

Leyes generales de los gases: su aplicación en Fisiología.

Propósito general

Comprender las bases físicas que permiten la ventilación pulmonar.

1. Introducción

¿Por qué respiramos? ¿Cómo es que las moléculas de oxígeno realizan el viaje desde la atmósfera, hasta el interior de una célula? ¿En dónde se utiliza el oxígeno que obtenemos del medio? ¿Cuáles son los mecanismos y fuerzas involucradas en estos procesos? ... preguntas como éstas son las que debemos hacernos al hablar de un tema tan importante como lo es la respiración. Tradicionalmente el término respiración incluye 3 procesos:

- **Ventilación**, que incluye la mecánica respiratoria, es decir, todos los mecanismos involucrados en la entrada y salida de aire de los pulmones.
- **Intercambio de gases**, donde se estudia la difusión del oxígeno y de dióxido de carbono entre el aire alveolar y la sangre en los pulmones.
- **Respiración celular**, que involucra la utilización del oxígeno en los tejidos para la producción de energía y la producción de CO₂ como metabolito. Podemos agregar también un cuarto proceso, que involucra los mecanismos de control y regulación de la respiración.

Una técnica que se utiliza para estudiar el proceso de ventilación es la espirometría, la cual determina los volúmenes de aire que entran y salen de los pulmones. Para poder comprender las bases físicas de estos flujos de aire primero debemos entender las principales leyes que rigen el comportamiento de los gases.

Ley de Boyle

Establece que, a temperatura constante, el volumen de una masa fija de gas es inversamente proporcional a la presión que este ejerce, es decir si el volumen aumenta, la presión disminuye, y si la presión aumenta el volumen disminuye.

En términos matemáticos se puede expresar como ($P \cdot V = K$), donde P es presión y V es volumen.

Supongamos que tenemos un cierto volumen de gas V₁ que se encuentra a una presión P₁ al comienzo del experimento. Si variamos el volumen de gas hasta un nuevo valor V₂, entonces la presión cambiará a P₂, y se cumplirá:

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

Ley de Charles, postula que el volumen (V) de un gas es directamente proporcional a su temperatura absoluta (T), considerando una presión constante. A nivel pulmonar se encuentra una mayor temperatura que el medio ambiente, por lo que los gases inhalados en el aire se expandirán aumentando así el volumen pulmonar.

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

Esta ley no afecta la ventilación tanto como lo hace la ley de Boyle, pero tiene un efecto. Considera por ejemplo cómo respiras en un día frío (-10° C) o en un día cálido (37° C). En el caso del día frío el aire se expande mientras pasa por el sistema respiratorio y se calienta hasta 37° C. Calcula con la fórmula de arriba ¿qué volumen de aire tienes que tomar para llenar tus pulmones con 500 ml en el caso de un día frío o un día cálido?

Ley de Gay Lussac determina que, a un volumen constante, la presión de un gas (P) es directamente proporcional a su temperatura (T). Como ya se mencionó la temperatura pulmonar provocará que los gases inhalados tengan mayor presión.

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

Ecuación universal de los gases

Las leyes anteriores se pueden resumir en la siguiente ecuación:

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

La **ley de Dalton** afirma que la presión barométrica (PB) es la suma de sus presiones parciales individuales.

$$P_{total} = P_1 + P_2 + P_3 + P_n$$

Así, en el caso del aire seco normal, la mayor parte de la PB a nivel del mar de 760 mmHg se debe al nitrógeno (593 mmHg) y al oxígeno (159 mmHg), con una contribución menor de gases como el argón y el dióxido de carbono. Al aumentar la PB como en el buceo, o al descender como en las grandes altitudes, la presión de cada gas cambia de manera proporcional al cambio de la PB. Algunos gases como el oxígeno o el nitrógeno pueden ser tóxicos cuando sus presiones parciales aumentan en la sangre, es por esto por lo que los tanques de buceo deben tener mezclas especiales de gases para evitarlo. También es importante esta ley en la oxigenoterapia, por ejemplo, en un paciente con capacidad pulmonar reducida se le puede aumentar la concentración parcial de oxígeno, pero es importante cuidar que en concentraciones muy altas puede tener efectos nocivos.

Ley de Laplace-Young, postula que entre más grande sea el radio de una esfera, mayor será la tensión necesaria en la pared para soportar una presión ($T = P * r$). En una situación de equilibrio, la tendencia de la mayor presión a expandir la burbuja equilibra la tendencia de la presión superficial a colapsar. En el caso de los alveolos,

la Ley de Laplace relaciona la tensión superficial (T) con la presión (P) en una esfera de radio (r).

$$P = \frac{2T}{r}$$

La cantidad de presión necesaria para inflar los alveolos estará determinada por la Tensión superficial y el radio de estos. El moco que rodea a los alveolos tiene una tensión superficial de aproximadamente 50 dinas / cm y un alveolo pasa de aproximadamente 0.005 cm de radio a 0.01 cm de radio. Al realizar el cálculo de la presión necesaria para mantener el alveolo inflado 0.005 cm tenemos:

$$P = (2 * 50 \text{ dinas/cm}) / 0.005 \text{ cm}$$

$$P = 20,000 \text{ dina /cm}^2$$

Considerando que: 1 dina /cm² = 7.5x10⁻⁴ mmHg

$$P = 15 \text{ mmHg.}$$

La presión necesaria para mantener el alveolo inflado a 0.01 cm² es de 7.5 mmHg.

Ahora considera que la diferencia de presión durante la respiración es aproximadamente 1 mmHg. Aquí es donde el surfactante participa para disminuir la tensión superficial aproximadamente 15 veces, permitiendo que esta pequeña diferencia de presiones sea suficiente para inflar los alveolos. En casos de niños prematuros que no producen surfactante los alveolos no pueden inflarse.

2. Preguntas de análisis e integración

Actividad: dividir al grupo en equipos de 4 integrantes, en dónde los estudiantes respondan las siguientes preguntas, posteriormente dirigir una sesión grupal de discusión e integración de conceptos.

- ¿Qué propicia los cambios en las presiones intrapulmonares?
- ¿cómo esto permite la inspiración y espiración?
- ¿Cómo crees que se modifique la presión de aire intratorácica en relación con la presión externa?
- ¿Qué relación tienen los cambios de presión con el flujo de aire durante la inspiración y espiración?
- Aplicando esta misma ley, ¿Por qué crees que cuando subes a un avión a veces duelen los oídos?
- ¿Por qué la presión de vapor del agua modifica las presiones parciales de los demás gases en una mezcla?
- ¿Por qué el aire alveolar tiene menos O₂ en comparación con el aire inspirado?
 - a) La reducida tensión superficial de los alvéolos induce menor concentración de O₂ en el aire alveolar.
 - b) La turbulencia aérea en los cornetes nasales disipa la mayor parte del O₂ del aire inspirado.
 - c) La concentración de O₂ en la atmósfera es menor que la concentración de CO₂.
 - d) El aire alveolar está humidificado y, por consiguiente, tiene más vapor de agua y menos O₂.

- e) El aire alveolar es el aire del espacio muerto anatómico que no participa en el intercambio gaseoso.
- Un submarinista que respira aire a alta presión es probable que presente mareos debido a:
 - a) La presión intrapleurales que supera la presión atmosférica.
 - b) La acumulación excesiva de líquido en la cavidad pleural.
 - c) La alta presión parcial de O_2 bajo alta presión atmosférica.
 - d) La baja solubilidad del O_2 en sangre bajo alta presión.
 - e) La disolución de una considerable cantidad de nitrógeno en el plasma.
 - ¿Cómo puede un submarinista prevenir la enfermedad por descompresión?
 - a) Ascendiendo con rapidez a la superficie del mar.
 - b) Ascendiendo con lentitud a la superficie del mar.
 - c) Usando aire comprimido sin nitrógeno para respirar bajo el agua.
 - d) Usando gas comprimido con alta concentración de oxígeno.
 - e) Asegurándose de la humidificación adecuada del aire comprimido que respira bajo el agua.
 - Identifique la afirmación verdadera acerca del intercambio gaseoso pulmonar.
 - a) Implica la conversión de sangre desoxigenada en sangre oxigenada.
 - b) Facilita la difusión de CO_2 del aire a la sangre.
 - c) Implica la difusión de O_2 de los capilares pulmonares a los alvéolos.
 - d) Tiene lugar en los capilares sistémicos y las células tisulares.
 - e) Depende de las presiones parciales de O_2 y CO_2 en las zonas de difusión.
 - ¿Por qué es probable que una persona se sienta sin aliento, nauseosa y mareada a 3 650 m sobre el nivel del mar?
 - a) Porque los pulmones retienen volúmenes más altos de CO_2 a altas altitudes.
 - b) Porque las altitudes más altas causan acumulación de líquido intersticial y enlentecen la velocidad de intercambio gaseoso en los alvéolos.
 - d) Porque las temperaturas frías a altitudes más altas dañan las paredes alveolares y reducen la superficie disponible para la absorción de oxígeno.
 - e) Porque disminuye la concentración de O_2 en la sangre debido a la menor difusión de O_2 hacia la sangre.
 - f) Porque aumenta la presión parcial de CO_2 de la sangre debido a la presión parcial más alta de CO_2 de la atmósfera.

3. Referencias

- 1) Fox, Stuart Ira., Fisiología Humana, 13ª edición, Mc Graw Hill, México D.F., 2014.
2. Peter Atkins, Julio De Paula, “Atkins Química Física”, 8va edición, Editorial Médica Panamericana, 2007.
3. Guyton, A. C. y Hall, J. E. Tratado de Fisiología Médica. 13a Ed. Barcelona, España. Editorial Elsevier Saunders, 2016.
4. Ganong WF. Fisiología Médica. Mc Graw Hill - Lange, 25ª Edición 2016.
5. Boron W. y Boulpaep, E. Medical Physiology, 3a Ed., Philadelphia, Editorial ElsevierSaunders, 2017.
6. Manual para el uso y la interpretación de la espirometría por el médico, 1ª Ed. Asociación latinoamericana del Tórax. México, 2007.



CC BY

Esta obra está bajo una
Licencia Creative Commons
Atribución 4.0 Internacional