

► Intercambio alveolar de los gases.

Observatory Teaching learning of Physiology

Autores	Díaz Velarde Fernando Aryan
Afiliación	Departamento de Fisiología, Facultad de Medicina, UNAM
Información del Trabajo	
Recibido	11 de noviembre de 2019
Revisado	22 de noviembre de 2019
Aceptado:	03 de diciembre de 2019
Palabras clave	Intercambio, fuerza, alvéolo, difusión

Resumen

En este resumen se hace un acercamiento al intercambio alveolar de los gases, explicando de manera general las leyes con las que se entiende este proceso a partir de los diferentes gases que participan. Además de factores que intervienen como el peso molecular y solubilidad de los gases.

* Autor para correspondencia. Tel.: +52 5547128293.

E-mail: shmuely@gmail.com

Revisado por: Samuel Bravo Hurtado

<http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.3561197>

Intercambio Alveolar de Gases

En el intercambio gaseoso pulmonar cada gas difunde en forma independiente desde la zona donde su presión parcial es más alta hacia la zona donde su presión parcial es más baja.

En una persona en reposo, el O_2 difunde desde el aire alveolar, donde su presión parcial es de 104 mmHg, hasta la sangre de los capilares pulmonares, donde la PO_2 es de solo 40 mmHg.

La diferencia inicial de presiones que hace que el O_2 difunda hacia el capilar pulmonar es de 64 mmHg.

La difusión continúa hasta que la PO_2 de la sangre capilar pulmonar aumenta para emparejarse con la PO_2 del aire alveolar, 104 mmHg.

La PO_2 consigue su equilibrio en el momento en el que la sangre ya ha atravesado un tercio de la distancia del capilar.

La PCO_2 de la sangre desoxigenada es de 45 mmHg en una persona en reposo, y la PCO_2 del aire alveolar es de 40 mmHg.

Dada esta diferencia de PCO_2 , el dióxido de carbono difunde desde la sangre desoxigenada a los alvéolos hasta que la PCO_2 de la sangre disminuye a 40 mmHg.

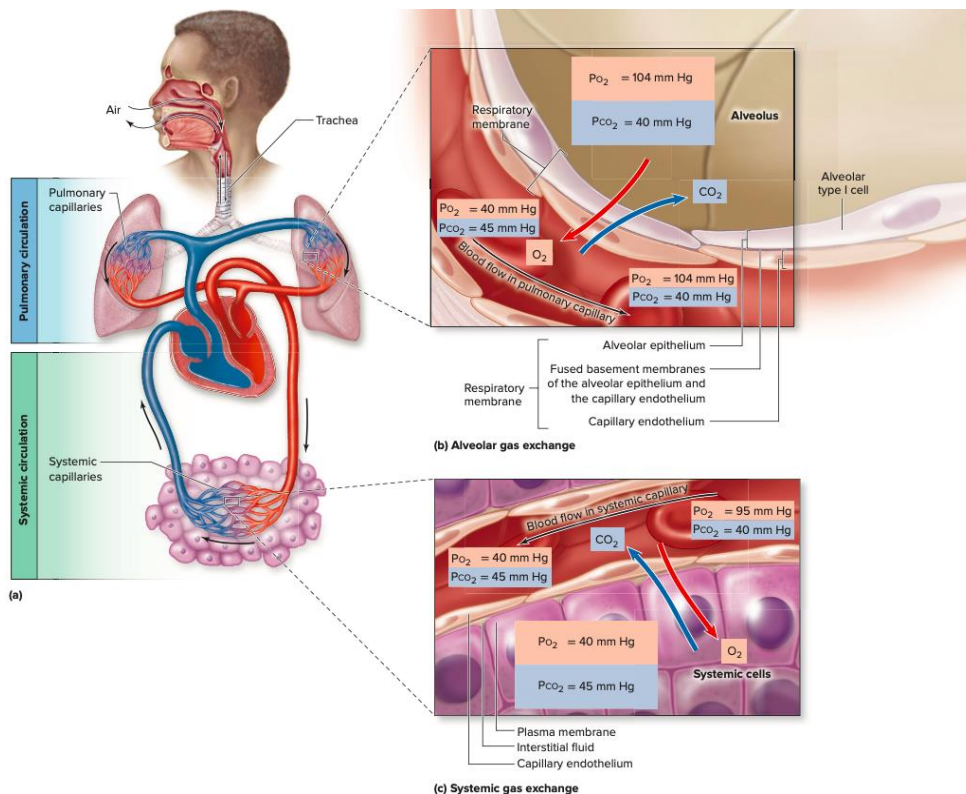


Imagen 1. Intercambio de gases alveolar y sistémico. (a) La circulación pulmonar transporta sangre hacia y desde los pulmones, y la circulación sistémica transporta sangre hacia y desde las células sistémicas. (b) El intercambio de gases alveolares ocurre cuando los gases respiratorios se intercambian entre los alvéolos y los capilares pulmonares a través de la membrana respiratoria. El oxígeno se difunde desde los alvéolos hacia la sangre de los capilares pulmonares. El dióxido de carbono se difunde simultáneamente en la dirección inversa. (c) El oxígeno se difunde desde la sangre en los capilares sistémicos hacia las células sistémicas durante el intercambio sistémico de gases, y el dióxido de carbono se difunde simultáneamente en la dirección inversa. (Los valores para PO_2 se muestran en rosa; los valores para PCO_2 se muestran en azul).

Factores que Afectan la Difusión a Través de la Pared Alveolar

La velocidad de difusión de un gas a través de un líquido se establece por la ley de Graham. Donde se demuestra que la velocidad es directamente proporcional al coeficiente de solubilidad del gas e inversamente proporcional a la raíz cuadrada de su peso molecular.

Demuestra que el CO₂ difunde a una velocidad 20 veces mayor que el O₂.

Las velocidades de difusión del oxígeno desde los pulmones a la sangre y de la sangre a los tejidos (y al contrario, en el caso del CO₂) pueden predecirse a partir de la ley de Fick.

$$\dot{V}_{gas} = D \cdot A \cdot \frac{\Delta P}{T}$$

donde \dot{V} = es la velocidad de difusión a través de la membrana,

D = es el coeficiente de difusión del gas,

A = es el área de superficie de la membrana,

ΔP = es el gradiente de presión del gas,

T = es el grosor de la membrana.

El coeficiente de difusión se puede combinar para producir una constante que describe la **capacidad de difusión** (D_L) del pulmón para ese gas. El flujo de gas a través de la barrera se puede estimar a partir de: $\dot{V} = D_L(P_1 - P_2)$.

La capacidad de difusión se define el volumen de un gas que difunde a través de la membrana en cada minuto para una diferencia de presión parcial de 1 mmHg.

La capacidad de difusión del O₂ en condiciones de reposo es en promedio de 21 mL/min/mmHg.

Durante el ejercicio muy intenso, la capacidad de difusión del O₂ aumenta en los hombres jóvenes hasta un máximo de aproximadamente 65 mL/min/mmHg, que es el triple de la capacidad de difusión en situación de reposo.

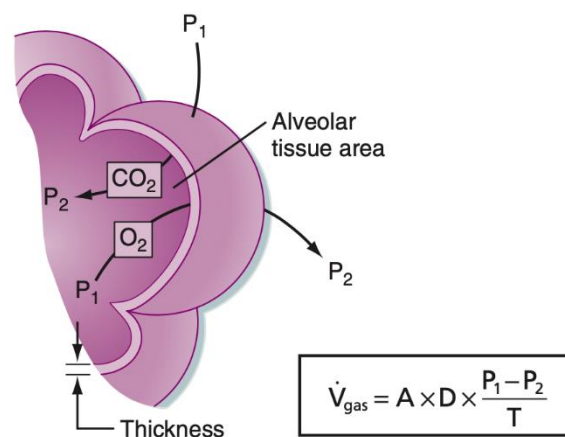


Imagen 2. La ley de Fick establece que la difusión de un gas a través de una capa de tejido está en relación directa con la superficie del tejido, la constante de difusión de dicho gas específico y con la diferencia de presión parcial del gas a cada lado del tejido, y en relación inversa con el grosor del tejido.

Diferencia de Presión Parcial de los Gases

La velocidad de difusión es más rápida cuando la diferencia entre la PO_2 del aire alveolar y la sangre capilar pulmonar es más grande; la difusión es más lenta cuando la diferencia es más pequeña.

Las diferencias entre PO_2 y PCO_2 del aire alveolar frente a la sangre pulmonar se amplían durante el ejercicio.

A mayor altitud, disminuye la presión atmosférica total, así como la PO_2 : de 159 mmHg a nivel del mar a 110 mmHg a 3000 m. y a 73 mm Hg a 6000 m.

La PO_2 alveolar desciende y el O_2 difunde con mayor lentitud hacia la sangre.

Superficie Disponible para el Intercambio Gaseoso

La superficie de los alvéolos es enorme, del tamaño aproximado de una cancha de tenis ($\sim 75 \text{ m}^2$).

Cualquier trastorno pulmonar que reduzca la superficie funcional de las membranas respiratorias disminuye la tasa de intercambio gaseoso pulmonar.

En el enfisema, las paredes alveolares se desintegran, de manera que la superficie es inferior a la normal y se reduce el intercambio gaseoso pulmonar.

Distancia de Difusión

La membrana respiratoria tiene un grosor promedio de aproximadamente 0.6 mm, de manera que la difusión tiene lugar con rapidez.

La acumulación de líquido intersticial entre los alvéolos, como sucede en el edema pulmonar, entorpece la velocidad de intercambio gaseoso, porque aumenta la distancia de difusión.

Peso Molecular y Solubilidad de los Gases

Como el O_2 tiene un peso molecular más bajo que el CO_2 , se podría esperar que difundiera a través de la membrana respiratoria alrededor de 1.2 veces más rápido. Sin embargo, la solubilidad del CO_2 en las partes líquidas de la membrana respiratoria es alrededor de 24 veces mayor que la del O_2 .

Tomando en cuenta estos dos factores, la difusión neta hacia el exterior de CO_2 es 20 veces más rápida que la difusión neta de O_2 hacia el interior.

Cuando la difusión es más lenta de lo normal, como en el enfisema o el edema pulmonar, la insuficiencia de O_2 (hipoxia) suele sobrevenir antes de que haya una retención significativa de CO_2 (hipercapnia).

Efecto del Coeficiente de Ventilación/Perfusión (V/Q) sobre (PO₂/PCO₂)

Dos factores determinan la PO₂ y la PCO₂ en los alvéolos son:

La velocidad de la ventilación alveolar.

La velocidad de la transferencia del O₂ y del CO₂ a través de la membrana respiratoria.

El índice ventilación/perfusión ($\frac{\dot{V}_A}{\dot{Q}}$) compara la ventilación alveolar con el flujo sanguíneo en las regiones del pulmón. Se puede definir para un solo alvéolo, para un grupo de ellos o para todo el pulmón.

Cuando la ventilación supera a la perfusión, el cociente ventilación/perfusión tendrá un valor superior a 1 ($\frac{\dot{V}_A}{\dot{Q}} > 1$).

Cuando la perfusión es mayor que la ventilación este cociente valdrá menos de 1 ($\frac{\dot{V}_A}{\dot{Q}} < 1$).

A nivel del pulmón, se define como la ventilación alveolar total dividida por el gasto cardíaco.

La ventilación alveolar normal es de unos 4 L/min, y el flujo de sangre pulmonar, de unos 5 L/min, por tanto, en el pulmón normal el cociente ventilación-perfusión global es 0.8.

Hay una diferencia de cinco veces entre el flujo sanguíneo en la parte superior y en la parte inferior del pulmón, mientras que la ventilación muestra una diferencia de alrededor de dos veces.

Esto causa variaciones regionales, dependientes de la gravedad, en el índice con un rango de 0.6 en la base hasta 3 o más en el ápex.

La existencia de un cociente ventilación-perfusión normal no implica que la ventilación y la perfusión de una unidad pulmonar sean normales; sólo indica que lo es la relación entre ambas.

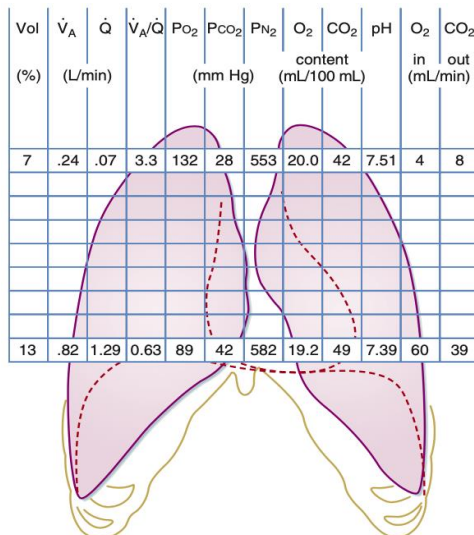


Imagen 3. Diferencias regionales en el intercambio de gases en un pulmón sano. Sólo se muestran los valores apicales y basales, para facilitar su

Bibliografía:

1. Boron WF, Boulpaep EL. *Fisiología Médica*. 3ª edición. España: Elsevier, 2017.
2. Cloutier, MM. *Respiratory Physiology*. 2nd edition. United States: Elsevier, 2019.
3. Derrickson B. *Fisiología Humana*. 1ª edición. México: Editorial Médica Panamericana, 2019.
4. Hall JE. *Guyton y Hall. Tratado de Fisiología Médica*. 13ª edición. España: Elsevier, 2016.
5. Koeppen BM, Stanton BA. *Berne y Levy. Fisiología*. 7ª edición. España: Elsevier, 2018.
6. McKinley MP, O'Loughlin VD, Bidle TS. *Anatomy & Physiology An Integrative Approach*. United States: McGraw Hill, 2019.
7. Rhoades RA, Bell DR. *Fisiología Médica*. 5ª edición. México: Wolters Kluwer, 2019.