

Apparato respiratorio

Assolve alla respirazione esterna, cioè allo scambio gassoso tra l'aria atmosferica e il sangue. La respirazione interna consiste nei processi ossidativi svolti da tutte le cellule.

L'apparato circolatorio consta di due parti:

- **Vie aeree** ➤ veicolano l'aria; sono:
 - Naso e fosse nasali
 - Seni paranasali
 - Faringe
 - Laringe
 - Trachea
 - Bronchi principali
 - Ramificazioni bronchiali
- **Polmoni** ➤ attuano lo scambio gassoso

Le vie aeree si dividono in:

- Superiori ⇒ naso e fosse nasali, seni paranasali, metà superiore della faringe
- Inferiori ⇒ metà inferiore della faringe, laringe, trachea, bronchi principali, ramificazioni bronchiali

L'albero bronchiale in parte sta nei polmoni, in parte fuori.

Trachea

È un condotto cilindrico a pareti rugose (sia internamente che esternamente), a causa delle impalcature degli *archi cartilaginei* (esternamente) e perché la mucosa è sollevata a formare pieghe a decorso longitudinale (internamente, soprattutto sulla parete posteriore).

La parete posteriore può restringersi o dilatarsi, grazie al muscolo tracheale (muscolatura a decorso trasversale). La parete posteriore, infatti, è l'unica parte della trachea ad essere priva di impalcatura cartilaginea. La parete posteriore della trachea è detta *parte membranacea* ed ha muscolatura liscia trasversale che si continua tra un arco cartilagineo e l'altro (si inserisce solo sugli archi).

Lunghezza ⇒ 12 cm (circa)

La trachea embrionale deriva dall'intestino primitivo. Quest'ultimo, mediante un processo di sepimentazione ad opera del *setto tracheo-esofageo*, nella sua parte cefalica, si divide in trachea (anteriormente) ed esofago (posteriormente): quindi, davanti ci sono le vie aeree, dietro quelle dell'apparato digerente.

Se rimane una comunicazione tra i due condotti, si ha una patologia (*fistola tracheo-esofagea*).

Carena tracheale ⇒ cresta sagittale che fa parte degli orifizi di ingresso dei due bronchi principali. Costituisce il contorno inferiore degli orifizi dei bronchi principali.

La trachea è un condotto rettilineo inclinato leggermente verso destra ⇒ l'asse maggiore della trachea sembra continuarsi con quello del bronco principale destro (⇒ perciò i corpi estranei ingeriti arrivano preferenzialmente al polmone destro). L'esofago sporge un po' indietro e a sinistra della parte inferiore della trachea.

Nella trachea si distinguono due parti:

1. **Porzione cervicale** ⇒ nel collo (tra C6 e l'incisura giugulare del manubrio sternale)

2. **Porzione toracica** ⇒ nel mediastino (tra l'incisura giugulare del manubrio sternale e T4)

L'incisura giugulare del manubrio dello sterno è, quindi, il confine tra le due porzioni della trachea.

Nel collo, facendo passare un piano trasversale a livello di C7, sono identificabili: una regione posteriore (nuca) che presenta formazioni muscolari; una regione anteriore che contiene una loggia viscerale, con ai lati due logge muscolari di protezione (muscoli sterno-cleido-mastoideo e sottoioidei). La loggia viscerale contiene la trachea, l'esofago (dietro e centralmente, rispetto alla trachea) e il fascio vascolo-nervoso (nervo vago, vena giugulare interna e arteria carotide interna) (ai lati).

Rapporti della trachea:

- Porzione cervicale:
 - Anteriormente: ghiandola tiroide (parte superiore); cute, sottocutaneo, fasce cervicali (superficiale e media) (parte inferiore).
 - Lateralmente: fascio vascolo-nervoso del collo (n. vago, v. giugulare interna, a. carotide comune); nervo ricorrente del vago (tra trachea ed esofago).
 - Posteriormente: esofago.
- Porzione toracica:
 - Anteriormente: aorta ascendente, tronco venoso brachio-cefalico sx (superficialmente), tronco arterioso brachio-cefalico (profondamente).
 - Lateralmente: arco dell'aorta (a sinistra), vena azigos (a destra).
 - Posteriormente: esofago.

I muscoli sterno-ioidei divergono, mentre gli sterno-tiroidei convergono. Insieme, i loro margini inferiori delimitano una losanga in cui non ci sono muscoli (*losanga della tracheotomia*).

Anatomia microscopica della trachea

Come tutti i visceri cavi, presenta (dall'interno all'esterno):

- Tonaca mucosa ⇒ caratterizza la funzione del viscere
- Tonaca sottomucosa
- Tonaca muscolare ⇒ dà mobilità al viscere
- Tonaca avventizia

Tra mucosa e sottomucosa ⇒ *muscularis mucosae* (nella trachea, però, essa non c'è, essendo rimpiazzata da uno strato di fibre elastiche).

Tra un arco e il successivo ci sono legamenti anulari.

Epitelio di rivestimento della trachea (⇒ mucosa) ⇒ di tipo respiratorio cilindrico pseudo-stratificato (⇒ tutte le cellule arrivano alla membrana basale)

Tipi cellulari dell'epitelio della trachea:

1. *Cellule cilindriche ciliate* (⇒ ciglia)
2. *Cellule caliciformi mucipare* (⇒ ghiandole esocrine unicellulari; dette anche *goblet cells*)
3. *Cellule con orletto a spazzola* (⇒ microvilli; dette anche *brush cells*)
4. *Cellule basali* (⇒ cellule più profonde; sono cellule di rimpiazzo)
5. *Cellule di Clara o bronchiolari* (⇒ sono più frequenti nei bronchioli; hanno citoplasma chiaro, con granuli nella porzione apicale (⇒ diversi dalle vescicole di muco delle goblet cells), che contengono sostanze aventi una funzione proteolitica digestiva)
6. *Cellule K o di Kulchitsky* (⇒ sono cellule del sistema endocrino diffuso, cioè cellule che non formano una ghiandola ben definita (come, ad es., la tiroide), ma svolgono una funzione di controllo locale importante: non secernono sostanze nel sangue, ma nello spazio extracellulare, che sono captate dalle cellule vicine ⇒ azione endocrina locale; le cellule del sistema endocrino

diffuso sono presenti in tutto il corpo (con nomi diversi); se ipertrofizzano \Rightarrow microcitoma (nel polmone))

Ghiandole tracheali \Rightarrow sono presenti nella mucosa e nella sottomucosa; hanno adenomeri acinosi e secrezione prevalentemente mucosa (ma anche sierosa, in minor parte).

Le cellule e le ghiandole della trachea formano un dispositivo di protezione (\Rightarrow *escalatore ciliare*). Le ghiandole tracheali e le cellule caliciformi mucipare secernono muco che forma uno strato continuo protettivo. Nel muco si intrappolano polvere, microbi, ecc. Le ciglia delle cellule cilindriche ciliate spingono il muco verso l'alto, fino al naso (o alla bocca), tramite il quale è espulso.

Nella mucoviscidosi, c'è una deficienza nelle proteine motrici delle ciglia \Rightarrow problemi di secrezione soprattutto nei polmoni (ma anche nelle cellule esocrine del pancreas).

Bronchi principali

Si estendono dalla biforcazione tracheale all'ilo del polmone. Il bronco principale destro è lungo 2 cm e prosegue nella direzione della trachea; il bronco principale sinistro è lungo 5 cm ed è trasversale.

Polmoni

Sono localizzati nelle regioni pleuro-polmonari. Occupano completamente la regione laterale della cavità toracica.

Durante l'inspirazione, si espandono e vanno a inserirsi in spazi della cavità pleurica detti *seni pleurici*.

I polmoni poggiano sulla superficie superiore del diaframma, tramite le proprie basi.

Volume \Rightarrow 1300-1600 cm³ (il destro è un po' più voluminoso del sinistro)

Peso \Rightarrow 400-450 g (ciascuno) \Rightarrow alto, a causa del sangue

Peso specifico \Rightarrow se il neonato non ha respirato, è maggiore di quello dell'acqua (1068); nel neonato che ha respirato (e quindi in tutti i viventi) è minore di quello dell'acqua (490), perché i polmoni contengono aria. Il polmone che non ha respirato, se immerso in acqua, va a fondo (docimasia = positiva); il polmone che ha respirato, invece, galleggia (docimasia = negativa). Questa prova (docimasia idrostatica) ha importanza in medicina legale. La docimasia viene applicata anche negli adulti, per saggiare il funzionamento di piccole aree di polmoni.

Colore \Rightarrow rosa intenso con tramatura scura (\Rightarrow deposito di pigmento antracotico (\Rightarrow smog))

Superficie \Rightarrow liscia

Consistenza \Rightarrow elastica (molte fibre elastiche) \Rightarrow per ritornare al volume iniziale dopo l'inspirazione; nell'enfisema (tipico degli anziani), la perdita di fibre elastiche porta i polmoni a gonfiarsi e a non sgonfiarsi poi più.

Forma \Rightarrow cono a base inferiore, in cui manca parte della faccia mediale (\Rightarrow per lasciare il posto al cuore)

I polmoni hanno 3 superfici:

1. *Diaframmatica o base* (concava) \Rightarrow è formata soprattutto dal lobo inferiore, ma anche dalla faccia inferiore della lingua.

2. *Costale o laterale* (convessa)
3. *Mediastinica o mediale* (concava) ⇒ presenta l'ilo (punto di entrata dell'arteria polmonare e del bronco principale e di uscita delle vene polmonari) e la *fossa cardiaca*, in cui è accolto il cuore.

I polmoni presentano 3 margini:

1. Anteriore (sottile; sul polmone sinistro, presenta l'*incisura cardiaca* (⇒ per accogliere il cuore) e la *lingula* (⇒ parte a forma di lingua preceduta dall'incisura cardiaca))
2. Posteriore o costo-vertebrale (smusso)
3. Inferiore (segmento mediale: concavo; segmento laterale: convesso)

I margini anteriore e posteriore delimitano il confine tra le porzioni costale e mediastinica del polmone, rispettivamente davanti e dietro.

Il margine inferiore segna il contorno della faccia inferiore del polmone. La parte mediale è concava, per accogliere il cuore. La parte laterale è convessa; è la parte più mobile del polmone; fa parte del seno costo-frenico.

Apice del polmone ⇒ porzione al di sopra della 2° costa, di forma conica. Supera di 1-3 cm il livello della clavicola (*regione o fossa sopraclavicolare*). È una parte molto estesa; è poco mobile ⇒ qui si insedia il batterio della tubercolosi. Rapporti: arteria e vena succlavia e plesso brachiale.

Polmoni:

- **Destro** ⇒ **3 lobi** (*superiore, medio, inferiore*); scissura principale e scissura secondaria
- **Sinistro** ⇒ **2 lobi** (*superiore, inferiore*); scissura principale

Scissura principale od obliqua ⇒ decorre dall'alto al basso e dall'indietro in avanti. Parte dall'ilo (superficie mediastinica) e si porta indietro e in alto, evidenziando l'apice del polmone. Passa poi sulla superficie costale, diretta dall'alto in basso e dall'indietro in avanti. Divide il lobo superiore dal lobo inferiore (nel polmone sinistro). Nel polmone destro, è incompleta ⇒ lobo superiore e lobo medio non sono separati. Il lobo inferiore è uguale a quello di sinistra; il lobo superiore del polmone sinistro è diviso, nel destro, in un lobo superiore e in un lobo medio, separati dalla *scissura secondaria od orizzontale*.

Ilo ⇒ sulla faccia mediastinica. È centrale, spostato verso il margine posteriore (⇒ a causa della fossa cardiaca ⇒ cuore). Altezza: 8-9 cm; larghezza: 4-5 cm. Attraverso l'ilo:

1. entra l'arteria polmonare
2. escono le vene polmonari
3. entra il bronco principale

Tessuto connettivo:

- *Portante* ⇒ più evidente ⇒ circonda vasi e bronchi
- *Interstiziale* ⇒ si vede solo al microscopio ⇒ fa da ossatura alla parete degli alveoli ⇒ funzionalmente più importante del precedente.

Se il connettivo interstiziale, normalmente sottilissimo, si espande crescendo, gli scambi gassosi non avvengono più (perché i vasi non riescono a passare): ad es., nella polmonite interstiziale, le particelle virali si localizzano nell'interstizio dei setti connettivali ⇒ arrivano leucociti ⇒ infiammazione (nella polmonite comune, i batteri si installano nelle cavità alveolari).

Vasi bronchiali ⇒ mentre i vasi polmonari svolgono la circolazione "pubblica", i vasi bronchiali compiono la circolazione "privata" dei polmoni. Le arterie bronchiali sono 1 a destra e 1 o 2 a sinistra; originano dalla faccia posteriore dell'aorta toracica. Le vene bronchiali sono tributarie della vena azigos.

Pleura ⇒ membrana sierosa che contiene il polmone ed in rapporto con la parete dell'emitorace. Consta di due foglietti:

- *Foglietto viscerale* (pleura polmonare) ⇒ aderisce al polmone
- *Foglietto parietale* (pleura parietale) ⇒ aderisce alla parete toracica

Tra i due foglietti, c'è uno spazio, la cavità pleurica, che permette la funzione respiratoria, avendo una pressione un po' inferiore alla pressione atmosferica (760-2=758 mmHg). Le due cavità pleuriche sono indipendenti tra loro e separate dal mediastino.

La pleura parietale è divisa in 3 distretti:

- Costale (laterale) ⇒ aderisce alla faccia interna delle coste
- Mediastinica (mediale) ⇒ tra sterno e colonna vertebrale
- Diaframmatica (inferiore) ⇒ aderisce alla parete emidiaframmatica superiore

La pleura parietale, nei punti di incontro delle tre parti, forma dei recessi, detti *seni pleurici*. Essi sono degli spazi che possono venir occupati, durante l'espansione inspiratoria, dai margini dei polmoni (margine anteriore ⇒ seno costo-mediastinico anteriore; margine inferiore (segmento laterale) ⇒ seno costo-diaframmatico).

Seni pleurici:

- *Costo-diaframmatico o costo-frenico*
- *Costo-mediastinico anteriore* (il posteriore è quasi inesistente)

La base del polmone arriva a livello di T10; il seno costo-diaframmatico raggiunge l'altezza di T12 (7-8 cm più in basso). In condizioni normali, il polmone non raggiunge mai, col suo margine inferiore, il fondo del seno costo-diaframmatico, che, a sua volta, non arriva mai all'inserzione del diaframma (all'origine dell'arcata costale), ma termina 2-3 cm più in alto.

Versamento pleurico ⇒ del liquido va a occupare il seno costo-diaframmatico, ostacolando l'inspirazione.

Rapporti della faccia mediastinica dei polmoni:

- Posteriormente ⇒ solco per arco dell'aorta e aorta discendente (a sx), solco per vena azigos ed esofago (a dx; quello della vena azigos ha a forma di bastone);
- Centralmente ⇒ ilo
- Anteriormente ⇒ fossa cardiaca, solco per la vena cava superiore (a dx)

Gerarchia delle suddivisioni dei polmoni:

- *Lobi*
 - *Segmenti*
 - *Lobuli*

Segmenti di divisione dei bronchi principali:

- Polmone destro:
 - Lobo superiore ⇒ 3 segmenti
 - Lobo medio ⇒ 2 segmenti
 - Lobo inferiore ⇒ 5 segmenti
- Polmone sinistro:
 - Lobo superiore ⇒ 5 segmenti
 - Lobo inferiore ⇒ 5 segmenti

Ciascun segmento si divide poi in molti lobuli.

Segmento ⇒ porzione di lobo che ha un proprio ramo di arteria polmonare, un proprio ramo di vena polmonare e un proprio ramo di bronco polmonare (bronco segmentario).

Tra i due bronchi principali \Rightarrow angolo di 70°

Gerarchia delle suddivisioni dei bronchi:

- *Bronchi lobari*
 - *Bronchi segmentari*
 - *Bronchi lobulari*
 - *Bronchioli terminali*
 - *Bronchioli respiratori*
 - *Condotti alveolari*
 - *Alveoli*

All'interno di ciascun lobulo penetra un bronco lobulare, che si divide in 2 bronchioli terminali, che si dividono ciascuno in 2 bronchioli respiratori, che si dividono ciascuno in 2 condotti alveolari, a cui fanno capo alcuni alveoli.

Degli alveoli, in realtà, incominciano a comparire già a livello dei bronchioli respiratori. Qui, gli alveoli sono separati tra loro da *speroni* (regioni di tessuto bronchiolare \Rightarrow brush cells + 1-2 cellule muscolari + cellula di Clara (non ci sono cellule secernenti)). Sono numerosissimi nei condotti alveolari.

Anatomia microscopica dei polmoni

Man mano che si scende nei livelli di ramificazione bronchiali, diminuiscono le cellule caliciformi mucipare e le ghiandole tracheali, tipiche dell'epitelio della trachea (tonaca mucosa) (\Rightarrow il muco intaserebbe il sottilissimo lume dei condotti).

La cartilagine nei bronchi principali costituisce degli archi (come nella trachea) (la parete posteriore è di natura muscolare). Nei polmoni, invece, gli archi cartilaginei sono rimpiazzati da placche cartilaginee discontinue, disposte su tutti i lati. La cartilagine nei polmoni si va riducendo, fino a scomparire dai bronchioli terminali (diametro: 1 mm) in poi.

La muscolatura liscia, nei polmoni, si distribuisce lungo tutto il contorno. Non è circolare, né continua (altrimenti, contraendosi, occluderebbe il bronchiolo): è obliqua e discontinua (\Rightarrow il bronchiolo si accorcia senza restringersi, rimanendo quindi sempre aperto).

Nei polmoni le cellule bronchiolari o di Clara, rare nell'epitelio tracheale, vanno aumentando. Queste cellule secernono agenti proteolitici, che sciolgono e rendono meno viscoso il muco (prodotto da rare cellule caliciformi mucipare) nei bronchioli, in modo tale da impedirne l'occlusione.

Alveoli \Rightarrow cavità rivestite da pareti sottilissime e contenenti aria. A livello degli alveoli avvengono gli scambi gassosi (ematosi \Rightarrow il sangue cede CO_2 e riceve O_2). Hanno un diametro dell'ordine delle centinaia di μm . Le pareti degli alveoli contengono capillari sanguigni (che originano dall'arteria polmonare), necessari per la funzione respiratoria. Il sangue, dopo essere stato ossigenato a livello degli alveoli, passa dai capillari (\Rightarrow arteria polmonare) alle radici delle vene polmonari, che lo riportano al cuore (atrio sinistro).

Setto interalveolare \Rightarrow parete comune tra due alveoli adiacenti. Qui avvengono gli scambi gassosi dei due alveoli che lo delimitano. È retto da un'impalcatura di connettivo interstiziale. La sua composizione è uguale in entrambe le sue pareti. Al microscopio appare visibile, ma non si riescono a distinguere le varie strutture che lo caratterizzano.

Al termine di un condotto alveolare c'è uno slargamento (atrio), che immette nei vari alveoli. Gli alveoli posti all'estremità di un condotto alveolare costituiscono un *sacco alveolare*.

L'epitelio alveolare è costituito da due tipi di cellule:

1. **Pneumociti di I tipo** \Rightarrow cellule piatte, che poggiano su una membrana basale e formano la parete di rivestimento dell'alveolo, partecipando agli scambi respiratori.

2. **Pneumociti di II tipo** \Rightarrow cellule cubiche con microvilli; non hanno una funzione di rivestimento, ma di tipo secretivo: nella parte apicale del loro citoplasma sono localizzati molti granuli (*corpi multilamellari*; costituiti dal fosfolipide di-palmitoil-lecitina), che saranno esocitati nel lume dell'alveolo. Questi corpi multilamellari hanno un ruolo tensioattivo, agendo da surfactante: riducono cioè la tensione superficiale nella cavità alveolare. L'aria inspirata è fredda e viene scaldata, filtrata e umidificata nelle vie respiratorie. A livello degli alveoli, perciò, l'acqua contenuta nell'aria precipita, costituendo un sottile velo di condensa che si deposita sulla parete interna dell'alveolo. Quando si espira, questo velo si avvicina nelle sue parti, costituendo una gocciolina microscopica. Alla successiva inspirazione, la gocciolina si oppone a riassumere la forma di velo \Rightarrow la parete dell'alveolo si sforza. Il surfactante del pneumocita di II tipo facilita la trasformazione della gocciolina in velo. Nel neonato, i pneumociti di II tipo non sono subito pronti a produrre il tensioattivo: perciò, nei primi giorni di vita, il bambino utilizza il tensioattivo della madre. Dopo qualche giorno, i pneumociti di II tipo del neonato incominciano a produrre il tensioattivo. Se il neonato è prematuro (fino all'8° mese), però, i pneumociti di II tipo non sono pronti neppure dopo questo lasso temporale \Rightarrow quando finisce il tensioattivo materno i polmoni si sforzano \Rightarrow i pneumociti di I tipo muoiono formando laminee vitree (*malattia delle membrane ialine*) (oggi ai prematuri si somministrano tensioattivi sintetici).

Nella parete dell'alveolo, tuttavia, sono presenti anche dei macrofagi, che però non sono cellule di rivestimento specifiche dell'epitelio alveolare (sono presenti in tutti i tessuti). I macrofagi sono cellule cubiche, con prolungamenti citoplasmatici, contenenti fagolisosomi. Sono cellule mobili che arrivano nella parete dell'alveolo, svolgono la loro tipica funzione di pulizia, per poi andarsene (o nei linfonodi, o nell'alveolo per poi essere escreti). Rimuovono soprattutto carbone (\Rightarrow *pigmento antracoide* \Rightarrow deriva dallo smog; è una polvere inerte e, quindi, non ha effetti dannosi; i numerosissimi macrofagi contenenti pigmento antracoide e residenti nel tessuto connettivo conferiscono ai polmoni il loro caratteristico "tatuaggio" grigio scuro, facilmente ravvisabile sulla faccia esterna di questi organi) e silice (cristallo che provoca un'inflammatione grave (*silicosi*), in quanto i macrofagi scatenano - fagocitandolo - una risposta infiammatoria che ostacola gli scambi respiratori).

Il setto interalveolare è formato da:

- Impalcatura di connettivo interstiziale
- Pneumociti di I tipo, poggianti su una membrana basale
- Capillari \Rightarrow formati da cellule endoteliali poggianti su una membrana basale (diversa da quella su cui poggiano i pneumociti di I tipo).

Membrana alveolo-capillare (o *barriera aria-sangue*) \Rightarrow è costituita dagli strati interposti tra i gas dell'alveolo (aria atmosferica) e i gas del capillare (CO_2 e O_2). È la zona in cui la distanza lume alveolo-lume capillare è minima ($\sim 2000 \text{ \AA}$). È a livello della membrana alveolo-capillare che avvengono gli scambi respiratori. È formata, in successione dall'alveolo al capillare, da:

1. Pneumocita di I tipo dell'alveolo
2. Membrana basale del pneumocita di I tipo
3. Membrana basale della cellula endoteliale
4. Cellula endoteliale del capillare

Nelle polmoniti interstiziali, l'infezione è localizzata a livello della membrana alveolo-capillare \Rightarrow i leucociti arrivano e provocano la reazione infiammatoria, che fa aumentare la distanza tra i lumi dell'alveolo e del capillare, ostacolando l'ossigenazione.

Pori o canali di Kohn \Rightarrow canali di comunicazione tra un alveolo e l'altro, i quali attraversano il setto interalveolare. Stabiliscono una comunicazione tra un alveolo che viene ventilato da un bronchiolo e un alveolo ventilato da un altro bronchiolo (anche di grado diverso) \Rightarrow se la via principale che va

a un alveolo è bloccata, quell'alveolo viene comunque ventilato, tramite la connessione fornita dal canale di Kohn.