

6

Valoración respiratoria

6.19. La respiración. Intercambio gaseoso y modificaciones durante el esfuerzo.

José Naranjo Orellana

6.20. Mecánica ventilatoria y control de la respiración durante el ejercicio.

José Naranjo Orellana

6.19. La respiración. Intercambio gaseoso y modificaciones durante el esfuerzo

José Naranjo Orellana

Objetivos del capítulo

Resumen

La respiración

Composición del aire inspirado

Intercambio gaseoso

Transporte de gases

El transporte de oxígeno

El transporte de dióxido de carbono

Modificaciones con el ejercicio

Cambios con la altitud

Cambios con la inmersión

Bibliografía

OBJETIVOS DEL CAPÍTULO

- Conocer los fundamentos generales del papel de los gases en la respiración.
- Familiarizarse con los principios del intercambio gaseoso en el pulmón y el transporte de gases por la sangre.
- Conocer los principales cambios que se producen con el ejercicio, especialmente en situaciones extremas como la altitud y la inmersión.

RESUMEN

La célula intercambia oxígeno y dióxido de carbono con la sangre, ésta lo hace con los alveolos del pulmón y, por último, éste los intercambia con la atmósfera.

Este proceso incluye cuatro funciones diferentes:

- La *ventilación*, que es el procedimiento mecánico por el que se bombea aire desde la atmósfera al interior del organismo y viceversa.
- La *perfusión*, que es la llegada de sangre a la unidad alveolar para ponerse en contacto con el aire.
- La *difusión*, que es el paso del oxígeno atmosférico desde el alveolo a la sangre y del dióxido de carbono desde la sangre al aire alveolar.
- El *transporte de los gases hasta los tejidos*, en el caso del oxígeno, o desde éstos hacia el alveolo, en el caso del dióxido de carbono.

El objetivo último de todo el proceso es facilitar el intercambio de gases entre la célula y el medio que la rodea, para hacer posible la respiración celular.

En este capítulo se analizará el proceso de difusión de los gases entre el alveolo y el capilar, así como su transporte hacia los tejidos.

LA RESPIRACIÓN

El concepto *respiración* designa la función propia de los organismos aeróbicos por la cual se intercambian gases con el medio externo, absorbiendo oxígeno y eliminando dióxido de carbono. El destino final es el intercambio de gases entre la célula y su medio externo para hacer posible la respiración celular y, por tanto, el suministro de energía. La célula intercambia oxígeno y dióxido de carbono con la sangre, ésta lo hace con los alveolos del pulmón y, por último, éste los intercambia con la atmósfera.

Este proceso incluye cuatro funciones diferentes:

- *La ventilación*, que es el procedimiento mecánico por el que se bombea aire desde la atmósfera al interior del organismo y viceversa.
- *La perfusión*, que es la llegada de sangre a la unidad alveolar para ponerse en contacto con el aire.
- *La difusión*, que es el paso del oxígeno atmosférico desde el alveolo a la sangre y del dióxido de carbono desde la sangre al aire alveolar.
- *El transporte* de los gases hasta los tejidos, en el caso del oxígeno, o desde éstos hacia el alveolo, en el caso del dióxido de carbono.

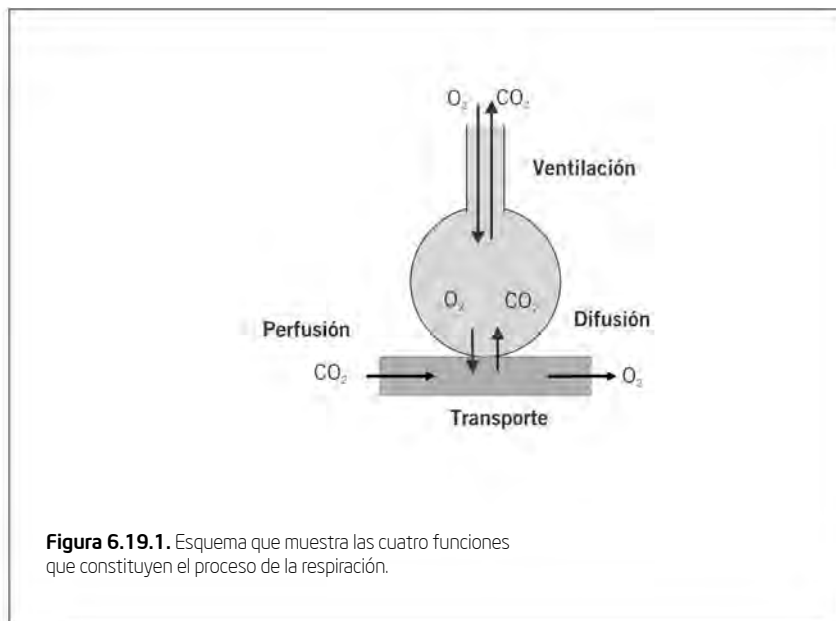
El objetivo último de todo el proceso es facilitar el intercambio de gases entre la célula y el medio que la rodea, para hacer posible la respiración celular (Figura 6.19.1).

Composición del aire inspirado

La presión parcial de un gas en una mezcla es la presión que ejercería este gas si él solo ocupara todo el volumen de la mezcla. Se obtiene multiplicando su concentración porcentual por la presión total de la mezcla.

Según la *Ley de Dalton*, la presión de una mezcla gaseosa es la suma de las presiones parciales de sus componentes.

Nosotros respiramos aire atmosférico, que es una mezcla gaseosa formada por nitrógeno (78,06%), oxígeno (20,98%) y dióxido de carbono (0,04%), con otros gases en concentraciones muy pequeñas que suman en total un 0,92% y entre los cuales el más importante es el argón. A nivel del mar, esta mezcla



ejerce una presión de 760 mmHg (presión atmosférica), por lo que las presiones parciales de cada uno de los componentes serán 159,45 mmHg para el oxígeno, 593,26 mmHg para el nitrógeno y 0,3 mmHg para el CO_2 (Tabla 6.19.1).

Gas	Porcentaje	Presión parcial a nivel del mar (760 mmHg)
Oxígeno	20,98%	159,45 mmHg
Dióxido de carbono	0,04%	0,3 mmHg
Nitrógeno	78,06%	593,26 mmHg
Argón y otros gases	0,92%	6,99 mmHg

Tabla 6.19.1. Composición del aire atmosférico seco.

Esta composición corresponde a *aire seco*, ya que no se ha tenido en cuenta el vapor de agua. Cuando el aire atmosférico contiene vapor de agua, como la mezcla tiene que sumar el 100%, la concentración de los demás gases se verá reducida en la proporción correspondiente.

El aire atmosférico suele contener una cantidad variable de vapor de agua que depende de la temperatura y la altitud. En la superficie terrestre la presencia de vapor de agua en el aire oscila entre el 1 y el 7%, variando la concentración de los demás gases para dar el 100%.

No confundir esto con la *humedad relativa*, que es la forma convencional de medir la humedad del aire. La humedad relativa expresa el porcentaje de vapor de agua que contiene el aire en relación con el máximo que podría contener a una temperatura dada. Por ejemplo, una humedad relativa del 70% indica que el aire contiene el 70% de todo el vapor de agua que podría contener a la temperatura actual.

Con independencia de la humedad del aire atmosférico, el aire inspirado se humedece al entrar en las vías aéreas, de forma que en la tráquea la composición del aire en equilibrio con el agua y a 37°C, sería la que se expresa en la Tabla 6.19.2.

En general, cuando se habla de un gas en las condiciones corporales nos estamos refiriendo a un gas o una mezcla de gases que se encuentra a la temperatura del cuerpo humano (37-38°C) y saturado de vapor de agua a esa temperatura (47 mmHg). Estas condiciones se denominan BTPS, del inglés: B (*body*), T (*temperature*), P (*pressure*), S (*saturated*).

Gas	Porcentaje	Presión parcial a nivel del mar (760 mmHg)
Oxígeno	19,61%	149 mmHg
Dióxido de carbono	0,03%	0,2 mmHg
Nitrógeno	74,18%	563,8 mmHg
Vapor de agua	6,18%	47 mmHg

Tabla 6.19.2. Composición del aire traqueal.

Si consideramos el volumen ocupado por esa misma masa de gas a la misma presión, pero a 0°C y sin vapor de agua (seco), estamos estableciendo las condiciones denominadas STPD, del inglés: S (*standard*), T (*temperature*), P (*pressure*) y D (*dry*).

En el alveolo, una vez que el aire atmosférico se pone en contacto con la sangre, la composición del gas cambia de nuevo por el enriquecimiento en CO_2 procedente de la sangre y el descenso del O_2 que abandona el alveolo (Tabla 6.19.3).

Gas	Porcentaje	Presión parcial a nivel del mar (760 mmHg)
Oxígeno	13,6%	104 mmHg
Dióxido de carbono	5,3%	40 mmHg
Nitrógeno	74,9%	569 mmHg
Vapor de agua	6,18%	47 mmHg

Tabla 6.19.3. Composición del aire alveolar.

Si conocemos la humedad relativa y queremos realizar los cálculos correspondientes a la composición del aire, necesitamos saber la presión del vapor de agua a la temperatura dada si el aire estuviera saturado. Estos valores se muestran en la Tabla 6.19.4.

Temperatura (°C)	Presión (mmHg)
0	4,58
5	6,53
10	9,20
15	12,77
20	17,52
25	23,73
30	31,80
37	47,04
40	55,29
100	760,00

Tabla 6.19.4. Presión de vapor de agua a diferentes temperaturas en una mezcla saturada de vapor de agua (humedad relativa 100%).

INTERCAMBIO GASEOSO

El intercambio de gases entre el alveolo y la sangre tiene lugar por difusión pasiva y está regulado por la *Ley de Fick*. Esta ley establece que la tasa de transferencia de un gas a través de una lámina de tejido es proporcional al área de la lámina y a la diferencia de presión a ambos lados, e inversamente proporcional al grosor de la misma:

$$V = \frac{A}{T} * D * (P_1 - P_2)$$

A es el área y T es el grosor de la membrana. P1 y P2 son las presiones a ambos lados de la membrana. D es una constante proporcional a la solubilidad del gas e inversamente proporcional a la raíz cuadrada de su peso molecular. Esta constante es unas 20 veces mayor para el CO₂ que para el O₂ debido a la mayor solubilidad.

En ausencia de enfermedad, el espesor de la membrana (en torno a 0,3 micras) y su superficie (entre 50 y 100 m²) son bastante constantes y con unos valores óptimos para el intercambio.

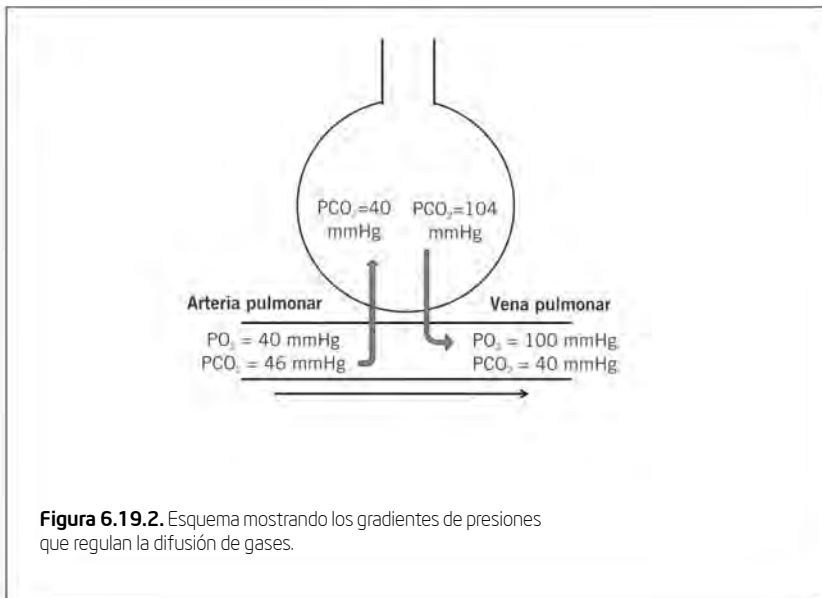


Figura 6.19.2. Esquema mostrando los gradientes de presiones que regulan la difusión de gases.

La superficie útil para el intercambio es mayor cuantos más capilares y alveolos se encuentren abiertos y esta circunstancia aumenta con el ejercicio. Del mismo modo, las presiones en el alveolo son bastante constantes en función de la presión atmosférica, por lo que en la práctica solo se modifican con la altitud. Sin embargo, las presiones de los gases en el capilar varían mucho del reposo al ejercicio y con la intensidad de éste.

En reposo, el oxígeno difunde desde el alveolo hacia el capilar favorecido por un gradiente de presión de 64 mmHg, pero durante el ejercicio la presión de oxígeno en la sangre venosa desciende debido al elevado consumo de oxígeno por parte de los tejidos. Por esta razón, el gradiente de presión es mayor con el esfuerzo, pudiendo llegar a ser de 84 mmHg durante el ejercicio intenso ya que la presión parcial de oxígeno en vena puede caer hasta 20 mmHg.

Por su parte, la difusión del dióxido de carbono desde el capilar hacia el alveolo tiene lugar con un gradiente de 6 mmHg en reposo y puede experimentar pequeños cambios durante el ejercicio.

El tiempo que la sangre capilar permanece en contacto con el aire alveolar es de unos 750 ms. De ese tiempo, el CO_2 solo necesita unos 100 ms para difundir por completo hacia el alveolo; sin embargo, el O_2 necesita unos 250 ms para alcanzar la presión correspondiente. Aún así, le sobran las dos terceras partes del tiempo disponible, por lo que el margen de seguridad es enorme.

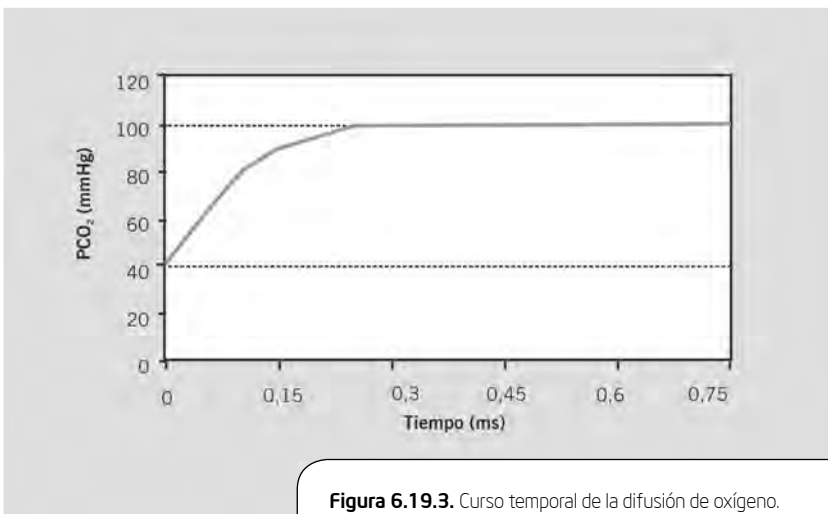


Figura 6.19.3. Curso temporal de la difusión de oxígeno.