

FISIOLOGIA dei VERTEBRATI

La fisiologia studia la funzione degli organi da un punto di vista evolutivo e ambientale; integra i principi fisiologici alla complessità (molecolare, cellulare, organismo).

Le proprietà di un livello (di complessità) non sono sufficienti ad arguire quelle del livello successivo.

RESPIRAZIONE

OBIETTIVO → recuperare l'O₂ necessario ai mitocondri per il metabolismo aerobio.

L'O₂ può essere recuperato da ARIA e H₂O.

ARIA: miscela di gas → proprietà delle miscele

Nell'aria è presente:

- O₂ = 21%
- CO₂ = 0.03%
- N = 78%
- Ar = 0.93%

LEGGE DI DALTON: in una miscela di gas, ogni gas esercita una P indipendente dalle P degli altri gas → questa P viene detta **pressione parziale "p" o tensione "t"**.

La **p** è proporzionale alla frazione molare del gas:

$$P_x = \frac{F_x \cdot P_{\text{tot}}}{100}$$

$P_x = p$

P_{tot} = pressione totale

F_x = frazione molare (%)

Il gas che nella respirazione si trova in ambiente acquoso si scioglie fino a un equilibrio cioè in soluzione il gas ha una [] costante.

LEGGE DI HENRY: la [] di un gas disciolto "C" è proporzionale alla P_x dello stesso gas e K è il coefficiente di solubilità (o proporzionalità) che varia per i diversi gas (K è > per la CO₂):

$$C = K \cdot P_x$$

L'O₂ legato all'Hb non è un gas sciolto ma è in un'altra forma molecolare.

$C = [\text{gas}] = \text{mol/l}$

$P_x = \text{atm; mmHg}$

P_x e C sono proporzionali solo se la **Temperatura è costante**

K = all'aumentare di T e della salinità, diminuisce K

$$PV = nRT \text{ siccome } n/V = C \rightarrow \boxed{P = RT \cdot C}$$

SOLUBILITA' di un GAS: [gas] in soluzione quando questo gas disciolto è in equilibrio con una fase gassosa alla $P = 1 \text{ atm}$. Non è costante.

Px di un GAS in SOLUZIONE: tensione del gas in fase gassosa con la quale la soluzione è in equilibrio.

LEGGE di FICK: il flusso è proporzionale alla [] dei 2 ambienti, inversamente proporzionale allo spessore X , proporzionale all'area (A) di contatto tra i 2 ambienti e il coefficiente di proporzionalità (D) è quello di diffusione. Siccome K è costante, la ingloba in D .

$$\phi = A \cdot D \cdot \frac{\Delta C}{\Delta X}$$

Il flusso è generato da una differenza di P_x .

Tutto ciò vale se l'aria è secca ma l'aria può contenere vapore acqueo che è uno dei componenti della miscela gassosa per cui esercita una sua P_x .

TENSIONE di VAPORE ACQUEO: n° di molecole che da liquido passa a gas ed è uguale al n° di molecole che da gas diventa liquido; aumenta con la T (+ T e + vapore acqueo nell'aria).

Inoltre l'aria ha una sua **umidità relativa** che influisce sulla pO_2 .

Gli animali acquatici sono pecilotermi (eterotermi): all'aumentare della T , aumenta la loro richiesta di O_2 .

$[O_2]$ è ~ 30 volte > in aria che in acqua

Densità: l'acqua è + densa

Viscosità: l'acqua è + viscosa

Il **lavoro** che un animale marino deve compiere è > rispetto a quello di un animale terrestre.

La disponibilità di O_2 → equilibrio tra produzione e utilizzo e in ambiente terrestre i gas diffondono grazie alla convezione.

In acqua invece solo grazie alle correnti. Nei laghi la T della superficie di giorno è > quindi l'acqua calda è – densa della fredda → stratificazione → no rimescolamento → problemi di O_2 sul fondo.

L' H_2O salata è – densa e sta sopra quella dolce.

Negli spostamenti causati dalle maree si creano delle pozze d'acqua isolate per cui:

- ore 06:00 → bassa marea e tensione di O_2 aumenta
- ore 13:00 → alta marea e tensione di O_2 diminuisce e torna a valori normali
- ore 19:00 → bassa marea e tensione di O_2 scende perché è notte e gli animali respirano

La pCO_2 va al contrario rispetto alla tensione di O_2 .

Il pH è legato alla CO_2 che in $H_2O \rightarrow H_2CO_3$; + aumenta la $[CO_2]$ e + scende il pH (diventa acido)

COSA FANNO GLI ANIMALI

Gli organismi *unicellulari* → assunzione di O_2 per diffusione.

Gli organismi *pluricellulari* → sviluppano organi specializzati che hanno la funzione di far diffondere l' O_2 al torrente circolatorio fino ai vari distretti.

L'organo respiratorio per obbedire alle leggi di Fick deve avere:

- elevata superficie
- spessore molto ridotto
- elevata permeabilità (gas e H_2O)

La funzione respiratoria è legata all'equilibrio idrico dell'animale.

VERTEBRATI:

L' O_2 diffonde dai polmoni al sangue → membrane dei mitocondri e segue un percorso che fluisce da una zona ad alta tensione ad una con bassa tensione.

Nel contempo si ha però produzione di CO_2 e la sua tensione è opposta.

STRUTTURE RESPIRATORIE:

- **brankie** → estrusioni, a volte coperte da un opercolo (camera cutanea) a formare una brankia interna e l' O_2 arriva per diffusione o per ventilazione
- **polmone** → invaginazioni

VENTILAZIONE:

- 1) bidirezionale → il mezzo si muove: entra ed esce nei 2 sensi (mammiferi terrestri)
- 2) unidirezionale → il mezzo si muove nella stessa direzione:
 - 2a) → la direzione del mezzo è = a quella del sangue (**concordi**); (non esiste in natura)
 - 2b) → direzione del mezzo opposto al sangue (**discordi**): il sangue all'inizio presenta un gradiente + piccolo e progressivamente il sangue viene in contatto con un mezzo + ricco di O_2 e si avvicina a 100 mmHg. In tal modo l'estrazione dell' O_2 è > che negli (1)
 - 2c) → *flusso a corrente crociata* o multicapillari: il mezzo si muove sempre nella stessa direzione e il sangue si capillarizza attorno al mezzo per poi riunirsi. Questo permette un guadagno intermedio, + efficiente della (1) e - della (2b). (uccelli)

BRANCHIE:

- il pesce attiva una corrente di H_2O che entra dalla bocca ed esce verso l'ambiente esterno
- flusso continuo di H_2O nella stessa direzione (2)
- all'interno delle lamelle 2° circola sangue in direzione opposta rispetto al flusso → (2b)
- O_2 estratto per diffusione e passato al sangue

TELEOSTEI →

- opercolo
- H_2O → *cavità buccale* → *brankia* → *camera opercolare* → OUT
- muscoli regolano le camere
- camere munite di valvole che le mettono in comunicazione l'ambiente esterno
- valvola buccale si apre quando la P_{out} è > della P_{in} ed entra H_2O
- valvola opercolare si apre quando la P_{in} è > della P_{out}

MECCANISMO:

- 1) depressione nella cavità buccale → apertura valvola ed entra H_2O
- 2) la cavità opercolare ha una depressione >>
- 3) l' H_2O si muove per questa differenza di pressione e passa tra le brankie
- 4) la cavità buccale viene compressa e chiude la valvola
- 5) la 1° pompa continua a comprimere la cavità buccale e il 2° pistone comincia a risalire e anche all'opercolo inizia a risalire la P ma è ancora < della bocca per cui l' H_2O passa ancora; la P positiva della cavità opercolare fa aprire la valvola e l' H_2O esce
- 6) la pompa buccale inverte il movimento → entra H_2O ma la camera opercolare è ancora compressa per cui si ha un reflusso (minimo) di H_2O
- 7) il ciclo ricomincia da 1

Un pesce all'aria soffoca perché non c'è + l' H_2O a sorreggergli il peso delle branchie.

ELASMOBRANCHI →

Non hanno opercolo ma pompano l' H_2O usando muscoli buccali e faringei

TONNI e SGOMBRI →

Ventilazione ad ariete: usano la stessa enel per nuotare e per respirare

Tutti questi meccanismi sono mediati dal SNP grazie ai **chemocettori** (reagiscono a stimoli chimici) e in tal caso lo stimolo è la riduzione della tensione di O₂ mentre nei mammiferi per incrementare la ventilazione si recepisce un aumento della pCO₂:

$$C = K \cdot P_x$$

$\Delta C / \Delta P_x = K$ ed è > per la CO₂ che per O₂

$\Delta P_x / \Delta C = 1/K$ ed è > per l'O₂

PESCI OSTEITTI→

- respirano aria
- l'anguilla il 60% del suo fabbisogno di O₂ lo ottiene attraverso la cute e pompa con le brankie l'aria
- le brankie sono poco sviluppate perché la tensione dell'aria è bassa e inoltre dalle brankie viene liberata CO₂ che conferiscono una pCO₂ elevata.

ANFIBI→

- la larva presenta le brankie
- cute permeabile→problemi idrici
- scambi gassosi per via cutanea
- meccanismi per controllo osmosi
- quando è in letargo respira con cute
- l'adulto invece ha un polmone con il seguente meccanismo di pompaggio
 - 1) chiude la glottide e abbassa il pavimento buccale
 - 2) depressione che richiama aria dall'esterno nella bocca
 - 3) chiude la bocca e si apre la glottide→alza il pavimento→compressione→aria nel polmone
 - 4) chiusura della glottide→polmone pieno d'aria ma isolato e il pompaggio continua ma riguarda solo bocca e faringe perché serve per eliminare la CO₂ della respirazione precedente e siccome la mucosa di bocca e faringe è permeabile ciò aiuta il guadagno di O₂
 - 5) la glottide si riapre e il polmone si svuota passivamente

RETTILI→

- respirazione polmonare anche per l'eliminazione della CO₂
- ci sono le coste→gabbia toracica→diversa ventilazione
- muscoli intercostali che possono contrarre, allargare, restringere la gabbia in cui c'è il polmone
- inspirazione attiva
- espirazione passiva
- MECCANISMO COCCODRILLO
 - 1) muscoli intercostali→contrazione→apertura gabbia→polmone dilatato
 - 2) depressione che richiama aria
 - 3) muscoli si rilasciano→gabbia si rilassa
 - 4) aria compressa→OUT

Nei serpenti è il contrario: espirazione attiva e inspirazione passiva, **ma** la loro respirazione è discontinua: ai periodi di ventilazione seguono apnee→pompaggio bucco-faringeo a polmone chiuso con la glottide e questa funzione è correlata all'*olfatto*.

MAMMIFERI→

- esofago, trachea rigida (cartilagine), 2 bronchi, bronchioli, alveoli polmonari

- alveoli polmonari → superficie elevata, molto vascolarizzati; endotelio capillare + epitelio polmonare = $0.5 \mu\text{m}$ in modo da massimizzare gli scambi a seconda del gradiente di pO_2/pCO_2
- le altre strutture servono solo per convogliare l'aria
- **VENTILAZIONE**: aspirazione simile a quella dei rettili
- Muscoli respiratori: si contraggono e allargano la gabbia → richiama aria
- Inspirazione attiva e quando i muscoli si rilasciano l'aria esce
- In ogni inspirazione → **volume corrente** (500 ml di aria)
- **Volume di riserva inspiratorio** → aria extra dovuta ad inspirazione forzata
- **Volume di riserva espiratorio** → aria extra che rimane dopo espirazione forzata
- **CAPACITA' VITALE** (4.8 l) = $v_1 + v_2 + v_3 + \text{residuo}$ (2.4 l)

I gas si muovono secondo il loro gradiente di pO_2 e pCO_2 nell'aria alveolare. Quando inspiro la prima aria è quella della precedente inspirazione dell'albero respiratorio.

Bronchi e bronchioli → spazio morto di ~ 170 ml (aria che resta dopo una espirazione ed è la prima aria che entra nell'alveolo durante l'inspirazione).

L'aria ambientale che arriva si rimescola con quella presente nello spazio morto (**povera di O_2**) e con quella del volume residuo (**ricca di CO_2**) → RIMESCOLAMENTO → tensione e composizione nel polmone diversa da quella ambientale.

L' O_2 nell'aria alveolare → 15% (~ 100 mmHg) rispetto a 20%

La CO_2 “ “ “ → 5 % (~ 40 mmHg) rispetto a 3%

Il sangue al capillare polmonare, che è appena transitato nei tessuti, ha una tensione di O_2 ~ 40 mmHg e nel polmone c'è una differenza di pressione: 100 vs 40 → l' O_2 ha una forza che lo fa diffondere dall'aria alveolare al sangue. La tensione di CO_2 è ~ 46 mmHg → differenza di 6 mmHg che la spinge al polmone.

ΔpCO_2 è 10 volte < della ΔpO_2 ma la CO_2 ha > coefficiente di solubilità

L'aria che inspiriamo ed espiriamo si satura di vapore acqueo per cui con la respirazione si ha una perdita di H_2O .

Flusso d'aria costante (in sezioni successive di trachea) con una certa velocità. Quando i bronchi si ramificano, il diametro di ogni singolo vaso è + piccolo MA la sezione complessiva a un certo livello aumenta:

$$J = v * S$$

J → flusso

v → velocità

S → sezione

La sezione diminuisce (ma quella totale aumenta) e la velocità aumenta.

Nei bronchioli la velocità è nulla (molto bassa) e l'ultimo tratto è percorso solo per diffusione per cui l'**aria alveolare** è ferma e la sua composizione è ~ costante così come le rispettive pressioni parziali.

Nei mammiferi la superficie respiratoria varia linearmente col peso ed è circa il 6 % inoltre vi è una proporzionalità diretta tra volume polmonare/volume corrente (quest'ultimo è il 10% del primo ed è una frazione costante del peso corporeo → tanto + è grosso l'animale e tanto + introduce CO_2).

Il metabolismo di un animale piccolo è > in relazione alla massa per cui aumenta la *frequenza respiratoria*.

Pleure → membrana che riveste il polmone (cavità toracica)

- nello spazio pleurico o all'esterno del polmone nella gabbia toracica
- depressione di 2-3 mmHg → pareti del polmone si trovano in uno stato di tensione per cui tendono a distendersi e per cui rimane il volume residuo di aria. Se si pratica un foro nel torace e la pressione diventa = all'esterna → polmone collabisce.

Quando respiriamo aumenta la pressione intratoracica.

Le pareti del polmone sono elastiche

All'interfaccie → fase acquosa/fase gassosa e questo crea problemi di tensione superficiale: forza che tende a ridurre al minimo la superficie di contatto tra le 2 fasi.

L'alveolo è come una bolla di sapone: a livello dell'interfaccie si sviluppa questa tensione e contribuisce a determinare lo stato di tensione tra esterno e alveoli.

Legge di Laplace:

$$P = \frac{4 \cdot T}{R}$$

T = tensione superficiale

P = pressione a cui collassa l'alveolo

R = raggio dell'alveolo

4 = coefficiente di proporzionalità

Tanto + R è piccolo e > è la P che fa collassare l'alveolo.

Gli alveoli sono tutti molto piccoli e per la legge di Laplace → P interne elevate che si oppongono all'inspirazione e per effetto della tensione, l'energia richiesta è alta.

Gli alveoli hanno dimensioni diverse.

Se 2 bolle sono comunicanti ma di diverso raggio → tensioni diverse e la P è > nella bolla + piccola che sparisce nella + grossa.

A livello del polmone di tutti i vertebrati esiste un tensioattivo (fosfolipide) ovvero una sostanza che riduce la tensione superficiale e la P che tende a far collassare gli alveoli.

Quando il polmone si gonfia e gli alveoli si espandono questo strato di tensioattivo si assottiglia → riduzione del suo effetto.

Compliance elevata = piccola P per avere una buona variazione di V; basso sforzo respiratorio.

UCCELLI →

- polmone rigido, molto complesso
- sacchi aerei
- ossa pneumatiche
- sacco aereo anteriore e posteriore
- trachea → biforcazione → MESOBRONCHI e BRONCHI 2° anteriori
- il mesobronco si biforca → SACCHI AEREI CAUDALI e BRONCHI 2° posteriori
- ventrobronchi e dorsobronchi comunicano coi parabronchi
- PARABRONCHI → capillari auriferi
- Sacchi aerei anteriori sono poveri di O₂ e ricchi di CO₂ viceversa per quelli posteriori
- Meccanismo respirazione (vedere diapositive PPT)
- Ventilazione bidirezionale fino alla trachea poi è unidirezionale
- Scambi gassosi nei parabronchi
- **Flussi a corrente crociata**: il sangue si capillarizza a livello dei parabronchi e va in contatto con pO₂ diverse; capacità di estrarre O₂ < flussi discordi > ventilazione bidirezionale.