

APPARATO RESPIRATORIO

L'Apparato Respiratorio: Struttura e Funzioni

L'apparato respiratorio è costituito dalle superfici respiratorie (alveoli) dei polmoni e dalle vie aeree (naso, faringe, laringe, trachea e albero bronchiale extra ed intrapolmonare). Include inoltre le cavità pneumatiche associate alle cavità nasali, ossia i seni paranasali. Oltre alla funzione primaria di ventilazione e scambio gassoso, svolge altri ruoli essenziali:

- Partecipazione alla fonazione mediante la laringe e le strutture annesse.
- Valutazione degli odori grazie ai recettori olfattivi nelle cavità nasali.
- Stabilizzazione meccanica del torace durante sforzi fisici.
- Regolazione biochimica di molecole circolanti nel sangue.

Funzioni dell'Apparato Respiratorio

Le principali funzioni comprendono:

- **Scambi gassosi:** fornisce una superficie per l'ossigenazione del sangue e l'eliminazione di anidride carbonica.
- **Trasporto dell'aria:** consente il flusso d'aria da e verso le superfici alveolari.
- **Protezione:** previene disidratazione, sbalzi di temperatura e attacchi patogeni grazie al muco e al battito ciliare.
- **Fonazione:** produzione di suoni per linguaggio e comunicazione non verbale.
- **Regolazione del pH e della pressione sanguigna:** coopera con l'apparato cardiovascolare per mantenere l'equilibrio acido-base e il volume sanguigno.

Rivestimento Epiteliale

Le vie respiratorie sono rivestite da un **epitelio pseudostratificato cilindrico ciliato** con abbondanti cellule caliciformi che producono muco. Questo muco intrappola particelle estranee e microrganismi, che vengono trasportati verso la faringe tramite il movimento ciliare (ascensore mucociliare) per essere espulsi o deglutiti nello stomaco.

La porzione inferiore della faringe è rivestita da **epitelio pavimentoso stratificato** non cheratinizzato, che protegge dall'abrasione causata dal transito del cibo verso l'esofago.

Nelle vie aeree inferiori, il battito ciliare continua a muovere il muco verso la faringe, garantendo la pulizia delle vie respiratorie. Gli alveoli, invece, sono rivestiti da **epitelio pavimentoso semplice**, adatto agli scambi gassosi.

L'apparato respiratorio è costituito da strutture che veicolano l'aria alle superfici di scambio gassoso dei polmoni. Comprende il naso, le cavità nasali, i seni paranasali, la faringe, la laringe, la trachea, i bronchi e i condotti di calibro progressivamente minore, fino agli alveoli. Anatomicamente, si suddivide in due tratti principali: **tratto respiratorio superiore** e **tratto respiratorio inferiore**.

Tratto superiore

Le vie aeree superiori comprendono il naso, le cavità nasali, i seni paranasali e la faringe (rinofaringe e orofaringe). La loro funzione principale è filtrare, riscaldare e umidificare l'aria inspirata, proteggendo le superfici più delicate del tratto inferiore da particelle, agenti patogeni e condizioni ambientali estreme. L'aria viene così preparata per raggiungere i polmoni in condizioni ottimali di temperatura e umidità.

Tratto inferiore

Il tratto respiratorio inferiore include la laringe, la trachea, i bronchi, i bronchioli e gli alveoli. Qui avvengono la conduzione dell'aria e lo scambio gassoso. La porzione di conduzione si estende dalla trachea ai bronchi principali, mentre la porzione respiratoria è rappresentata da bronchioli respiratori e alveoli, dove avviene lo scambio di ossigeno e anidride carbonica tra aria e sangue.

Epitelio respiratorio

La superficie interna delle vie respiratorie è rivestita da un epitelio pseudostratificato, cilindrico e ciliato, con cellule caliciformi che producono muco. Questo muco, insieme al movimento delle ciglia, intrappola particelle e microrganismi, spingendoli verso la faringe (ascensore muco-ciliare), dove vengono deglutiti e neutralizzati nello stomaco. Nelle vie respiratorie inferiori, questo meccanismo contribuisce a mantenere le vie di passaggio libere da impurità.

Protezione delle superfici respiratorie

Le superfici respiratorie, come gli alveoli, costituiscono una barriera sottilissima tra aria e capillari sanguigni. Questa barriera è molto estesa, con un'area di circa 200 m², e rende gli alveoli particolarmente vulnerabili a stress meccanici e infezioni. Per proteggerli dalla disidratazione, dal freddo e dalle particelle abrasive, l'apparato respiratorio è rivestito da canali umidificati e

caldi con pareti ricoperte di muco. Piccole particelle che raggiungono gli alveoli vengono fagocitate dai macrofagi, che neutralizzano eventuali agenti nocivi. In sintesi, l'apparato respiratorio svolge funzioni vitali di conduzione e scambio gassoso, garantendo che l'aria sia filtrata, riscaldata e umidificata prima di raggiungere i polmoni e proteggendo il corpo da agenti esterni dannosi.

Il naso e le cavità nasali

Il **naso** è la principale via di passaggio per l'aria che entra nell'apparato respiratorio. La struttura esterna ha forma piramidale ed è costituita da un angolo superiore (radice), che si collega alla fronte, e un angolo libero (punta o lobulo). Il dorso del naso è formato dalle facce laterali che si incontrano lungo il piano mediano, mentre la base presenta due aperture, le narici, separate dal **setto nasale**.

Lo scheletro del naso è composto da una parte ossea e una cartilaginea. Le **ossa nasali**, i processi frontali delle ossa mascellari e il palato formano la porzione superiore e il pavimento delle cavità nasali. La parte cartilaginea include la cartilagine del setto, le cartilagini laterali e quelle alari maggiori e minori. La cute che riveste il naso è sottile sul dorso ma più spessa e ricca di ghiandole sebacee nella regione delle ali e del lobulo.

Struttura delle cavità nasali

L'aria entra nelle **cavità nasali** attraverso le narici, passando nel vestibolo nasale, una porzione iniziale rivestita da un epitelio con peli rigidi che intrappolano particelle di grandi dimensioni come polvere o insetti. Il vestibolo è delimitato da cartilagini alari che sostengono questa regione flessibile.

Le cavità nasali sono divise in due sezioni (destra e sinistra) dal **setto nasale**, costituito dalla lamina perpendicolare dell'etmoide, dal vomere e da cartilagine ialina. Le pareti laterali sono formate dalle ossa mascellari, nasali, frontali, etmoidali e sfenoidali. Le cavità nasali si aprono posteriormente nella rinofaringe attraverso le **coane**.

Funzioni delle cavità nasali

Le cavità nasali filtrano, riscaldano e umidificano l'aria grazie al muco prodotto dalle ghiandole mucose e al movimento delle ciglia. La **turbolenza dell'aria**, indotta dalla presenza dei cornetti nasali (superiore, medio e inferiore), prolunga il tempo di contatto dell'aria con la mucosa respiratoria, migliorando questi processi. Il pavimento delle cavità nasali è costituito dal **palato duro** (formato da ossa mascellari e palatine), che separa le cavità nasali da quella orale, e dal **palato molle**, che segna il confine con la faringe.

Epitelio e rivestimento

La mucosa delle cavità nasali varia a seconda della regione:

- Il **vestibolo** è rivestito da epitelio pavimentoso cheratinizzato, in continuità con la cute.
- Procedendo posteriormente, l'epitelio si trasforma in un epitelio **pseudostratificato ciliato** (respiratorio), ricco di cellule caliciformi che producono muco.
- Nella parte superiore delle cavità nasali si trova l'**epitelio olfattivo**, che contiene cellule sensoriali olfattive responsabili della percezione degli odori.

Seni paranasali

I **seni paranasali** (frontali, sfenoidali, mascellari e le cellule etmoidali) sono cavità pneumatiche localizzate nelle ossa circostanti. Si aprono nelle cavità nasali tramite piccoli orifizi, permettendo il passaggio di aria e muco. Questi seni contribuiscono alla risonanza della voce, alla riduzione del peso del cranio e alla fisionomia individuale. In caso di infezioni, il muco può accumularsi, causando infiammazioni croniche, specialmente nel seno mascellare.

Protezione e filtrazione

La mucosa nasale, insieme al muco e al movimento ciliare, intrappola e rimuove le particelle inalate, prevenendo l'ingresso di agenti dannosi. Questo sistema di filtrazione, unito alla turbolenza dell'aria indotta dai cornetti, garantisce una preparazione ottimale dell'aria prima che raggiunga le vie respiratorie inferiori.

La faringe: struttura e funzioni

La **faringe** è un canale muscolo-membranoso lungo 12-14 cm, situato dietro le cavità nasali, la bocca e la laringe. Si estende dalla base del cranio fino al margine inferiore della cartilagine cricoide, dove si continua con l'esofago. È una struttura condivisa tra l'apparato respiratorio e quello digerente, fungendo da via di passaggio per aria e alimenti. Posteriormente è separata dalla colonna vertebrale cervicale da un tessuto connettivo lasso, mentre le sue pareti laterali, flessibili, comunicano con la cavità del timpano tramite le tube uditive di Eustachio.

La faringe è suddivisa in tre porzioni principali:

- **Rinofaringe** (o nasofaringe)
- **Orofaringe**
- **Laringofaringe**

Rinofaringe

La rinofaringe è la porzione superiore della faringe, situata dietro le cavità nasali e sopra il palato molle. Comunica con le cavità nasali attraverso le **coane** e con l'orofaringe tramite l'**istmo faringeo**, che si chiude durante la deglutizione grazie all'elevazione del palato molle e alla contrazione dello sfintere faringo-palatino. La sua mucosa è rivestita da epitelio respiratorio **pseudostratificato cilindrico ciliato** con cellule caliciformi.

Nella volta della rinofaringe si trova la **tonsilla faringea** (adenoide), un aggregato di tessuto linfoide appartenente al sistema MALT. In caso di ipertrofia, questa struttura può ostruire il passaggio dell'aria. Sulle pareti laterali sono presenti gli orifizi delle **tube uditive**, che mettono in comunicazione la rinofaringe con l'orecchio medio. In prossimità di questi orifizi si trovano le **tonsille tubariche**, agglomerati di tessuto linfoide bilaterali.

Orofaringe

L'orofaringe è la porzione centrale della faringe, che si estende dal palato molle fino al margine superiore dell'epiglottide. Comunica con la cavità orale tramite l'**istmo delle fauci**, delimitato dall'**arco glossopalatino**. La mucosa qui presenta un epitelio **pavimentoso stratificato non cheratinizzato**, resistente alle abrasioni meccaniche.

Sulle pareti laterali dell'orofaringe si trovano due pieghe muscolari:

- L'**arco glossopalatino** (anteriore)
- L'**arco faringopalatino** (posteriore), più prominente e mediale.

Tra i due archi si forma una depressione triangolare, la **fossa tonsillare**, che ospita la **tonsilla palatina**, una struttura linfoide importante per la risposta immunitaria. Posteriormente, l'orofaringe si trova in corrispondenza della seconda vertebra cervicale.

Laringofaringe

La laringofaringe è la porzione inferiore della faringe, che si estende dal margine superiore dell'epiglottide fino al margine inferiore della cartilagine cricoide, dove si continua con l'esofago. Anteriormente si apre nell'**adito laringeo**, permettendo il passaggio dell'aria verso la laringe.

Come l'orofaringe, la laringofaringe è rivestita da epitelio **pavimentoso stratificato non cheratinizzato**, adatto a resistere alle abrasioni e agli agenti chimici.

Struttura generale della faringe

La parete della faringe è composta da tre strati:

1. **Tonaca mucosa:** in continuità con le mucose delle cavità nasali, della bocca, delle tube uditive e della laringe.
 - Nella rinofaringe l'epitelio è di tipo respiratorio.
 - Nell'orofaringe e nella laringofaringe diventa pavimentoso stratificato non cheratinizzato.
2. **Tonaca sottomucosa:** con tessuto connettivo e ghiandole sieromucose.
3. **Tonaca muscolare:** formata da muscoli striati che permettono la deglutizione e il passaggio di aria e alimenti.

Funzioni della faringe

La faringe svolge un ruolo cruciale nella respirazione e nella deglutizione:

- **Respirazione:** consente il passaggio dell'aria tra cavità nasali, laringe e trachea.
- **Deglutizione:** guida il bolo alimentare dalla cavità orale all'esofago, evitando l'ingresso nella trachea grazie alla chiusura dell'adito laringeo durante la deglutizione.

LA LARINGE

La **laringe** è un organo cavo situato nel collo, che svolge funzioni fondamentali nella respirazione, nella fonazione e nella protezione delle vie aeree inferiori. Si estende dalla radice della lingua fino alla trachea e si apre superiormente nella laringofaringe, continuandosi inferiormente con la trachea. È posizionata anteriormente ai grossi vasi del collo e, nei maschi adulti, si trova generalmente a livello delle vertebre C3-C4. Nelle donne e nei bambini è situata in posizione leggermente più alta.

Struttura e cartilagini

La laringe è costituita da una struttura scheletrica formata da **cartilagini**, **legamenti** e **muscoli**, collegata all'osso ioide. Comprende tre grandi cartilagini impari (tiroidea, cricoidea, epiglottide) e tre paia di cartilagini più piccole (aritenoidi, corniculate, cuneiformi).

1. Cartilagine tiroidea

È la cartilagine più grande, con una forma a scudo. Costituisce la maggior parte delle pareti anteriore e laterali della laringe. Anteriormente presenta la prominenza laringea, nota come *pomo d'Adamo*, particolarmente evidente nei

maschi. Superiormente fornisce attacco legamentoso all'epiglottide, mentre inferiormente si articola con la cartilagine cricoidea.

2. Cartilagine cricoidea

Ha una forma ad anello completo con una porzione posteriore (lamina) più alta rispetto alla parte anteriore. È situata inferiormente alla cartilagine tiroidea e fornisce supporto alla parte posteriore della laringe. Superiormente si articola con le cartilagini aritenoidi, mentre inferiormente è connessa al primo anello tracheale tramite legamenti.

3. Epiglottide

Ha una forma di foglia o calzascarpe e si estende sopra la glottide. Si attacca alla cartilagine tiroidea e all'osso ioide tramite legamenti. Durante la deglutizione, l'epiglottide si piega all'indietro per chiudere la glottide, impedendo l'ingresso di cibo o liquidi nelle vie respiratorie.

4. Cartilagini laringee pari

- **Aritenoidi:** hanno forma piramidale e si articolano con la parte superiore della cartilagine cricoidea. Regolano la tensione delle pieghe vocali e l'apertura della glottide.
- **Corniculate:** si articolano con gli apici delle aritenoidi e partecipano alla fonazione e ai movimenti della glottide.
- **Cuneiformi:** sono cartilagini elastiche posizionate nelle pieghe ariepiglottiche, fornendo supporto strutturale.

Legamenti e pieghe

I legamenti intrinseci connettono tutte le cartilagini della laringe tra loro, mentre i legamenti estrinseci collegano la cartilagine tiroidea all'osso ioide e la cartilagine cricoidea alla trachea. Tra i legamenti principali ci sono i **legamenti vestibolari** (pieghe vestibolari o *corde vocali false*) e i **legamenti vocali** (pieghe vocali o *corde vocali vere*).

- **Pieghe vestibolari:** situate superiormente, sono poco elastiche e proteggono le pieghe vocali vere.
- **Pieghe vocali:** altamente elastiche, vibrano quando attraversate dal flusso d'aria, producendo onde sonore. Sono fondamentali per la fonazione e la loro tensione è regolata dalla contrazione di specifici muscoli laringei. La lunghezza, il diametro e la tensione delle pieghe vocali influenzano l'altezza e l'intensità del suono prodotto. Nei bambini, le pieghe vocali sono corte e sottili, mentre durante la pubertà, nei maschi, diventano più lunghe e spesse, producendo toni più gravi rispetto alle femmine.

Tonaca mucosa

La **mucosa della laringe** si continua superiormente con quella della faringe e inferiormente con quella della trachea. È costituita principalmente da **epitelio respiratorio ciliato**, che contribuisce alla detersione muco-ciliare. Tuttavia, in alcune aree sottoposte a maggiori sollecitazioni meccaniche, come le pieghe vocali e le superfici della laringe rivolte verso l'orofaringe e la laringofaringe, l'epitelio diventa **pavimentoso stratificato non cheratinizzato**, per garantire una maggiore protezione. La mucosa contiene numerose **ghiandole mucose**, particolarmente abbondanti sopra l'epiglottide, che lubrificano e proteggono le superfici interne.

Muscolatura laringea

La muscolatura laringea si divide in due gruppi principali:

1. Muscoli intrinseci

- Regolano la tensione delle pieghe vocali e aprono o chiudono la glottide.
- Coinvolgono principalmente le cartilagini tiroidee, aritenoidee e corniculate, con funzioni dirette nella modulazione del suono.
- Durante la deglutizione, chiudono la glottide per impedire l'ingresso di cibo nelle vie aeree.

2. Muscoli estrinseci

- Connettono la laringe alle strutture circostanti, come l'osso ioide.
- Sono responsabili del movimento verticale della laringe durante la deglutizione e la fonazione, oltre a garantirne la stabilità.

Funzioni della laringe

1. Respirazione

La laringe mantiene aperte le vie aeree grazie al supporto delle sue cartilagini, evitando il collasso durante il passaggio dell'aria.

2. Fonazione

L'aria che passa attraverso la glottide fa vibrare le pieghe vocali, generando il suono. La tensione delle pieghe, regolata dai muscoli intrinseci, permette di modulare altezza e intensità del suono. La voce maschile è generalmente più grave a causa delle pieghe vocali più lunghe e spesse.

3. Protezione delle vie aeree

Durante la deglutizione, i muscoli estrinseci elevano la laringe e l'epiglottide si chiude sopra la glottide, prevenendo l'ingresso di cibo o liquidi nelle vie respiratorie.

4. Tosse riflessa

Se particelle solide o liquide raggiungono le pieghe vestibolari o vocali, si attiva un riflesso di tosse per espellerle e proteggere le vie respiratorie inferiori.

Trachea e continuità con la laringe

Inferiormente, la laringe si collega alla trachea, un tubo resistente e flessibile, lungo circa 11 cm e con un diametro di 2,5 cm. La trachea è formata da 15-20 **anelli cartilaginei a forma di C**, uniti da legamenti elastici e completati posteriormente dal muscolo tracheale, che permette la deformazione durante la deglutizione. La mucosa della trachea, simile a quella della laringe, è composta da epitelio respiratorio con funzione di detersione e protezione.

In sintesi, la laringe rappresenta un complesso sistema anatomico e funzionale, essenziale per la respirazione, la produzione della voce e la protezione delle vie aeree, con un'organizzazione strutturale che consente di adattarsi alle diverse esigenze meccaniche e fisiologiche.

La Trachea

La trachea è un condotto respiratorio cilindrico, resistente e flessibile, lungo circa 10-11 cm e con un diametro di circa 2,5 cm. Si estende dalla **cartilagine cricoidea** della laringe (a livello della sesta vertebra cervicale) fino alla biforcazione nei due **bronchi principali** destro e sinistro, situata all'altezza del margine superiore della quinta vertebra toracica. Durante una profonda inspirazione, la biforcazione tracheale può spostarsi fino alla sesta vertebra toracica.

Struttura e rapporti

La trachea è situata anteriormente all'esofago e decorre attraverso il collo e il mediastino. È costituita da una combinazione di elementi cartilaginei, muscolatura liscia e tessuti connettivi, ed è internamente rivestita dalla **mucosa respiratoria**. Questo rivestimento epiteliale ciliato si continua con l'epitelio della laringe e svolge un ruolo cruciale nella protezione e nella detersione delle vie respiratorie.

Gli **anelli cartilaginei tracheali**, in numero di 15-20, rinforzano la struttura della trachea, prevenendone il collasso durante la respirazione e le variazioni pressorie. Ogni anello ha la forma di una "C", con la porzione chiusa che protegge le pareti anteriore e laterale, mentre la parte aperta, rivolta posteriormente verso l'esofago, è chiusa da un legamento elastico e dal **muscolo tracheale**, una banda di muscolatura liscia. Questa configurazione consente alla parete tracheale posteriore di deformarsi durante la deglutizione, permettendo il passaggio di alimenti voluminosi attraverso l'esofago.

Strati della trachea

La parete tracheale è costituita da quattro strati principali:

1. Tonaca mucosa

- È composta da **epitelio respiratorio ciliato**, poggiante su uno strato di tessuto connettivo lasso definito **lamina propria**. Questi due elementi formano un'unità strutturale che riveste il lume e contribuisce alla funzione di detersione delle vie respiratorie, favorendo la rimozione di particelle inalate e secrezioni mucose.

2. Tonaca sottomucosa

- Uno strato di tessuto connettivo denso che contiene numerose **ghiandole mucose**, i cui dotti sboccano sulla superficie dell'epitelio. Queste ghiandole secernono muco che umidifica e protegge la mucosa tracheale.

3. Strato cartilagineo

- Comprende gli **anelli cartilaginei tracheali** a forma di "C", uniti da **legamenti anulari elastici**, che conferiscono elasticità e resistenza alla struttura.

4. Strato muscolare

- La parte posteriore degli anelli cartilaginei è chiusa dal **muscolo tracheale**, che regola il diametro del lume tracheale. La contrazione di questo muscolo riduce il diametro della trachea, aumentando la resistenza al flusso aereo; al contrario, la sua distensione, mediata dal sistema nervoso simpatico, favorisce un maggiore passaggio d'aria.

Funzioni

La trachea svolge diverse funzioni fondamentali:

1. Conduzione dell'aria

- La trachea rappresenta il principale canale di passaggio dell'aria dalla laringe ai bronchi principali, garantendo la continuità delle vie respiratorie.

2. Protezione e detersione

- L'epitelio ciliato, insieme alle ghiandole mucose, filtra l'aria inspirata intrappolando polveri e microrganismi, successivamente rimossi attraverso il movimento delle ciglia.

3. Adattabilità

- La struttura cartilaginea garantisce rigidità, mentre la muscolatura liscia e i legamenti elastici consentono una certa flessibilità e adattabilità, come durante la deglutizione o le variazioni del volume d'aria inspirato.

Biforcazione tracheale

La trachea termina nel mediastino a livello della biforcazione, dove si divide nei due **bronchi principali**, destro e sinistro. Questa divisione avviene in una regione chiamata **carena tracheale**, una cresta cartilaginea posta sul piano interno della biforcazione, particolarmente sensibile a stimoli che inducono il riflesso della tosse.

In sintesi, la trachea è un elemento essenziale del sistema respiratorio, grazie alla sua struttura combinata di resistenza e flessibilità, che le permette di svolgere un ruolo chiave nella respirazione e nella protezione delle vie aeree inferiori.

Bronchi

La trachea si ramifica a livello della quinta vertebra toracica, formando i due bronchi principali, destro e sinistro, noti come bronchi extrapolmonari poiché si trovano al di fuori dei polmoni. Alla biforcazione si trova una struttura cartilaginea chiamata carena, che segna il punto di separazione tra i due bronchi.

Caratteristiche generali

Il bronco destro è più corto, più largo e presenta un decorso più verticale rispetto al sinistro, rendendolo più suscettibile all'ingresso di corpi estranei. I bronchi principali condividono la stessa struttura istologica della trachea, con una mucosa respiratoria e anelli cartilaginei a forma di C.

Ogni bronco principale entra nel polmone attraverso l'**ilo polmonare**, un'area situata sulla superficie mediale del polmone che funge da punto di passaggio per vasi sanguigni, nervi e linfatici. L'ilo è stabilizzato dalla radice del polmone, un traliccio di tessuto connettivo denso che ancora i polmoni al mediastino.

Suddivisioni dei bronchi

Dopo essere penetrati nei polmoni, i bronchi principali si suddividono in:

- **Bronchi lobari (secondari):** uno per ciascun lobo polmonare (tre nel polmone destro e due nel sinistro).
- **Bronchi segmentali (terziari):** derivano dai bronchi lobari e ventilano i segmenti broncopolmonari (10 segmenti nel polmone destro e 8-9 in quello sinistro, a seconda delle fusioni avvenute durante lo sviluppo).

Ad ogni ramificazione, la componente cartilaginea si riduce progressivamente, trasformandosi da anelli completi in placche sparse, fino a scomparire del tutto

nei bronchioli. Questo passaggio si accompagna a una crescente prevalenza di muscolatura liscia, che regola il diametro delle vie aeree.

Differenze tra i polmoni

Nel **polmone destro**, i tre bronchi lobari ventilano:

- Il lobo superiore, tramite tre bronchi segmentali.
- Il lobo medio, tramite due bronchi segmentali.
- Il lobo inferiore, tramite cinque bronchi segmentali.

Nel **polmone sinistro**, i due bronchi lobari ventilano:

- Il lobo superiore, tramite quattro bronchi segmentali.
- Il lobo inferiore, tramite cinque bronchi segmentali.

Funzione e importanza

L'intero sistema bronchiale, noto come *albero bronchiale*, ha la funzione di convogliare l'aria verso i polmoni e distribuirla uniformemente. La riduzione graduale della cartilagine è funzionale a garantire sia il supporto strutturale sia la flessibilità necessaria per l'adattamento alle variazioni di volume polmonare durante la respirazione.

Polmoni e Vie Respiratorie

I polmoni sono organi essenziali per la respirazione e si trovano nelle cavità pleuriche destra e sinistra all'interno della gabbia toracica. Hanno la forma di un cono tronco: l'apice si estende superiormente al di sopra della prima costa, mentre la base, ampia e concava, poggia sulla superficie del diaframma.

Struttura e suddivisioni

Ogni polmone è suddiviso in lobi da profonde scissure:

- Il **polmone destro**, più grande, è composto da tre lobi (superiore, medio e inferiore), separati da una scissura orizzontale e una obliqua.
- Il **polmone sinistro**, più piccolo per la presenza del cuore, presenta due lobi (superiore e inferiore), separati dalla scissura obliqua. La faccia mediale del polmone sinistro presenta un'incisura cardiaca, che accoglie il cuore.

Ogni polmone ha una **faccia costale** convessa, in contatto con la gabbia toracica, e una **faccia mediastinica** più irregolare, che ospita l'ilo polmonare, il punto di ingresso ed uscita per bronchi, vasi sanguigni, linfatici e nervi.

Il tessuto connettivo della radice polmonare si estende nel parenchima, formando trabecole che suddividono i lobi in compartimenti più piccoli fino ai

lobuli, le unità funzionali del polmone. Ogni lobulo è ventilato dai bronchioli e vascolarizzato da rami delle arterie e vene polmonari.

Pleure

Ciascun polmone è rivestito da una membrana sierosa detta **pleura**, formata da due foglietti:

- La **pleura viscerale**, che aderisce alla superficie esterna del polmone.
- La **pleura parietale**, che riveste la superficie interna del torace, il diaframma e le strutture mediastiniche.

Tra i due foglietti si trova il **liquido pleurico**, che riduce l'attrito durante i movimenti respiratori.

Vie Respiratorie nei Polmoni

Le vie aeree all'interno dei polmoni formano un sistema di ramificazioni progressivamente più piccole, partendo dai **bronchi principali** fino agli **alveoli**:

1. **Bronchi principali**: ventilano ciascun polmone e si ramificano nei bronchi lobari.
2. **Bronchi lobari (secondari)**: ventilano i lobi (tre per il polmone destro, due per il sinistro).
3. **Bronchi segmentali (terziari)**: ventilano i segmenti broncopolmonari (10 nel polmone destro e 8-9 nel sinistro).
4. **Bronchioli**: privi di cartilagine, si ramificano nei **bronchioli terminali**, circa 6.500 per ogni bronco segmentale.
5. **Bronchioli respiratori**: connessi a singoli alveoli e a multipli alveoli tramite i **dotti alveolari**.

I dotti alveolari terminano nei **sacchi alveolari**, camere che contengono numerosi **alveoli**, le unità funzionali dello scambio gassoso. Ogni polmone contiene circa **150 milioni di alveoli**, che conferiscono ai polmoni il loro aspetto spugnoso.

Struttura e Funzione degli Alveoli

Gli alveoli sono rivestiti da **epitelio pavimentoso semplice** e circondati da una rete di capillari perialveolari e fibre elastiche. Queste fibre contribuiscono a mantenere la struttura degli alveoli, dei dotti alveolari e dei bronchioli respiratori e, durante l'espirazione, facilitano la riduzione del volume alveolare per il rilascio dell'aria.

Le cellule che formano gli alveoli sono:

1. **Pneumociti di I tipo:** grandi cellule pavimentose che costituiscono la maggior parte della superficie alveolare e sono responsabili degli scambi gassosi.
2. **Pneumociti di II tipo:** cellule rotondeggianti che producono il **surfactante**, una sostanza oleosa ricca di fosfolipidi. Il surfactante riduce la tensione superficiale e previene il collasso degli alveoli durante l'espiazione.
3. **Macrofagi alveolari:** cellule fagocitarie che proteggono gli alveoli rimuovendo particelle estranee e microrganismi che raggiungono la superficie alveolare.

Membrana Respiratoria

Gli scambi gassosi avvengono attraverso la **membrana respiratoria**, che comprende:

- L'epitelio pavimentoso degli alveoli.
- L'endotelio dei capillari perialveolari.
- Una sottile membrana basale condivisa.

Questa struttura estremamente sottile e permeabile consente un efficiente scambio di ossigeno e anidride carbonica tra l'aria negli alveoli e il sangue nei capillari.

Circolazione Sanguigna nei Polmoni

Il sangue destinato agli scambi respiratori proviene dalle arterie polmonari, che si ramificano seguendo la struttura bronchiale fino ai capillari alveolari. Dopo lo scambio gassoso, il sangue ossigenato passa nelle vene polmonari e raggiunge l'atrio sinistro del cuore. Inoltre, i capillari alveolari sono la principale fonte dell'enzima di conversione dell'angiotensina (ACE), fondamentale per la regolazione del volume e della pressione sanguigna.

Il tratto di conduzione dell'apparato respiratorio (cavità nasali, laringe, trachea e bronchi) riceve sangue dalle arterie bronchiali e da rami delle arterie carotidi e succlavie. Il sangue venoso refluo si unisce a quello ossigenato nelle vene polmonari, diluendolo leggermente.

Ventilazione Polmonare

La ventilazione polmonare consiste nel movimento fisico dell'aria verso e dagli alveoli per mantenere un adeguato ricambio gassoso. Può essere classificata in:

- **Eupnea** (respirazione tranquilla): l'inspirazione richiede la contrazione dei muscoli respiratori, mentre l'espiazione è un processo passivo determinato dal ritorno elastico dei polmoni.
- **Iperpnea** (respirazione forzata): sia inspirazione che espiazione sono attive, coinvolgendo muscoli accessori e muscoli addominali.

I muscoli coinvolti nella respirazione includono:

- **Diaframma**, che aumenta il volume toracico durante l'inspirazione.
- **Intercostali esterni**, che sollevano le coste durante l'inspirazione.
- **Intercostali interni**, che abbassano le coste favorendo l'espiazione.
- **Muscoli accessori** (sternocleidomastoideo, trasverso del torace, obliqui e retto addominale), che entrano in gioco durante la respirazione forzata.

Regolazione della Respirazione

Il ritmo respiratorio è controllato da centri nervosi situati nel bulbo e nel ponte dell'encefalo:

- **Centro respiratorio dorsale**, che regola i muscoli coinvolti nella respirazione tranquilla.
- **Centro respiratorio ventrale**, che controlla i muscoli accessori.
- **Centri apneustico e pneumotassico**, che modulano la frequenza e la profondità del respiro in risposta a stimoli esterni. La respirazione è influenzata da riflessi mediati da meccanocettori, chemocettori e recettori protettivi, che rispondono rispettivamente a variazioni di volume polmonare, pH, concentrazione di gas nel sangue e stimoli meccanici.

Regolazione del ritmo respiratorio

La respirazione è controllata da nuclei situati nel ponte e nel midollo allungato, parte della formazione reticolare. Questi centri regolano la frequenza e la profondità della ventilazione polmonare e si dividono in:

- **Gruppo respiratorio dorsale (GRD)**: regola i muscoli intercostali esterni e il diaframma durante la respirazione tranquilla e forzata.
- **Gruppo respiratorio ventrale (GRV)**: coinvolto nella respirazione forzata, innerva i muscoli accessori utilizzati nell'inspirazione massimale e nell'espiazione attiva.

Il ritmo respiratorio è modulato dai **centri apneustico e pneumotassico**, situati nel ponte, che influenzano velocità e profondità del respiro in risposta a stimoli sensitivi o segnali provenienti dai centri superiori.

La respirazione è perlopiù inconscia, ma può essere influenzata da riflessi e stati emotivi:

1. **Riflessi meccanocettivi:** rispondono a variazioni di volume polmonare o pressione arteriosa.
2. **Riflessi chemocettivi:** regolano la respirazione in base alle concentrazioni di CO_2 , O_2 e al pH nel sangue e nel liquido cerebrospinale.
3. **Riflessi protettivi:** attivati da irritazioni meccaniche o chimiche delle vie respiratorie.

I centri superiori (corteccia cerebrale e ipotalamo) possono influire sul respiro inviando segnali diretti ai muscoli respiratori o agendo sul centro pneumotassico. Inoltre, il sistema extrapiramidale e la formazione reticolare, collegati ai nuclei sensitivi e motori, contribuiscono a regolare il ritmo respiratorio in risposta a emozioni intense.

Apparato Respiratorio: Differenze Fisiologiche e Regolazione

Differenze tra apparato respiratorio fetale e neonatale

Prima della nascita, il sistema respiratorio fetale è strutturato per soddisfare le esigenze del feto in un ambiente privo di aria. I vasi polmonari sono collassati, con una resistenza arteriosa polmonare elevata. La gabbia toracica è compressa, e i polmoni e le vie aeree contengono una piccola quantità di liquido.

Alla nascita, il neonato compie il primo atto respiratorio mediante la contrazione vigorosa del diaframma e dei muscoli intercostali esterni. Questo consente all'aria di entrare nelle vie respiratorie, spingendo fuori il fluido e gonfiando progressivamente i bronchi e la maggior parte degli alveoli. Contestualmente, la variazione del flusso sanguigno polmonare porta alla chiusura del **foro ovale** (una comunicazione interatriale presente in utero) e del **dotto arterioso** (connessione tra tronco polmonare e aorta). Durante l'espirazione, i polmoni non si svuotano completamente, grazie alla presenza di tessuto connettivo e cartilagine, che mantengono aperte le vie respiratorie, e al surfattante alveolare, che impedisce il collasso degli alveoli. Con i successivi atti respiratori, si completa l'espansione alveolare.

Adattamenti fisiologici con l'età

L'apparato respiratorio subisce modifiche significative con l'invecchiamento, che ne riducono l'efficienza:

1. **Perdita di elasticità:** la degenerazione delle fibre elastiche nei polmoni diminuisce la capacità di espandersi e retrarsi.

2. **Rigidità della gabbia toracica:** cambiamenti nelle articolazioni costali (es. artriti) e nella flessibilità delle cartilagini limitano i movimenti toracici.

3. **Riduzione del volume respiratorio:** contribuisce a un calo generale delle prestazioni fisiche.

4. **Enfisema:** una perdita progressiva della superficie respiratoria, che inizia intorno ai 30 anni e accelera con abitudini dannose come il fumo, compromette ulteriormente l'efficienza respiratoria.

In media, dopo i 30 anni, si perdono circa 30 cm^2 di superficie respiratoria all'anno, con un grado variabile in base allo stile di vita.