

TEMA X TRANSPORTE DE LOS GASES RESPIRATORIOS

El O₂ y el CO₂ son transportados a través de los diferentes compartimentos por difusión. En la mayoría de los animales existe un sistema específico de transporte; el sistema circulatorio. O₂ y CO₂ son moléculas de tamaño similar; el transporte es similar.

FASES EN EL TRANSPORTE

- Paso del aire o agua a la superficie respiratoria: movimientos respiratorios.
- Difusión de gases a través del epitelio a la circulación sanguínea.
- Transporte de los gases.
- Difusión a los tejidos.

En mamíferos, la sangre contiene una parte de los gases en disolución. Otros animales tienen todos sus gases en disolución. La parte no diluida necesita un medio de transporte; los pigmentos respiratorios. En el hombre, 0.2 ml de O₂/100 ml de sangre van diluïdos, y 20 ml de O₂/100 ml de sangre van en pigmentos.

PIGMENTOS RESPIRATORIOS

Hemoglobina. Contiene hierro. Es de color rojo. Está en todos los vertebrados y en algunos invertebrados, donde recibe el nombre de eritrocrurina.

Hemocianina. Tiene cobre. Es azul. Aparece en artrópodos y moluscos.

Clorocrurinas. Tienen hierro. Aparecen en 4 familias de anélidos poliquetos. Son verdes.

Hemeritrinas. Tienen hierro. Son violetas. Aparecen en : Gusanos sipuncúlidos, braquiópodos, priapúlidos, anélidos poliquetos (gen. *Magelona*)

HEMOGLOBINA

El color rojo depende de la [O₂] que tenga. Su peso molecular es de 68.000 d. Está en el interior de los eritrocitos.

Es una proteína globular formada por 2 cadenas α y 2 β . En cada cadena hay un grupo prostético llamado grupo hemo, que es una protoporfirina con Fe en estado ferroso (Fe²⁺). La protoporfirina está formada por 4 subunidades. Cada subunidad contiene una cadena polipeptídica y un grupo hemo.

A nivel de los músculos hay mioglobina, que transporta el O₂ de la sangre al músculo. Estructuralmente es como una subunidad de la hemoglobina.

Dependiendo de su estado, diferenciamos:

- Oxihemoglobina: Completamente saturada de O₂.
- Desoxihemoglobina: Desoxigenada
- Metahemoglobina: El Fe²⁺ pasa a Fe³⁺; se oxida. No tiene oxígeno. En el eritrocito hay una reductasa que invierte el proceso.
- Carboxihemoglobina: El sitio de unión al O₂ está ocupado por CO. La afinidad de la hemoglobina por el CO es 200 veces mayor que por el O₂. Se satura a niveles muy bajos de presión parcial de CO. Es un proceso irreversible. Podemos separar el CO de la hemoglobina mediante fotólisis.

ERITROCRURINAS

Son hemoglobinas de invertebrados. Son pigmentos circulantes (sangre o hemolinfa). Su tamaño es mayor que la hemoglobina de vertebrados; su peso molecular es de 200.000–12.000.000 d. Contienen hierro, son rojas. Están en anélidos, crustáceos, moluscos, holoturoideos e insectos. Es el segundo pigmento más abundante.

HEMOIANINAS

Tienen cobre. Son azules, pero cuando están desoxigenadas son incoloras. Están disueltas en plasma.

En moluscos, su tamaño es de $4-9 \cdot 10^6$ d. Tienen un centro de unión al oxígeno cada 50.000 d.

En artrópodos, su tamaño es de $0.4-3.3 \cdot 10^6$ d. Tienen un centro de unión al oxígeno cada 70–75.000 d.

El Cu está unido directamente a la proteína. Cada centro de unión al oxígeno tiene 2 átomos de Cu.

CLOROCRUORINAS

Son verdes. Tienen hierro. Su peso molecular es de 3.000.000 d. Tienen un grupo porfirínico de hierro conjugado con una proteína. Tienen una molécula de O₂ por cada grupo porfirínico. Están disueltas en plasma.

HEMERITRINA

Tiene hierro. Cuando están oxigenadas, tienen color violeta y, desoxigenadas, son incoloras. Son pigmentos intracelulares: 40.000–11.000 d. El hierro está unido a la proteína directamente, en estado ferroso (Fe²⁺). Cada centro de unión tiene 2 átomos de hierro. Hay un centro de unión cada 13–14.000 d. Muchos son octámeros, con 8 centros de unión.

PROPIEDADES FUNCIONALES DE LOS PIGMENTOS

TRANSPORTE DE OXÍGENO EN HEMOGLOBINA

Una molécula se satura completamente con 4 moléculas de oxígeno. Su grado de saturación depende de la presión parcial de O₂ en un determinado lugar. Cuando la hemoglobina se une a 4 moléculas de O₂, la sangre está saturada al 100%. Su contenido de O₂ es un reflejo de la capacidad de oxigenación.

La capacidad de oxigenación depende de la cantidad de hemoglobina que haya en ese momento. Si comparamos animales con distinta concentración de hemoglobina, las capacidades serán distintas. ¿cómo solucionamos esto? Definiendo el *porcentaje de saturación*.

El porcentaje de saturación expresa el contenido de O₂ como una fracción porcentual de la capacidad de oxigenación.

Cuando la hemoglobina encuentra altas [O₂] o altas presiones parciales de O₂, se oxigena y la reacción $Hb + O_2 \rightarrow HbO_2$ se desplaza a la derecha.

La representación da una curva sigmoidea. Esto significa que hay cooperatividad. La unión de la primera molécula de O₂ facilita la unión de la segunda, la tercera y así sucesivamente. Además, cuando llega un punto, se satura. P₅₀ indica la presión parcial de O₂ a la cual el 50% de la hemoglobina está saturada. Es importante para comparar afinidades de hemoglobinas.

La mioglobina, que sólo tiene una subunidad, forma una hipérbole.

AFINIDAD DE LA HEMOGLOBINA

Cuando la curva sigmoidea se desplaza a la derecha, la afinidad disminuye, y cuando se desplaza a la izquierda, la afinidad aumenta. Esto es así porque, cuando se desplaza a la derecha, se necesita una mayor presión parcial de O₂ para que se sature. Esto tiene consecuencias:

Cuando la curva se desplaza a la izquierda:

- Se facilita la difusión del O₂ de las superficies respiratorias a la sangre.
- En los tejidos, a la hemoglobina le cuesta mucho más liberar el O₂.

Cuando la curva se desplaza a la derecha:

- Se facilita la liberación de O₂ a nivel de los tejidos.

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA AFINIDAD DE LA HB POR EL O₂

TEMPERATURA

Debilita la unión del O₂ con la hemoglobina y se favorece la liberación de O₂ en los tejidos. La afinidad disminuye, y la curva se desplaza a la derecha.

En poiquilotermos:

- Aumenta la tasa metabólica ! aumenta la necesidad de O₂.
- Disminuye la afinidad Hb- O₂ ! Se libera más O₂.

En homeotermos:

- Aumenta la temperatura (fiebre, ejercicio...) ! aumenta la necesidad de O₂.

pH Y CO₂

Están muy relacionados; Si aumenta la [CO₂] disminuye el pH y la hemoglobina pierde afinidad por el O₂. La curva se desplaza hacia la derecha, debido al *efecto Bohr*.

Hay una relación entre el efecto Bohr y el tamaño del animal. Las hemoglobinas de animales pequeños son más sensibles a las variaciones de CO₂, pH... que las de animales grandes, por lo que sus curvas sigmoideas tienden a estar desplazadas a la derecha, por lo que el O₂ se descarga a nivel de los tejidos.

Hay animales donde hay 2 tipos de hemoglobina (peces). Cuando una deja de actuar, actúa la otra. Una es sensible al ácido láctico (metabolismo anaerobio) y la otra no. Es el *efecto Root*.

Independientemente del pH, el CO₂ se puede unir a la hemoglobina formando compuestos carbámicos que disminuyen la afinidad por el O₂.

La hemocianina de *Limulus* (caracola de las molucas) tiene un efecto Bohr inverso; cuando disminuye el pH aumenta la afinidad de la hemoglobina por el O₂. Esto es una adaptación al medio, ya que su medio tiene una concentración de O₂ muy baja.

A nivel del epitelio (puntos) tiene lugar la siguiente reacción, catalizada por anhidrasa carbónica: $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$! CO_2 pasa a la superficie respiratoria mediante difusión. En el eritrocito, el O_2 se une a la hemoglobina, desplaza al CO_2 , que entra por difusión al epitelio respiratorio.

El HCO_3^- que hay en el eritrocito disuelto es tomado por la anhidrasa carbónica.

FOSFATOS ORGÁNICOS

Dentro del eritrocito hay ATP y DPG (2,3-difosfoglicerato). La presencia del DPG tiene una influencia importante en la afinidad de la hemoglobina por el O_2 . La hemoglobina purificada tiene mayor afinidad por el O_2 que dentro del eritrocito.

Si a la hemoglobina purificada le añadimos diferentes concentraciones de DPG, vemos que la afinidad disminuye. DPG se une a las cadenas de la hemoglobina desoxigenada, evitando que a ese nivel se oxigene (Hay 2 cadenas α y 2 β , luego se oxigena parcialmente).

Los hematíes de gente que vive o pasa largas temporadas a gran altura presentan más DPG que los que viven a nivel del mar.

ALTURA

A mayor altura, menor presión parcial de O_2 . La curva de disociación de la hemoglobina de la llama está desplazada a la izquierda. La llama vive a grandes alturas. Es una adaptación genética, ya que si se la somete a presión normal, sigue presentando mayor afinidad por el O_2 . Esto significa que la hemoglobina fija el O_2 incluso a bajas presiones parciales de O_2 .

Los alpinistas tienen su curva desplazada a la derecha, para favorecer la descarga a nivel de los tejidos.

CURVA DE SATURACIÓN EN SANGRE FETAL

Las hemoglobinas fetales están desplazadas a la izquierda. Tienen mayor afinidad por el O_2 . Se favorece la captación de O_2 a través de la placenta. La sangre fetal tiene mayor $[\text{Hb}]$ que la de la madre (200 gr/l). Estructuralmente, la hemoglobina es diferente a la de la madre. Se llama hemoglobina fetal (Hb_f). No le afecta el DPG

TRANSPORTE DE CO_2

Una forma de transporte es disuelto en plasma en forma de bicarbonato (HCO_3^-) Los H^+ tienden a unirse a proteínas, de manera que no alteran el pH de la sangre.

Dentro del eritrocito, la reacción de formación de HCO_3^- es más rápida, ya que está catalizada por anhidrasa carbónica. Aquí, los H^+ se unen a la hemoglobina desoxigenada.

El CO_2 también puede transportarse dentro del eritrocito en forma de compuestos carbámicos. Para ello, el CO_2 se une a la hemoglobina desoxigenada, favoreciéndose la descarga de O_2 a nivel de los tejidos, ya que la afinidad de la hemoglobina por el O_2 disminuye.