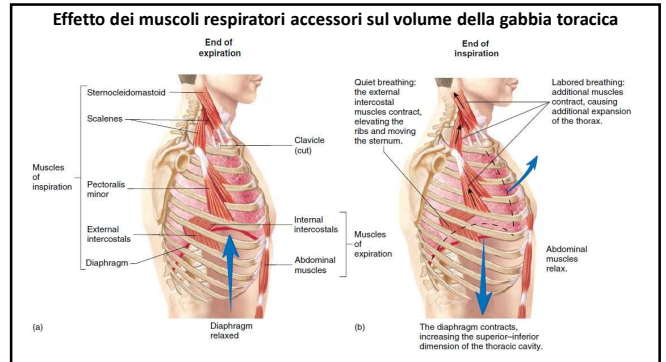
I muscoli accessori della respirazione



I muscoli accessori della respirazione

	INSPIRAZIONE	ESPIRAZIONE
NORMALE	Contrazione di: - Intercostali esterni - Diaframma	Rilassamento di: - Intercostali esterni - Diaframma
FORZATA	Contrazione di: - Dentato posteriore superiore - Elevatori delle coste (o sopracostale) - Elevatore della scapola - Gran dentato - Gran dorsale - Gran pettorale - Ileo-costale del collo - Piccolo pettorale - Scaleno anteriore, medio e superiore - Sopra e Sottoioidee - Sternocleidomastoideo (capo sternale e clavicolare) - Succlavio - Trapezio	Contrazione di: - Dentato posteriore inferiore - Obliquo esterno - Obliquo interno - Quadrato dei lombi - Retto dell'addome - Trasverso dell'addome - Triangolare dello sterno

Effetto dei muscoli respiratori accessori sul volume della gabbia toracica



Per respirare serve tanta energia: il lavoro respiratorio

- Lavoro utile a generare i gradienti di pressione richiesti per il flusso d'aria
- **In condizioni fisiologiche**
 - è determinato dalla contrazione muscolare in fase inspiratoria (l'espirazione è quasi del tutto passiva, grazie al richiamo elastico)
 - contribuisce al 3-5% del dispendio energetico del nostro organismo
- Principali determinanti del lavoro inspiratorio
 1. forze elastiche polmonari e della gabbia toracica (compliance work o lavoro elastico): 65%
 2. resistenze al flusso d'aria nelle vie aeree
 3. funzione pleurica
 4. tendenza degli alveoli a collabire (tensione superficiale)

Determinanti (ostacoli e facilitazioni) del lavoro respiratorio

1. Compliance ed elastanza dei polmonari

Elastanza (o resistenza elastica)

- Capacità del polmone di resistere alla deformazione e di riassumere la propria forma originale quando cessa la forza che lo deforma

Compliance (o cedevolezza)

- Capacità dei polmoni di aumentare di volume in risposta alla pressione esercitata
- Un polmone con elevata compliance si dilata con facilità (come una persona compiacente si fa convincere senza contrastare)
- Un polmone con bassa compliance ha bisogno di un lavoro maggiore dei muscoli inspiratori per dilatarsi

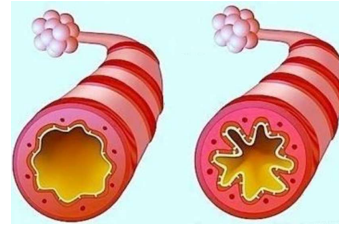
Due proprietà inverse e complementari

- Un polmone che ha perso tessuto elastico potrebbe espandersi facilmente (compliance elevata) ma non aver capacità di tornare al suo volume di riposo quando la forza di stiramento viene meno (bassa elastanza)

Determinanti (ostacoli e facilitazioni) del lavoro respiratorio
2. Resistenza delle vie aeree

	Nome	Divisione	Diametro (mm)	Numero	Area trasversale (cm ²)
Sistema di conduzione	Trachea	0	15-22	1	2,5
	Bronchi principali	1	10-15	2	↓
		2		4	
		3		↓	
		4		↓	
	Bronchi più piccoli	5	1-10	6-11	1 × 10 ⁴
6-11		2 × 10 ⁴			
Superficie di scambio	Bronchioli	1-23	0,5-1	8 × 10 ⁷	5 × 10 ³
	Alveoli	24	0,3	3-6 × 10 ⁸	>1 × 10 ⁶

Determinanti (ostacoli e facilitazioni) del lavoro respiratorio
2. Resistenza delle vie aeree



broncodilatazione broncoconstrizione

- Variazioni di calibro dei bronchi
- La contrazione della muscolatura liscia (broncoconstrizione) riduce il flusso d'aria, mentre il rilassamento (broncodilatazione) lo aumenta
- Capacità massima nei piccoli bronchi e nei bronchioli

Determinanti (ostacoli e facilitazioni) del lavoro respiratorio
2. Resistenza delle vie aeree

Controllo locale di bronchioli e arteriole

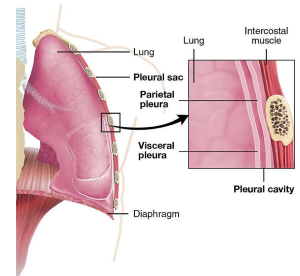
- In presenza di stimoli irritanti i neuroni parasimpatici inducono broncoconstrizione
- Un aumento del tono simpatico (adrenalina) causa broncodilatazione
- Meccanismi locali di accoppiamento del flusso aereo ed ematico alveolare per ottimizzare la perfusione degli alveoli ben ventilati

COMPOSIZIONE DEL GAS	BRONCHIOLI	ARTERIOLE POLMONARI
Aumento P _{CO2}	Dilatazione	(Costrizione)
Diminuzione P _{CO2}	Costrizione	(Dilatazione)
Aumento P _{O2}	(Costrizione)	Dilatazione
Diminuzione P _{O2}	(Dilatazione)	Costrizione

* Le risposte fra parentesi indicano effetti deboli.

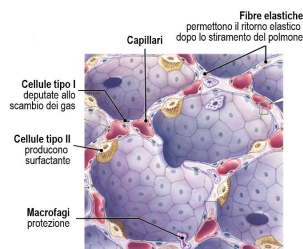
Ostacoli e facilitazioni (fisiologici) all'espansione polmonare:
3. Funzione delle pleure

- Le variazioni di pressione che avvengono nella pleura permettono al polmone di contrarsi o espandersi
- La pressione intrapleurica negativa (-3 mmHg) è indispensabile per
 - mantenere il polmone espanso nella gabbia toracica («a parete»)
 - consentirgli di seguire i movimenti del torace durante l'inspirazione
- Il liquido pleurico serve a
 - favorire lo scorrimento dei foglietti pleurici uno sull'altro
 - mantenere i polmoni a stretto contatto con la parete toracica.

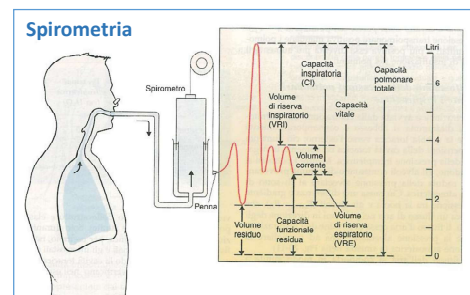


Ostacoli e facilitazioni (fisiologici) all'espansione polmonare:
4. Tensione superficiale intra-alveolare

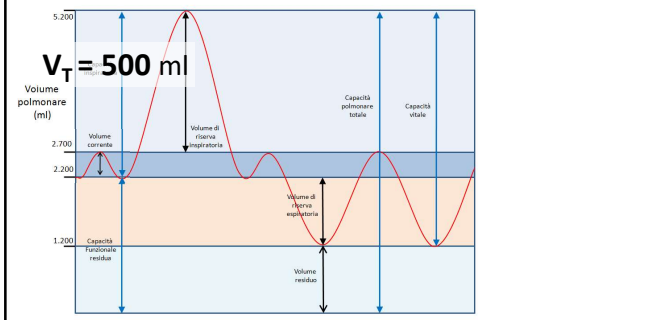
- La superficie interna degli alveoli è rivestita da un sottile strato di liquido che si frappone tra cellule alveolari e aria
- Si crea una **tensione superficiale** dovuta alla forza di coesione tra le molecole del liquido alveolare
- La tensione superficiale **genera una pressione** diretta verso il centro dell'alveolo che **tende a farlo collabire**
- I pneumociti di tipo II secernono un **surfactante** chimico che riduce la tensione superficiale, diminuendo la resistenza del polmone all'espansione



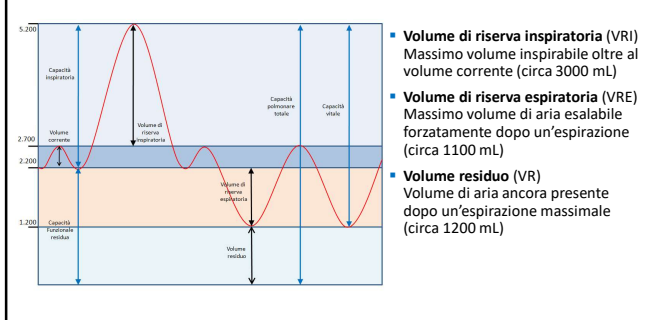
Volumi e capacità polmonari



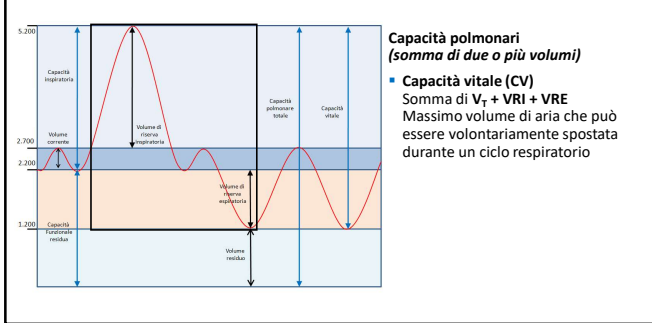
Volumi e capacità polmonari



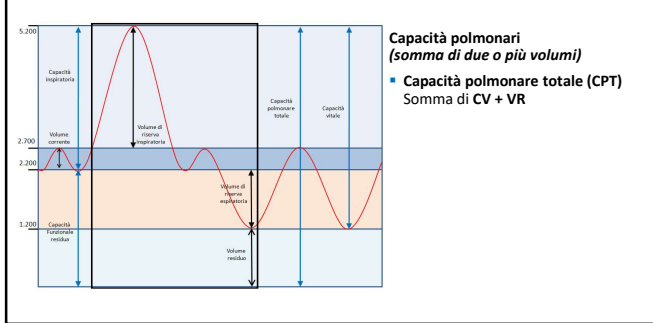
Volumi e capacità polmonari



Volumi e capacità polmonari



Volumi e capacità polmonari



Volumi e capacità polmonari

- Poiché le vie aeree di conduzione non sono coinvolte nello scambio dei gas con il sangue (diffusione) sono dette «spazio morto anatomico»
- Il volume medio dello spazio morto anatomico è pari a circa 150 ml
- Solo 350 ml del VT raggiungono gli alveoli
- La ventilazione polmonare totale è maggiore della ventilazione alveolare a causa dello spazio morto

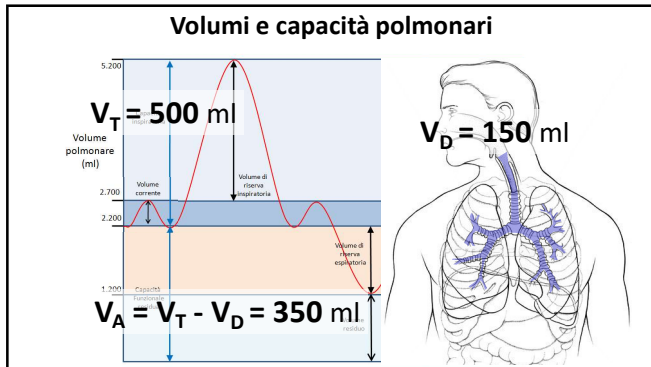
$V_D = 150$ ml

Volumi e capacità polmonari

Ventilazione alveolare (V_A)

- Quantità di aria che raggiunge gli alveoli in un minuto
- Rappresenta la quantità di «aria nuova» che arriva agli alveoli e che effettivamente entra in contatto coi capillari
- È la differenza tra la ventilazione polmonare e la ventilazione dello spazio morto (V_D)

$$V_A = (V_T - V_D) \times FR = (500 - 150) \times 12 = 4200 \text{ ml}$$



Volumi e capacità polmonari

Ventilazione alveolare (V_A)

- Influenzata da variazioni di frequenza (FR) e profondità (V_T) degli atti respiratori

Volume corrente (ml)	Frequenza respiratoria (atti/min)	Ventilazione polmonare (ml/min)	V_c - volume spazio morto (ml)	Ventilazione alveolare (ml/min)
500 (normale)	12 (normale)	6000	350	4200
300 (superficiale)	20 (rapido)	6000	150	3000
750 (profondo)	8 (lento)	6000	600	4800

Alta frequenza \neq Alto volume alveolare

Tipi e modelli di ventilazione

Nome	Descrizione	Esempi
Eupnea	Ventilazione normale a riposo	
Iperpnea	Incremento della frequenza e/o volume ventilatorio in risposta a un aumento del metabolismo	Esercizio fisico
Iperventilazione	Incremento della frequenza e/o volume ventilatorio senza un aumento del metabolismo	Iperventilazione emotiva; gonfiare un palloncino
Ipoventilazione	Diminuzione della ventilazione alveolare	Ventilazione superficiale; asma, patologia polmonare restrittiva
Tachipnea	Ventilazione rapida, di solito la frequenza ventilatoria aumenta e si riduce la profondità	Ansimare
Dispnea	Ventilazione difficoltosa, è una sensazione soggettiva descritta a volte come "fame d'aria"	Varie patologie o esercizio fisico intenso
Apnea	Interruzione della ventilazione	Trattenimento volontario del respiro; depressione dei centri di controllo del SNC

Rosen 's Emergency Medicine: Concepts and Clinical Practice

I sistemi di protezione

Sistema muco-ciliare

- L'epitelio che riveste laringe e trachea contiene cellule calciformi che producono muco.
- In tutta la zona di conduzione sono presenti cellule ciliate il cui movimento spinge il muco (e quanto ha inglobato) verso la glottide e la faringe (1 cm/min), dove viene deglutito

I sistemi di protezione

Ciò che sorpassa il sistema muco-cilare ($PM < 2.5 \mu m$) viene aggredito dai macrofagi dell'epitelio alveolare

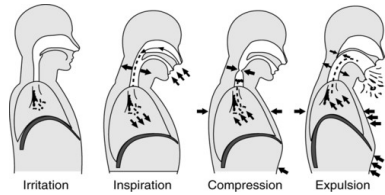
© 2009 POLETTO EDITORE srl
Fisiologia e biofisica medica - quarta edizione

I sistemi di protezione

Tosse

- Riflesso protettivo fisiologico in risposta all'irritazione delle vie aeree
- Fondamentale per la protezione dall'inhalazione e il mantenimento della pervietà delle vie aeree
- Può anche essere prodotto volontariamente
- Recettori: corde vocali, carena, grossi bronchi
- Prevede uno sforzo coordinato dei muscoli respiratori, i cui meccanismi di controllo dipendono da complessi eventi neurofisiologici

I sistemi di protezione



Fasi della tosse

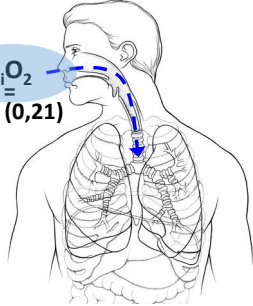
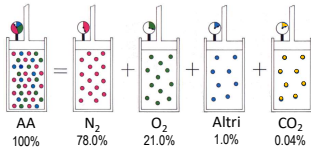
- Inspirazione profonda
- Chiusura della glottide
- Aumento della pressione intratoracica
- Apertura improvvisa della glottide, deflusso di aria ad alta velocità
- Espulsione dell'aria solo dalla bocca

$$F_{iO_2} - P_{iO_2} - P_{aO_2}$$

Quanto ossigeno c'è nell'aria inspirata?



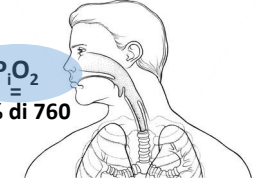
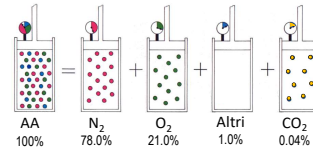
$$F_{iO_2} = 21\% (0,21)$$



Quanto ossigeno c'è nell'aria inspirata?



$$P_{iO_2} = 21\% \text{ di } 760$$



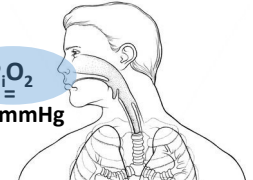
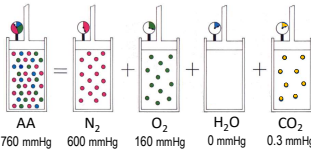
Legge di Dalton

- La pressione di una miscela di gas è uguale alla somma delle pressioni parziali dei gas che la compongono
- La **pressione parziale** esercitata dai singoli gas è **direttamente proporzionale** alla loro **concentrazione percentuale** nella miscela

Quanto ossigeno c'è nell'aria inspirata?



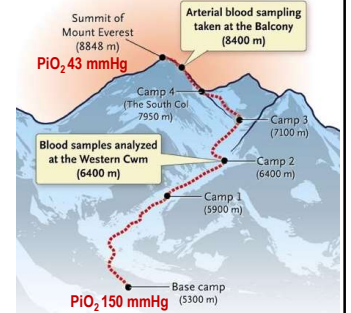
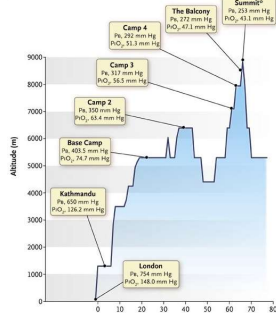
$$P_{iO_2} = 160 \text{ mmHg}$$



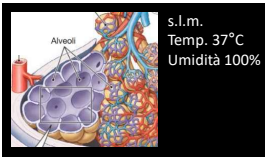
Legge di Dalton

- La pressione di una miscela di gas è uguale alla somma delle pressioni parziali dei gas che la compongono
- La **pressione parziale** esercitata dai singoli gas è **direttamente proporzionale** alla loro **concentrazione percentuale** nella miscela

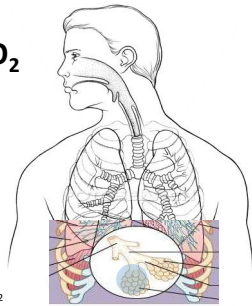
Quanto ossigeno c'è nell'aria inspirata?



Quanto ossigeno c'è nell'aria inspirata?



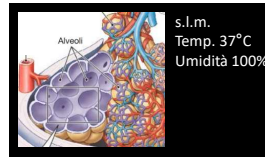
PAO_2
?



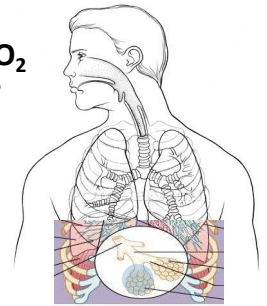
L'aria alveolare ha una composizione molto diversa dall'aria atmosferica:

- C'è costantemente aria residua
- È a temperatura corporea
- È satura di vapore acqueo
- Viene continuamente sottratto O_2 e immessa CO_2

Quanto ossigeno c'è nell'aria inspirata?



PAO_2
?

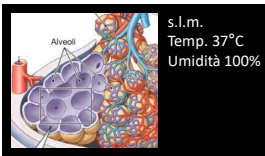


Equazione dei gas alveolari

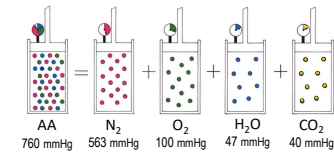
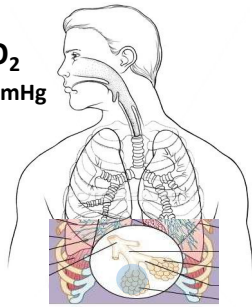
$$PAO_2 = FiO_2(P_{atm} - P_{H_2O}) - \frac{PaCO_2}{0.8}^*$$

* quoziente respiratorio rapporto tra CO_2 prodotta e O_2 consumato nei processi di ossido-riduzione a livello mitocondriale

Quanto ossigeno arriva all'alveolo con l'aria inspirata?



PAO_2
100 mmHg

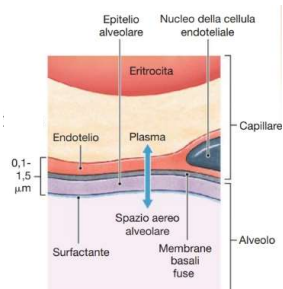
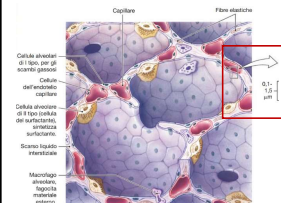


Fisiologia del SISTEMA RESPIRATORIO

Scambio alveolare dei gas: la DIFFUSIONE

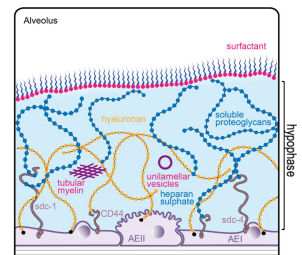
Come ci arriva l'ossigeno nel sangue?

L'epitelio alveolare: una fila di cellule (quasi) a contatto con l'endotelio capillare



Come ci arriva l'ossigeno nel sangue?

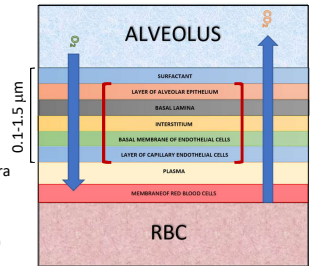
- Epitelio alveolare ricoperto da uno strato di rivestimento fluido sottile e continuo (lining fluid o lining layer)
- Prodotto da pneumociti di tipo II e trasudazione di fluido dai capillari alveolari
- Costituito da
 - ipofase acquosa (con antiossidanti, proteine del surfattante e del complemento)
 - pellicola superficiale (surfactante)



Diffusione dei gas fra alveolo e globulo rosso

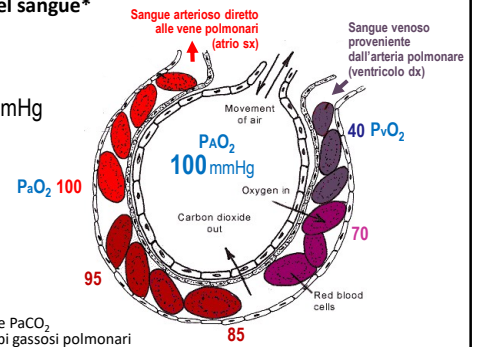
Meccanismo per diffusione passiva... attraverso **OTTO strati**

- Velocità di diffusione attraverso gli strati
- direttamente proporzionale al gradiente di pressione parziale dei gas (da P maggiore a P minore)
- direttamente proporzionale alla superficie disponibile per lo scambio
- direttamente proporzionale alla solubilità in acqua del gas (diversa per O₂ e CO₂)
- direttamente proporzionale alla temperatura (costante nell'organismo)
- inversamente proporzionale allo spessore della membrana stessa (la diffusione è più veloce su brevi distanze)



Arterializzazione del sangue*

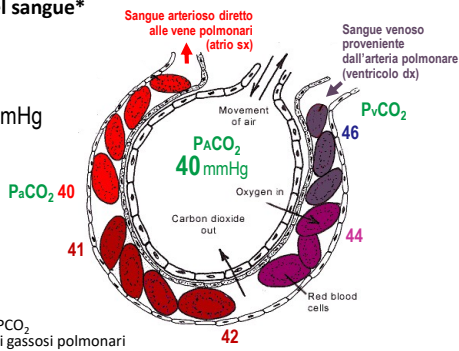
$$\Delta P_{aO_2} = 60 \text{ mmHg}$$



* Modificazioni di PaO₂ e PaCO₂ conseguenti agli scambi gassosi polmonari

Arterializzazione del sangue*

$$\Delta P_{aCO_2} = -6 \text{ mmHg}$$

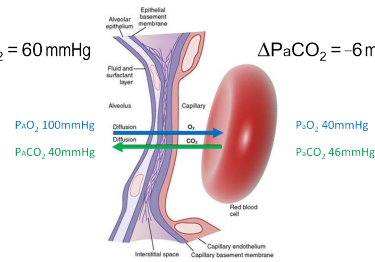


* Modificazioni di PO₂ e PCO₂ conseguenti agli scambi gassosi polmonari

L'O₂ ha un gradiente pressorio 10 volte superiore alla CO₂

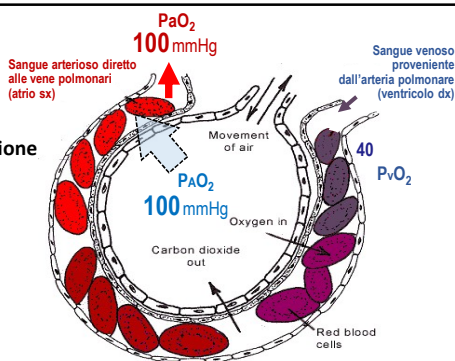
$$\Delta P_{aO_2} = 60 \text{ mmHg}$$

$$\Delta P_{aCO_2} = -6 \text{ mmHg}$$



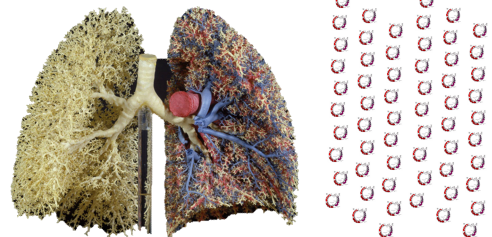
La CO₂ è 20 volte più solubile (diffusibile) dell'O₂

Arterializzazione del sangue



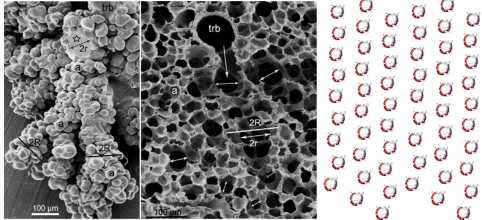
Ma... non c'è solo un alveolo!

750.000.000



Ma... non c'è solo un alveolo!

750.000.000

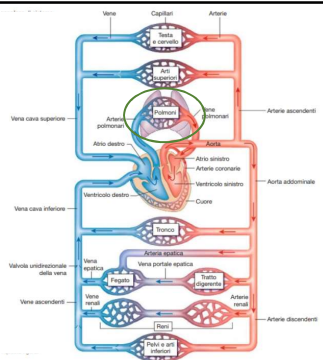


Fisiologia del SISTEMA RESPIRATORIO

Flusso ematico alveolare: la PERFUSIONE

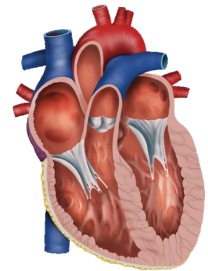
Circolazione ematica polmonare

- **ALTA portata (flusso):** i polmoni ricevono l'intera gittata cardiaca dal ventricolo destro (5 l/min), pari a quella che scorre in tutto il resto del corpo nello stesso tempo



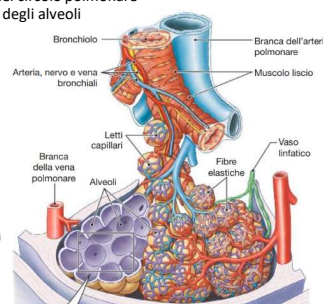
Circolazione ematica polmonare

- **ALTA portata (flusso):** i polmoni ricevono l'intera gittata cardiaca dal ventricolo destro (5 l/min), pari a quella che scorre in tutto il resto del corpo nello stesso tempo
- **BASSA pressione** (P. arteria polmonare ~ 25/8 mmHg):
 - bassa resistenza del circolo polmonare
 - minore lunghezza totale dei vasi polmonari
 - facilità di distensione delle arteriole polmonari
 - elevata superficie della sezione vascolare complessiva
- **Il lavoro del ventricolo destro è minore** del sinistro



Circolazione ematica polmonare

- **ALTA portata (flusso) e BASSA resistenza** del circolo polmonare
- i capillari ricoprono l'85% della superficie degli alveoli
- lamina continua di sangue che scorre nei polmoni a bassa pressione



Fisiologia del SISTEMA RESPIRATORIO

L'interazione fra VENTILAZIONE-DIFFUSIONE-PERFUSIONE

Differenze regionali nel rapporto ventilazione/perfusione (V/Q)

Le zone di West

Zona 1 (apice)

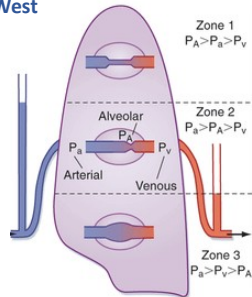
- $P_A > P_a$ e P_v
- Alveoli ben ventilati
- Capillari compressi dagli alveoli
- Flusso ematico minimo o assente

Zona 2 (media)

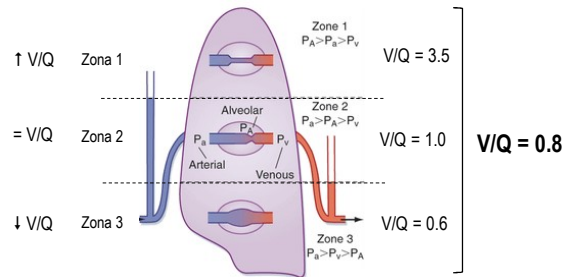
- $P_a > P_a > P_v$
- Ventilazione e perfusione bilanciati

Zona 3 (base)

- P_a e $P_v > P_a$
- Flusso ematico continuo e massimale
- Scambi dei gas ottimali
- Alveoli poco ventilati



Differenze regionali nel rapporto ventilazione/perfusione (V/Q)



Differenze regionali nel rapporto ventilazione/perfusione (V/Q)

Shunt fisiologico

$$\frac{V = 4 \text{ l/min}}{Q = 5 \text{ l/min}} = 0.8$$



Shunt fisiologico

Passaggio diretto di sangue poco ossigenato dalla circolazione venosa a quella arteriosa

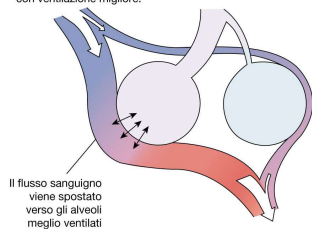
- Rapporto V/Q
- Vasi di Tebesio (sangue refluo dal cuore), sfociano nel ventricolo sinistro
- Vene bronchiali, sfociano nelle vene polmonari

Differenze regionali nel rapporto ventilazione/perfusione (V/Q)

Vasocostrizione ipossica

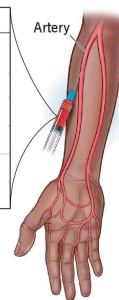
- Meccanismo di parziale compensazione

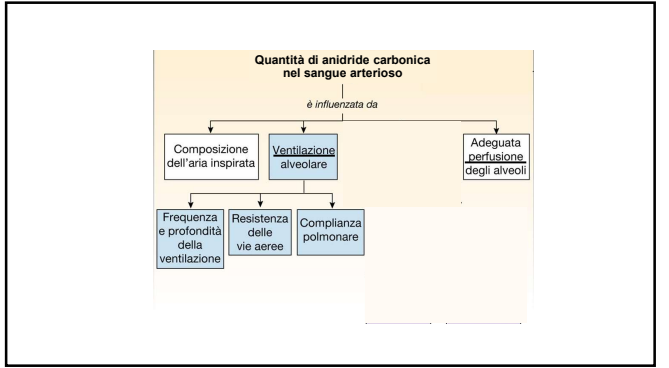
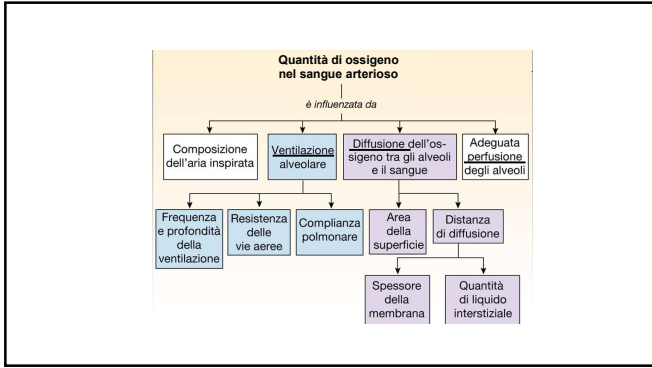
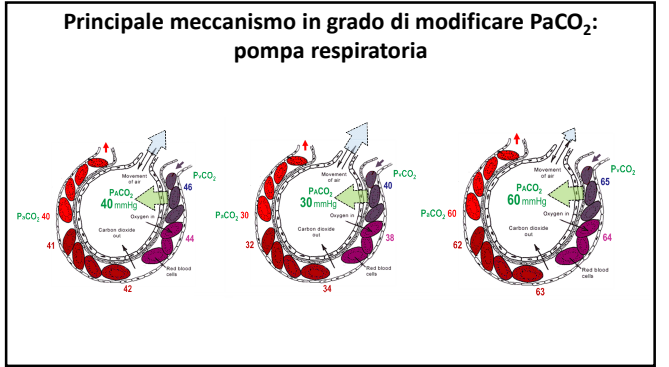
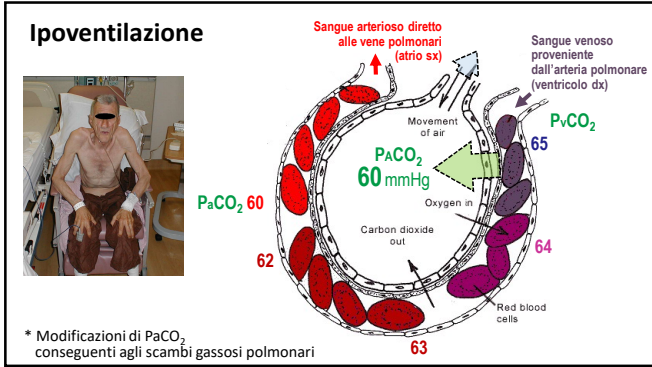
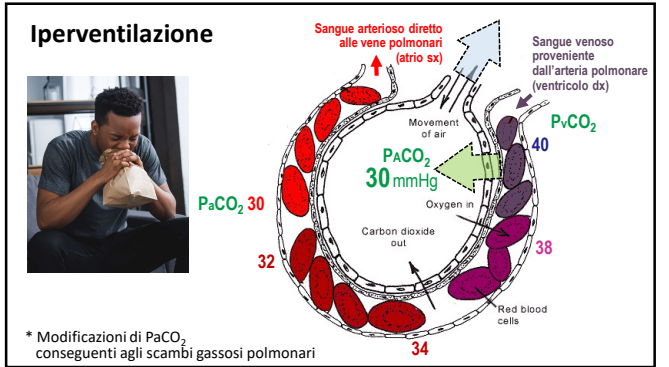
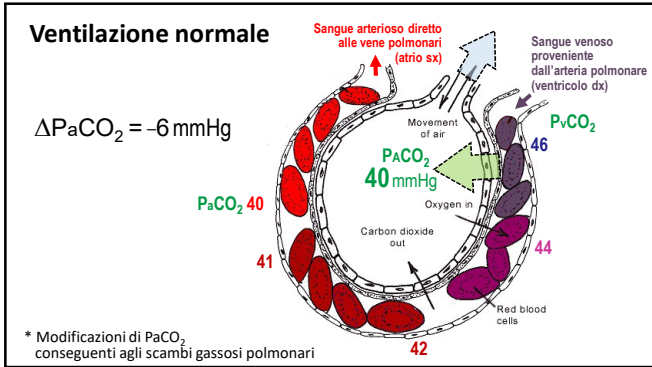
La riduzione di P_{O_2} attorno agli alveoli ipoventilati provoca la costrizione delle loro arteriole, convogliando il sangue verso alveoli ventilati meglio. Flusso di sangue convogliato verso alveoli con ventilazione migliore.



Arterial Blood Gas (ABG)

ABG	Normal range
PaO ₂	95 mmHg

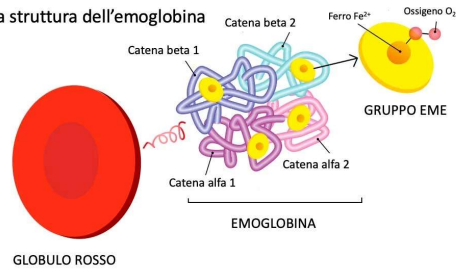




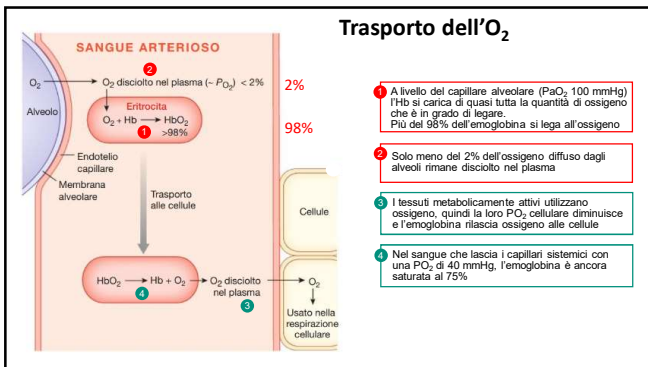
Fisiologia del SISTEMA RESPIRATORIO

Dagli alveoli ai tessuti (e ritorno): il TRASPORTO dei gas

La struttura dell'emoglobina

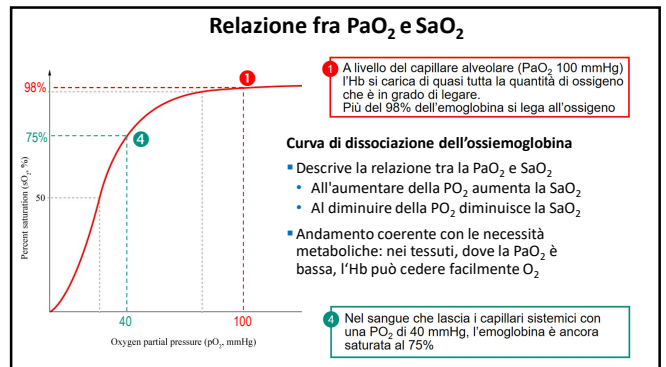


Trasporto dell'O₂

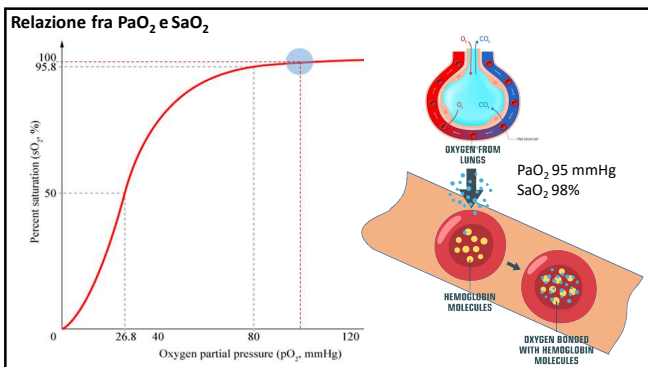


- 1 A livello del capillare alveolare (P_{aO_2} 100 mmHg) l'Hb si carica di quasi tutta la quantità di ossigeno che è in grado di legare. Più del 98% dell'emoglobina si lega all'ossigeno
- 2 Solo meno del 2% dell'ossigeno diffuso dagli alveoli rimane disciolto nel plasma
- 3 I tessuti metabolicamente attivi utilizzano ossigeno, quindi la loro PO_2 cellulare diminuisce e l'emoglobina rilascia ossigeno alle cellule
- 4 Nel sangue che lascia i capillari sistemici con una PO_2 di 40 mmHg, l'emoglobina è ancora saturata al 75%

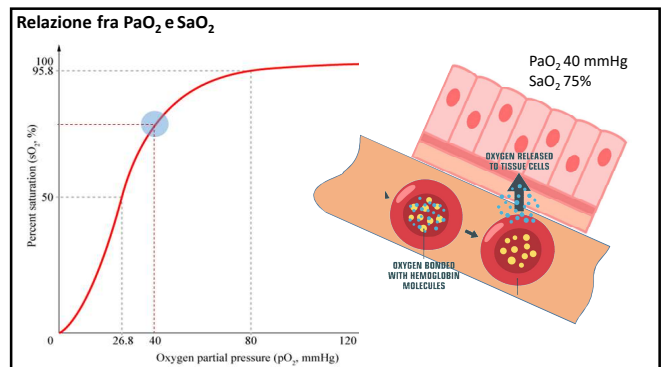
Relazione fra PaO_2 e SaO_2

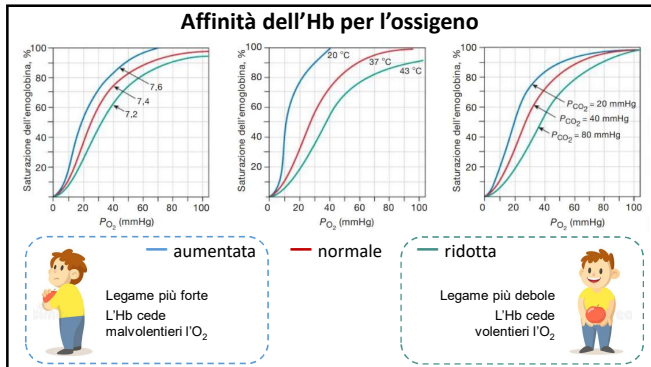


Relazione fra PaO_2 e SaO_2



Relazione fra PaO_2 e SaO_2





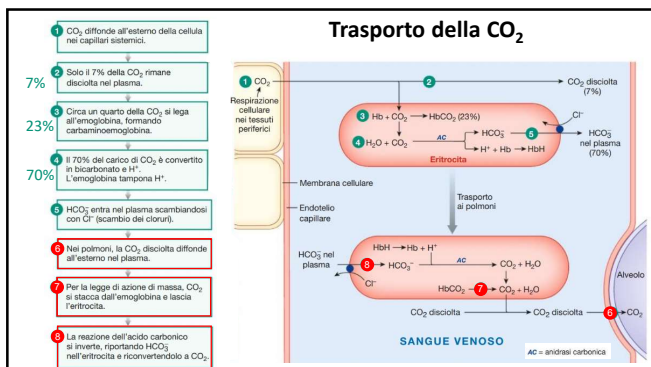
Il contenuto arterioso di ossigeno

O₂ legato + O₂ disciolto

- 1 g di emoglobina trasporta un massimo di 1.34-1.39 mL di O₂
- Il coefficiente di solubilità dell'O₂ nel plasma è 0,0031

(Hb x 1,34 x SaO₂) + (PaO₂ x 0,03)

Valori normali 15-23 ml/dl



Fisiologia del SISTEMA RESPIRATORIO

Il controllo della pompa ventilatoria: il DRIVE RESPIRATORIO

Drive respiratorio

Meccanismo riflesso attraverso il quale il centro cerebrale del respiro "guida" (to drive) la ventilazione in tempo reale

Suddiviso in tre componenti («sensore, processore, effetto»)

- SENSORI**
Sistemi sensoriali (neurochimici e neuromeccanici, toracici, centrali e periferici)
- Raccolgono dati sugli scambi gassosi (PaO₂, PaCO₂, [H⁺])
- Inviano input al sistema di controllo (SNC)
- PROCESSORI**
Sistema di controllo respiratorio
- Pacemaker intrinseco che regola frequenza e profondità della ventilazione
- Inviano le opportune indicazioni ai muscoli respiratori
- EFFETTORI**
Muscolatura respiratoria
- Attività di pompa respiratoria
- Modula (aumenta/diminuisce) la ventilazione alveolare

I sensori

Chemocettori periferici

- Localizzati nelle arterie carotidi e nell'arco aortico («glomi»)
- Sensibili a variazioni di PO₂, pH e PCO₂

Chemocettori centrali

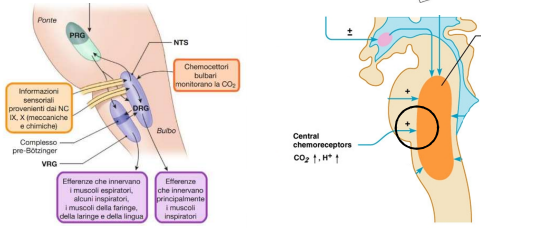
- Localizzati nel bulbo e nel ponte del midollo allungato
- Sensibili a variazioni di PCO₂, pH e PO₂

Altri recettori (e.g., pain) and emotional stimuli acting through the hypothalamus

I sensori

Chemocettori centrali

- Localizzati sulla superficie ventrolaterale del bulbo (tronco encefalico)
- Sensibili a variazioni di PCO_2 (pH)

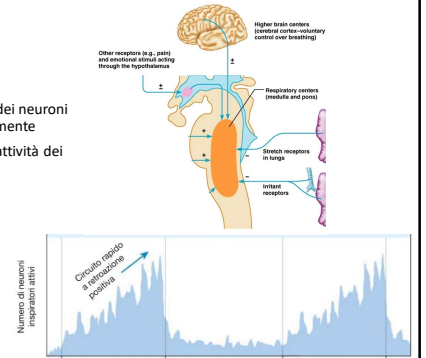


I sensori

Tenosocettori toracici

Afferenze neuromeccaniche

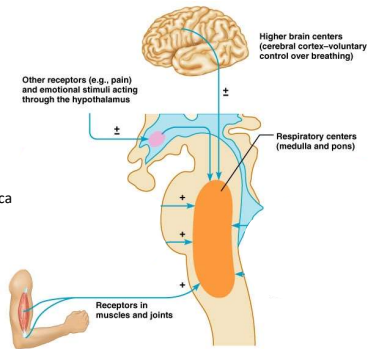
- Durante l'inspirazione, l'attività dei neuroni inspiratori aumenta progressivamente
- Alla fine della fase inspiratoria l'attività dei neuroni si arresta bruscamente
 - interneuroni interruttore
 - riflesso di Hering-Breuer
 - recettori di stiramento (nervo vago) sensibili alla distensione polmonare
 - interrompono l'inspirazione inibendo il centro inspiratorio
- L'espirazione avviene grazie al ritorno elastico del tessuto polmonare



I sensori

Propriocettori articolari e muscolari

- Afferenze neuromeccaniche
- Raccolgono dati durante l'attività fisica

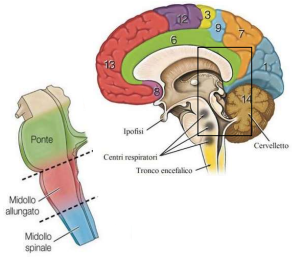


I processori (SNC)

Centri di controllo bulbare e pontino

Gruppi di neuroni situati nel tronco encefalico

- Gruppo respiratorio pontino** (centro pneumotassico)
 - Limita la durata dell'inspirazione regolando il punto di interruzione del segnale inspiratorio (→ aumenta la FR)
- Centro apneustico**
 - Genera impulsi eccitatori diretti al centro inspiratorio che prolungano l'inspirazione rendendola più profonda



Gli effettori

Pompa ventilatoria (volontaria e automatica)

- Gestisce la ventilazione alveolare
 - frequenza della respirazione
 - profondità del respiro
 - ritmo respiratorio (rapporto I:E)
 - respirazione forzata volontaria

