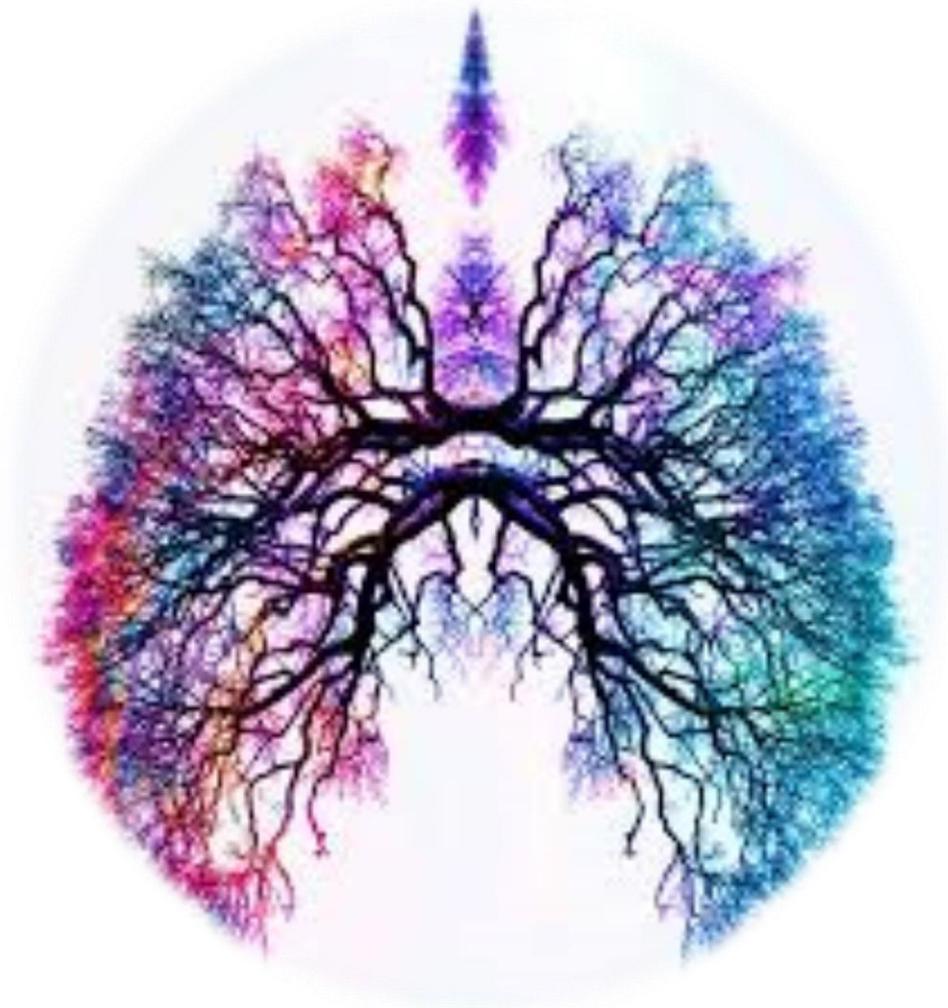


UNIDAD VIII

SISTEMA RESPIRATORIO. Estructura y función del sistema respiratorio. Volumen y capacidad pulmonar. Mecánica respiratoria. Difusión. Transporte de gases en sangre. Hemoglobina. Mioglobina. Regulación del pH. Adaptaciones a las grandes alturas. Adaptaciones respiratorias al buceo. Sistema traqueal en insectos. Sacos aéreos. Respiración acuática. Branquias. Vejiga natatoria.



<http://www.alquimiainterna.com/ejercicios-pulmones/>

1. GENERALIDADES

El Sistema Respiratorio tiene como función fundamental el aporte de O_2 a los tejidos y la remoción de CO_2 de los mismos, pero también interviene en la regulación del pH corporal, en la protección contra los agentes patógenos y las sustancias irritantes que son inhalados y en la vocalización, ya que al moverse el aire a través de las cuerdas vocales, produce vibraciones que son utilizadas para hablar, cantar y gritar.

En algunos animales, principalmente los muy pequeños (protozoos), toda la superficie corporal participa en la transferencia de gases, las distancias de difusión son muy cortas y la relación superficie volumen es grande, por este motivo la difusión por si sola es suficiente para el transporte de gases. Pero en los animales grandes y de mayor actividad metabólica, hay una superficie respiratoria especializada, el epitelio respiratorio, que comprende una porción importante de la superficie corporal. El aumento de tamaño produce un incremento en las distancias de difusión y un descenso en la relación superficie/volumen. La aparición de áreas especiales para el intercambio de los gases mantiene elevada la relación superficie/volumen. En el ser humano, por ej, el área de superficie respiratoria del pulmón oscila entre 50 y 100 m^2 , mientras que el área del resto de la superficie corporal no llega a 2 m^2 . Este tejido permite intercambiar el O_2 y el CO_2 que participan del proceso respiratorio.

La Ley de Graham establece que la velocidad de difusión de una sustancia a favor de un gradiente de concentración dado es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de su peso molecular (o densidad). Las moléculas de O_2 y CO_2 son de tamaño semejante y difunden por tanto a una velocidad aproximada.

En muchos animales la transferencia de gases tiene lugar en varias etapas:

- a) Los movimientos respiratorios que aseguran un aporte continuado de aire o agua a la superficie respiratoria,
- b) La difusión de O_2 y CO_2 a través del epitelio respiratorio.
- c) El transporte de gases por sangre.
- d) La difusión de O_2 y CO_2 a través de los capilares y las células de los tejidos.

Los niveles de O_2 y CO_2 en el gas alveolar estarán determinados tanto por la velocidad de transferencia de los gases a través del epitelio respiratorio, como por la frecuencia de ventilación pulmonar.

2. ORGANIZACIÓN

El pulmón de los vertebrados consiste en una red de tubos y sacos que difiere considerablemente en cada especie. Puede ir desde la estructura de una bolsa lisa, en algunos urodelos (anfibios), hasta llegar a subdividirse en millones de sacos

interconectados y cerrados por un extremo, denominados alveolos, en los mamíferos. En este apartado describiremos el sistema respiratorio de un mamífero.

2.1 NARIZ

Está formada por las fosas nasales, que se abren al exterior por los orificios o ventanas nasales, limitados por fuera por las alas de la nariz y se comunican con la nasofaringe por dos orificios posteriores o coanas. Las fosas nasales en su parte más exterior están recubiertas por piel que contiene un cierto número de gruesos pelos cortos o vibrisas y en su parte restante, por una

membrana mucosa. Las vibrisas atrapan las partículas más grandes suspendidas en el aire inspirado antes de que alcancen la mucosa nasal, mientras que el resto de partículas es atrapado por una fina capa de moco segregada por las glándulas mucosas del epitelio, que luego es propulsado por los cilios hacia la faringe para ser deglutido e inactivado en el estómago. Además, el aire inspirado al pasar por la mucosa nasal es humedecido y calentado antes de seguir su camino por las vías respiratorias. El 1/3 superior de la mucosa nasal, situada en el techo y la zona superior de las paredes interna y externa de las fosas nasales, es la mucosa olfatoria, ya que contiene los receptores sensitivos olfatorios.

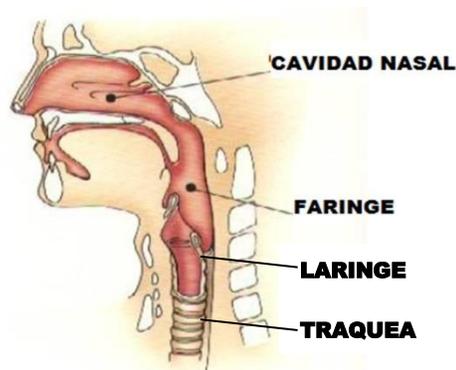


Fig. 1: Vías aéreas superiores

2.2 FARINGE

Es un tubo que continúa a la boca y constituye el extremo superior común de los tubos respiratorio y digestivo. En su parte superior desembocan los orificios posteriores de las fosas nasales o coanas, en su parte media desemboca el istmo de las fauces o puerta de comunicación con la cavidad oral y por su parte inferior se continúa con el esófago, de modo que conduce alimentos hacia el esófago y aire hacia la laringe y los pulmones. Para una mejor descripción se divide en 3 partes: *Nasofaringe*, situada por detrás de la nariz y por encima del paladar blando, *Orofaringe*, situada por detrás de la boca y *Laringofaringe*, situada por detrás de la laringe. Debido a que la vía para los alimentos y el aire es común en la faringe, algunas veces la comida pasa a la laringe produciendo tos y sensación de ahogo y otras veces el aire entra en el tubo digestivo acumulándose gas en el estómago y provocando eructos.

La *Nasofaringe* es considerada la parte nasal de la faringe ya que es una extensión hacia atrás de las fosas nasales, está recubierta de una mucosa similar a la mucosa nasal y tiene una función respiratoria. Hay varias colecciones de tejido linfoide llamadas amígdalas, así, en su techo y pared posterior la amígdala faríngea (llamada popularmente vegetaciones o adenoides). En su pared externa, desemboca la trompa de Eustaquio que es la

comunicación entre el oído medio y la nasofaringe y por detrás de cada uno de los orificios de desembocadura se encuentran las dos amígdalas tubáricas.

2.3 LARINGE

Es un órgano especializado que se encarga de la fonación o emisión de sonidos con la ayuda de las cuerdas vocales, situadas en su interior. Está localizada entre la laringofaringe y la tráquea y es una parte esencial de las vías aéreas ya que actúa como una válvula que impide que los alimentos deglutidos y los cuerpos extraños entren en las vías respiratorias.

2.4 TRÁQUEA

Es un tubo de 12 cm de longitud y unos 2.5 cm de diámetro, que une la laringe con los bronquios y está tapizado por un epitelio mucoso ciliado. La luz o cavidad del tubo se mantiene abierta por medio de una serie de cartílagos hialinos (16-20) en forma de C con la parte abierta hacia atrás. Los extremos abiertos de los anillos cartilaginosos quedan estabilizados por fibras musculares lisas y tejido conjuntivo elástico formando una superficie posterior plana en contacto directo con el esófago, por delante del cual desciende, lo que permite acomodar dentro de la tráquea las expansiones del esófago

producidas al tragar. Termina al dividirse en los bronquios principales derecho e izquierdo.

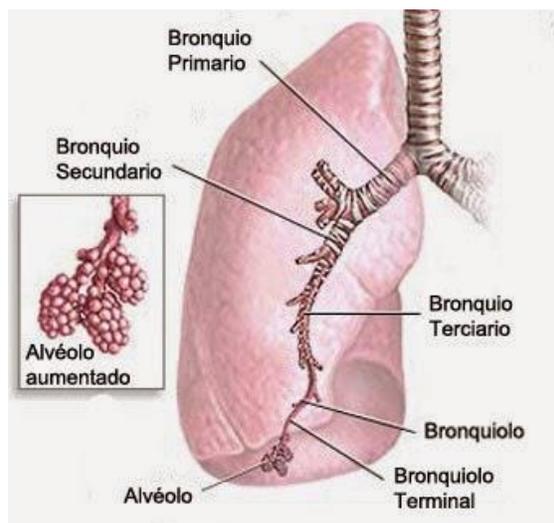


Fig. 2: Anatomía pulmonar

2.5 BRONQUIOS

Los bronquios principales son dos tubos formados por anillos completos de cartílago hialino, uno para cada pulmón y se dirigen hacia abajo y afuera desde el final de la tráquea hasta los hilos pulmonares por donde penetran en los pulmones. Una vez dentro de los pulmones, los bronquios se dividen continuamente, de modo que cada rama corresponde a un sector definido del pulmón.

2.6 PULMONES

Son un par de órganos de forma cónica, envueltos en una membrana serosa llamada pleura. Ocupan la mayor parte de la cavidad torácica. Los pulmones están separados por el mediastino, que es un espacio que contiene el corazón y los grandes vasos, el esófago y, en su parte superior, la tráquea. Cada pulmón está dividido, por unos surcos o cisuras, en una serie de lóbulos. El pulmón derecho tiene tres lóbulos: superior, medio e inferior, y el izquierdo dos: superior e inferior. El pulmón tiene una cara mediastínica, que es la cara

interna y otra costal o externa que contacta con la caja torácica, que está formada por las costillas, la columna vertebral, el esternón, el diafragma y los músculos intercostales.

La parte superior del pulmón se llama vértice, se eleva en la base del cuello, unos 2.5 cm por encima de la clavícula, y la parte inferior se llama base, es cóncava y está en contacto con la cara superior del diafragma. En la cara mediastínica de cada pulmón hay un orificio llamado hilio por donde penetran el bronquio, la arteria y las venas pulmonares correspondientes. En esta cara, el pulmón izquierdo tiene una profunda depresión donde se aloja el corazón. Una vez que entran en los pulmones, los bronquios primarios se dividen en bronquios menores llamados bronquios secundarios, uno para cada uno de los lóbulos que tienen los pulmones (el pulmón derecho tres y el izquierdo dos). Cada bronquio secundario se divide después en dos o cuatro bronquios segmentarios o terciarios, más pequeños. Dentro de cada lóbulo pulmonar, el área ventilada por un bronquio segmentario se denomina segmento broncopulmonar. Hay diez segmentos pulmonares en el pulmón derecho y ocho en el izquierdo. El árbol bronquial continúa ramificándose y se divide en tubos cada vez más numerosos y de menor calibre llamados bronquiolos. Según se van ramificando, la cantidad de cartílago y de glándulas mucosas va disminuyendo gradualmente y el músculo liso va aumentando. Cuando los bronquiolos alcanzan el diámetro de 1 mm aproximadamente, el cartílago desaparece.

Cada segmento broncopulmonar se subdivide en lobulillos. Un bronquiolo entra en un lobulillo y da origen a muchos bronquiolos terminales. En cada lóbulo pulmonar hay entre 50 y 80 bronquiolos terminales, y son el extremo final funcional de las vías respiratorias de conducción del aparato respiratorio. Cada bronquiolo terminal da lugar a su vez a muchos bronquiolos respiratorios. La zona del pulmón ventilada por un bronquiolo respiratorio se llama lobulillo pulmonar funcional o *Acino*. Un acino consta de un bronquiolo respiratorio que se ramifica en conductos alveolares, que terminan en sacos alveolares o alveolos. A partir del bronquiolo respiratorio, la membrana que forma estos conductos es capaz de intercambiar gases con los capilares pulmonares, por lo que se le suele llamar membrana respiratoria.

Los mamíferos de pequeño tamaño tienen una mayor captación de O_2 por unidad de peso corporal que los de mayor talla. Esta captación está asociada a una mayor área de superficie alveolar por unidad de peso corporal.

2.7 ALVEOLOS

Se ha calculado que hay aproximadamente

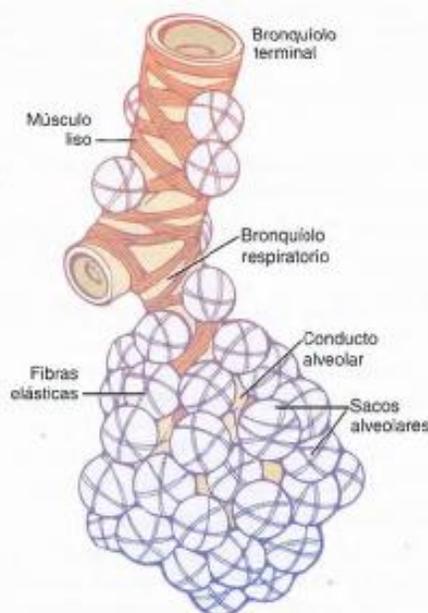


Figura 39-7 Unidad respiratoria.

Fig. 3: Acino

14 millones de conductos alveolares y 300 millones de alveolos en los pulmones. Esta enorme ramificación hace que la superficie respiratoria total sea muy grande, aproximadamente entre 50 y 100 m². La pared alveolar está formada por una capa de células epiteliales que se llaman neumocitos. Hay dos tipos de neumocitos: Neumocitos I: son muy aplanados para facilitar el intercambio y son los más numerosos. Neumocitos II: mucho más escasos, son células cúbicas que secretan una mezcla de fosfolípidos que recibe el nombre de agente tensoactivo o surfactante pulmonar. Este surfactante pulmonar forma una fina película en la superficie interna del alveolo, lo que disminuye mucho la tensión superficial en esta zona. Esto es esencial para evitar el colapso de los alveolos. También secretan elastina y colágeno. Además existen otro tipo de células libres en la luz alveolar que son los macrófagos alveolares, unas células fagocitarias que tienen la misión de mantener los alveolos libres de partículas extrañas. Las paredes de los sacos alveolares están rodeadas muy estrechamente por los capilares pulmonares, formando la membrana alveolocapilar. El aire del alveolo sólo está separado de la sangre capilar por una distancia muy pequeña, por lo que el intercambio de gases respiratorios se produce de forma sumamente rápida.

2.8 PLEURA

Es una membrana serosa que está formada por dos capas, una visceral y otra parietal. La capa visceral está íntimamente unida a la superficie del pulmón, siguiendo todas las muescas de los lóbulos. Envuelve por completo al pulmón excepto en el hilio. La capa parietal está adherida a las paredes del tórax y a la cara superior del diafragma. Entre ambas capas existe una pequeña cavidad, la cavidad pleural, llena de líquido pleural que facilita el movimiento de los pulmones en la respiración. La presión en el interior de esta cavidad, recibe el nombre de presión intrapleural y es una presión «negativa», o subatmosférica, porque es más baja que la presión atmosférica.

3. MECANICA RESPIRATORIA

En muchos animales se produce un movimiento del aire o el agua mediante un trabajo ventilatorio. En el pulmón la mecánica respiratoria implica los movimientos de inspiración y espiración.

En la *Inspiración* el principal músculo es el diafragma y en condiciones normales es el único que actúa. Al contraerse este músculo desciende su cúpula agrandando la cavidad torácica. También produce una pequeña elevación de las costillas inferiores que conduce a un ligero agrandamiento transversal. En orden de importancia siguen los músculos intercostales externos, cuya contracción desplaza hacia arriba y adelante el extremo anterior de las costillas, elevando el diámetro del tórax. Así se logra el ingreso de aire generando una disminución de la presión en el interior del pulmón. Esta menor presión se origina porque el descenso del diafragma genera, en la cavidad virtual comprendida entre las dos pleuras, una presión subatmosférica que arrastra el pulmón expandiéndolo e induciendo la entrada de aire.

El desplazamiento conjunto del pulmón con el diafragma y con las paredes del tórax se realiza porque ambas pleuras están perfectamente adosadas y son herméticas, impidiendo que entre aire y provoque su separación. La expansión de la cavidad torácica implica un desplazamiento de ambas pleuras, facilitado por el líquido intrapleural (surfactante).

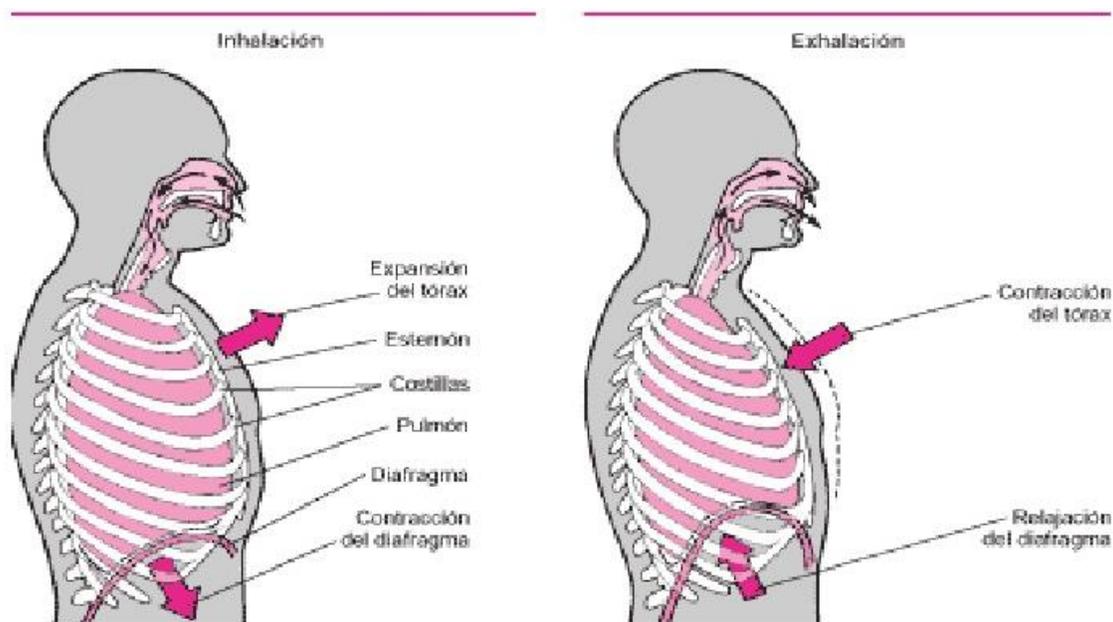


Fig. 4: Mecánica Respiratoria

Este mecanismo de inspiración se considera activo pues es realizado por músculos que se contraen, mientras que la espiración se considera pasiva porque ocurre por retracción elástica de los tejidos.

La *Espiración* es normalmente pasiva, sin embargo si la ventilación es muy intensa o si existe alguna dificultad respiratoria, se ponen en actividad los músculos espiratorios: los abdominales rectos, oblicuos y transversos y los músculos intercostales internos, que cooperan con los abdominales haciendo descender el extremo anterior de las costillas y disminuyendo el diámetro del tórax.

3.1. LIQUIDO SURFACTANTE

Los alvéolos pulmonares difieren en tamaño. No todos se vacían y llenan de manera simultánea y eso conlleva problemas físicos. La presión que tiende a cerrar un alvéolo idealmente esférico, como consecuencia de la tensión superficial, está definida por la Ley de Laplace

$$P = 2 \gamma / r$$

donde

P: corresponde a la presión de vaciado de la cámara esférica,
 γ : a la tensión superficial y **r:** al radio de curvatura del alvéolo.

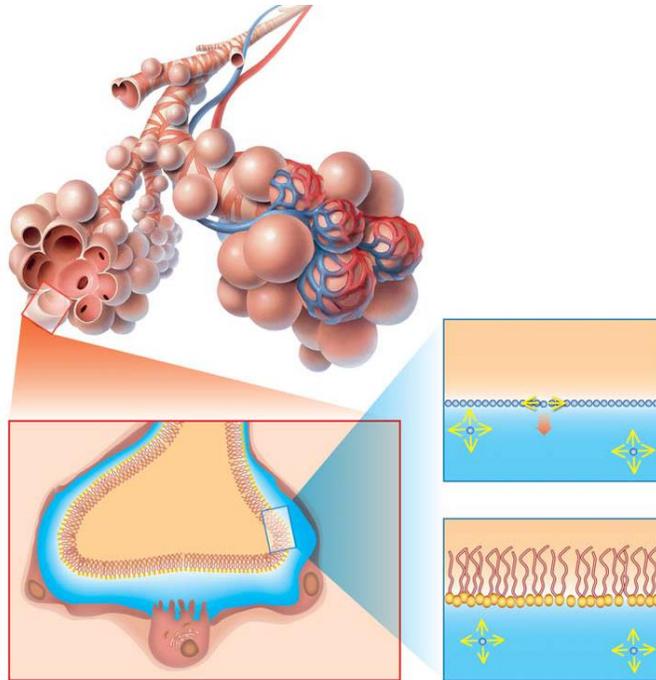


Fig. 5: Neumocito tipo II del saco alveolar

Cuanto mayor es γ y menor r , mayor es P , la tendencia al cierre o colapso del alvéolo. Según este modelo, si dos alvéolos de diferente tamaño están conectados, existiría una diferencia de presión que conduciría al vaciado del menor sobre el mayor, lo que podría llevar al colapso progresivo de los espacios aéreos pulmonares.

El surfactante es producido en los **neumocitos tipo II** del alvéolo y su función es reducir en forma significativa la tensión superficial dentro del alvéolo pulmonar, previniendo el colapso durante la espiración. Químicamente consiste en un 80% de fosfolípidos, 8% de lípidos neutrales y 12% de proteínas. La clase predominante de fosfolípidos es la dipalmitoilfosfatidilcolina (DPPC)

además de fosfatidilcolina insaturada, fosfatidilglicerol y fosfatidilinositol. De todos éstos, la DPPC, por sí sola, tiene las propiedades de reducir la tensión superficial alveolar, pero requiere de las proteínas de surfactante y otros lípidos para facilitar su adsorción en la interfase aire-líquido.

4. VOLUMENES Y CAPACIDADES PULMONARES

Para conocer estos términos primero debemos afirmar que la respiración es un proceso cíclico, con un movimiento inspiratorio y uno espiratorio. El volumen de aire que se moviliza, es decir, que ingresa o egresa en cada movimiento respiratorio, se denomina **Volumen Corriente -VC-**. Este VC no es constante, puede ser modificado voluntaria o involuntariamente, lo cual descubre la presencia de un **Volumen de Reserva Inspiratorio -VRI-** y un **Volumen de Reserva Espiratorio -VRE-** que son los volúmenes que pueden ser inspirados o espirados forzosamente luego de una inspiración o espiración normal. El **Volumen Residual -VR-** no interviene en ninguno de los movimientos respiratorios y no puede ser medido en forma directa. Estos volúmenes se agrupan en cuatro valores que son los más utilizados medicamente:

Capacidad Pulmonar Total -CPT- Es el volumen de aire que hay en el pulmón al final de una inspiración máxima. **$CPT = VRI + VC + VRE + VR = 6000 \text{ ml}$**

Capacidad Vital -CV- Es la máxima cantidad de aire que se puede movilizar en un movimiento respiratorio. **$CV = VRI + VC + VRE = 4800 \text{ ml}$**

Capacidad Inspiratoria -CI- Es la máxima cantidad de aire que se puede inspirar luego de una espiración tranquila. $CI = VRI + VC = 3600 \text{ ml}$

Capacidad Residual Funcional -CRF- Es el volumen de aire contenido en el pulmón luego de una espiración tranquila. $CRF = VRE + VR = 2400 \text{ ml}$

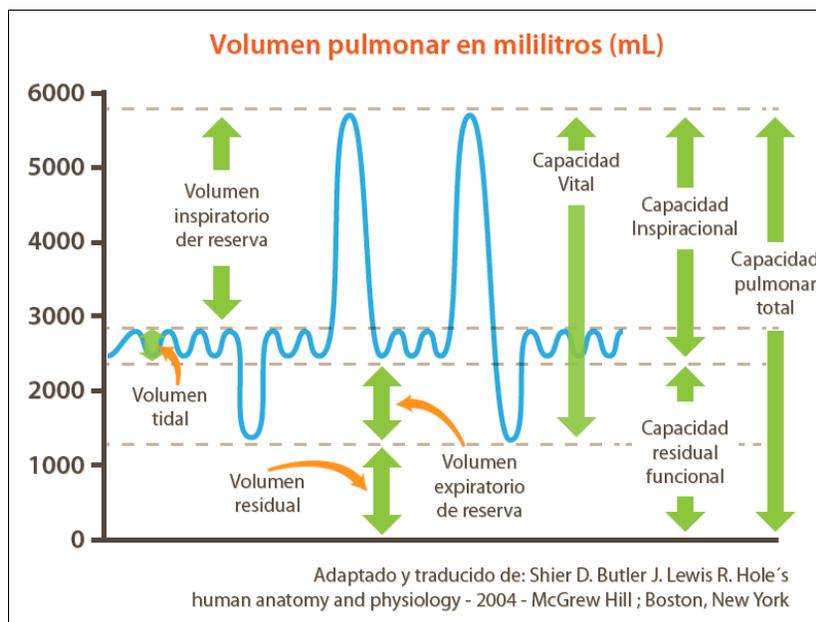


Fig. 6: Volúmenes y capacidades pulmonares

5. CIRCULACION SANGUINEA PULMONAR

La sangre desoxigenada llega al pulmón a través de la *Arteria Pulmonar* para tomar O_2 y eliminar CO_2 . El sistema venoso se retira con sangre O_2 a través de la *Vena Pulmonar* y a esto se lo llama circulación pulmonar. En mamíferos el pulmón se halla perfundido a presiones más bajas que las de la circulación general, para reducir la filtración de líquidos al pulmón, que aumentaría la distancia de difusión entre la sangre y el aire, disminuyendo la transferencia de gases. Para evitar más la acumulación de líquidos, hay un drenaje linfático exhaustivo de los tejidos pulmonares.

La presión sanguínea dentro de los capilares pulmonares viene dada por la P transmural (P sanguínea dentro de los capilares menos la P alveolar) y si la P alveolar supera a la P sanguínea los capilares quedan colapsados y cesa el

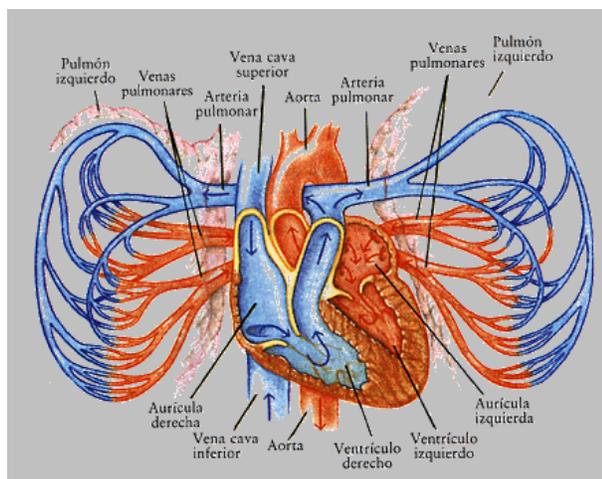


Fig. 7: Circulación sanguínea pulmonar

flujo de sangre. Este colapso puede producirse en el vértice del pulmón del ser humano, donde la P sanguínea es baja. Si la P arterial es mayor que la P alveolar, aumenta el diámetro de los capilares y esto regulará la circulación sanguínea. Una reducción en los niveles de O₂ tiene un notable efecto vasoconstrictor de los capilares pulmonares, en consecuencia se garantiza de esta forma que el flujo sanguíneo sea mayor en las zonas del pulmón donde hay una buena ventilación.

6. VENTILACION PULMONAR

La ventilación pulmonar corresponde a la cantidad de aire que moviliza el pulmón por minuto. Es fácil de calcular conociendo el volumen de aire removido en cada movimiento respiratorio **-VC-** y la Frecuencias respiratoria **-f-** o cantidad de movimientos que se realizan en un minuto. Normalmente la frecuencia es de 12 ciclos.min⁻¹.

$$VP = VC \times f$$

Cuando el aire ingresa a los pulmones todo el volumen que se queda en el espacio comprendido entre nariz-boca y bronquios terminales no sirve para cumplir la función específica del pulmón, que es el intercambio de gases. Este volumen de aire se denomina *Espacio Muerto Anatómico -VM-* y se estima entre 20 y 250 ml, según la edad, el sexo y la estatura en el ser humano.

Existe también un *Espacio Muerto Fisiológico* y está dado por el aire que llega a los alveolos pero no sufre hematosis, ya sea porque los alveolos no reciben sangre o es insuficiente (vértice pulmonar). El espacio muerto anatómico junto con el espacio muerto fisiológico pueden variar entre 100 y 620 ml, un 20-30% de su VC.

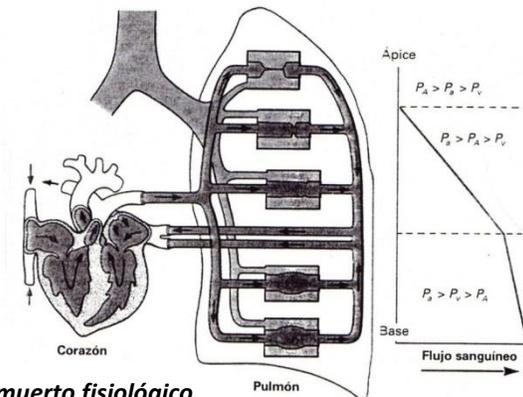


Fig. 8: Espacio muerto fisiológico

6.1 VENTILACION ALVEOLAR

Corresponde a la renovación útil de aire que hay en los pulmones. Es la encargada de renovar continuamente el aire alveolar, que es el volumen que queda en los pulmones luego de una espiración tranquila **-CRF-**

$$VA = (VC - VM) \times f$$

La VA tiene que adecuarse al consumo de O₂ (Vo₂) y a la producción de CO₂ (Vco₂) de tal forma que la composición del aire alveolar sea siempre cte., cualquier alteración de esta composición traerá aparejada similar alteración en la sangre que sale del pulmón. La relación de Vco₂/Vo₂, denominada Cociente Respiratorio **-QR-** es en general menor que 1,

dependiendo del sustrato que se utilice. El QR para los lípidos y proteínas es de 0,7 y para hidratos de carbono es de 1; con una dieta mixta normalmente el QR = 0,8.

7. DIFUSION DE GASES

La función principal del pulmón es oxigenar la sangre y remover de ella el CO₂. Esto se cumple correctamente en la medida que la velocidad de difusión de los gases (O₂ y CO₂) sea suficientemente alta como para permitir oxigenar la sangre en el poco tiempo que está en contacto con el aire alveolar en reposo (0,75 seg) y en ejercicio intenso (0,34 seg). Se puede decir que una correcta hematosis depende de:

- a) que haya un contacto real entre la sangre y el aire alveolar,
- b) la velocidad de difusión de los gases,
- c) el tiempo de contacto entre la sangre y el aire alveolar.

7.1 VELOCIDAD DE DIFUSION DE LOS GASES

El movimiento de los gases en el organismo se produce siempre por diferencia de presiones parciales, en consecuencia el factor a tener en cuenta es la diferencia de PO₂ y PCO₂ entre la sangre y el aire alveolar. Cuanto mayor sea esta diferencia más velozmente difundirán los gases.

A su vez las estructuras que se encuentran entre el alveolo pulmonar y los glóbulos rojos ofrecen cierto grado de resistencia al pasaje de los diferentes gases. Dicha resistencia es ofrecida en partes aproximadamente iguales por la membrana que separa el aire de la sangre (alveolo capilar) y por la dificultad que encuentran los gases para combinarse o disociarse con la sangre. Es decir que la resistencia pulmonar al flujo gaseoso (Rp) es equivalente a la suma de la resistencia que ofrece la membrana (Rm) y la resistencia que ofrece la sangre (Rs) a la difusión.

$$R_p = R_m + R_s$$

Cuando estudiamos la difusión pulmonar conviene referirse más al grado de facilidad que presentan los gases para difundir, más que a la resistencia que se encuentran, de allí que hablamos de *Difusibilidad pulmonar* como lo inverso a la Resistencia pulmonar.

$$\frac{1}{R_p} = D_p = D_m + D_s = \frac{A \cdot \alpha}{g} + \Theta \cdot V_c$$

Donde:

Dm: difusibilidad de la membrana

Ds: difusibilidad de la sangre

Θ: tasa de combinación del O₂ con el glóbulo rojo

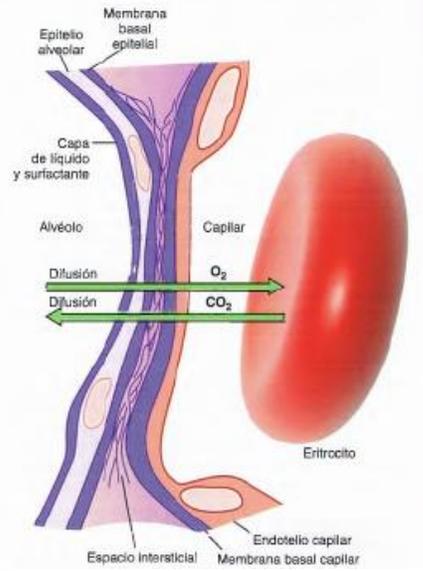
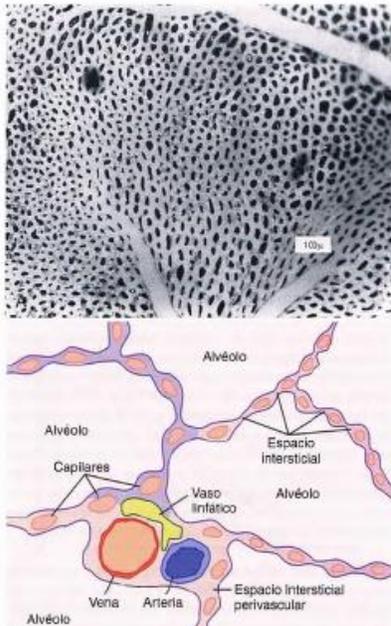
Vc: volumen de sangre capilar expuesta al aire alveolar

7.1.1 Difusibilidad de la membrana

La facilidad de difusión de los gases a través de la membrana depende del grosor de la membrana alveolo capilar (g), del área total de intercambio (A) y de las características de los gases (α).

$$Dm = \frac{A \times \alpha}{g}$$

El área total de intercambio para realizar hematosis solo está representada por el área funcional del pulmón, es decir, aquella en la cual hay posibilidad de que ocurra intercambio de gases. Cuanto mayor sea el área mayor será la difusibilidad pulmonar. En el ser humano es de aproximadamente 70 m^2 . La característica de los gases se manifiesta como un coeficiente de difusión que depende del PM del gas y su solubilidad. La



membrana alveolo capilar está constituida por: la capa de aire alveolar, la capa de líquido tensoactivo, el epitelio alveolar, el intersticio, el endotelio capilar, el plasma y la membrana del eritrocito. El grosor mínimo es de $0,1-0,2\mu$ y en los sitios donde se interponen núcleos puede llegar a medir $0,4 \mu$.

Fig. 9: Membrana alveolo capilar

7.1.2 Difusibilidad de la sangre

La combinación del O_2 con la sangre depende del volumen sanguíneo capilar (Vc) y de la tasa de combinación del O_2 con el eritrocito (Θ).

$$Ds = \Theta \cdot Vc$$

El Vc es muy variable, en reposo es de 60 ml y en actividad puede llegar a 95 ml. La tasa de combinación se expresa como la cantidad de O_2 que se combina con los eritrocitos contenidos en 1ml de sangre, por minuto y por mmHg y depende del número y la característica de eritrocitos y del tipo de hemoglobina contenida.

7.2 TIEMPO DE CONTACTO

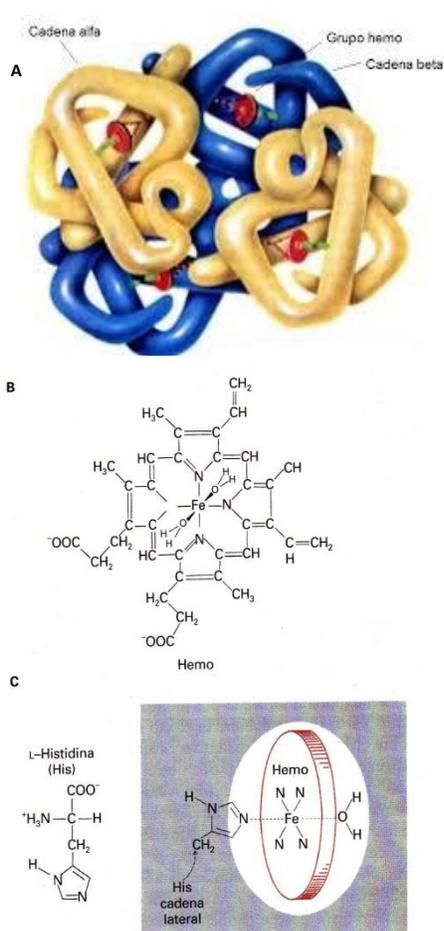
Como la longitud de los capilares es relativamente constante, el tiempo de contacto entre los gases del aire alveolar y el eritrocito depende de la velocidad de la sangre por el capilar pulmonar. La velocidad de la sangre depende del flujo sanguíneo ($\text{volumen cardiaco} \cdot \text{min}^{-1}$),

del número de eritrocitos y del área de sección de los capilares que tengan que atravesar. Cuanto más chicos y menos sean los capilares, la sangre tendrá que fluir más rápido si debe pasar la misma cantidad en el mismo tiempo.

En condiciones de reposo un glóbulo rojo tarda 0,75 seg en llegar desde el extremo arteriolar al venoso del capilar, pero antes de llegar a la mitad del mismo (0,3 seg) ya está totalmente oxigenado. En un ejercicio intenso el volumen cardiaco por minuto es tal que llega a reducir el tiempo de contacto a 0,35 seg, pero esto normalmente no compromete la oxigenación de la persona.

8. PIGMENTOS RESPIRATORIOS

El oxígeno difunde a través del epitelio respiratorio hasta la sangre y se combina con un pigmento respiratorio. El más conocido es la *Hemoglobina -Hb-*. Si no hubiera un pigmento respiratorio el contenido de oxígeno en sangre sería bajo, debido al coeficiente de solubilidad del O₂, ya que a 37 °C y 1 atm de P es igual a 0,3 ml de O₂ por cada 100 ml de sangre. Este contenido se incrementa 70 veces debido a la combinación del O₂ con la Hb, llegando ser de 20 ml de O₂ por cada 100 ml de sangre.



Los pigmentos respiratorios son complejos de proteínas e iones metálicos y cada uno posee un color característico. La Hb de los vertebrados tiene un PM de 68.000 y contiene cuatro grupos prostéticos de hierro porfirínico *-Hemo-* asociados a una proteína *-Globina-* que a su vez está constituida por dos dímeros iguales y, cada uno de ellos está compuesto por dos cadenas polipeptídicas (una cadena α y una cadena β , γ o ϵ ; según el tipo de Hb de que se trate). Cada grupo Hemo está unido a una cadena polipeptídica (α o β). Los dímeros están conectados entre sí por puentes iónicos, excepto las cadenas β que no se tocan. La oxigenación altera estos puentes iónico causando cambios en la estructura de la molécula de Hb.

El hierro, en estado ferroso, Fe⁺² se halla ligado al anillo porfirínico del grupo Hemo formando enlaces coordinados con los cuatro átomos pirrólicos de N. Los dos enlaces restantes se utilizan para conectar al grupo Hemo a un anillo imidazol de la Globina y para unirse al oxígeno.

Si hay oxígeno ligado a la molécula de Hb se denomina Oxihemoglobina y posee un color rojo vivo. Si falta oxígeno se utiliza el término Desoxihemoglobina y

Fig. 10: A- Hemoglobina. B- Grupo Hemo. C- Unión del Hemo a la Globina y al O₂.

posee un color rojo parduzco. La afinidad de la Hb por el CO es 200 veces mayor que con el O₂. Como consecuencia el CO desplazará al O₂ y saturará la Hb, aún a niveles bajos de PCO, provocando una notable reducción en el transporte de O₂. La Hb saturada con CO se denomina Carboxihemoglobina. Es por ello que la combustión inadecuada de estufas y los escapes de automóviles son tan tóxicos.

Los diferentes grupos de animales invertebrados poseen distintos pigmentos respiratorios:

Hemeritrina: se encuentra en priapulidos, braquiópodos y anélidos. Es de color rojo; está constituida por una proteína que contiene 7 subunidades idénticas sin estructura porfirínica; cada una porta 2 átomos de Fe y es transportada por células.

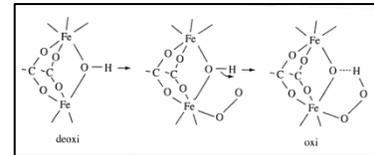


Fig. 11: Hemeritrina

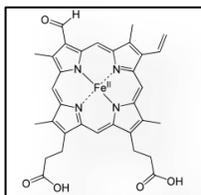


Fig. 12: Clorocruorina

Clorocruorina: se encuentra en muchos anélidos. Es de color verde cuando está desoxigenada y rojo claro, oxigenada. Está formada por una proteína con Fe porfirínico, al igual que la Hb, con la cual está estrechamente emparentada. No es transportado por células sino que flota libremente en la sangre.

Hemocianina: Es una proteína presente en la sangre de algunos crustáceos, arácnidos y moluscos. Es semejante a la Hb, con Cu en lugar de Fe, de color azul claro en estado oxigenado e incolora desoxigenado. No es transportada por células.

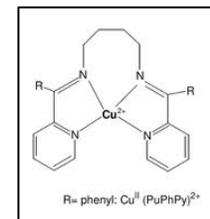


Fig. 13: Hemocianina

9. TRANSPORTE DE O₂ POR SANGRE

Cada molécula de Hb puede combinarse en total con cuatro moléculas de O₂. El grado en que se combina el O₂ con la Hb varía con la PO₂. Si todos los lugares de la molécula de Hb están ocupados por O₂ la sangre está saturada al 100%. Para comparar sangre con distinto contenido de Hb se utiliza el **% de saturación**.

$$\% \text{SO}_2 = \frac{\text{contenido} \times 100}{\text{capacidad}}$$

El *contenido* define la cantidad de O₂ combinado, contenido en un volumen determinado de sangre. La *capacidad* corresponde a la máxima cantidad de O₂ que puede combinarse con la Hb contenida en 100 ml de sangre. En consecuencia, la capacidad de O₂ aumenta en proporción a la concentración de Hb.

La curva de disociación del O₂ describe la relación entre el % de saturación y la PO₂. Para el caso de la Hb la curva es sigmoidea. Debido a la afinidad de la Hb con el O₂, a medida que

aumenta la PO_2 en pequeñas proporciones, aumenta en forma importante la saturación de la Hb hasta llegar a los niveles más altos de saturación, en los cuales frente a importantes cambios de la PO_2 no se ven variaciones en el % de saturación. La Hb es una proteína alostérica ya que la unión del O_2 a una subunidad Hemo induce cambios conformacionales que se transmiten a otras subunidades, incrementando su afinidad por el O_2 . Por lo tanto, se dice que la unión del oxígeno a la hemoglobina es cooperativa.

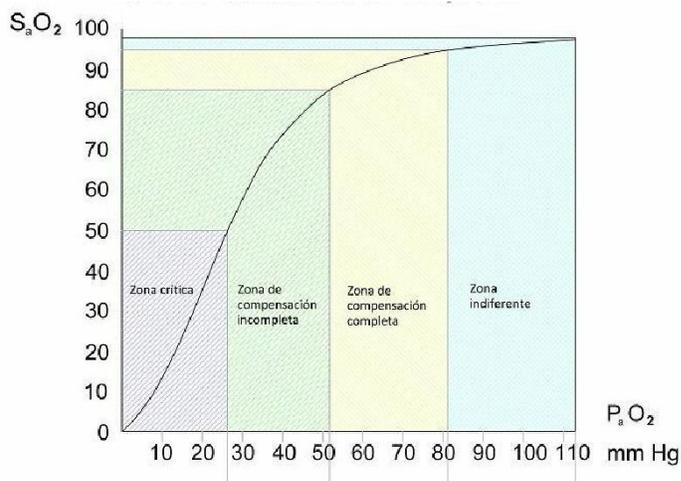


Fig. 14: Curva de disociación de la Hb-O₂

descarga. La afinidad de la Hb-O₂ es lábil y depende de las condiciones en el interior del eritrocito. Los factores que disminuyen esta afinidad son: el aumento de la PCO_2 , el aumento de la T° , el aumento de los ligandos fosfatados (ATP y GTP en peces; InsP5 en aves; 2,3-DPG en mamíferos) y la disminución del pH. Cualquier cambio en la afinidad de la hemoglobina por el oxígeno, se traducirá en un desplazamiento de la curva hacia la izquierda o hacia la derecha. Un desplazamiento hacia la izquierda supone un aumento de la afinidad (o descenso de la P50) y un desplazamiento hacia la derecha supone una disminución de la afinidad (o aumento de la P50).

Se considera *Efecto Bohr* la reducción de la afinidad de la Hb-O₂ provocada por el aumento de H^+ = disminución de pH. Estos H^+ se unen a la globina modificando la estructura de la proteína y disminuyendo así su afinidad.

Asimismo, cuando la Hb debe ceder el O_2 en los tejidos corporales, analizamos la curva en forma inversa. En la franja comprendida entre los 40 y 10 mmHg PO_2 , frente a pequeñas disminuciones de la PO_2 , la sangre entrega grandes cantidades de O_2 . La porción inclinada de la curva asegura una buena descarga de O_2 . Los valores que hay justamente en la mayoría de los tejidos metabólicamente activos está entre 40 y 10 mmHg PO_2 y son los responsables de esa

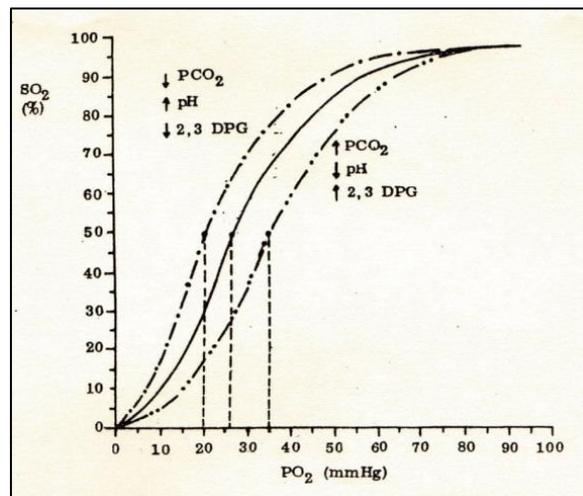
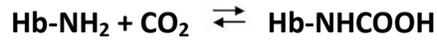


Fig. 15: Cambio en la afinidad de la Hb- O₂ en la Curva de disociación de la Hb-O₂

El aumento de CO_2 provoca una disminución de la afinidad de la Hb-O₂ debido a dos efectos. Reacciona con el agua liberando H^+ > *efecto Bohr*



y se une a los grupos NH_2 de las proteínas plasmáticas y la globina para formar compuestos carbámicos o carbaminicos, dando lugar a la carbamino-Hb. Ambos efectos inducen disminución de la afinidad de la Hb- O_2 .



El CO_2 que ingresa a la sangre en los tejidos facilita la descarga del O_2 que transporta la Hb al reducir su afinidad, mientras que el CO_2 que la abandona en el pulmón o las branquias facilita la captación de O_2 por la sangre.

En algunos peces, cefalópodos y crustáceos un aumento de CO_2 o una disminución de pH provocan no solo una reducción en la afinidad de la Hb sino también una disminución en la capacidad de O_2 , efecto denominado *Root*. En aquellas Hb que presentan el efecto Root, un pH bajo reduce el grado de combinación del O_2 con la Hb e incluso a PO_2 altas solo algunos de los lugares posibles están oxigenados.

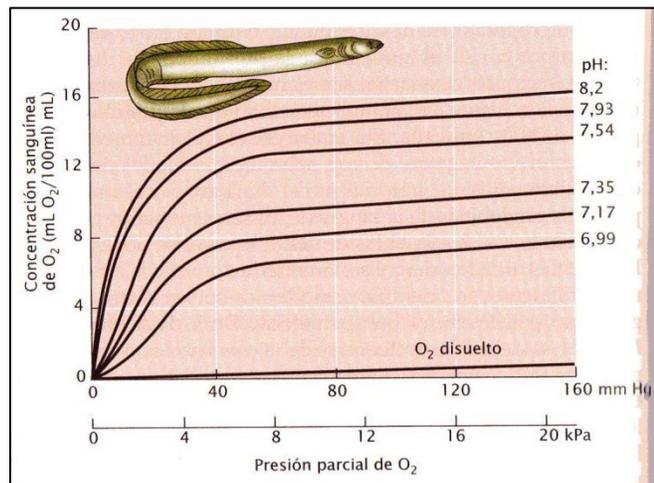


Fig. 16: Efecto Root

En las Hemocianinas de diversos gasterópodos y de la Cacerola de las Molucas (*Limulus*) una disminución de pH ocasiona un aumento en la afinidad por el O_2 . Esta mayor afinidad se denomina efecto Bohr invertido y puede servir para facilitar la carga de O_2 durante periodos de baja disponibilidad de O_2 . El aumento de la temperatura agudiza el problema de O_2 en animales ectotermos (peces). La mayor T° no solo reduce la solubilidad del O_2 en el agua, sino que también disminuye la afinidad de la Hb por el O_2 . Desafortunadamente esto ocurre cuando las necesidades de O_2 en los tejidos aumentan como resultado de la mayor T° .

Los eritrocitos de los mamíferos contienen grandes niveles de 2-3 Difosfoglicerato -DPG- La Hb y el DPG se encuentran en concentraciones casi equimolares en el ser humano. El DPG se une a las cadenas β de la desoxi-Hb y disminuye la afinidad Hb- O_2 . La altitud ocasiona una disminución en los niveles de O_2 en sangre debido a que la PO_2 en el aire está reducida. Como respuesta a los efectos de la altitud se produce un aumento en el nivel de DPG en sangre. A altitudes de 3000m ya hay un incremento del 10% sobre la concentración a nivel del mar. El significado funcional de este aumento sería favorecer la liberación de O_2 en los tejidos, en condiciones de baja disponibilidad de O_2 . La captación de O_2 en el pulmón también se vería afectada, sin embargo se compensa por la alta PO_2 .

En algunos vertebrados son otros los compuestos fosforilados que tienen mayor efecto sobre la afinidad de la Hb-O₂, en peces por ej, el ATP y en aves el Inositol fosfato.

10. TRANSPORTE DE CO₂ EN SANGRE

El CO₂ difunde a la sangre desde los tejidos, es transportado por la sangre y difunde de nuevo a través de la superficie respiratoria hasta el medio ambiente. El CO₂ reacciona con el agua dando ácido carbónico, un ácido débil que se disocia en bicarbonato CO₃H⁻ o carbonato CO₃⁼. Esta reacción ocurre espontáneamente en el plasma, pero dentro del eritrocito la reacción es catalizada por la enzima *Anhidrasa carbónica*. La proporción de carbonato:bicarbonato depende del pH, la Tº y la fuerza iónica de la solución.



El CO₂ viaja en sangre como gas, como ion carbonato y como bicarbonato, sin embargo esta última es la forma predominante de CO₂ en sangre a pH sanguíneo normal (7,4). La forma CO₃H⁻ hace que la Hb se una a los H⁺ y a cambio libere Na⁺ o K⁺ para mantener la electroneutralidad. La Hb se desoxigena a medida que se agrega CO₂ a la sangre, desarrollando mayor afinidad por los H⁺. El CO₃H⁻ forma sales de Na⁺ y K⁺ pero la mayoría pasa al plasma y se intercambia con Cl⁻ y al llegar al pulmón las reacciones se revierten. En la membrana del eritrocito hay un intercambiador aniónico (proteína de la banda 3) que facilita la difusión del CO₃H⁻ y Cl⁻ (1:1) haciendo que el CO₃H⁻ formado difunda al plasma por intercambio con Cl⁻.

CO₂ 1: 20 CO₃H⁻

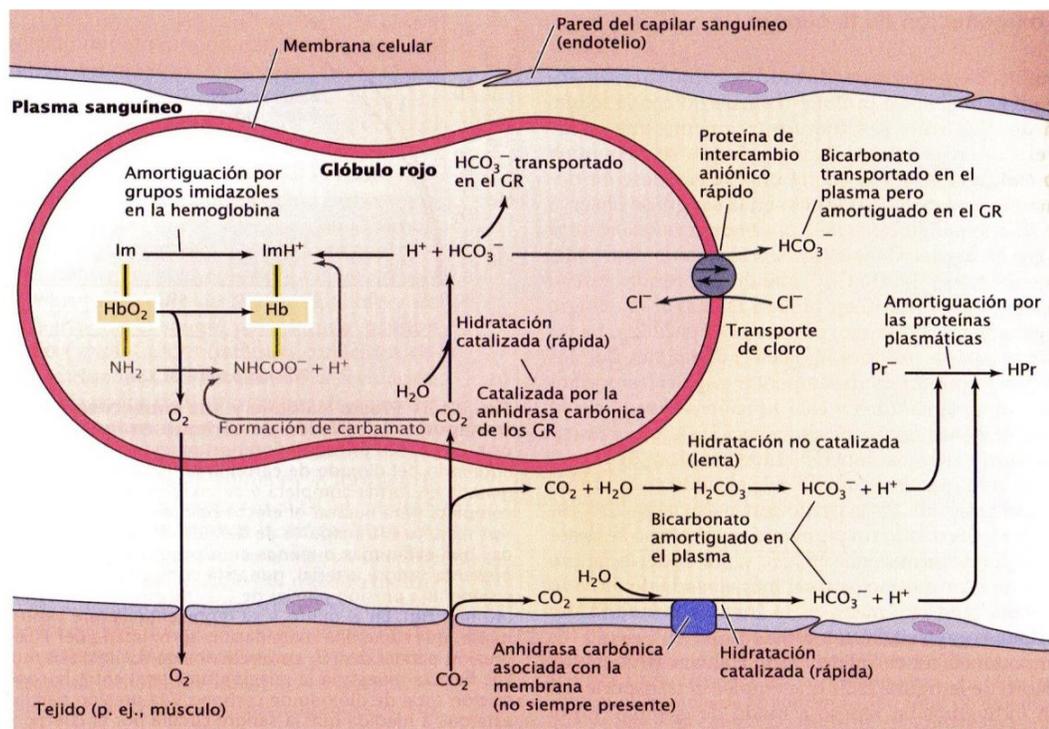


Fig. 17: Intercambio de gases entre la sangre y los tejidos

El CO₂ también reacciona con los grupos NH₂ de las proteínas, en particular de la Hb, formando compuestos carbámicos o carbaminicos. Esto implica una conversión de la oxi-Hb en Hb reducida, lo que significa un reacondicionamiento de las cargas eléctricas de la molécula. De ello resulta una mayor afinidad de ésta por el CO₂. Así es que mientras 1 mol de oxi-Hb solo absorbe 0,15 moles de CO₂, la forma desoxi-Hb absorbe 0,4 moles de CO₂.

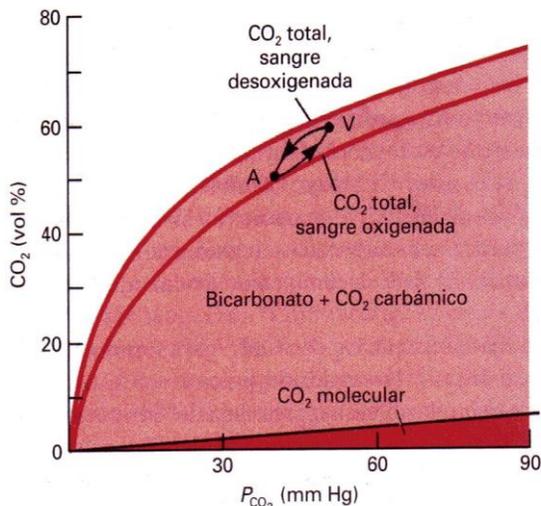


Fig. 18: Contenido total de CO₂

de la e que se halla en los eritrocitos. Además la Hb actúa como aceptor de H⁺ facilitando la formación de CO₃H⁻. A una PCO₂ dada la desoxi-Hb se combina con más H⁺ y con más CO₂ formando más grupos carbámicos de lo que lo hace la oxi-Hb. El contenido total de CO₂ en sangre desoxigenada a una PCO₂ determinada es, por consiguiente, mayor que el de la sangre oxigenada. De este modo la desoxigenación de la Hb en los tejidos estimula la captación de CO₂. Así como la oxigenación de la Hb estimula el desprendimiento de CO₂: *Efecto Haldane*.

La suma de todas las formas de CO₂ en sangre es considerada como el contenido total de CO₂ en sangre; puede variar con la PCO₂ y puede graficarse en la *Curva de disociación de CO₂*. El CO₂ entra y sale de la sangre en forma molecular principalmente, ya que difunde mucho más rápidamente. En los tejidos el CO₂ penetra en la sangre y puede hidratarse para formar CO₃H⁻ o puede reaccionar con los grupos NH₂ de la Hb y otras proteínas para formar grupos carbámicos. Se da el proceso inverso cuando el CO₂ se descarga de la sangre. La reacción de hidratación-deshidratación del CO₂ ocurre en presencia

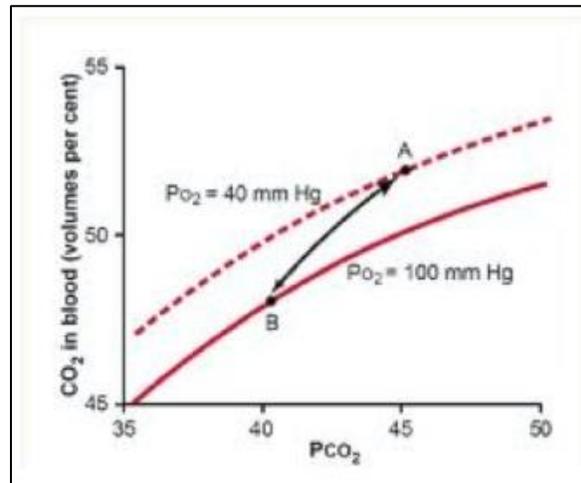
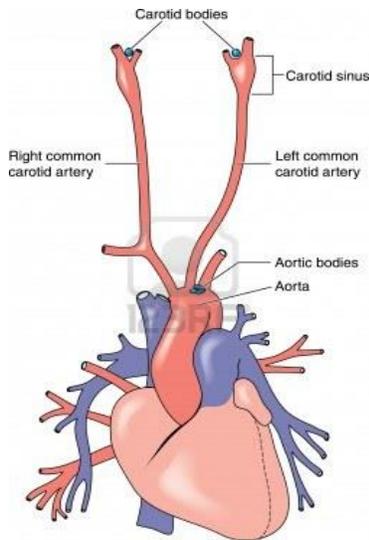


Fig. 19: Efecto Haldane

11. REGULACION NERVIOSA DE LA RESPIRACION

Los músculos que participan de la respiración son activados por neuronas que reciben señales de los centros respiratorios medulares y bulbares. El incremento de CO₂ en sangre provoca un aumento en la actividad respiratoria. Los quimiorreceptores que registran los cambios de O₂ y CO₂ en sangre arterial se hallan en los *Cuerpos Aórtico y Carotideo* de los mamíferos; en el *Cuerpo Carotideo* de aves y en el *Laberinto Carotideo* de anfibios. Existen



quimiorreceptores centrales en los mamíferos, localizados en la medula, que dirigen la ventilación y responden a descensos del pH en el líquido cefalorraquídeo -LCR-. Los *Cuerpos Aórtico y Carotideo* de los mamíferos reciben mayor suministro de sangre y mayor captación de O_2 por unidad de peso corporal. Estos quimiorreceptores arteriales consisten en una serie de lóbulos o *Glomus*, alrededor de capilares muy sinuosos. Cada lóbulo está constituido por varias células (tipo I y II) receptoras, inervadas por los nervios Glossofaríngeo y Vago. Los quimiorreceptores son estimulados por el descenso del pH o del contenido de O_2 en sangre. Su estimulación induce un incremento en la ventilación pulmonar por estimulación al centro respiratorio del Bulbo Raquídeo.

Fig. 20: Cuerpos Aórtico y Carotideo

12. RESPUESTA A CAMBIOS EN LOS NIVELES DE GASES RESPIRATORIOS

12.1 HIPOXIA

La hipoxia en aire se puede dar a ciertas altitudes en las cuales es muy baja la PO_2 . Las poblaciones más elevadas se hallan a 5800 msnm, allí la PO_2 : 10,5KPa, comparado con los valores a nivel del mar PO_2 : 20,7KPa.

En el agua hay peces que hibernan en el fondo barroso de un cuerpo de agua, donde la PO_2 es muy baja. Muchos parásitos viven en ambientes hipóxicos durante distintas fases de su ciclo vital. Lapas y bivalvos cierran sus valvas durante la bajamar para evitar la desecación y a la vez se someten a hipoxia.

La reducción de O_2 en el medio provoca disminución de la PO_2 en sangre y en mamíferos por ej., provoca:

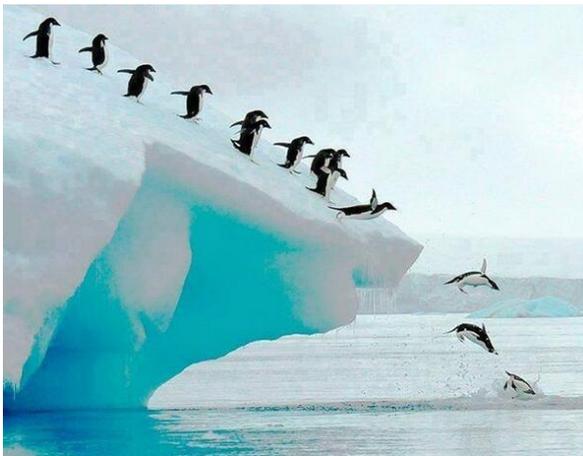
- aumento en la ventilación pulmonar,
- eliminación del CO_2 ,
- disminución de la PCO_2 en sangre,
- disminución de la PCO_2 en LCR,
- aumento de pH,
- disminución de la hiperventilación provocada por hipoxia.

Sin embargo si las condiciones de hipoxia se mantienen (alturas) los niveles de pH en sangre y LCR vuelven a sus niveles normales por eliminación de CO_3H^- , Proceso que requiere alrededor de una semana. Al volver a la normalidad el pH sanguíneo y de LCR, predominan los efectos reflejos de la hipoxia sobre la ventilación y el resultado es un

aumento gradual de la ventilación conforme el animal se aclimata a la altitud. El aumento de ligandos fosfatados (DPG) que disminuyen la afinidad Hb-O₂ contrarresta los efectos del elevado pH generado por hiperventilación.

Las personas que habitan en lugares de gran altitud poseen el tórax ensanchado, volúmenes pulmonares mayores, P arterial pulmonar elevada y una frecuente hipertrofia del ventrículo derecho. Las mayores P pulmonares producen mejor distribución de sangre en el pulmón y por lo tanto mayor capacidad de difusión de O₂. También suele haber adaptaciones a largo plazo, como el aumento de eritrocitos y del contenido de Hb en sangre. La hipoxia estimula la producción de eritropoyetina, hormona producida por el riñón y el hígado que induce la eritropoyesis en la médula ósea roja. También se estimula la proliferación de capilares en los tejidos asegurando una distribución más adecuada en los tejidos. En peces y anfibios sometidos a hipoxia las branquias son mayores.

13. ADAPTACIONES AL BUCEO



Las aves y mamíferos buceadores están sometidos a periodos de hipoxia variables. Para atenuar el agotamiento de los depósitos de O₂ disponibles, éste se utiliza solamente en el cerebro y el corazón durante el buceo, reduciéndose el flujo de sangre al resto del cuerpo, que adopta vías metabólicas anaeróbicas. Existe notable disminución en la frecuencia cardiaca y en el gasto cardiaco. Muchos animales buceadores exhalan aire antes de sumergirse, ya que el incremento de Presión a grandes profundidades produce

compresión del pulmón. Si los gases permaneciesen en los alveolos difundirían hacia la sangre de forma líquida. Al finalizar el buceo la P_{N₂} en sangre sería elevada y un rápido ascenso del animal a la superficie provocaría la formación de burbujas en sangre, generando un trastorno que se conoce como la *Borrachera de las profundidades*.

El contenido de O₂ en sangre, en los animales buceadores, es el doble del que transporta un animal no buceador. Una foca por ej, pesa la mitad que un ser humano pero tiene el mismo volumen sanguíneo total. Además, en el caso de la foca, la capacidad de O₂ en

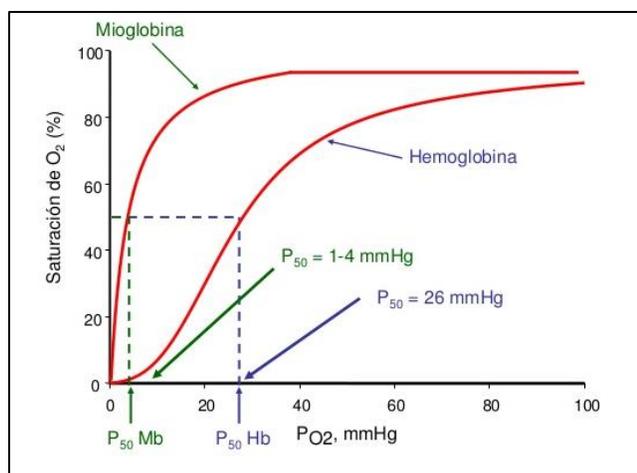


Fig. 21: Curva de Disociación de la Hb y de la Mioglobina

sangre es mayor, como consecuencia la cantidad de total de O_2 transportado es superior. Las focas y ballenas tienen unos 30-40 ml O_2 por cada 100 ml de sangre, mientras que en el hombre hay 21 ml.

También hay una gran reserva de O_2 en los músculos. Este O_2 está unido a la mioglobina que tiene una afinidad muy alta por el gas. Por ello los músculos presentan un color rojo muy intenso. La Mioglobina es un pigmento respiratorio parecido a la Hb, compuesto por un grupo Hemo y una cadena polipeptídica, semejante a las cadenas de la Globina.

La mayor parte de los músculos, ya sea que se utilicen o no, no reciben sangre durante el buceo, por lo que realizan un trabajo completamente anaeróbico que conduce a la formación de ácido láctico. Inmediatamente después de emerger, cuando se reanuda la circulación sanguínea a los músculos, la concentración de ácido láctico en sangre se dispara. Este ácido láctico representa una *Deuda de oxígeno* que debe ser saldada gradualmente. Parte del ácido es utilizado para resintetizar glucógeno en el hígado y los músculos y una porción más pequeña se oxida completamente a CO_2 y H_2O . Frente a esa situación la expulsión de CO_2 aumenta considerablemente y la captación de O_2 también mediante hiperventilación.

14. SISTEMA BRANQUIAL

En la mayoría de las especies las branquias son bañadas por un flujo unidireccional de agua. La sangre fluye a través de ellas y las posibles disposiciones del flujo sanguíneo respecto del agua pueden ser concurrentes o en contracorriente. En los peces teleósteos el agua entra por la boca, pasa sobre las branquias y sale a través de las aberturas de los opérculos que cubren las branquias. Tanto la entrada a la cavidad bucal como a las hendiduras operculares poseen válvulas (músculos esqueléticos) que mantienen un flujo unidireccional de agua sobre las branquias, debido a que la presión en la cavidad opercular es ligeramente inferior a la presión en la cavidad bucal.

La organización general es semejante en las distintas especies. Los cuatro arcos branquiales de cada lado de la cabeza separan las cavidades bucal y opercular. Cada arco tiene dos hileras de filamentos y cada filamento, aplanado dorsoventralmente,

presenta una hilera superior y otra inferior de laminillas branquiales. Las laminillas de los sucesivos filamentos de una hilera están en estrecho contacto. Las puntas de los filamentos de los arcos adyacentes están yuxtapuestas formando una criba al flujo del

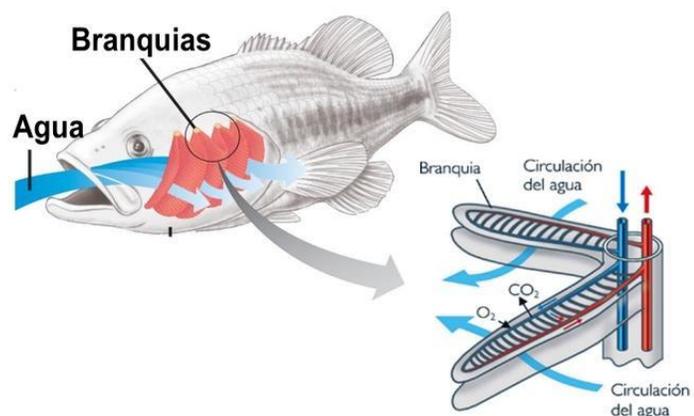


Fig. 22: Branquias en pez

agua. El agua fluye en forma de delgadas hojas entre las laminillas, que representan la porción respiratoria de la branquia. Las laminillas están cubiertas por una fina capa de células epiteliales sostenidas por células en pilar y la sangre fluye entre los espacios dejados por las células en pilar. La distancia de difusión entre el eritrocito y el agua es de 3-8 μ . Mucho mayor que la distancia de difusión en el epitelio pulmonar. El área total de las laminillas varía entre 1,5 y 15 $\text{cm}^2 \cdot \text{gr}^{-1}$ de peso corporal, dependiendo de la talla del pez y de su grado de actividad.

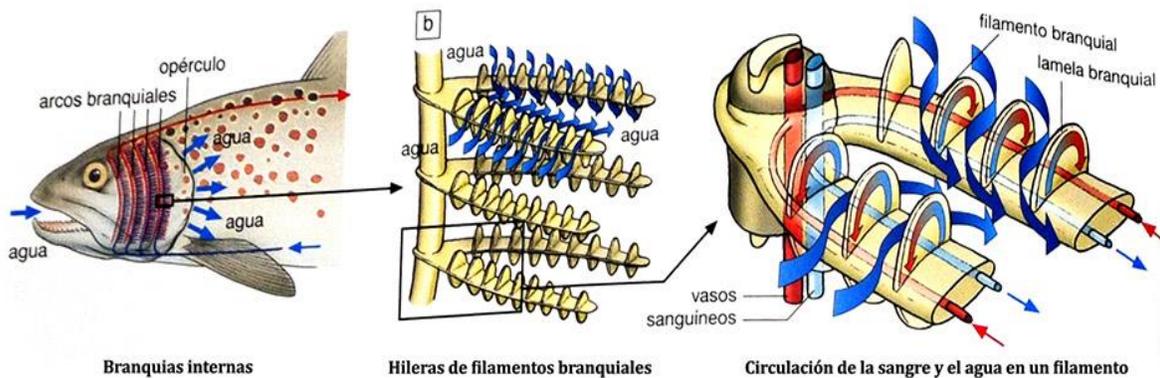


Fig. 23: Sistema branquial en detalle

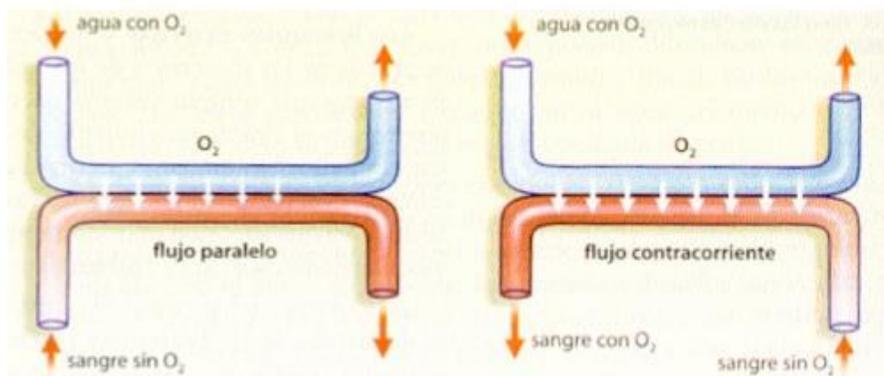


Fig. 24: Mecanismo de intercambio en contracorriente

El agua y la sangre fluyen en contracorriente, lo que mejora en parte la eficiencia de la difusión, que es mucho menor que en un sistema aéreo. En el agua el contenido de O_2 es 1/30 veces respecto al contenido en aire. Debido a que la viscosidad y la densidad del agua son 1.000 veces mayores que las del aire, el gas difunde 10.000 veces más rápido en aire que en agua; por esto el mecanismo en contracorriente compensa en parte las desventajas presentes en el medio acuoso.

15. SISTEMA DE TRAQUEAS

Las tráqueas son una serie de invaginaciones de la superficie corporal que se ramifican por todas partes en los tejidos internos del animal. Las ramas más pequeñas o traqueolas son cerradas en su extremo y finalizan dentro de células individuales, suministrando O_2 a las regiones cercanas a las mitocondrias. A diversos intervalos las tráqueas pueden tener sacos que agranden el volumen traqueal y almacenen O_2 . Normalmente las entradas traqueales están protegidas por espiráculos que controlan el flujo de aire en el interior de las tráqueas; regulan la pérdida de agua y protegen de la entrada de polvo.

Algunos insectos grandes ventilan los tubos y los sacos aéreos por medio de compresiones y expansiones alternativas de la pared corporal, especialmente el abdomen. Los espiráculos pueden abrirse y cerrarse durante las distintas fases de aire. Los gases se transfieren entre el aire y los tejidos a través de las paredes de las traqueolas, que son muy delgadas. Los extremos de las traqueolas están llenos de líquido, de modo que los gases que difunden se desplazan a través del líquido traqueolar, la pared de la traqueola, el espacio extracelular y la membrana celular. En general los tejidos más activos tienen más traqueolas y en los insectos más grandes están mejor ventilados.

Este sistema presenta muchas modificaciones, por ej, en insectos o larvas acuáticas. Algunas larvas poseen respiración cutánea y el sistema traqueal está cerrado y lleno de líquido. Hay insectos acuáticos con branquias, que son evaginaciones del cuerpo, llenas de tráqueas con aire. La separación con el agua es por una membrana de 1μ de espesor. Hay insectos acuáticos que se sumergen con una burbuja de aire debajo de sus alas (escarabajo *Dytiscus*) y el O_2 se transfiere desde la burbuja a la tráquea y al tejido.

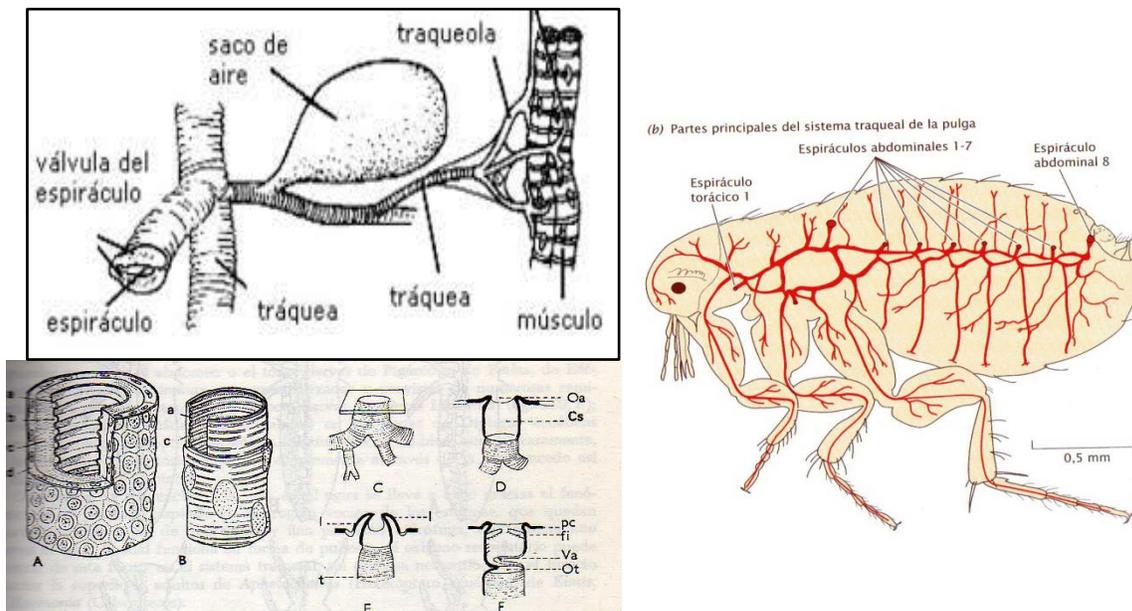


Fig. 25: Sistema Traqueolar en artrópodos (arr. Izq), distribución del sistema de tráqueas (der.) y estructura de las tráqueas y ostiolas (ab. Izq).

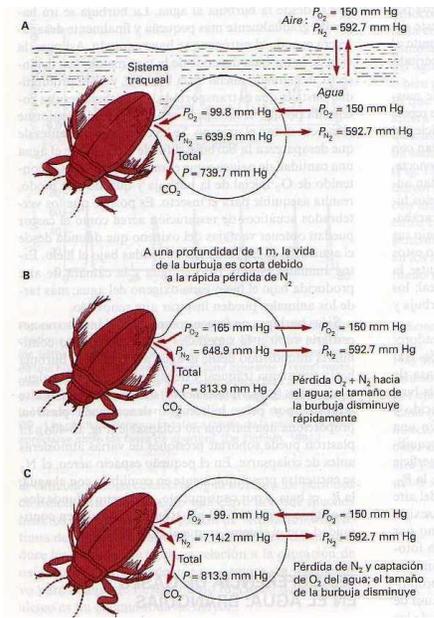


Fig. 26: Escarabajo acuático *Dytiscus* sumergido con burbuja de aire (izq.) y larva acuática de artrópodo con sistema respiratorio de branquias.

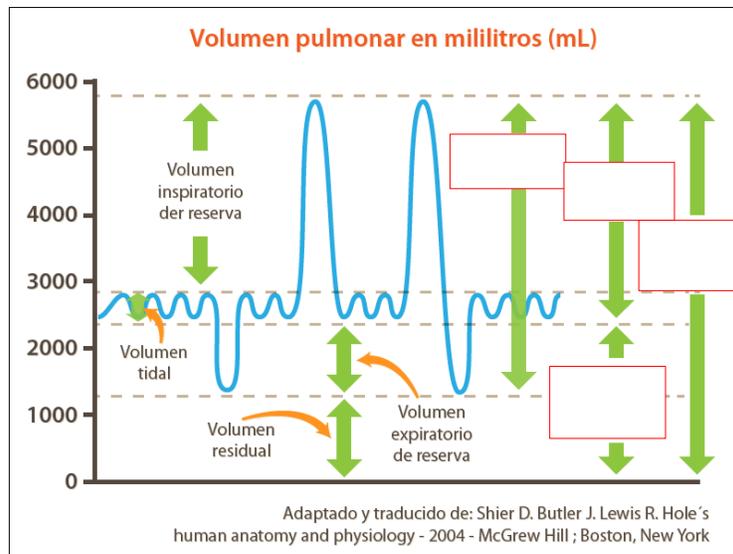
BIBLIOGRAFÍA

Randall, D.; Burggren, W. & French, K. 2002. Eckert. Fisiología Animal. Mecanismos y adaptaciones. Interamericana- Mc Graw Hill- 4ta Edición. 790Ppp.

ACTIVIDADES

1. Señala en el siguiente gráfico (en los espacios en blanco) los cuatro valores más utilizados medicamente para ensayos de funcionalidad pulmonar, teniendo en cuenta el significado de cada uno.

Capacidad Pulmonar Total:
 Capacidad Vital:
 Capacidad Inspiratoria:
 Capacidad Residual Funcional:



2. La ventilación alveolar (VA) sería la renovación útil de aire en los pulmones luego de una espiración tranquila, o sea que en ella se descuenta el Espacio Muerto Anatómico y Fisiológico (VM) al Volumen Corriente (VC). ¿Qué modificaciones debe poseer una jirafa para mantener su VA en valores apreciables considerando que su VM es elevado?

$$VA = (VC - VM) \cdot f$$

3. Explica que sucede con las diferencias de Presión entre los capilares y los alveolos, en cada zona de distribución sanguínea pulmonar, en una persona que se halla de pie y cómo afecta esto la ventilación alveolar. ¿Cómo se denomina la zona 1? ¿Se puede revertir la situación que allí ocurre? ¿Cómo?

