

## I. INTRODUCCIÓN

Todos los animales requieren oxígeno para llevar a cabo los procesos celulares de transformación de energía esencial para vivir. Durante el metabolismo celular, el oxígeno se consume cuando los nutrientes tales como la proteína, carbono hidratos, y grasas son oxidadas y se produce el dióxido de carbono como un producto residual gaseoso. Colectivamente, los procesos donde el oxígeno es cogido de la atmósfera, suministrado a las células del cuerpo, consumido, procesos de producción de dióxido de carbono y suministro a los pulmones por excreción a la atmósfera constituyen la *respiración*.

Los procesos de respiración se dividen en 3 categorías: respiración externa, transporte del gas, y respiración interna. La *Respiración Externa* se refiere a los mecanismos por los cuales una persona obtiene oxígeno del ambiente externo y elimina el dióxido de carbono en el ambiente externo. El *Transporte del Gas* se refiere a los mecanismos utilizados para distribuir el oxígeno y eliminar el dióxido de carbono de las células. La *Respiración Interna* se refiere a las reacciones químicas del metabolismo celular en los cuales el oxígeno es consumido y se produce el dióxido de carbono. En esta lección nos centraremos en los mecanismos de la respiración externa humana.

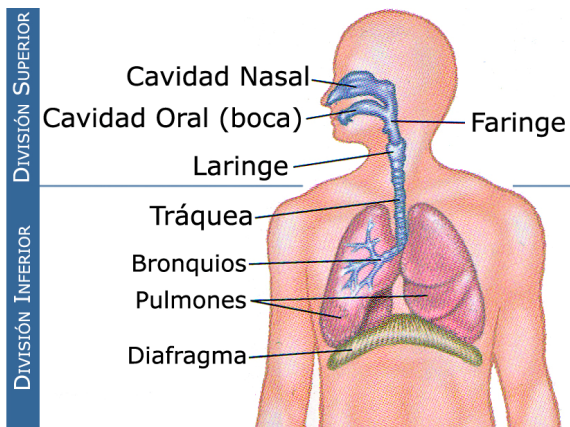


Fig. 12.1 Sistema Respiratorio

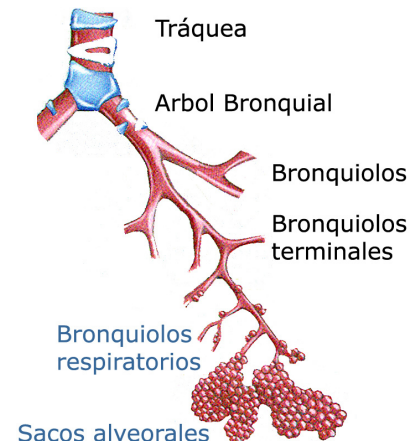


Fig. 12.2 Árbol respiratorio

El Sistema Respiratorio Humano (Fig. 12.1) consiste en una división superior e inferior. La *División Superior* se compone de las cavidades nasales y orales, la faringe y la laringe (voz). La *División Inferior* consiste en un sistema secuencial y progresivo de flujos de aire más pequeños que se parecen a un árbol invertido. A menudo llamado árbol respiratorio (Fig. 12.2), se compone por la tráquea (circula aire), bronquio primario derecho e izquierdo, bronquio lobar, bronquio segmental, bronquio sub-segmental, bronquiolos terminales, bronquiolos respiratorios, conductos alveolares, sacos alveolares y alveolo individual. El intercambio de Gas con la sangre ocurre solo en las partes más pequeñas terminales y delgadas del árbol empezando con los bronquiolos respiratorios. El resto del árbol respiratorio y la división superior entera, colectivamente constan de *espacio anatómico muerto*, espacio que se ventila pero no juega un papel directo en el intercambio de gas.

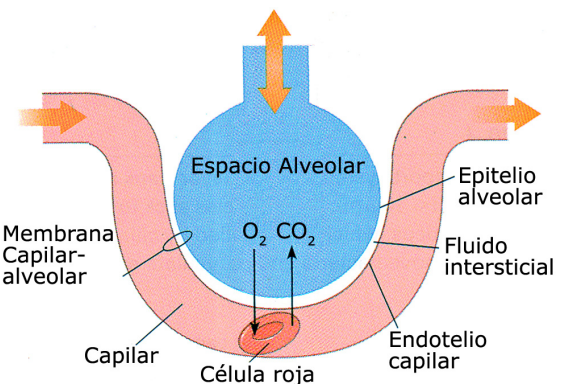


Fig. 12.3 Intercambio Gas Pulmonar

El intercambio de Gas entre el aire en el pulmón y la sangre, es un proceso de difusión simple (figure 12.3). Un Gas se extiende de una región de alta concentración a una región de concentración más baja, o, de un área de presión parcial más elevada a un área de presión parcial más baja. La presión Parcial es simplemente una vía de expresión de concentración de moléculas de gas. Es la presión ejercida por un gas cuando se mezcla con otros gases, y es igual a la presión del mismo volumen del gas que ejercería si otros gases no estuvieran presentes. La presión parcial de un gas es fácilmente computada si el porcentaje de la mezcla y la presión total de la mezcla es conocida. Por ejemplo, la atmósfera al nivel del mar ejerce una presión de 760 mm de Hg. Si el oxígeno estuviera compuesto por un 20% de la atmósfera, su presión parcial sería de 20% de 760 mm de Hg, o 152 mm de Hg.

La sangre transporta los gases desde y a las células del cuerpo. El Sistema Respiratorio proporciona oxígeno a la sangre y elimina el dióxido de carbono de la sangre. La mayoría de intercambio de gases ocurren al nivel del alveolo y el proceso es completamente dependiente del mantenimiento de la presión de gas parcial favorable para la difusión adecuada de oxígeno y dióxido de carbono. Durante la inspiración (inhalación) el alveolo se hace más grande y coge aire puro. Durante la expiración (exhalación) el alveolo se vuelve más pequeño, forzando algo de aire hacia atrás hacia la atmósfera. El proceso continuado y cíclico moviendo aire adentro y fuera del árbol respiratorio se denomina *ventilación pulmonar*. Este proceso sirve para mantener la presión parcial favorable de oxígeno y dióxido de carbono en el alveolo, facilitando el oxígeno absorbido por la sangre y la eliminación del dióxido de carbono de la sangre.

Los mecanismos de la ventilación pulmonar se entienden mejor aplicando *la ley de Boyle's*, la cual indica el volumen de una cantidad de gas suministrado a una temperatura constante que varía de forma inversa con la presión del gas. En otras palabras, si el volumen de gas a temperatura constante aumenta, la presión del gas disminuye. Si el volumen no disminuye, entonces la presión se incrementa. Matemáticamente, el producto de la presión y volumen de gas a una temperatura constante es por si misma una constante ( $PV = K$ ). Ignorando las unidades, si  $P = 6$  y  $V = 3$ , entonces  $K = 18$ . Si  $P$  disminuye a 2, entonces  $V$  debe incrementarse a 9 porque el valor de  $K$  es 18 y constante tanto como sea la temperatura.

Los pulmones se encuentran dentro de la caja torácica, los cuales son comprimidos por el esternón, costillas, columna vertebral y el diafragma (Fig. 12.1). Los tejidos de la caja torácica forman la cavidad torácica que se dividen en cavidades más pequeñas por membranas. Cada pulmón está cubierto por membranas llamadas Pleura Viscerales. En las vías de cada pulmón, donde los bronquios entran, la pleura visceral se refleja atrás alrededor del pulmón a lo largo de la pleura parietal, una membrana lubricante con alinea el tórax y cubre partes del diafragma (Fig. 12.4). Normalmente, cada pulmón rellena completamente su cavidad pleural formada por el reflejo de la pleura visceral. Las membranas pleurales permiten al pulmón moverse libremente dentro de la cavidad pleural durante el ciclo respiratorio. El espacio entre la pleura visceral y parietal, llamado espacio pleural, es sólo un espacio potencial.

Normalmente, solo una capa delgada de fluido lubricante separa las dos capas de pleura. Las cavidades pleurales permanecen tensas y forman parte de la cavidad torácica; sin embargo, el interior de los pulmones están abiertos al flujo de aire de la atmósfera. Por lo que cuando la cavidad torácica aumenta, las cavidades pleurales, de la misma manera que los pulmones, también aumentan.

Los cambios en el volumen del tórax se producen por la contracción colectiva de los músculos esqueléticos llamados *músculos respiratorios*. Están divididos arbitrariamente en 2 grupos. *Los Músculos Inspiratorios* contraen e incrementan el volumen torácico. El diafragma y los músculos externos intercostales son ejemplos. Los *músculos Expiratorios* contraen y disminuyen el volumen torácico. Los músculos internos intercostales y los músculos abdominales son un ejemplo.

Al inicio de la inspiración, la cavidad torácica aumenta por la contracción del diafragma y los intercostales externos (Fig. 12.5). El diafragma, normalmente tiene una forma ovalada en descanso, se aplanan cuando las fibras de los músculos se contraen, haciendo incrementar el volumen torácico. Los intercostales externos elevan las costillas y el volumen del tórax. Un incremento del volumen torácico se acompaña por un incremento del volumen intrapulmónico y de acuerdo con la ley de Boyle, una disminución en la presión intrapulmónica. Tan pronto como la presión intrapulmónica cae por debajo de las presiones atmosféricas, el flujo de aire baja la presión gradiente de la atmósfera a través de las vías de aire y de los espacios de aire expandidos en los pulmones, continuando fluyendo hasta la presión intrapulmónica sea otra vez igual a la presión atmosférica (Fig. 12.5). Al final de la inspiración, la presión intrapulmónica iguala a la presión atmosférica y el flujo de aire finaliza aunque el volumen intrapulmónico sea mayor que al principio de la inspiración.

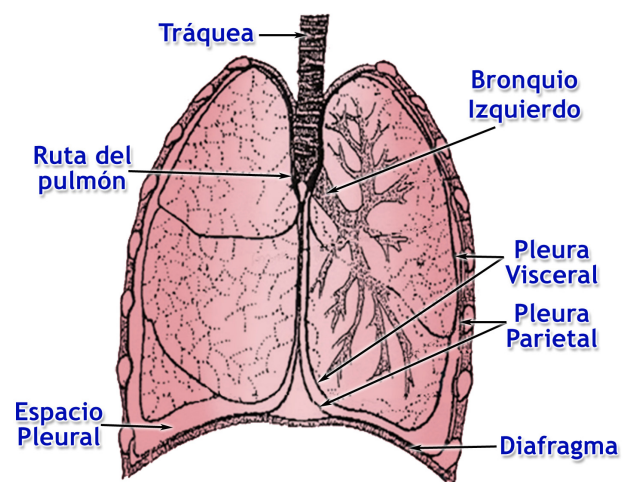


Fig. 12.4 Cavidades Pleurales (aspecto frontal)

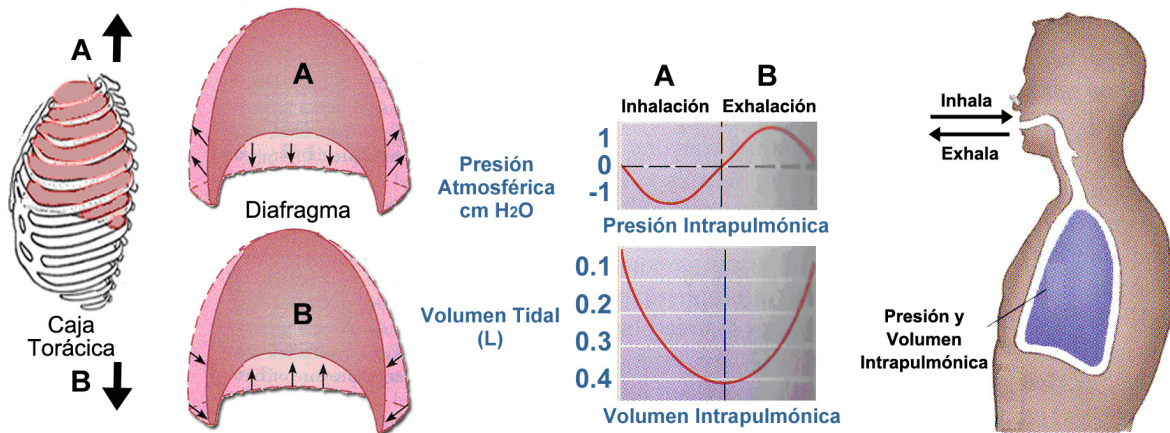


Fig. 12.5 Cambio de presión y volumen intrapulmónica durante un ciclo respiratorio

La Expiración empieza cuando el músculo inspiratorio se relaja. El diafragma vuelve a su estado de descanso y con forma ovalada, disminuyendo el volumen torácico e intrapulmónico. La relajación de los intercostales externos permiten que las costillas vuelvan a su posición de relajación, además se reduce el diámetro, y el volumen del tórax y pulmones (Fig. 12.5). Una reducción en el volumen intrapulmónico ocurre al incrementar la presión intrapulmónica. Tan pronto como la presión intrapulmónica se incrementa por encima de la presión atmosférica, el flujo de aire baja la presión gradiente de los espacios de aire expandidos en los pulmones a través de las vías de aire y va de vuelta a la atmósfera, continuando el flujo de aire hasta que la presión intrapulmónica sea otra vez igual a la presión atmosférica (Fig. 12.5).

El volumen de aire que una persona inhala (inspira) y exhala (espira) puede ser medido con un **espirómetro** (*Espiro* = respiración, *metro* = medición). Un espirómetro de campana consiste en un cilindro de doble pared en el cual una campana invertida con aire enriquecido en oxígeno está inmersa en agua, formando un sello a los gases (Fig. 12.6). A través de una polea, se une la campana a un peso de registro, que contiene un lápiz que registra las variaciones en un tambor rotatorio que gira a velocidad constante. Durante la inspiración, el aire es removido de la campana y el lápiz sube, grabando el volumen inspirado. Con la espiración, el aire entra en la campana, el lápiz baja y registra el volumen espirado. El registro resultante de los cambios de volumen vs el tiempo es llamado **espirograma**.

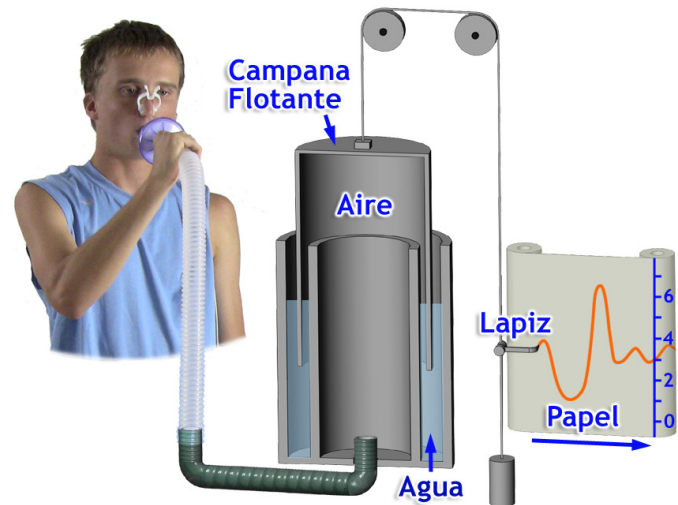


Fig. 12.6 Espirómetro Bell

En esta lección, usaremos un transductor de flujo y un programa que convertirá el flujo en Volumen, para aproximarnos a la lectura de un espirómetro. El aire fluye a través del cabezal sellado el cual está dividido por la mitad por una membrana fina. Esta membrana crea una ligera resistencia al flujo de aire resultando en una presión más alta en un lado más que en el otro. Un Transductor de presión diferencial mide la diferencia de presión, la cual es proporcional al flujo de aire y lo convierte en voltaje, que es lo que registramos por la unidad BIOPAC MP. Después del registro completo de flujo, el programa calcula el volumen integrando los datos de flujo de aire. Esta técnica de integración es un método simple para obtener el volumen pero es muy sensible a la compensación de la línea base. Por esta razón los procesos de calibración y registro se deben seguir exactamente para obtener unos resultados precisos.

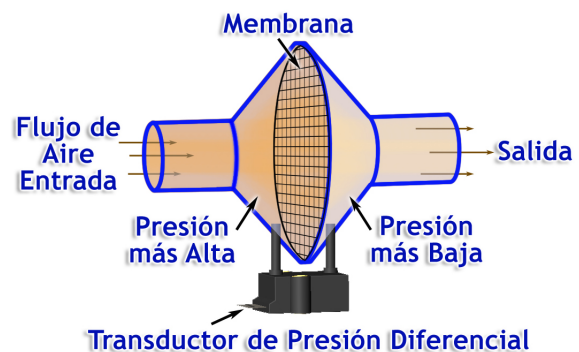


Fig. 12.6b Transductor de Flujo



Existen cuatro compartimentos primarios no superpuestos de las capacidades pulmonares totales (Fig. 12.7):

1. Volumen corriente
2. Volumen inspiratorio de reserva
3. Volumen espiratorio de reserva
4. Volumen residual

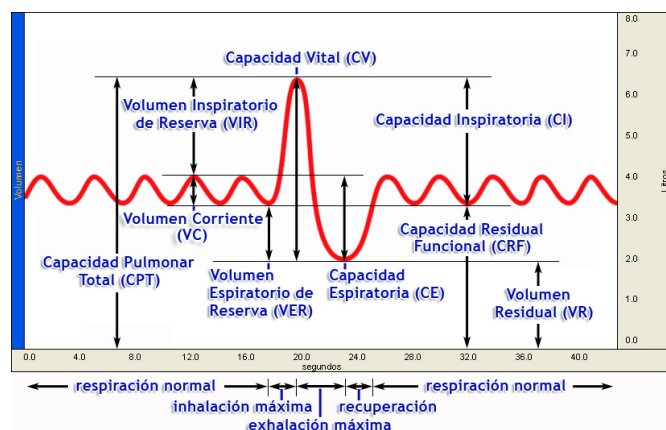


Fig. 12.7 Ejemplo de capacidades y volúmenes respiratorios

- **Volumen Corriente (VC)** es el volumen de aire inspirado o espirado durante una respiración normal. En reposo, el VC es aproximadamente de 500 mL, y durante el ejercicio puede superar los 3 litros.
- **Volumen Inspiratorio de Reserva (VIR)** es el volumen máximo de aire que puede ser inhalado al final de la inspiración normal. Los valores de reposo de VIR son de 3300 mL aproximadamente en adulto joven masculino y 1900 mL en adultos jóvenes femeninos.
- **Volumen Espiratorio de Reserva (VER)** es el volumen máximo de aire que puede ser exhalado al final de la espiración normal. Los valores de reposo de VER son de 1000 mL aproximadamente en adulto joven masculino y 700 mL en adultos jóvenes femeninos.
- **Volumen Residual (VR)** es el volumen de aire remanente en los pulmones al final de la espiración máxima. En contraste con VIR, VC y VER, el volumen residual no cambia con el ejercicio. El VR en el adulto promedio es de 1200 mL en el hombre, y de 1100 mL en las mujeres. El volumen residual refleja el hecho de que después de la primera respiración, al inflarse los pulmones, nunca vuelven a vaciarse durante los siguientes ciclos respiratorios.

**Capacidad Pulmonar** es la suma de dos o más de los volúmenes pulmonares primarios. Existen cinco capacidades pulmonares, que se calculan como sigue:

- |  |                             |
|--|-----------------------------|
| 1. <b>Capacidad inspiratoria (CI)</b>        | $CI = VC + VIR$             |
| 2. <b>Capacidad Espiratoria (CE)</b>         | $CE = VC + VER$             |
| 3. <b>Capacidad Residual Funcional (CRF)</b> | $CRF = VER + VR$            |
| 4. <b>Capacidad Vital (CV)</b>               | $CV = VIR + VC + VER$       |
| 5. <b>Capacidad Pulmonar Total (CPT)</b>     | $CPT = VIR + VC + VER + VR$ |

*Cada una de estas capacidades están representadas en la Fig. 12.7.*

Los volúmenes y capacidades pulmonares son generalmente medidos cuando se chequea el sistema respiratorio ya que los valores del volumen y capacidad varían con las enfermedades pulmonares. Por ejemplo, la capacidad inspiratoria es normalmente un 60-70 % de la capacidad vital.

En esta lección, Ud. medirá volumen corriente, volumen inspiratorio de reserva y volumen espiratorio de reserva. El volumen residual no puede ser medido con un espirómetro, ni con un transductor de flujo. También, Ud. calculará la capacidad inspiratoria, capacidad vital, y el porcentaje observado de la capacidad vital. Luego, Ud. comparará su capacidad vital observada con su capacidad vital predicha.

La siguiente ecuación puede ser usada para obtener los valores de la capacidad vital predicha para hombres ó mujeres de su altura y edad. La capacidad vital depende de otras cosas más que la edad y el peso. Por lo tanto un 80 % de los valores predichos de CV son todavía considerados como normales.

Tabla 12.1

Ecuaciones para Predecir la Capacidad Vital (Kory, Hamilton, Callahan: 1960)	
Masculino	$C.V. = 0.052A - 0.022E - 3.60$
Femenino	$C.V. = 0.041A - 0.018E - 2.69$

C.V. Capacidad Vital en litros  
A Altura (cm)  
E Edad (años)

Usando la ecuación en la tabla 12.1 usted puede estimar la capacidad vital de una mujer de 19 años de edad, que tiene una altura de 167 centímetros, como en 3.815 litros:

$$0.041 \times (167) - 0.018 \times (19) - 2.69 = 3.815 \text{ litros}$$