

# Respiración

## VENTILACION PULMONAR

Las funciones principales de la respiración son proporcionar oxígeno a los tejidos y retirar el dióxido de carbono. Los cuatro componentes principales de la respiración son:

- 1) ventilación pulmonar, que se refiere al flujo de entrada y salida de aire entre la atmósfera y los alvéolos pulmonares;
- 2) difusión de oxígeno (O<sub>2</sub>) y de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) entre los alvéolos y la sangre;
- 3) transporte de oxígeno y de dióxido de carbono en la sangre y los líquidos corporales hacia las células de los tejidos corporales y desde las mismas, y
- 4) regulación de la ventilación y otras facetas de la respiración

## Mecánica de la ventilación pulmonar

### Músculos que causan la expansión y contracción pulmonar

Los pulmones se pueden expandir y contraer de dos maneras:

- 1) mediante el movimiento hacia abajo y hacia arriba del diafragma para alargar o acortar la cavidad torácica, y
- 2) mediante la elevación y el descenso de las costillas para aumentar y reducir el diámetro anteroposterior de la cavidad torácica

La respiración tranquila normal se consigue casi totalmente por el primer mecanismo, es decir, por el movimiento del diafragma. Durante la inspiración la contracción del diafragma tira hacia debajo de las superficies inferiores de los pulmones. Después, durante la espiración el diafragma simplemente se relaja, y el retroceso elástico de los pulmones, de la pared torácica y de las estructuras abdominales comprime los pulmones y expulsa el aire.

Por tanto, todos los músculos que elevan la caja torácica se clasifican como músculos inspiratorios y los músculos que hacen descender la caja torácica se clasifican como músculos espiratorios.

Los músculos más importantes que elevan la caja torácica son los intercostales externos, aunque otros músculos que contribuyen son:

- 1) los músculos esternocleidomastoideos, que elevan el esternón;
- 2) los serratos anteriores, que elevan muchas de las costillas, y
- 3) los escalenos, que elevan las dos primeras costillas.

Los músculos que tiran hacia abajo de la caja costal durante la espiración son principalmente:

- 1) los rectos del abdomen, que tienen el potente efecto de empujar hacia abajo las costillas inferiores al mismo tiempo que ellos y otros músculos abdominales también comprimen el contenido abdominal hacia arriba contra el diafragma, y
- 2) los intercostales internos.

### Presiones que originan el movimiento de entrada y salida de aire de los pulmones

El pulmón es una estructura elástica que se colapsa como un globo y expulsa el aire a través de la tráquea siempre que no haya ninguna fuerza que lo mantenga insuflado. Además, no hay uniones entre el pulmón y las paredes de la caja torácica, excepto en el punto en el que está suspendido del mediastino, la sección media de la cavidad torácica, en el hilio.

Por el contrario, el pulmón «flota» en la cavidad torácica, rodeado por una capa delgada de líquido pleural que lubrica el movimiento de los pulmones en el interior de la cavidad. Además, la aspiración continua del exceso de líquido hacia los conductos linfáticos mantiene una ligera presión negativa entre la superficie visceral del pulmón y la superficie pleural parietal de la cavidad torácica.

Por tanto, los pulmones están sujetos a la pared torácica como si estuvieran pegados, excepto porque están bien lubricados y se pueden deslizar libremente cuando el tórax se expande y se contrae.

### Presión pleural y sus cambios durante la respiración

La presión pleural es la presión del líquido que está en el delgado espacio que hay entre la pleura pulmonar y la pleura de la pared torácica. Como se ha señalado antes, esta presión es normalmente una aspiración ligera, lo que significa que hay una presión ligeramente negativa.

## Presión alveolar: presión del aire en el interior de los alvéolos pulmonares

Cuando la glotis está abierta y no hay flujo de aire hacia el interior ni el exterior de los pulmones, las presiones en todas las partes del árbol respiratorio, hasta los alvéolos, son iguales a la presión atmosférica, que se considera que es la presión de referencia cero en las vías aéreas (es decir, presión de 0 cmH<sub>2</sub>O). Para que se produzca un movimiento de entrada de aire hacia los alvéolos durante la inspiración, la presión en los alvéolos debe disminuir hasta un valor ligeramente inferior a la presión atmosférica (debajo de cero).

## Presión transpulmonar: diferencia entre las presiones alveolar y pleural

La presión transpulmonar es la diferencia entre la presión que hay en el interior de los alvéolos y la que hay en las superficies externas de los pulmones (presión pleural), y es una medida de las fuerzas elásticas de los pulmones que tienden a colapsarlos en todos los momentos de la respiración, denominadas presión de retroceso.

## CIRCULACION PULMONAR, EDEMA PULMONAR Y LIQUIDO PLEURAL

El pulmón tiene dos circulaciones:

- una circulación de bajo flujo y alta presión y
- una circulación de alto flujo y baja presión.

La circulación de bajo flujo y alta presión aporta la sangre arterial sistémica a la tráquea, el árbol bronquial incluidos los bronquiólos terminales, los tejidos de sostén del pulmón y las capas exteriores (adventicias) de las arterias y venas pulmonares.

Las arterias bronquiales, que son ramas de la aorta torácica, irrigan la mayoría de esta sangre arterial sistémica a una presión solo ligeramente inferior a la presión aórtica.

La circulación de alto flujo y baja presión que suministra la sangre venosa de todas las partes del organismo a los capilares alveolares en los que se añade el oxígeno (O<sub>2</sub>) y se extrae el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

La arteria pulmonar, que recibe sangre del ventrículo derecho, y sus ramas arteriales transportan sangre a los capilares alveolares para el intercambio gaseoso y a las venas pulmonares y después devuelven la sangre a la aurícula izquierda para su bombeo por el ventrículo izquierdo a través de la circulación sistémica.

## Anatomía fisiológica del sistema circulatorio pulmonar

### Vasos pulmonares

La arteria pulmonar se extiende solo 5 cm más allá de la punta del ventrículo derecho y después se divide en las ramas principales derecha e izquierda, que vascularizan los dos pulmones correspondientes.

La arteria pulmonar tiene un grosor de pared un tercio del de la aorta. Las ramas de las arterias pulmonares son cortas, y todas las arterias pulmonares, incluso las arterias más pequeñas y las arteriolas, tienen diámetros mayores que sus correspondientes arterias sistémicas.

### Vasos bronquiales

La sangre también fluye hacia los pulmones a través de arterias bronquiales pequeñas que se originan en la circulación sistémica y transportan el 1-2% del gasto cardíaco total.

Esta sangre arterial bronquial es sangre oxigenada, al contrario de la sangre parcialmente desoxigenada de las arterias pulmonares. Vascularizan los tejidos de soporte de los pulmones, como el tejido conjuntivo, los tabiques y los bronquios grandes y pequeños.

Después de que esta sangre bronquial y arterial pase a través de los tejidos de soporte, drena hacia las venas pulmonares y entra en la aurícula izquierda, en lugar de regresar hacia la aurícula derecha. Por tanto, el flujo hacia la aurícula izquierda y el gasto del ventrículo izquierdo son aproximadamente un 1-2% mayores que el gasto del ventrículo derecho.

### Linfáticos

Hay vasos linfáticos en todos los tejidos de soporte del pulmón, comenzando en los espacios tisulares conjuntivos que rodean a los bronquíolos terminales, y siguiendo hacia el hilio del pulmón, y desde aquí principalmente hacia el conducto linfático torácico derecho.

Las sustancias en forma de partículas que entran en los alvéolos son retiradas parcialmente por medio de estos conductos, y también eliminan de los tejidos pulmonares las proteínas plasmáticas que escapan de los capilares pulmonares, contribuyendo de esta manera a prevenir el edema pulmonar.

## Volumen sanguíneo de los pulmones

El volumen de la sangre de los pulmones es de aproximadamente 450 ml, aproximadamente el 9% del volumen de sangre total de todo el aparato circulatorio. Aproximadamente 70 ml de este volumen de sangre pulmonar están en los capilares pulmonares, y el resto se divide aproximadamente por igual entre las arterias y las venas pulmonares.

## Flujo sanguíneo a través de los pulmones y su distribución

El flujo sanguíneo a través de los pulmones es esencialmente igual al gasto cardíaco. Por tanto, los factores que controlan el gasto cardíaco también controlan el flujo sanguíneo pulmonar. En la mayoría de las situaciones los vasos pulmonares actúan como tubos distensibles que se dilatan al aumentar la presión y se estrechan al disminuir la presión. Para que se produzca una aireación adecuada de la sangre, esta debe distribuirse a los segmentos de los pulmones en los que los alvéolos estén mejor oxigenados.

## Edema pulmonar

El edema pulmonar se produce de la misma forma en que se produce el edema en cualquier otra localización del cuerpo. Cualquier factor que aumente la filtración de líquido fuera de los capilares pulmonares o que impida la función linfática pulmonar y provoque un aumento de la presión del líquido intersticial pulmonar desde el intervalo negativo hasta el intervalo positivo dará lugar al llenado rápido de los espacios intersticiales pulmonares y de los alvéolos con grandes cantidades de líquido libre.

Las causas más frecuentes de edema pulmonar son:

1. Insuficiencia cardíaca izquierda o valvulopatía mitral, con los consiguientes grandes aumentos de la presión venosa pulmonar y de la presión capilar pulmonar y el encharcamiento de los espacios intersticiales y de los alvéolos.
2. La lesión de las membranas de los capilares sanguíneos pulmonares producida por infecciones como la neumonía o por la inhalación de sustancias tóxicas como el gas cloro o el gas dióxido de azufre.

Cada uno de estos mecanismos da lugar a una fuga rápida tanto de proteínas plasmáticas como de líquido desde los capilares hacia los espacios intersticiales pulmonares y los alvéolos.

## Líquido en la cavidad pleural

Cuando los pulmones se expanden y se contraen durante la respiración normal se deslizan en el interior de la cavidad pleural. Para facilitar este movimiento hay una delgada capa de líquido mucoide entre las pleuras parietal y visceral.

La membrana pleural es una membrana serosa mesenquimatosa porosa a través de la cual trasudan continuamente pequeñas cantidades de líquido intersticial hacia el espacio pleural. Estos líquidos arrastran con ellos proteínas tisulares, lo que da al líquido pleural una característica mucoide, que es lo que permite el deslizamiento muy fácil de los pulmones en movimiento.

La cantidad total de líquido en cada una de las cavidades pleurales normalmente es pequeña, solo de algunos mililitros.

Siempre que la cantidad sea superior a la justa para comenzar a fluir en la cavidad pleural, el exceso de líquido es extraído mediante bombeo por los vasos linfáticos que se abren directamente desde la cavidad pleural hacia:

- 1) el mediastino;
- 2) la superficie superior del diafragma, y
- 3) las superficies laterales de la pleura parietal.

Por tanto, el espacio pleural (el espacio que hay entre las pleuras parietal y visceral) se denomina espacio virtual porque normalmente es tan estrecho que no es un espacio físico evidente.

## Presión negativa en el líquido pleural

Siempre es necesaria una fuerza negativa en el exterior de los pulmones para mantener expandidos los pulmones. Esta fuerza es proporcionada por la presión negativa del espacio pleural normal. La causa básica de esta presión negativa es el bombeo de líquidos desde el espacio pleural por los linfáticos (que también es la base de la presión negativa que se encuentra en la mayor parte de los espacios tisulares del cuerpo).

## PRINCIPIOS FISICOS DEL INTERCAMBIO GASEOSO; DIFUSION DE OXIGENO Y DIOXIDO DE CARBONO A TRAVES DE LA MEMBRANA RESPIRATORIA

Después de que los alvéolos se hayan ventilado con aire limpio, la siguiente fase de la respiración es la difusión del oxígeno (O<sub>2</sub>) desde los alvéolos hacia la sangre pulmonar y la difusión del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la dirección opuesta, desde la sangre a los alvéolos. El proceso de difusión es simplemente el movimiento aleatorio de moléculas en todas las direcciones a través de la membrana respiratoria y los líquidos adyacentes.

### Difusión de gases entre la fase gaseosa de los alvéolos y la fase disuelta de la sangre pulmonar

La presión parcial de cada uno de los gases en la mezcla de gas respiratorio alveolar tiende a hacer que las moléculas de ese gas se disuelvan en la sangre de los capilares alveolares.

Por el contrario, las moléculas del mismo gas que ya están disueltas en la sangre están rebotando de manera aleatoria en el líquido de la sangre, y algunas de estas moléculas que rebotan escapan de nuevo hacia los alvéolos. La velocidad a la que escapan es directamente proporcional a su presión parcial en la sangre.

### Presión de vapor de agua

Cuando se inhala aire no humidificado hacia las vías aéreas, el agua se evapora inmediatamente desde las superficies de estas vías aéreas y humidifica el aire. Esto se debe al hecho de que las moléculas de agua, al igual que las moléculas de los diferentes gases disueltos, están escapando continuamente de la superficie del agua hacia la fase gaseosa.

La presión parcial que ejercen las moléculas de agua para escapar a través de la superficie se denomina la presión de vapor del agua. A la temperatura corporal normal, 37 °C, esta presión de vapor es de 47 mmHg.

Por tanto, una vez que la mezcla de gases se ha humidificado totalmente (es decir, una vez que está en «equilibrio» con el agua), la presión parcial del vapor de agua en la mezcla de gases es de 47 mmHg.

Esta presión parcial, al igual que las demás presiones parciales, se denomina  $P_{H_2O}$ .

## Difusión de gases a través de la membrana respiratoria

### Unidad respiratoria

La unidad respiratoria (también denominada «lobulillo respiratorio»), que está formada por un bronquiólo respiratorio, los conductos alveolares, los atrios y los alvéolos.

Hay aproximadamente 300 millones de alvéolos en los dos pulmones, y cada alvéolo tiene un diámetro medio de aproximadamente 0,2 mm.

Las paredes alveolares son muy delgadas y entre los alvéolos hay una red casi sólida de capilares interconectados.

De hecho, debido a lo extenso del plexo capilar, se ha descrito que el flujo de sangre en la pared alveolar es una «lámina» de sangre que fluye. Así, es evidente que los gases alveolares están muy próximos a la sangre de los capilares pulmonares.

Además, el intercambio gaseoso entre el aire alveolar y la sangre pulmonar se produce a través de las membranas de todas las porciones terminales de los pulmones, no solo en los alvéolos. Todas estas membranas se conocen de manera colectiva como la membrana respiratoria, también denominada membrana pulmonar.

### Membrana respiratoria

Capas de la membrana respiratoria:

1. Una capa de líquido que contiene surfactante y que tapiza el alvéolo, lo que reduce la tensión superficial del líquido alveolar.
2. El epitelio alveolar, que está formado por células epiteliales delgadas.
3. Una membrana basal epitelial.
4. Un espacio intersticial delgado entre el epitelio alveolar y la membrana capilar.
5. Una membrana basal capilar que en muchos casos se fusiona con la membrana basal del epitelio alveolar.
6. La membrana del endotelio capilar.



## Factores que influyen en la velocidad de difusión gaseosa a través de la membrana respiratoria

En relación con el análisis anterior de la difusión de los gases en agua, se pueden aplicar los mismos principios a la difusión de gases a través de la membrana respiratoria.

Así, los factores que determinan la rapidez con la que un gas atraviesa la membrana son:

- 1) el grosor de la membrana;
- 2) el área superficial de la membrana;
- 3) el coeficiente de difusión del gas en la sustancia de la membrana, y
- 4) la diferencia de presión parcial del gas entre los dos lados de la membrana.

## Capacidad de difusión de la membrana respiratoria

La capacidad de la membrana respiratoria de intercambiar un gas entre los alvéolos y la sangre pulmonar se expresa en términos cuantitativos por la capacidad de difusión de la membrana respiratoria, que se define como el volumen de un gas que difunde a través de la membrana en cada minuto para una diferencia de presión parcial de 1 mmHg.