

Transporte de oxígeno y de dióxido de carbono (CO₂) en la sangre

La sangre transporta los gases respiratorios por todo el organismo. El O₂ se transporta desde los pulmones hasta todos los tejidos del organismo, mientras que el CO₂ producido por las células responsables del metabolismo se transporta hasta los pulmones para que sea eliminado del organismo. Es decir el O₂ se desplaza desde los alveólos hasta la sangre capilar pulmonar por difusión, porque la presión parcial de O₂ (PO₂) en el aire alveolar es mayor que la de la sangre pulmonar. En los tejidos periféricos, la PO₂ es menor en las células que en la sangre arterial que penetra en los capilares y, por consiguiente, el O₂ de la sangre difunde a través de los espacios intersticiales hasta el interior de la célula. En cambio la presión parcial de CO₂ (PCO₂) en los tejidos en actividad metabólica es mucho mayor que la de la sangre capilar, de modo que el CO₂ difunde a la sangre y llega a los pulmones. Aquí la PCO₂ de la sangre capilar pulmonar es mayor que la de los alveólos, y el CO₂ difunde a través de las membranas capilares y alveolares y se elimina del organismo en la espiración.

La hemoglobina aumenta la capacidad de la sangre para transportar oxígeno.

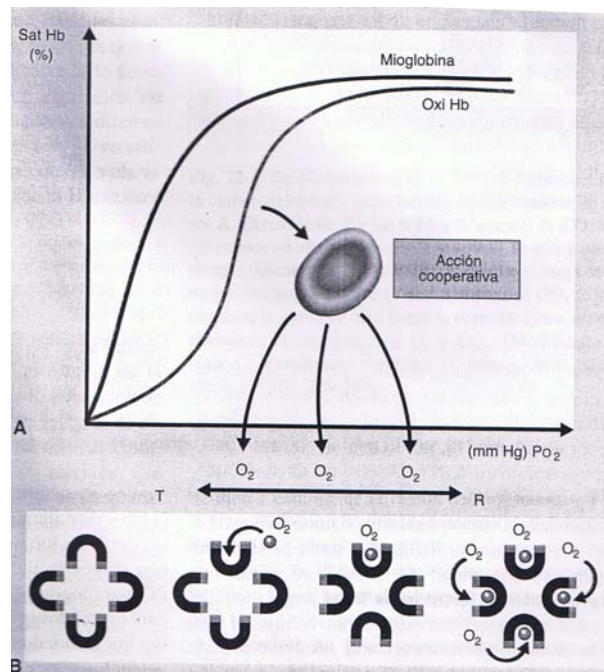
La solubilidad del oxígeno en el agua plasmática es muy baja, por lo que se necesitaría que el corazón bombeara alrededor de 80 litros/minuto para suministrar el oxígeno necesario para los requerimientos del organismo, y no los 5 litros/minuto que bombea el corazón del cuerpo humano en estado de reposo. Esto se explica porque organismo utiliza una proteína, la hemoglobina, que aumenta la capacidad de la sangre para transportar oxígeno, recordemos que una molécula de hemoglobina tiene capacidad para cuatro moléculas de oxígeno y que además un eritrocito puede transportar 250 millones de moléculas de hemoglobina.

Cada molécula de hemoglobina consta de una parte protéica (globina) formada por cuatro cadenas polipeptídicas, y de cuatro moléculas llamadas grupo HEMO que contiene un átomo de Fe⁺² que se combina libremente con una molécula de oxígeno formando oxihemoglobina (HbO₂), este proceso tiene lugar en los capilares alveolares de los pulmones donde la PO₂ es elevada. Cuando la oxihemoglobina se disocia para liberar el oxígeno en los tejidos metabólicamente activos, ésta se convierte en desoxihemoglobina .

La hemoglobina saturada con oxígeno es de color rojo brillante, mientras que la hemoglobina que ha perdido una o más moléculas de O_2 tiene un color más oscuro. A medida que la sangre atraviesa los tejidos, cede el O_2 y el porcentaje de saturación de O_2 disminuye, por esta razón la sangre venosa es más oscura que la arterial. Cuando la cantidad de desoxihemoglobina aumenta demasiado la piel y las membranas mucosas adoptan una coloración azulada, un proceso conocido como cianosis.

La facilidad con que la hemoglobina acepta una molécula de oxígeno depende del número de sitios de unión que ya estén ocupados por otras moléculas de O_2 . Existe una cooperación entre los sitios de unión, de modo que la ocupación de uno de los cuatro sitios facilita la unión de una segunda molécula de O_2 , y así sucesivamente.

ACCIÓN COOPERATIVA



Como consecuencia, la cantidad de O_2 unido a la hemoglobina aumenta siguiendo una curva sigmoide a medida que aumenta la presión parcial de oxígeno (P_{O_2}). Esto se conoce como curva de disociación de la oxihemoglobina o del oxígeno, la naturaleza sigmoide de la curva de disociación es significativa desde un punto de vista fisiológico porque a medida que la P_{O_2} disminuye desde 100 mmHg (valor en sangre arterial), hasta unos 60 mmHg, la saturación de la hemoglobina con oxígeno sólo disminuye en un 10%. Con valores por debajo de 60 mmHg, la curva se vuelve relativamente pronunciada y pequeños cambios de la P_{O_2} provocan grandes cambios en el grado de saturación de la hemoglobina.

CURVA DE SATURACION DE HEMOGLOBINA

La afinidad de la hemoglobina por el oxígeno esta influida por el pH, la PCO_2 , el 2,3-DPG y la temperatura.

La curva de disociación de oxihemoglobina esta dada para las siguientes condiciones:

- pH 7,4
- PCO_2 de 40 mmHg
- Temperatura 37°C

Tanto si aumenta la PCO_2 (valores superiores a 40 mmHg) como si disminuye el pH (es decir, aumenta la concentración de iones H^+) se desplaza la curva de disociación de la hemoglobina hacia la derecha. Este efecto se conoce como **Efecto Bohr**, desde un punto de vista fisiológico este efecto es muy importante, ya que la afinidad de la hemoglobina por el oxígeno disminuye a medida que aumenta la PCO_2 y esto facilita que ceda el O_2 a los tejidos metabólicamente activos. A medida que aumenta la temperatura, disminuye la afinidad de la hemoglobina por el oxígeno, esto puede ser beneficioso durante, por ejemplo, el ejercicio muscular intenso, ya que el oxígeno de la sangre será cedido más fácilmente a los tejidos activos a medida que aumente la temperatura. El 2,3-DPG (2,3-diacilglicerolfosfato) es un producto sintetizado durante la glucólisis por lo eritrocitos, este se une firmemente a la hemoglobina y disminuye su afinidad por el oxígeno (es decir, hace que la curva de disociación de la oxihemoglobina se desvíe hacia la derecha).

CURVA SATURACIÓN HEMOGLOBINA

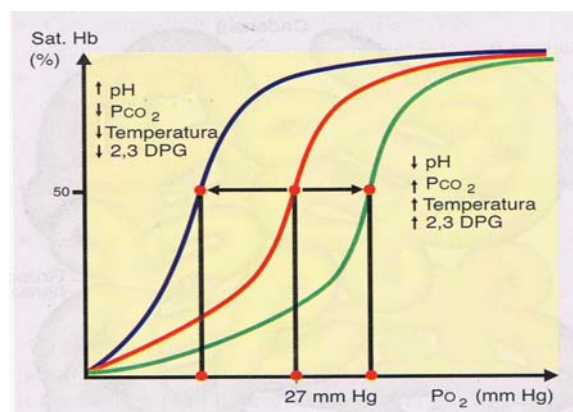


Fig. 22-3. Factores que determinan los desplazamientos hacia derecha ($p_{50} > 27$ mm Hg) e izquierda ($p_{50} < 27$ mm Hg) de la curva de disociación de la oxihb.

El dióxido de carbono es transportado en la sangre en tres formas diferentes: como gas disuelto, como bicarbonato y como compuestos carbamínicos.

Los análisis químicos ponen de manifiesto que la sangre arterial contiene mucho más CO₂ que O₂. El CO₂ se transporta por la sangre de varias formas:

- 1.- Como CO₂ disuelto.
- 2.- Como iones bicarbonato.
- 3.- Como carbaminohemoglobina, una combinación entre el CO₂ y los grupos amino libres de la hemoglobina.

Alrededor de un 5 a un 7% del CO₂ sanguíneo total se encuentra en solución y su concentración esta determinada por su solubilidad y su presión parcial.

El CO₂ producido por el metabolismo tisular también se combina con agua:



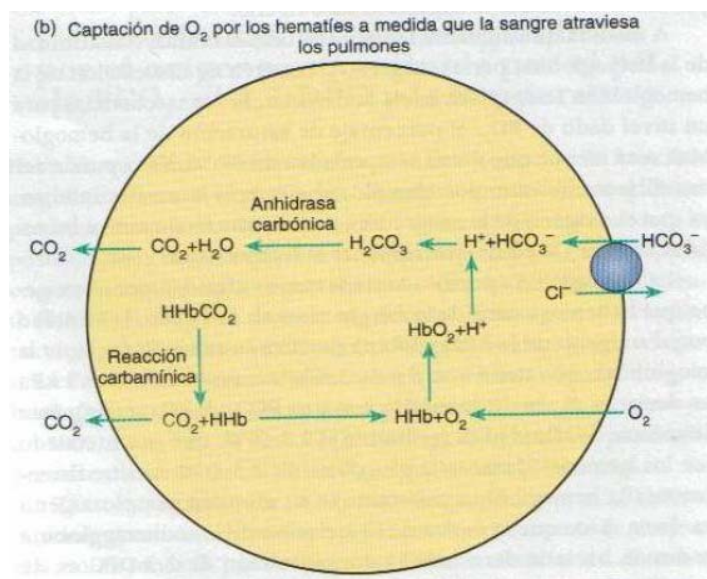
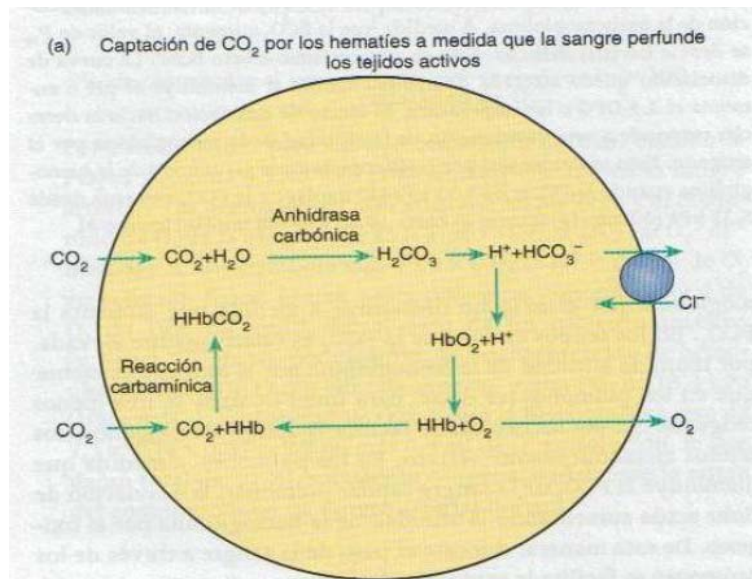
Formando ácido carbónico que se disuelve fácilmente disociándose en iones hidrógeno (H⁺) e iones bicarbonato (HCO₃⁻):



En el plasma la reacción tiene lugar lentamente pero en los eritrocitos es catalizada por una enzima denominada **anhidrasa carbónica**. En consecuencia, a medida que el CO₂ difunde en los eritrocitos se forma ácido carbónico, que inmediatamente se disocia en iones bicarbonato e iones hidrógeno. Estos últimos son neutralizados principalmente por la hemoglobina, mientras que gran parte del bicarbonato sale de la célula intercambiado por iones cloruro (Cl⁻). Alrededor del 90% del total de CO₂ de la sangre es transportado en forma de iones bicarbonato.

El tamponamiento de los iones de hidrógeno formados por la disociación de ácido carbónico es muy importante, ya que permite que en la sangre se transporten grandes cantidades de CO₂ (en forma de bicarbonato) sin que el pH se altere en más de 0,05 unidades.

Alrededor de una tercera parte se combina con grupos amino en las moléculas de hemoglobina formando carbaminohemoglobina.



REFERENCIAS

- FISIOLÓGÍA HUMANA "La base de la medicina". 2^{da} edición, Gillian Pocock, Christopher D.Richards
- Bases Fisiológicas de la Práctica Médica. Autores : Best y Taylor 13^a Edición
- Human Anatomy and Physiology . Autor: Elaine N.Marieb 5^a Edición.

PROF. PAMELA CARMONA R. INSTITUTO FISIOLÓGÍA 2008.