

ANATOMÍA MICROSCÓPICA y FUNCIONAL DEL ARBOL RESPIRATORIO

Cada **bronquio segmental** se divide en **bronquiolos** que tienen un diámetro menor de un milímetro. El **bronquiolo** tiene una túnica mucosa y un músculo espiral, pero carece de cartilago y glándulas. Las fibras musculares lisas están bajo control hormonal y nervioso, y en condiciones normales, su tono disminuye ligeramente en la inspiración y aumenta en la espiración. La acción de estimulantes de la fibra muscular lisa o la liberación de sustancias del tipo de la histamina o serotonina pueden producir una contracción anormal de la musculatura lisa, llegando a provocar el broncoespasmo, con la constricción consiguiente del bronquiolo.

El **árbol alveolar** cumple la función propiamente respiratoria y se ramifica sucesivamente en **bronquiolo terminal**, parte todavía más fina del sistema de conducción, y **bronquiolo respiratorio**. El bronquiolo respiratorio tiene un diámetro menor de 0,5 milímetros y se ramifica en un número variable, entre dos y once, de **conductos alveolares**. El conducto alveolar se ramifica en dos o cuatro cámaras, llamadas atrios de los cuales nacen **alvéolos únicos** y **sáculos alveolares** que representan un acúmulo de alvéolos, los cuales se abren en una cámara central, este aspecto de racimo del sáculo alveolar ha justificado el término de acino pulmonar. El número aproximado de alvéolos se calcula en trescientos millones, y en conjunto formarían una superficie respiratoria cuya área podría estimarse entre sesenta y ochenta metros cuadrados (una cancha de tenis).

El **alvéolo pulmonar** está revestido por un epitelio de células aplanadas: unas son respiratorias, llamadas **tipo I**, que aparentemente desempeñan un papel pasivo en el proceso de difusión de los gases; otras, **células magnas tipo II**, que parecen secretar el material **surfactante**, lipoproteína, que es un agente humefactor de superficie, que reduce la tensión superficial del alvéolo. El epitelio descansa sobre una membrana basal y la cavidad del alvéolo contiene macrófagos alveolares o "células del polvo", que fagocitan partículas de polvo a otros materiales inhalados con el aire de la respiración y mantienen limpia esta cavidad. La superficie exterior de los alvéolos y sáculos alveolares está en íntimo contacto con la red capilar que se interpone entre las ramificaciones de la arteria pulmonar (sangre venosa) y el origen de las venas pulmonares (sangre arterializada); estos capilares forman la **red capilar respiratoria**.

En las personas de edad avanzada el alvéolo sufre los efectos de la **elastosis**, proceso involutivo del tejido conectivo que se caracteriza por el aumento, deterioro y degeneración de las fibras elásticas, con hiperplasia de las fibras colágenas. Se considera que este proceso estaría en alguna forma relacionado con el enfisema senil y los fenómenos generales propios de la senescencia a involución, tales como la arterioesclerosis.

VASOS

La vascularización de los pulmones consta de los vasos encargados de realizar **la circulación funcional (respiratoria)**, y de los vasos de **la circulación nutritiva** de los pulmones.

Circulación Funcional

El **tronco pulmonar** procede del ventriculo derecho, lleva sangre venosa y se bifurca en dos **arterias pulmonares**. Cada una penetra en el hilio pulmonar correspondiente y se distribuye según un esquema general, similar al patrón segmental del árbol branquial.

Las **venas pulmonares** conducen al atrio izquierdo a sangre arterializada de los pulmones, mezclada con sangre venosa procedente de las venas bronquiales profundas. En el interior del pulmón siguen un trayecto diferente al de las arterias y bronquios y se sitúan en los septos intersegmentales o en la superficie de los segmentos. En la proximidad del hilio, la vena

pulmonar derecha superior recibe los afluentes de los lobos superiores y medio: la vena pulmonar derecha inferior recibe los del lobo inferior. Las venas pulmonares izquierdas reciben los afluentes de sus respectivos lobos. Se han descrito frecuentes variaciones en el número y calibre de las venas pulmonares y se han reportado anomalías con respecto a su desembocadura. Las venas pulmonares y sus ramas no tienen válvulas y todo aumento de presión en el atrio izquierdo altera el sistema venoso pulmonar y el proceso respiratorio.

Circulación Nutritiva

Las **arterias bronquiales** se han descrito con los bronquios, y sus ramificaciones llegan hasta los bronquios respiratorios; presentan numerosas anastomosis precapilares con las arteriolar del sistema de la arteria pulmonar. Además de los bronquios y bronquiolos, irrigan la pleura pulmonar y suministran arteriolas para las paredes de los vasos pulmonares (*vasa vasorum*) y para los nodos linfáticos. Las **venas bronquiales** profundas de los bronquiolos respiratorios carecen de válvulas y son afluentes de las venas pulmonares. Las venas bronquiales superficiales de los bronquios mayores poseen válvulas, especialmente numerosas en el segmento extrapulmonar, y desembocan en las venas ácigos o en las intercostales posteriores. Por lo tanto, las circulaciones funcional y nutritiva, si bien difieren en algunos aspectos, no llegan a conformar sistemas independientes o paralelos, sino interrelacionados.

LINFÁTICOS

Los **linfáticos del pulmón** forman un denso **plexo superficial** situado en el tejido conectivo subpleural, dotado de un gran número de válvulas y mezclado con tejido linfoideo, y un **plexo profundo** situado alrededor de los bronquios y de los vasos pulmonares. Ambos plexos comunican a lo largo de los septos intersegmentales y usualmente la corriente sigue un curso centrípeto de la pleura a los linfáticos profundos. Los linfáticos terminan en los **nodos pulmonares** situados a nivel de los bronquios segmentales, en los **nodos broncopulmonares** del hilio, nodos traqueobronquiales inferiores y superiores, asociados respectivamente a la parte superior de los bronquios principales ya la bifurcación traqueal; terminan en los **nodos traqueales** situados a cada lado de la tráquea. Los linfáticos del pulmón derecho terminan en los nodos traqueales derechos; los del pulmón izquierdo drenan, los de la parte superior, en los nodos traqueales izquierdos y los de la parte inferior, en los nodos traqueales derechos; los de la porción media, en ambos lados. Los nodos traqueales drenan en los **troncos broncomediastinales** conectados con los **nodos cervicales profundos**, especialmente con los **supraclaviculares**; esto permite evaluar procesos neoplásicos del pulmón mediante biopsia derecha o izquierda, acorde con la localización tumoral

NERVIOS

La **inervación** de los pulmones proviene del sistema visceral por el **plexo pulmonar anterior**, que recibe un aporte adicional del plexo cardíaco, y el **plexo pulmonar posterior** que recibe un contingente adicional del plexo cardíaco y en el lado izquierdo del nervio laríngeo recurrente homolateral. **No hay inervación sensorial.**

Las **fibras simpáticas preganglionares** derivan de los segmentos medulares T1 a T11; hacen sinapsis en los ganglios vecinos y las fibras **postganglionares** se distribuyen a lo largo de los vasos, sobre todo la arteria pulmonar, y de los bronquios. Inervan tanto el músculo bronquial, el epitelio alveolar, como el músculo liso de los vasos sanguíneos. Ejercen una acción broncodilatadora y vasoconstrictora.

Las **fibres parasimpáticas** provienen de los nervios vagos. Las fibras **preganglionares** pasan a través de los plexos pulmonares y terminan en ganglios situados en el hilio del pulmón y a lo largo del árbol bronquial. Las fibras **postganglionares** se distribuyen en la musculatura de los bronquios y conductos alveolares que contraen o en las glándulas bronquiales. que estimulan o en los vasos sanguíneos que dilatan.

Las **fibras aferentes** provienen de los conductillos alveolares y bronquios, donde existen terminaciones nerviosas intraepiteliales, mucosas, submucosas y musculares, y de los plexos perivasculares tanto pulmonares como bronquiales. Ascenden, en su mayoría, por el tronco vagal homolateral. Estimuladas por la expansión pulmonar, estas fibras intervienen en el control de la respiración y la integración de la función respiratoria con el sistema cardiovascular; algunas provenientes de la mucosa bronquial, al ser estimuladas, provocan el reflejo tusígeno.

FISIOLOGÍA DE LA RESPIRACIÓN

La **respiración** consiste en el intercambio de gases, basado en la ventilación, difusión y transporte de éstos por la corriente sanguínea.

La **ventilación** es la circulación de aire, controlada por los movimientos de **inspiración**, que dura más o menos dos segundos, y **expiración** que dura aproximadamente tres segundos.

Durante la inspiración, el tórax aumenta sus diámetros por acción de la musculatura respiratoria; el aumento de la capacidad torácica determina la dilatación de los pulmones y el ingreso de aire gracias a la presión intrapleurales negativa. Las superficies adosadas del saco pleural se hallan en contacto debido a una presión negativa y a la propiedad cohesiva de las serosas opuestas; éstas pueden ser comparadas a dos vidrios superpuestos con líquido interpuesto, que pueden deslizarse uno sobre otro fácilmente, pero no se separan sino cuando se ejerce cierta fuerza. La presión atmosférica contribuye igualmente a la penetración del aire a los pulmones. En condiciones de reposo, la inspiración es tanto diafragmática como costal, la primera es más profunda y predomina durante el sueño, mientras la segunda es más superficial y refuerza en cierto modo la primera.

En la expiración, la musculatura respiratoria se relaja, los diámetros torácicos se reducen y la capacidad torácica disminuye; los pulmones por su propiedad elástica se contraen y expulsan el aire. Normalmente los pulmones llenan por completo las cavidades pleurales, excepto los recesos pleurales de reserva.

La **capacidad respiratoria** durante la respiración normal, entre inspiración y expiración, es de 500 ml de aire y se llama **volumen funcional**. En una inspiración forzada pueden inhalarse 1500 a 3500 ml más de aire, constituyendo el **volumen inspiratorio complementario o de reserva**. En una expiración forzada pueden expulsarse 1500 ml de aire, que representan el **volumen expiratorio suplementario o de reserva**. La **capacidad vital** es la suma de los tres, mayor en atletas entrenados, disminuida en ciertas afecciones respiratorias y cardíacas; oscila entre 3500 a 5000 ml. En el árbol respiratorio quedan aproximadamente 1000 ml que no pueden expulsarse ni con esfuerzo y constituyen el **volumen residual**. El conjunto de los cuatro volúmenes es la **capacidad pulmonar total**.

La **frecuencia respiratoria** varía con la edad y las condiciones de metabolismo. Normalmente en el recién nacido es de más de 40 por minuto; en el primer año es de 35 a 40; a los 5 años es de 25; a los 20 años de 20 y a los 30 años es de 14 a 18 respiraciones por minuto. En la senectud y en la involución, la frecuencia respiratoria aumenta ligeramente.

El **requerimiento normal de aire en locales cerrados**, para que la respiración se realice normalmente, es de 5 metros cúbicos para un niño y de 15 metros cúbicos para un adulto. Un adulto en condiciones de reposo requiere de 7 a 8 litros de aire por minuto, requerimiento que aumenta hasta 90 litros por minuto en caso de realizar un esfuerzo de gran intensidad.

La **difusión de los gases** se efectúa a través de la barrera aire-sangre o membrana alveolocapilar. Esta membrana está formada por el adosamiento del epitelio alveolar, de 0.05 micra de espesor, con su membrana basal que se fusiona con la del epitelio capilar de la red

respiratoria, con un grosor total de 0.1 micra; además del endotelio del vaso capilar, cuyo espesor se estima en 0.05 micra.-Por consiguiente, entre el aire que ocupa el alveolo y la sangre de los vasos capilares, se interpone una barrera cuyo espesor total es de aproximadamente 0.2 micra.

El equilibrio que se establece en los gradientes de presión de los gases situados a cada lado de la membrana alveolocapilar produce la transformación de la sangre venosa en sangre arterial, la primera con un alto contenido de CO₂ y una reducida proporción de O₂. El proceso de difusión que permite el flujo de O₂ de los alveolos hacia la sangre, simultáneamente con el paso de CO₂ de la sangre hacia los alvéolos, tiende a igualar las presiones parciales de los gases separados por la membrana alveolocapilar que, en condiciones normales, opone una resistencia muy débil a su flujo. Por este proceso, la sangre de los vasos capilares se enriquece en O₂ y el aire alveolar lo hace en CO₂. Entre los factores condicionantes del proceso de difusión se citan el coeficiente de difusión de los gases, las características de la membrana alveolocapilar y el tiempo de contacto entre ambas fases.

La regulación de la respiración depende de controles nervioso y químico.

El control nervioso se verifica esencialmente en el **centro respiratorio** situado en la parte dorsal de la sustancia reticular de la médula oblongada y del puente. Entre los diversos centros ligados al proceso respiratorio, se ha establecido cierta especialización y descrito centros inspiratorios, espiratorios, apnéicos y neumotáxicos, estos últimos con acción moduladora sobre el ritmo respiratorio. Adicionalmente, vías especiales de los sistemas piramidal y extrapiramidal se utilizan al modificar la respiración voluntariamente, o al presentarse trastornos de excitación y ansiedad. Voluntariamente, puede mantenerse suspendida la respiración durante cierto tiempo, al cabo del cual el centro neumotáxico acaba por dominar y obliga a la producción de una inspiración. El cerebelo interviene igualmente en la coordinación de los movimientos respiratorios, al hablar o cantar.

Diversos reflejos actúan a través de diferentes tipos de receptores existentes en el aparato respiratorio. Entre éstos merece destacarse el reflejo de los receptores de tensión en los pulmones: cíclicamente, las terminaciones sensoriales de los pulmones son estimuladas por la distensión, enviando impulsos por las fibras aferentes que estimulan el centro espiratorio a inhiben el centro inspiratorio. El reflejo tusígeno es desencadenado por causas mecánicas o por irritaciones químicas. Además, están presentes quimorreceptores periféricos en el globo carotídeo situado en la bifurcación de las arterias carótidas comunes inervado por los nervios vago y glossofaríngeo; son sensibles a la concentración de hidrogeniones, a la hipoxia con aumento concomitante del CO₂ y emiten impulsos al centro respiratorio para que se acreciente su actividad. Otros quimorreceptores intracraneales situados en la región de los recesos laterales del cuarto ventrículo actúan sobre la ventilación, de acuerdo con la composición del líquido cerebroespinal. El aumento de la temperatura corporal y el ejercicio físico actúan también como factores estimulantes.

El control químico se integra con los quimorreceptores periféricos y centrales. El estímulo más importante es el CO₂ y en segundo término el pH y la concentración de O₂. El CO₂ actúa directamente sobre los centros respiratorios a indirectamente sobre los quimorreceptores. El descenso del pH y el incremento simultáneo de la concentración de CO₂ en la sangre arterial aumentan la frecuencia y profundidad del ritmo respiratorio. El O₂ tiene una influencia menos acentuada: la frecuencia respiratoria puede reducirse en un 50% o bien aumentar en un 100% sin que la presión del O₂ en la sangre acuse una modificación apreciable; sin embargo, la hipoxia o falta de oxígeno activa la respiración.

FIN DEL RESUMEN

TRANSCRIPCIÓN : PROF. DR.MANUEL JERIA I .