

# 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'O<sub>2</sub> necessario ai mitocondri per il metabolismo aerobio.  
L'O<sub>2</sub> può essere recuperato da ARIA e H<sub>2</sub>O.

**ARIA:** miscela di gas → proprietà delle miscele

Nell'aria è presente:

- O<sub>2</sub> = 21%
- CO<sub>2</sub> = 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:

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

$$\begin{aligned} P_x &= p \\ P_{tot} &= \text{pressione totale} \\ F_x &= \text{frazione molare (\%)} \end{aligned}$$

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 dissolto "C" è proporzionale alla Px dello stesso gas e K è il coefficiente di solubilità (o proporzionalità) che varia per i diversi gas (K è > per la CO<sub>2</sub>):

$$C = K \cdot P_x$$

L'O<sub>2</sub> legato all'Hb non è un gas sciolto ma è in un'altra forma molecolare.

C = [gas] = mol/l

Px = atm; mmHg

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

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

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

**SOLUBILITÀ di un GAS:** [gas] in soluzione quando questo gas dissolto è in equilibrio con una fase gassosa alla P = 1 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.

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

Il flusso è generato da una differenza di Px..

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 Px.

**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<sub>2</sub>.

Gli animali acquatici sono pecilotermi (eterotermi): all'aumentare della T, aumenta la loro richiesta di O<sub>2</sub>.

[O<sub>2</sub>] 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<sub>2</sub> → 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<sub>2</sub> sul fondo.

L'H<sub>2</sub>O 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<sub>2</sub> aumenta
- ore 13:00 → alta marea e tensione di O<sub>2</sub> diminuisce e torna a valori normali
- ore 19:00 → bassa marea e tensione di O<sub>2</sub> scende perché è notte e gli animali respirano

La pCO<sub>2</sub> va al contrario rispetto alla tensione di O<sub>2</sub>.

Il pH è legato alla CO<sub>2</sub> che in H<sub>2</sub>O → H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>; + aumenta la [CO<sub>2</sub>] e + scende il pH (diventa acido)

### **COSA FANNO GLI ANIMALI**

Gli organismi *unicellulari* → assunzione di O<sub>2</sub> per diffusione.

Gli organismi *pluricellulari* → sviluppano organi specializzati che hanno la funzione di far diffondere l'O<sub>2</sub> al torrente circolatorio fino ai vari distretti.

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

- elevata superficie
- spessore molto ridotto
- elevata permeabilità (gas e H<sub>2</sub>O)

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

## **VERTEBRATI:**

L' O<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> e si avvicina a 100 mmHg. In tal modo l'estrazione dell'O<sub>2</sub> 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<sub>2</sub>O che entra dalla bocca ed esce verso l'ambiente esterno
- flusso continuo di H<sub>2</sub>O nella stessa direzione (2)
- all'interno delle lamelle 2° circola sangue in direzione opposta rispetto al flusso → (2b)
- O<sub>2</sub> estratto per diffusione e passato al sangue

## **TELEOSTEI→**

- opercolo
- H<sub>2</sub>O → cavità buccale → brankie → 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 Pout è > della Pin ed entra H<sub>2</sub>O
- valvola opercolare si apre quando la Pin è > della Pout

## **MECCANISMO:**

- 1) depressione nella cavità buccale → apertura valvola ed entra H<sub>2</sub>O
- 2) la cavità opercolare ha una depressione >>
- 3) l' H<sub>2</sub>O 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<sub>2</sub>O passa ancora; la P positiva della cavità opercolare fa aprire la valvola e l' H<sub>2</sub>O esce
- 6) la pompa buccale inverte il movimento → entra H<sub>2</sub>O ma la camera opercolare è ancora compressa per cui si ha un reflusso (minimo) di H<sub>2</sub>O
- 7) il ciclo ricomincia da 1

Un pesce all'aria soffoca perché non c'è + l' H<sub>2</sub>O a sorreggergli il peso delle branchie.

## **ELASMOBRANCHI→**

Non hanno opercolo ma pompano l' H<sub>2</sub>O 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 O<sub>2</sub> mentre nei mammiferi per incrementare la ventilazione si recepisce un aumento della pCO<sub>2</sub>:

$$C = K * P_x$$

$\Delta C / \Delta P_x = K$  ed è > per la CO<sub>2</sub> che per O<sub>2</sub>

$\Delta P_x / \Delta C = 1/K$  ed è > per l'O<sub>2</sub>

### PESCI OSSTEITTI →

- respirano aria
- l'anguilla il 60% del suo fabbisogno di O<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> che conferiscono una pCO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> della respirazione precedente e siccome la mucosa di bocca e faringe è permeabile ciò aiuta il guadagno di O<sub>2</sub>
  - 5) la glottide si riapre e il polmone si svuota passivamente

### RETTLILI →

- respirazione polmonare anche per l'eliminazione della CO<sub>2</sub>
- 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 → **volumen 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** ( $4.8 \text{ l} = v_1 + v_2 + v_3 + \text{residuo } (2.4 \text{ l})$ )

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.

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

$CO_2$  " " " → 5% (~ 40 mmHg) rispetto a 3%

Il sangue al capillare polmonare, che è appena transitato nei tessuti, ha una tensione di  $O_2 \sim 40$  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 lo spinge al polmone.

$\Delta pCO_2$  è 10 volte < della  $\Delta pO_2$  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:

$$J = v * S$$

$J \rightarrow$  flusso

$v \rightarrow$  velocità

$S \rightarrow$  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 parziale.

Nei mammiferi la superficie respiratoria varia linearmente col peso ed è circa il 6% inoltre vi è una proporzionalità diretta tra volumen polmonare/volumen 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'interfaccia → 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:

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

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 → MESOBRONKO e BRONKI 2° anteriori
- il mesobronko si biforca → SAKKI AEREI CAUDALI e BRONKI 2° posteriori
- ventrobronchi e dorsobronchi comunicano coi parabronchi
- PARABRONKI → capillari auriferi
- Sacchi aerei anteriori sono poveri di O<sub>2</sub> e ricchi di CO<sub>2</sub> viceversa per quelli posteriori
- Meccanismo respirazione (vedere diapositive PPT)
- Ventilazione bidirezionale fino alla trachea poi è monodirezionale
- Scambi gassosi nei parabronchi
- **Flussi a corrente crociata**: il sangue si capillarizza a livello dei parabronchi e va in contatto con pO<sub>2</sub> diverse; capacità di estrarre O<sub>2</sub> < flussi discordi > ventilazione bidirezionale.