

# FISIOLOGÍA RESPIRATORIA

## CLASES 1 y 2

Allan White  
CEAFI

## INTRODUCCIÓN

- ✓ La vida de cualquier célula depende de la energía producida en su constante actividad metabólica.
- ✓ La producción de energía se asocia fundamentalmente con el metabolismo de la glucosa y el ciclo de Krebs.
- ✓ Lo que hace funcionar una y otra vez el ciclo de Krebs y posibilita la entrada constante de acetil-CoA es la existencia de  $\text{NAD}^+$  y FAD, los cuales se reducen a NADH y  $\text{FADH}_2$ .

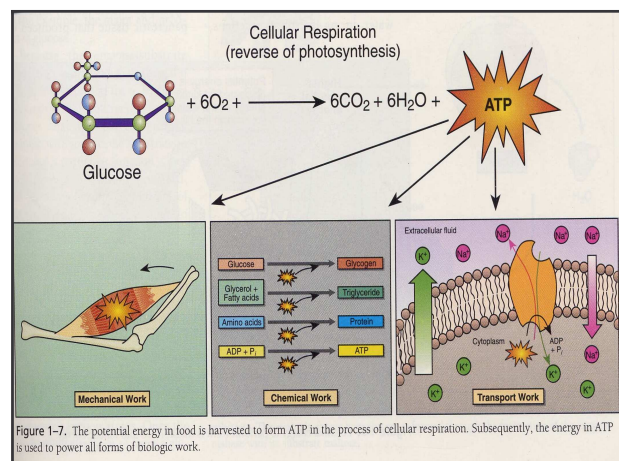
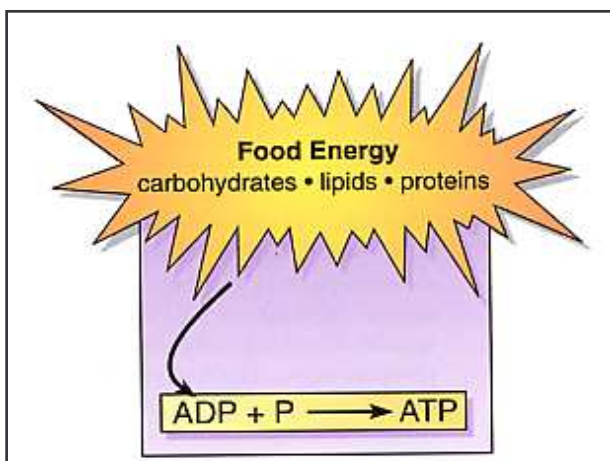
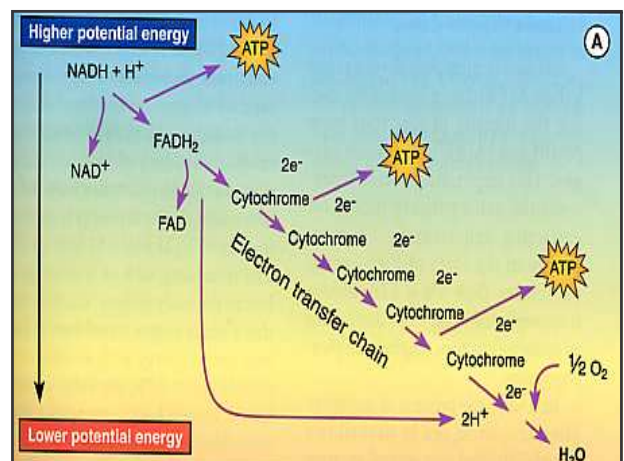
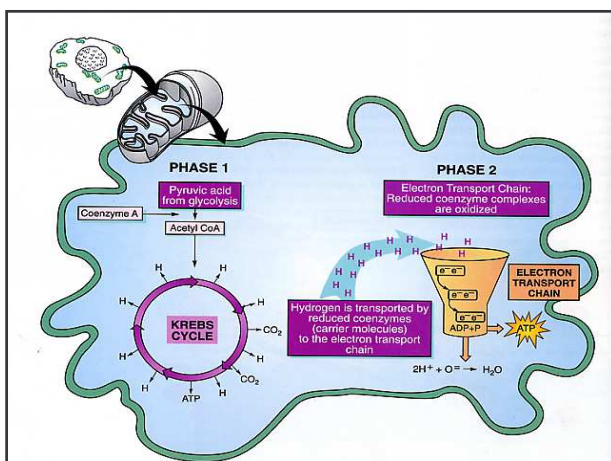
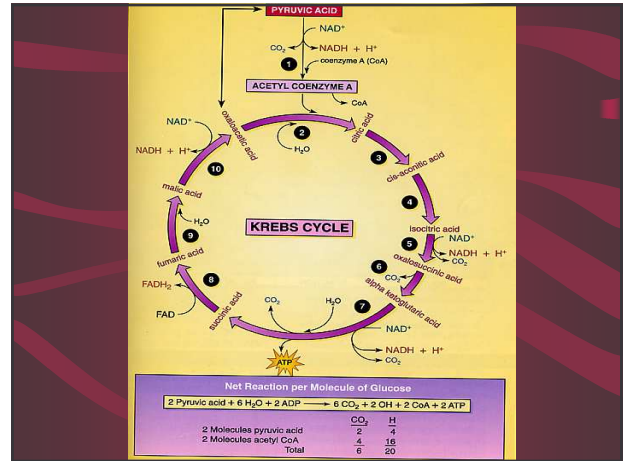
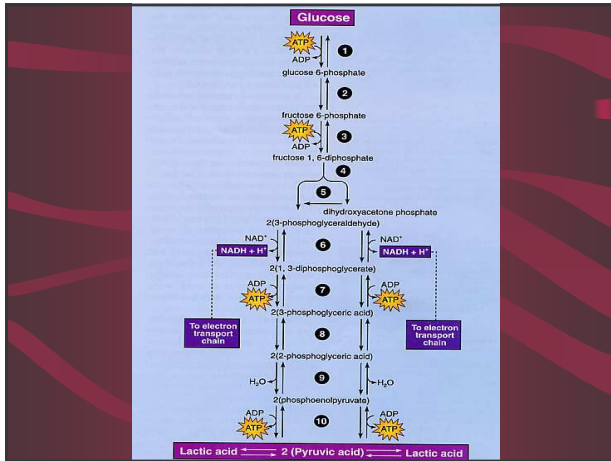


Figure 1-7. The potential energy in food is harvested to form ATP in the process of cellular respiration. Subsequently, the energy in ATP is used to power all forms of biologic work.

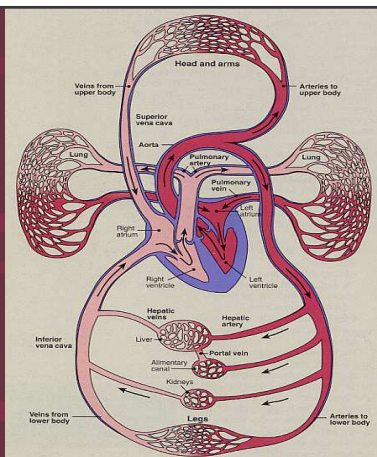


## NECESIDAD DE OXÍGENO

- ✓ NADH y  $\text{FADH}_2$ , en el interior de las mitocondrias, son nuevamente oxidados en la cadena transportadora de electrones, en la medida que haya oxígeno presente.
- ✓ Si no hay oxígeno suficiente todos estos procesos se detienen.
- ✓ Por esta razón es necesario un aporte constante de oxígeno a las células.

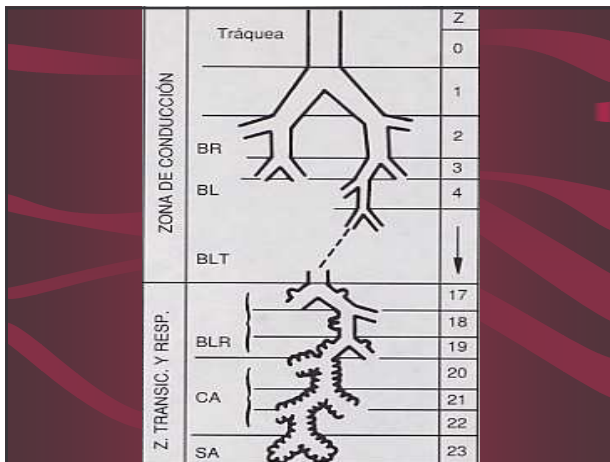
## DIFUSIÓN DE GASES

- Uno de los productos del funcionamiento del ciclo de Krebs es el  $\text{CO}_2$
- El  $\text{O}_2$  y el  $\text{CO}_2$  se mueven de un compartimiento a otro por simple difusión.
- En los mamíferos superiores el intercambio de ambos gases se efectúa entre el aire alveolar y el plasma sanguíneo.
- El plasma, a su vez, los intercambia con el intersticio, el cual entrega  $\text{O}_2$  a las células y recibe el  $\text{CO}_2$  producido por ellas.



## VÍAS RESPIRATORIAS

- ✓ El aire entra por la nariz, sigue por la tráquea, bronquios primitivos derecho e izquierdo y ramificaciones sucesivas hasta llegar en la generación 16 a los bronquiólos terminales.
- ✓ Hasta aquí no hay intercambio de gases con la sangre porque no hay alvéolos. Esta es la "zona de conducción" o "espacio muerto anatómico".



## VÍAS RESPIRATORIAS

✓ En la generación 17 (bronquiólos respiratorios) comienzan a aparecer alvéolos.

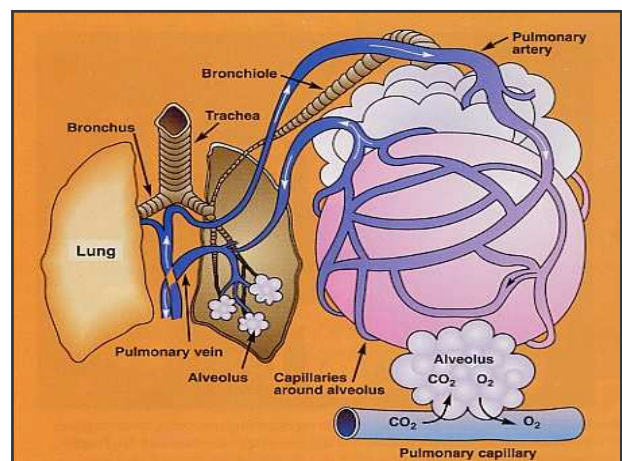
✓ Entre las generaciones 20 y 23 se encuentran los conductos alveolares, sacos alveolares y alvéolos, lo que permite el intercambio gaseoso y constituye la "zona respiratoria".

## ALVÉOLOS

➤ Los alvéolos son saquitos de 1/3 mm de diámetro, con paredes muy irrigadas por los capilares pulmonares.

➤ Un individuo de 1,70 m de estatura y 70 Kg de peso tiene aproximadamente  $300 \times 10^6$  alvéolos.

➤ Los alvéolos constituyen una superficie de intercambio aire-sangre de unos 85 m<sup>2</sup>.



## INSPIRACIÓN - ESPIRACIÓN

- ✓ A pesar de la gran superficie de contacto entre aire y sangre, son necesarios los ciclos de inspiración-espriación para ventilar los alvéolos.
- ✓ Esto es para:
  - mantener una concentración de  $O_2$  alveolar suficiente para proporcionarlo en cantidades adecuadas a la sangre.
  - que la concentración de  $CO_2$  se mantenga en un nivel que permita su eliminación desde la sangre a una velocidad adecuada.

## PULMONES EN TÓRAX

- ✓ Los pulmones se encuentran dentro del tórax, rodeados por la pleura visceral y estando el tórax a su vez recubierto internamente por la pleura parietal.
- ✓ Entre ambas pleuras existe un espacio virtual que no se encuentra comunicado con el exterior (espacio intrapleuraleal).

## PRESIÓN INTRAPLEURAL

- El tórax y los pulmones se encuentran en una situación de equilibrio en que el tórax tiende a expandirse mientras los pulmones tienden a colapsarse.
- Esto crea entre las pleuras una presión intrapleuraleal menor que la atmosférica (negativa).

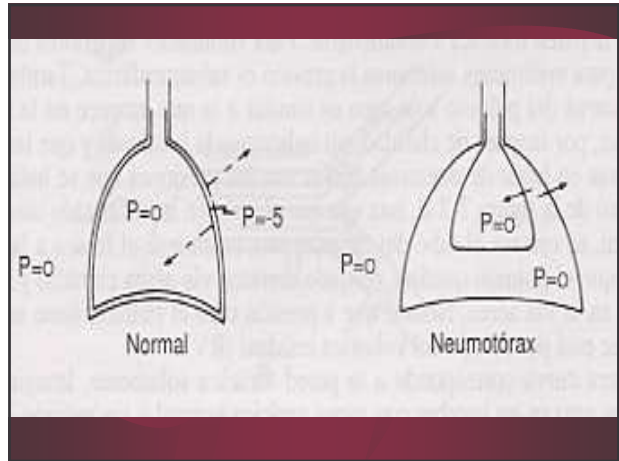
## EXPANSIÓN Y CONTRACCIÓN TORÁCICA

- ✓ Cuando el tórax se expande, se hace más negativa aún la presión intrapleuraleal y los pulmones se expanden, permitiendo la entrada de aire a su interior.
- ✓ Cuando el tórax se contrae, los pulmones también se contraen expulsando aire desde su interior.



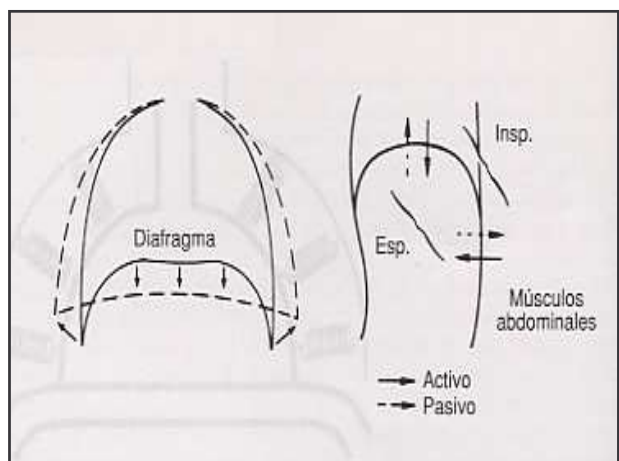
## NEUMOTÓRAX

- Si por una razón accidental o patológica, el espacio intrapleuraleal se comunica con el aire atmosférico, los pulmones se colapsan mientras el tórax se expande.
- Esto se denomina "neumotórax".



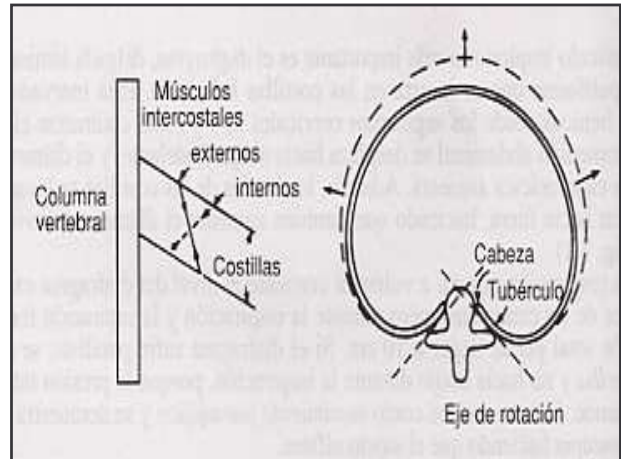
## MÚSCULOS RESPIRATORIOS

- ✓ Los pulmones son de naturaleza elástica y no tienen músculos.
- ✓ Es el tórax el que está dotado de musculatura para las actividades inspiratoria y espiratoria.



## MÚSCULOS INSPIRATORIOS

- ✓ Los músculos inspiratorios incrementan el tamaño del tórax.
- ✓ El principal músculo inspiratorio es el diafragma, con forma de campana, insertado en las costillas inferiores e innervado por el nervio frénico.
- ✓ Al contraerse el diafragma, se desplaza hacia abajo aumentando el eje longitudinal del tórax.
- ✓ Al mismo tiempo levanta y desplaza hacia afuera las costillas, incrementando el eje transversal del tórax.



## OTROS MÚSCULOS INSPIRATORIOS

- Intercostales externos: unen las costillas adyacentes de modo que, al contraerse, las desplazan hacia arriba y adelante aumentando el tamaño del tórax en sentido lateral y anteroposterior.
- Son innervados por los nervios intercostales.
- Músculos escalenos: elevan el primer par de costillas.
- Esternocleidomastoideos: levantan el esternón.
- En la respiración tranquila casi no funcionan.

## ESPIRACIÓN EN REPOSO

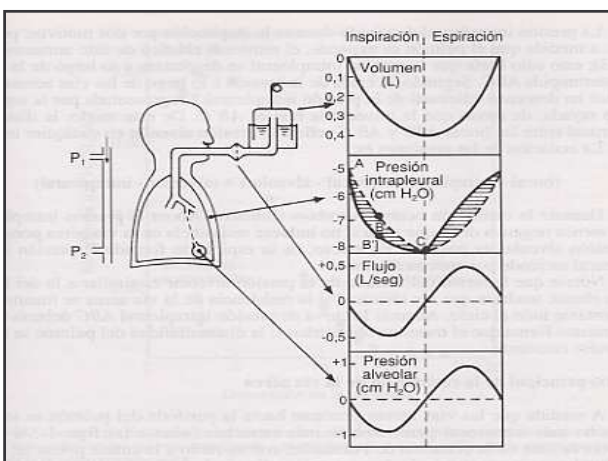
- En reposo, la espiración ocurre sin que participen los músculos espiratorios.
- Simplemente el tórax y los pulmones regresan a la situación previa a la inspiración.

## MÚSCULOS ESPIRATORIOS

- Cuando hay un incremento de la actividad metabólica o cuando la voluntad lo requiere, entran en acción los músculos espiratorios.
- Los principales son los abdominales (rectos, oblicuos mayor y menor, y transverso) que, al contraerse, empujan el diafragma hacia arriba.
- Otros músculos espiratorios son los intercostales internos que al contraerse desplazan las costillas hacia abajo y adentro.

## CICLO RESPIRATORIO

- ✓ Al final de una espiración en la respiración tranquila, la presión intrapleuraleal es de unos -2,5 mmHg ( $\approx$  -3,5 cm H<sub>2</sub>O) [1 mmHg = 1,36 cm H<sub>2</sub>O].
- ✓ Después de la contracción de los músculos inspiratorios, durante un par de segundos, llega hasta unos -6 mmHg.
- ✓ Al final de la espiración, la presión intrapulmonar está igualada con la atmosférica.
- ✓ Durante la inspiración la presión intrapulmonar se hace inicialmente negativa, pero al final se iguala nuevamente con la atmosférica.
- ✓ En este proceso ingresan a los pulmones unos 500 ml de aire.



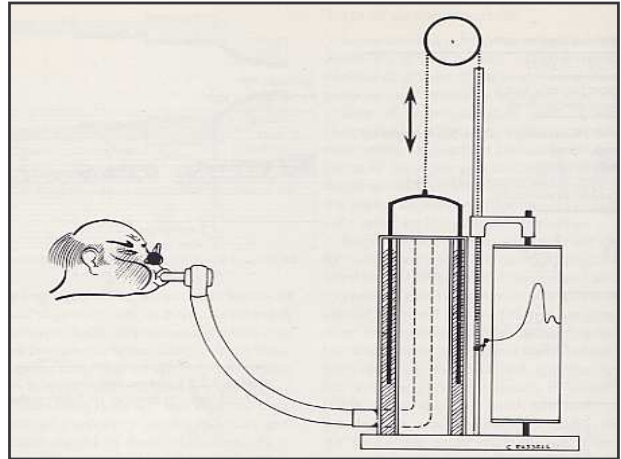
## CICLO RESPIRATORIO ESPIRACIÓN

- ✓ Al relajarse los músculos inspiratorios, la presión intrapleuraleal vuelve a -2,5 mmHg en el lapso de unos 3 segundos, disminuyendo el volumen de la caja torácica
- ✓ Esto incrementa inicialmente la presión intrapulmonar por sobre la atmosférica, siendo expulsado el aire que había entrado (500 ml).
- ✓ Finalmente, al final de la espiración, se iguala nuevamente la presión intrapulmonar con la atmosférica.



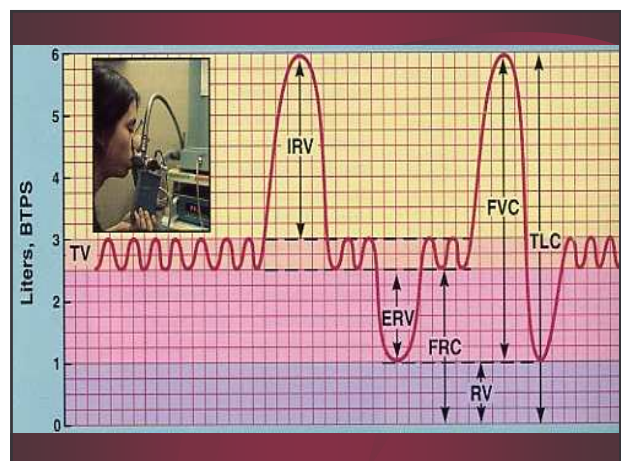
## FRECUENCIA RESPIRATORIA

✓ La frecuencia respiratoria en reposo es de entre 12 y 15 ciclos por minuto



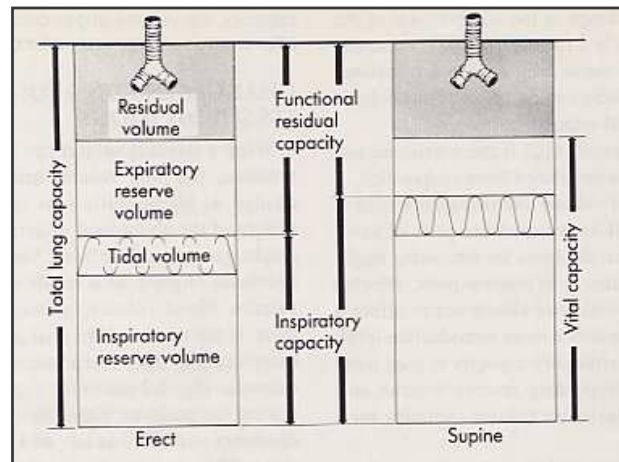
## VOLÚMENES PULMONARES

- Volumen corriente: Es el volumen inspirado y espirado en la respiración tranquila (aproximadamente 500 mL).
- Volumen de reserva inspiratoria: Es el volumen que es posible inspirar adicionalmente (alrededor de 3.000 mL).
- Volumen de reserva espiratoria: Es el volumen que es posible espirar adicionalmente (alrededor de 1.200 mL).



## VOLUMEN RESIDUAL

✓ Es el volumen de aire que siempre queda en los pulmones, a pesar de una espiración máxima (aproximadamente 1.200 ml).



## CAPACIDADES PULMONARES

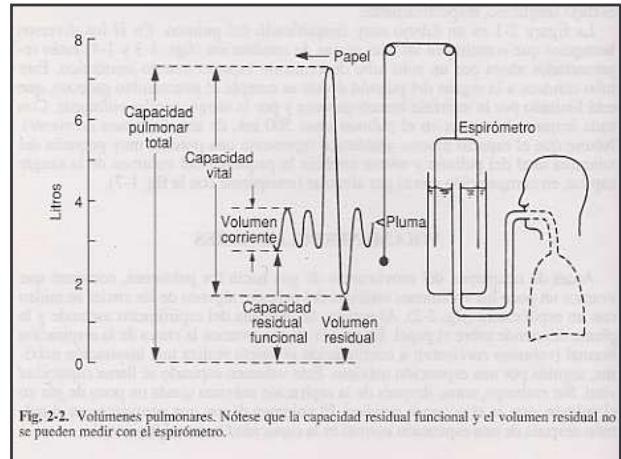
- Son sumas de volúmenes pulmonares:
  - Capacidad total: Suma de todos los volúmenes respiratorios (aproximadamente 6.000 mL).
  - Capacidad vital: Capacidad total menos volumen residual (unos 4.800 mL).
  - Capacidad inspiratoria: Es el volumen corriente más el volumen de reserva inspiratorio (unos 3.600 mL).

## CAPACIDAD RESIDUAL FUNCIONAL

- Está constituida por el Volumen de reserva espiratorio más el volumen residual (aproximadamente 2.400 mL).
- Es el volumen de aire que queda en los pulmones después de una espiración en la respiración tranquila.

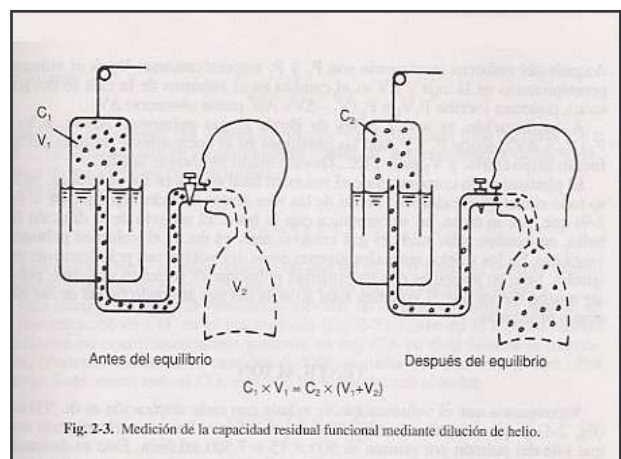
## ESPIROMETRÍA

➤ Los volúmenes (excepto el residual) y las capacidades (con excepción de las que incluyen el volumen residual) pueden ser medidos por espirometría.



## ESPIROMETRÍA CON HELIO

➤ Para medir el volumen residual y las capacidades que lo involucran (capacidad residual funcional y capacidad total), se practica espirometría agregando una cantidad conocida de helio y usando un detector de helio.



## VENTILACIONES

### ✓ Ventilación pulmonar

$$V'p = Vc \times \text{frecuencia}$$

$$V'p = 500 \text{ ml} \times 12 = 6.000 \text{ ml/min}$$

### ✓ Ventilación alveolar

$$V'a = (Vc - Ema) \times \text{frecuencia}$$

$$V'a = (500 - 150) \times 12 = 4.200 \text{ ml/min}$$

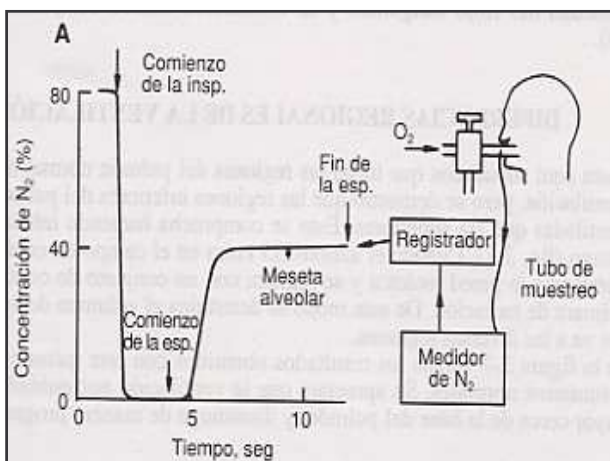
## ESPACIO MUERTO ANATÓMICO

✓ Se mide por el "método de Fowler".

✓ Consiste en someter al individuo a una inspiración única de  $O_2$  puro, detectando la aparición de  $N_2$  en el aire espirado.

✓ El aire espirado en los primeros segundos corresponde al  $O_2$  puro que quedó en el espacio muerto anatómico.

✓ Conociendo el volumen total del aire espirado y la fracción de tiempo en que se espira oxígeno puro, es posible calcular el espacio muerto anatómico.



## ESPACIO MUERTO FISIOLÓGICO

$$Emf = Ema + Em \text{ de distribución}$$

➤ El "Espacio muerto de distribución" corresponde a alvéolos no perfundidos.

➤ El Emf se mide por el método de Bohr.

➤ El método de Bohr se basa en la detección del  $CO_2$  espirado, considerando que proviene de los alvéolos realmente perfundidos.

## MÉTODO DE BOHR

$$[\text{CO}_2]_{\text{esp}} \times V_c = [\text{CO}_2]_{\text{alv}} \times V_{\text{alv}}$$

$$[\text{CO}_2]_{\text{esp}} \times V_c = [\text{CO}_2]_{\text{art}} \times (V_c - \text{Emf})$$

$$[\text{CO}_2]_{\text{esp}} \times V_c = V_c \times [\text{CO}_2]_{\text{art}} - \text{Emf} \times [\text{CO}_2]_{\text{art}}$$

$$[\text{CO}_2]_{\text{esp}} \times V_c = [\text{CO}_2]_{\text{art}} (V_c - \text{Emf})$$

$$\text{Emf} = V_c \left( 1 - \frac{[\text{CO}_2]_{\text{esp}}}{[\text{CO}_2]_{\text{art}}} \right)$$

## FRECUENCIA vs AMPLITUD

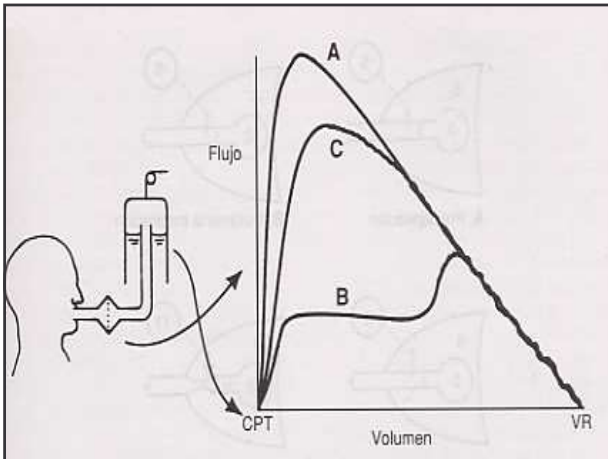
- Se obtiene una mejor ventilación alveolar respirando con una baja frecuencia y con alta amplitud respiratoria.

TABLE 8-2. Relationship between tidal volume, breathing rate, and both minute and alveolar ventilation

Condition	Tidal Volume (ml)	Breathing Rate (breaths · min <sup>-1</sup> )	= Minute Ventilation (ml · min <sup>-1</sup> )	- Dead Space Ventilation (ml · min <sup>-1</sup> )	= Alveolar Ventilation (ml · min <sup>-1</sup> )
Shallow breathing	150	40	6000	(150 ml x 40)	0
Normal breathing	500	12	6000	(150 ml x 12)	4200
Deep breathing	1000	6	6000	(150 ml x 6)	5100

## FLUJO ESPIRATORIO

- El flujo del aire inspirado es mayor en la medida que el esfuerzo inspiratorio sea mayor.
- En cambio, el flujo espiratorio, a volúmenes pulmonares medianos y bajos, es independiente del esfuerzo realizado.
- Esto se debe a que, cuando el esfuerzo espiratorio es mayor, por una parte, el flujo del aire tiende a aumentar, mientras por otra, las vías aéreas son comprimidas disminuyendo su calibre y siendo restringido el flujo.



## HISTÉRESIS

- ✓ Lo anterior se conoce como “Compresión dinámica de las vías aéreas”
- ✓ Esto explica también por qué durante la deflación, los pulmones mantienen volúmenes de aire mayores que durante la inspiración, a presiones similares.
- ✓ Esto se conoce como “histéresis”.

