

MOVIMIENTO DE LOS PULMONES EN LA CAJA TORÁCICA:

Los pulmones no se encuentran en contacto directo con las paredes de la caja torácica, están rodeados por *líquido pleural* que llena el espacio de la caja no ocupado por los pulmones, por lo que es el líquido donde ellos se mueven y que ocupa el espacio entre ellos y la caja. Constantemente el líquido pleural está siendo retirado por los vasos linfáticos, a manera de “succión”, por lo que ni el líquido ni la caja ejercen realmente una presión directa sobre los pulmones, teniéndose en realidad una presión negativa que promueve la expansión del tejido pulmonar durante la inspiración.

La inspiración se da primordialmente por la contracción del diafragma, que tira de los pulmones hacia abajo, permitiendo la ampliación del volumen de la caja torácica para la entrada de aire en los pulmones. La inspiración forzada permite un incremento en la entrada de aire al expandir el diámetro anteroposterior del tórax, esto se da gracias a que las costillas y el esternón se elevan y se dirigen hacia adelante, todo esto dado por la contracción de músculos respiratorios accesorios, como los intercostales externos, los esternocleidomastoideos, los serratos anteriores y los escalenos. La contracción de estos músculos para permitir el incremento en la entrada de aire se da cuando la respiración normal es insuficiente.

PRESIÓN PLEURAL:

Sin una presión negativa constante en la cavidad torácica que tire de los pulmones hacia afuera, éstos colapsarían totalmente durante la espiración (al vaciarse), por tanto, como mencioné antes, la presión negativa que ejerce la aspiración del líquido pleural sirve como la presión base para evitar el colapso pulmonar, y es la presión que se tiene cuando inicia la inspiración, es decir, cuando los pulmones aún comenzarán a llenarse de aire. Esta presión es de **-5 cmH₂O**.

A continuación, el diafragma se contrae y la caja torácica se expande para permitir el ingreso de aire y, por tanto, llevar a cabo la inspiración. La expansión de la caja torácica incrementa la presión negativa, llegando hasta los **-7.5 cmH₂O**.

Cuando los pulmones expulsan el aire, volvemos a la presión negativa base, de -5 cmH₂O. Por lo que, durante todo el proceso de llenado y vaciado de aire en situaciones normales, la presión en la caja torácica que tira de los pulmones oscila entre -5 cmH₂O al inicio del llenado, y -7.5 cmH₂O durante la expansión del tórax, para volver a -5 cmH₂O al vaciarse de nuevo.

La presión del aire en la vía respiratoria está medida en cmH₂O y no mmHg.

PRESIÓN ALVEOLAR:

Si detuviéramos la expansión y retracción de los pulmones y permitiéramos una difusión natural del aire, la presión en el exterior (presión atmosférica), igualaría la presión en el interior de toda la vía respiratoria, llegando hasta los alveolos. Teniendo por ello, una presión base de 0 cmH₂O.

Cuando la caja torácica se expande y se alcanza una presión de $-7.5 \text{ cmH}_2\text{O}$ que expande los pulmones, el volumen interno del árbol respiratorio aumenta, por lo que la cantidad de aire que tenía normalmente cuando los pulmones estaban en reposo (ni en inspiración ni en espiración) ahora se difunde momentáneamente en un volumen mayor, generando entonces una presión menor en relación con la presión que el aire ejerce en el exterior de la vía respiratoria. Se genera entonces una presión negativa en el interior de los alveolos, que succiona aire desde el exterior, donde la presión es mayor, generando la inspiración. Esta presión es de apenas **$-1 \text{ cmH}_2\text{O}$** . La inspiración dura aproximadamente **2 segundos**.

Cuando la caja torácica se retrae, el volumen interno del árbol respiratorio disminuye, por lo que el volumen de aire que había ingresado durante la inspiración ahora se distribuye en un volumen menor, aumentando la presión en relación con el exterior, llegando a **$+1 \text{ cmH}_2\text{O}$** , haciendo que el aire sea expulsado al exterior, produciéndose la espiración. La espiración dura aproximadamente de **2 a 3 segundos**.

El volumen de aire que ingresa con cada respiración normal es de aproximadamente 0.5 L.

PRESIÓN TRANSPULMONAR:

La presión transpulmonar es otra medida de referencia en las presiones pulmonares. Es la diferencia entre la presión que hay en el interior de los alveolos y la presión pleural.

DISTENSIBILIDAD DEL PULMÓN:

La distensibilidad pulmonar es el volumen que los dos pulmones juntos se expanden con cada aumento unitario de la presión transpulmonar (si se le diera el tiempo suficiente para alcanzar el equilibrio). La distensibilidad de ambos pulmones en conjunto es en promedio en el adulto normal de aprox. 200 ml de aire por cada cmH_2O de presión transpulmonar. Eso significa que, cada vez que la presión transpulmonar aumenta $1 \text{ cmH}_2\text{O}$, el volumen pulmonar, después de 10 a 20 segundos, se expande 200 ml.

TENSIÓN SUPERFICIAL:

Las paredes internas de los alveolos están lubricadas por líquido alveolar. Al igual como lo hace el agua, este líquido tiene la propiedad de la *tensión superficial*. La tensión superficial del agua se da cuando las moléculas de su superficie, que entran en contacto con el aire exterior, tienden a contraerse entre sí, de esta manera las gotas de agua de la lluvia tratan de compactarse durante su recorrido en el aire, manteniéndose unidas, pues la tensión superficial dada por las moléculas de agua en la superficie de la gota ejerce tal efecto.

En el alveolo, se invierte el proceso dada la forma cóncava de éste. La tensión superficial del líquido alveolar trata de contraer este líquido, y con ello, tira de la superficie alveolar hacia dentro de sí misma, es decir, tiende a colapsarlo. Si juntamos la tensión superficial de todos los alveolos obtendremos una fuerza considerable que constantemente trata de colapsar al pulmón. Sin embargo, el equilibrio de todas las presiones mantiene estable a la vía respiratoria.

SURFACTANTE:

El surfactante es producido por las células epiteliales alveolares como parte del líquido alveolar, y su función es reducir la tensión superficial del líquido, de manera que el alveolo pueda permanecer abierto y expandido, sin colapsar.

El valor de la tensión superficial de los líquidos alveolares con cantidades normales de surfactante incluidas, es de 5-30 dinas/cm.

VOLÚMENES Y CAPACIDADES PULMONARES:

Los valores para los volúmenes respiratorios son valores promedio para un *hombre adulto joven*.

Sumados estos cuatro volúmenes dan como resultado el volumen total de aire que pueden almacenar los pulmones al expandirse hasta su capacidad máxima.

Los cuatro volúmenes pulmonares son:

Volumen corriente: Es el volumen de aire que ingresa a los pulmones durante cada inspiración normal, y que sale después durante cada espiración normal. Es de **500 ml**.

Volumen de reserva inspiratoria: Después de realizar una inspiración normal, es el volumen máximo de aire añadido que podemos inspirar cuando la persona inspira con una fuerza plena. Es de **3 L**.

Volumen de reserva espiratoria: Después de inspirar y espirar de manera normal, es la cantidad de aire extra que podemos espirar de manera forzada, para sacar todo el aire posible de los pulmones. Es equivalente a **1,100 ml**.

Volumen residual: Es la cantidad de aire que siempre permanecerá dentro de los pulmones después de espirar con fuerza todo lo que podamos. Es de **1200 ml**.

Las cuatro capacidades pulmonares son:

Capacidad inspiratoria: Es la capacidad de inspiración total. Es decir, después de realizar una espiración normal, es el volumen que normalmente se inspira (volumen corriente) más el volumen extra que podemos inspirar (volumen de reserva inspiratoria). 0.5 L más 3 L. Capacidad inspiratoria: **3.5 L**

Capacidad residual funcional: Es todo el aire que queda en el pulmón después de realizar una espiración normal. Es decir, todo lo que aún podríamos espirar de manera extra (volumen de reserva espiratoria) más el aire que de por sí permanecerá siempre en los pulmones (volumen residual). 1.1 L más 1.2 L.

Capacidad residual funcional: **2.3 L**

Capacidad vital: Es todo el aire que se puede movilizar en el pulmón. Es decir, después de haber inspirado a toda capacidad los pulmones, es todo el aire que podemos sacar a todo esfuerzo. Primero expulsaríamos el aire que corresponde al volumen de reserva inspiratoria,

más el volumen corriente normal que sacamos regularmente, más el volumen de reserva espiratoria que es el aire extra que podemos sacar.

Capacidad vital: **4.6 L.**

Capacidad pulmonar total: Es todo el aire que puede caber en los pulmones. Es la suma de todos los volúmenes respiratorios. Capacidad pulmonar total: **5.8 L.**

Todos los volúmenes y capacidades pulmonares son en promedio 20-25% menores en las mujeres que en los hombres.

VOLUMEN RESPIRATORIO MINUTO

Es todo el aire nuevo que ingresa normalmente a las vías respiratorias por cada minuto.

Se obtiene multiplicando el volumen corriente, que es el aire que ingresa con cada inspiración normal, por la cantidad de veces que respiramos en un minuto (*frecuencia respiratoria minuto*).

En condiciones normales, la frecuencia respiratoria es de aproximadamente **12 respiraciones por minuto**. Por tanto, se multiplica 12 x 500 ml (volumen corriente).

Volumen respiratorio minuto promedio de aproximadamente **6 L/min**

Estos valores pueden reducirse o incrementarse dependiendo de las necesidades y problemas respiratorios del paciente.

VENTILACIÓN ALVEOLAR:

El aire que ingresa a los pulmones con cada respiración normal va reemplazando continuamente al aire que ya se encontraba en el interior de las vías respiratorias. Es decir, el aire en los alveolos se renueva constantemente. La **ventilación alveolar** es la velocidad con la cual se va renovando el aire que llega a los alveolos por el aire nuevo que ingresa con cada inspiración.

ESPACIO MUERTO:

No todas las zonas de las vías respiratorias son capaces de ejercer el intercambio gaseoso, por ello, al aire que ocupa estas zonas, y que por ende no participa realmente en la respiración, se le llama *aire del espacio muerto*. Estas zonas incluyen la nariz, la faringe, laringe, tráquea y las zonas altas del árbol bronquial.

Cuando espiramos, primero sale el aire del espacio muerto, y con cada espiración el aire de los alveolos se acerca más a la salida, hasta que es expirado. Lo mismo ocurre con las inspiraciones, el aire que ingresa primero llena el espacio muerto, y conforme se vaya renovando el aire de las vías respiratorias con cada respiración, llegará hasta los alveolos, para después volver hasta el espacio muerto y ser expulsado.

El aire normal del espacio muerto de un hombre adulto joven es de aproximadamente 150 ml.

Cuando los alveolos funcionan parcialmente o algunos de ellos dejan de funcionar, el aire en ellos también es considerado espacio muerto, por lo que el espacio muerto real aumenta conforme más masa alveolar se vuelva no funcional.

FRECUENCIA DE LA VENTILACIÓN ALVEOLAR:

Sabemos que la ventilación alveolar es la entrada de aire nuevo a los alveolos, sustituyendo al aire que ahí se encontraba. La frecuencia de la ventilación alveolar es la cantidad de aire nuevo que llega hasta los alveolos por cada minuto.

Se calcula:

$$V_A = \text{Frec} \times (V_C - V_M)$$

V_A = Volumen de la ventilación alveolar por minuto

Frec = Frecuencia respiratoria

V_C = Volumen corriente

V_M : Volumen del espacio muerto

Obtenemos cuanto aire llega hasta los alveolos por minuto al obtener primero cuanto aire entra a los alveolos con cada respiración, y eso se obtiene al restarle al volumen corriente el aire que quedará en el espacio muerto, y luego multiplicándolo por el número de veces que respiramos por minuto.

$$V_A = 12 \times (500 \text{ ml} - 150 \text{ ml})$$

$$V_A = 4.2 \text{ L/min}$$