

El Residente

## REVISIÓN - OPINIÓN

# Valoración respiratoria durante la guardia

Gustavo Román-Vistraín,\* C Mireya Muñoz-Ramírez,\* Horacio Márquez-González,\*\*  
Jorge Luis Álvarez-Valencia,\* Patricia Zárate-Castañón\*

**RESUMEN. Introducción:** En este artículo se explicará el recorrido del oxígeno desde su llegada a la vía aérea mediante el proceso de ventilación hasta su paso a la circulación arterial para difundirse a través de la membrana alvéolo-capilar. **Métodos:** Se expondrán las fórmulas que evalúan estos procesos mediante la toma de una muestra de gasometría arterial para poder realizar una valoración respiratoria en el paciente en estado crítico. Se muestran ejemplos de gasometrías arteriales a través de las cuales calcularemos la presión inspiratoria de oxígeno ( $PiO_2$ ), presión alveolar de oxígeno ( $PAO_2$ ) y gradiente alvéolo-arterial (GA-a), así como los valores normales y las causas de alteración de cada uno de ellos. **Conclusiones:** Mediante la valoración respiratoria se conoce la alteración en el proceso de ventilación y difusión así como las causas que las condicionan.

**Palabras clave:** Presión inspiratoria de oxígeno ( $PiO_2$ ), presión alveolar de oxígeno ( $PAO_2$ ) y gradiente alvéolo-arterial (GA-a), ventilación, difusión.

**ABSTRACT. Introduction:** In this article we will explain the oxygen flow from the entry to the airway through the ventilation process to move into the arterial circulation to diffuse through the membrane alveolo-capilar. **Methods:** Evaluate these processes, through a sampling of arterial blood gases, to perform a respiratory assessment in the patient in critical condition will be displayed. The exercise of arterial as through which we will calculate oxygen inspiratory pressure ( $PiO_2$ ), alveolar oxygen pressure ( $PAO_2$ ) and alveolar-arterial gradient (GA-a) will also exhibit normal values and causes of alteration. **Conclusions:** Through the respiratory assessment we can learn more facts about the state breathing of the patient in critical condition.

**Key words:** Oxygen inspiratory pressure ( $PiO_2$ ), alveolar oxygen pressure ( $PAO_2$ ) and alveolar-arterial gradient (GA-a), ventilation, diffusion.

La función principal de los pulmones es el intercambio gaseoso entre el oxígeno ( $O_2$ ) y dióxido de carbono ( $CO_2$ ). Para que dicho intercambio se realice, el aire debe atravesar múltiples espacios desde su entrada a las vías respiratorias, llegar a la barrera alvéolo-capilar, atravesar las arteriolas, pasar al torrente sanguíneo, ser transportado por la sangre y finalmente llegar a los tejidos para su utilización.

A través de las siguientes líneas se explicará dicho proceso con el fin de ofrecer una aplica-

ción clínica por medio de fórmulas matemáticas para realizar una adecuada interpretación gasométrica del proceso respiratorio.

El proceso de la respiración desde el punto de vista de la utilización del  $O_2$  incluye cuatro fases; para que el  $O_2$ , contenido en el gas aire llegue hasta la última mitocondria del cuerpo, es necesario que atravesase por una serie de fases para cuyo estudio han sido divididas en: ventilación, difusión, transporte de oxígeno y perfusión celular.<sup>1-7</sup> A continuación se explicará cada una de ellas:

\* Terapia Intensiva, Instituto Nacional de Pediatría.

\*\* Cardiopatías Congénitas, Hospital de Cardiología, Centro Médico Nacional Siglo XXI.

**Correspondencia:**

**Horacio Márquez-González**

UMAE Hospital de Cardiología. Av. Cuauhtémoc No. 330, Col. Doctores, CP. 06720, México, D.F. Conmutador: 56276900, ext. 22203.

E-mail: horacioinvestigacion@hotmail.com

**Conflicto de intereses:**

Todos los autores declaran que no existe ningún conflicto de intereses con respecto a la publicación de este artículo.

Recibido: 9 de marzo de 2015. Aceptado con modificaciones: 16 de junio de 2015.

Este artículo puede ser consultado en versión completa en: [www.medigraphic.com/elresidente](http://www.medigraphic.com/elresidente)

## PRIMER PASO: VENTILACIÓN

Se entiende como ventilación el proceso mediante el cual el aire inspirado de la atmósfera es transportado a los alvéolos, después de pasar por la tráquea, los bronquios, bronquiolos terminales y finalmente llegar a la unidad alvéolo-capilar. El principal objetivo de la ventilación es llevar el oxígeno al espacio alveolar y ser intercambiado por el CO<sub>2</sub> producido en el metabolismo celular. Durante esta fase, el propósito principal es la conducción del aire inspirado hacia las regiones de intercambio gaseoso del pulmón.<sup>1-6</sup>

El aire atmosférico es una mezcla compuesta de oxígeno a una concentración de 21% y de nitrógeno de 79%. Para entender el efecto del gas disuelto en un líquido, debe estudiarse la presión ejercida por el gas en la solución, misma que se encuentra en equilibrio.<sup>7</sup> Cada gas tiene una presión parcial que es igual a la que se ejerce si ocupa el volumen total de la mezcla y, por lo tanto, la suma de presiones parciales es igual a la presión total, en este caso la presión atmosférica.

Para explicar la primera fórmula que evalúa la ventilación, deben tomarse en consideración ciertos puntos como la presión barométrica y la presión de vapor de agua.

La presión barométrica (PB) es la ejercida por la atmósfera y consecuentemente sobre la presión de oxígeno inspirado, lo anterior se explica de la siguiente manera: la relación que existe entre la presión inspirada de oxígeno (PiO<sub>2</sub>) es directamente proporcional a la PB e inversamente proporcional a la altura; es decir, a mayor presión atmosférica, mayor será la PiO<sub>2</sub>. Un ejemplo de ello son los lugares ubicados al nivel del mar donde la presión atmosférica es 760 milímetros de mercurio (mmHg) y la altura es 0, la presión inspiratoria de oxígeno es de 150 mmHg; en el caso de la Ciudad de México que se encuentra a una altura de 2,240 metros sobre el nivel del mar y la presión barométrica es de 587 mmHg, la presión inspiratoria de oxígeno será de aproximadamente 110 mmHg.<sup>7</sup>

La presión del vapor de agua (47 mmHg) ejerce resistencia a la entrada del aire en las

vías aéreas superiores. Por tal motivo, esta presión de oposición debe considerarse en la fórmula final en el cálculo de la presión inspirada de O<sub>2</sub>. Teniendo en cuenta lo explicado en los párrafos anteriores llegamos a la siguiente fórmula: PiO<sub>2</sub> = (PB - PH<sub>2</sub>O) × FiO<sub>2</sub>.<sup>6,7</sup>

Donde:

PiO<sub>2</sub> = Presión inspiratoria de oxígeno (mmHg).

PB = Presión barométrica Ciudad de México (587 mmHg) o a nivel del mar (760 mmHg).

PH<sub>2</sub>O = Presión de vapor de agua (47 mmHg).

FiO<sub>2</sub> = Fracción inspiratoria de oxígeno, la cual se expresa en decimales.

Si aplicamos esta fórmula en la Ciudad de México, tenemos que:

$$PiO_2 = (PB - PH_2O) \times FiO_2$$

$$PiO_2 = (587 - 47) \times 0.21$$

$$PiO_2 = 113.4 \text{ mmHg}$$

Las presiones que ejercen la atmósfera (587 mmHg), el vapor de agua (47 mmHg) y la fracción inspirada de oxígeno (0.21) en la Ciudad de México la PiO<sub>2</sub> es 113.4 mmHg.

Hay que tomar en cuenta que para realizar los cálculos de las presiones de la vía aérea que normalmente se miden en cm de H<sub>2</sub>O hay que convertirlos a mmHg, esto se logra multiplicando los cm de H<sub>2</sub>O por la constante 0.76 y el resultado se obtendrá en mmHg.<sup>8-10</sup>

### Presión alveolar de oxígeno (PAO<sub>2</sub>), cociente respiratorio y ecuación del gas alveolar

Se define como la presión necesaria para mantener abierto el alvéolo, está determinada por el equilibrio entre la velocidad con que la sangre toma el oxígeno, dependiendo de las demandas metabólicas y de la velocidad con que la ventilación alveolar repone a este último.

Para explicar la PAO<sub>2</sub> se utiliza la ecuación del gas alveolar y para comprender mejor esta

fórmula, debemos hablar de la hipoventilación si la presión alveolar de oxígeno desciende. La hipoventilación ocasiona que la presión de bióxido de carbono ( $\text{PCO}_2$ ) alveolar y por lo tanto la  $\text{PCO}_2$  arterial se incrementen. La relación entre la disminución de presión de oxígeno ( $\text{PO}_2$ ) y el incremento de la  $\text{PCO}_2$  alveolar se explica con la ecuación del gas alveolar ideal.

El cociente respiratorio es la relación existente entre la producción de  $\text{CO}_2$  y el consumo de  $\text{O}_2$ , mismo que depende del metabolismo de los tejidos por unidad de tiempo. Al ingresar 250 mL de oxígeno por minuto, se eliminan de 200 a 210 mL de  $\text{CO}_2$ , como lo explica la siguiente fórmula:<sup>6</sup>

$$R = \frac{\text{VCO}_2}{\text{VO}_2} = \frac{208}{250} = 0.83$$

Debe entenderse con el siguiente parafraseo: «Al metabolizar una molécula de oxígeno se obtiene 0.83 moléculas de  $\text{CO}_2$ ».<sup>5</sup>

La ecuación del gas alveolar ideal se utiliza para calcular la cantidad de  $\text{O}_2$  que pasa de la vía aérea a los alvéolos, es decir, la cantidad de  $\text{O}_2$  requerida para mantener abiertos los alvéolos como se muestra a continuación:<sup>1,6,7</sup>

$$\text{PAO}_2 = \text{PiO}_2 - \frac{\text{PaCO}_2}{R}$$

$$\text{PAO}_2 = \text{PiO}_2 - \frac{\text{PaCO}_2}{0.83}$$

Al sustituir los valores en la fórmula de  $\text{PiO}_2$ , se obtiene:

$$\text{PAO}_2 = (\text{PB} - \text{PH}_2\text{O}) \times \text{FiO}_2 - \frac{\text{PaCO}_2}{0.83}$$

donde:

$\text{PAO}_2$  = Presión alveolar de oxígeno (mmHg).

$\text{PB}$  = Presión barométrica (mmHg).

$\text{PH}_2\text{O}$  = Presión de vapor de agua (47 mmHg).

$\text{PaCO}_2$  = Presión arterial de  $\text{CO}_2$  (mmHg).

$R$  = Cociente respiratorio 0.83.

Si se calcula la  $\text{PAO}_2$  a nivel del mar será de la siguiente manera:

$$\text{PAO}_2 = \text{PiO}_2 - \frac{\text{PaCO}_2}{0.8}$$

$$\text{PAO}_2 = (\text{PB} - \text{PH}_2\text{O}) \times \text{FiO}_2 - \frac{\text{PaCO}_2}{0.83}$$

$$\text{PAO}_2 = (760 - 47) \times 0.21 - \frac{40}{0.83}$$

$$\text{PAO}_2 = (713) \times 0.21 - 48.19$$

$$\text{PAO}_2 = 101.54 \text{ mmHg}$$

donde:

Presión barométrica a nivel del mar (760 mmHg).

Presión de vapor de agua  $\text{H}_2\text{O}$  (47 mmHg).

Fracción inspirada de oxígeno  $\text{FiO}_2$ : 21%.

$\text{PaCO}_2$ : 35-45 media = 40 (mmHg).

Cociente respiratorio CR: 0.8

Si sustituimos la fórmula en el Distrito Federal:

$$\text{PAO}_2 = \text{PiO}_2 - \frac{\text{PaCO}_2}{0.83}$$

$$\text{PAO}_2 = (\text{PB} - \text{PH}_2\text{O}) \times \text{FiO}_2 - \frac{\text{PaCO}_2}{0.83}$$

$$\text{PAO}_2 = (587 - 47) \times 0.21 - \frac{40}{0.83}$$

$$\text{PAO}_2 = (540) \times 0.21 - 48.19$$

$$\text{PAO}_2 = 65.21 \text{ mmHg}$$

Los rangos normales son de 60-100 mmHg. Se habla de hipoventilación si la ventilación alveolar disminuye y por lo tanto se necesita más presión de oxígeno (mayor de 100 mmHg) para mantener abiertos a los alvéolos.<sup>2</sup>

La  $\text{PAO}_2$  aumentará en cualquier proceso que produzca hipoventilación y/o aumento del espacio muerto. En el *cuadro I* se enumeran las causas que alteran la  $\text{PAO}_2$ .

Por ejemplo, masculino de dos años de edad quien acude al Servicio de Urgencias por pre-

sentar dificultad respiratoria importante, a su ingreso presenta saturación de 60%, la radiografía muestra radio opacidad heterogénea e infiltrado alveolar en los dos campos pulmonares por lo que de manera inmediata se intuba con  $\text{FiO}_2$  70% y se solicita gasometría con el siguiente resultado.

Gas	pH	$\text{PO}_2$	$\text{PCO}_2$	$\text{FiO}_2$	Saturación	Bicarbonato
Arterial	7.42	79.9	39.4	70%	94.1%	25.4

Si sustituimos los valores en la fórmula

$$\text{PAO}_2 = (\text{PB} - \text{PH}_2\text{O}) \times \text{FiO}_2 - \frac{\text{PaCO}_2}{0.83}$$

$$\text{PAO}_2 = (587 - 47) \times 0.70 - \frac{39.4}{0.83}$$

$$\text{PAO}_2 = (540) \times 0.70 - 47.46$$

$$\text{PAO}_2 = 378 - 47.46$$

$$\text{PAO}_2 = 330.54 \text{ mmHg}$$

En este caso, la  $\text{PAO}_2$  se encuentra por arriba de los niveles normales lo que implica que se requiere mayor presión para mantener abiertos los alvéolos.

**Cuadro I. Causas que alteran la  $\text{PAO}_2$ .**

- Alteraciones del centro respiratorio
  - Trauma craneoencefálico
  - Edema cerebral
  - Tumores
  - Anestésicos
- Alteraciones de raíces nerviosas
  - Polirradiculoneuropatías
  - Guillain Barré
  - Poliomielitis
- Alteraciones de vía aérea
  - Obstrucción
  - Traqueoendobronquitis
- Alteraciones de la caja torácica
  - Traumas
  - Fracturas
  - Deformaciones del tórax

## SEGUNDO PASO: DIFUSIÓN

Inicia en el momento en que los alvéolos se han ventilado y comprende el tiempo y el espacio del  $\text{O}_2$  desde el alvéolo hasta el capilar e incluye el paso del  $\text{CO}_2$  en dirección opuesta.

La difusión se define entonces como el paso de moléculas de un gas de una zona de alta concentración a una de baja concentración, según sus presiones parciales individuales. Asimismo, en este proceso interviene la superficie de difusión así como el grosor de la barrera que es de aproximadamente 0.2 a 0.5  $\mu\text{m}$ .

## GRADIENTE ALVÉOLO-ARTERIAL

El gradiente alvéolo-arterial o  $\text{P(A-a)} \text{O}_2$  es la diferencia que existe en la  $\text{PAO}_2$  y la  $\text{PaO}_2$  que refleja el estado de difusión, siendo la diferencia neta de las presiones de oxígeno existentes tras el paso de esta molécula a través de la membrana alvéolo-capilar. Este gradiente puede calcularse por la diferencia obtenida en la ecuación del gas alveolar y la  $\text{PaO}_2$  en la sangre arterial sistémica; sirve para evaluar la situación real del intercambio gaseoso pulmonar, reflejando la presencia de alteraciones en la ventilación/perfusión. Es decir, indica si hay una alteración a nivel del parénquima pulmonar.<sup>8</sup>

Existen ciertos factores que favorecen la difusión de oxígeno (*Cuadro II*) a través de la membrana alvéolo-capilar y la diferencia no deberá ser mayor de 10 mmHg<sup>7</sup> y no debe exceder 20 mmHg en situaciones de estabilidad hemodinámica y con una fracción inspirada de oxígeno de 21%.<sup>3,7</sup> A continuación se desglosa la fórmula:

$$\text{P(A - a)O}_2 = \text{PAO}_2 - \text{PaO}_2$$

donde:

$\text{PAO}_2$  = Presión alveolar de oxígeno (mmHg).

$\text{PaO}_2$  = Presión arterial de oxígeno (mmHg).

Puede haber un incremento en el gradiente alvéolo-arterial, principalmente por un aumento en el cortocircuito pulmonar, alteraciones en

Cuadro II. Causas del incremento de la P(A-a)O<sub>2</sub>.

1. Neumonías
2. Inhalación de humo
3. Broncoaspiración
4. Casi ahogamiento
5. Neumotórax
6. Atelectasias
7. Tumoraciones
8. Derrame pleural

la relación ventilación perfusión, aumento de la resistencia en el proceso de difusión y disminución de la presión venosa mixta de oxígeno por disminución del gasto cardiaco o aumento del metabolismo tisular.<sup>8,9</sup>

En la insuficiencia respiratoria tipo I o hipoxémica en la cual gasométricamente existe hipoxemia, se espera un incremento de P(A-a)O<sub>2</sub> (> 20 mmHg), el cual indica que la insuficiencia respiratoria es causada por una lesión del parénquima pulmonar. En la insuficiencia respiratoria tipo II el P(A-a)O<sub>2</sub> es normal.<sup>2</sup>

Grosso modo, cualquier enfermedad parenquimatosa que afecte el intercambio gaseoso causará una elevación de dicho gradiente, cuyo incremento es directamente proporcional al incremento en el daño pulmonar.<sup>3,11-13</sup>

A continuación se exponen un par de ejemplos para aclarar los conceptos anteriores:

En el caso anterior, donde el resultado de la PAO<sub>2</sub> fue de 330.54 mmHg, el gradiente se calcula de la siguiente manera sustituyendo los valores en la fórmula previamente mostrada:

$$P(A - a)O_2 = PAO_2 - PaO_2$$

$$\text{donde} = 330.54 \text{ mmHg} - 39.4 \text{ mmHg}$$

$$P(A - a)O_2 = 291.14 \text{ mmHg}$$

Con lo anterior se concluye que existe un gradiente mayor a lo normal, lo cual indica que hay una alteración a nivel de la membrana alvéolo capilar.

Segundo caso: se trata de paciente femenina internada en la Unidad de Cuidados Intensivos

Pediátricos, presenta choque séptico y datos de síndrome de dificultad respiratoria, se encuentra bajo ventilación mecánica y se toma la siguiente gasometría de control:

Gas	pH	PO <sub>2</sub>	PCO <sub>2</sub>	FiO <sub>2</sub>	Saturación	Bicarbonato
Arterial	7.43	82.4	40.3	70%	95%	26.7

Calculado:

$$PAO_2 = (PB - PH_2O) \times FiO_2 - \frac{PaCO_2}{0.83}$$

$$PAO_2 = (587 - 47) \times 0.70 - \frac{40}{0.83}$$

$$PAO_2 = (540) \times 0.70 - 48.19$$

$$PAO_2 = 378 - 48.19$$

$$PAO_2 = 329.81 \text{ mmHg}$$

Si sustituimos los valores en la fórmula de la P(A-a)O<sub>2</sub>

$$P(A - a)O_2 = PAO_2 - PaO_2$$

$$P(A - a)O_2 = 329.81 \text{ mmHg} - 40.3 \text{ mmHg}$$

$$P(A - a)O_2 = 289.51 \text{ mmHg}$$

En este caso la PAO<sub>2</sub> está elevada, por lo que sabemos se requiere mayor presión para mantener abierto el alvéolo, el gradiente alvéolo-arterial está igualmente elevado; esto sugiere que también hay alguna alteración en la membrana alvéolo-capilar, consecuencia del síndrome de dificultad respiratoria agudo que impide la adecuada difusión de oxígeno.<sup>11-13</sup>

## CONCLUSIONES

Mediante el uso de fórmulas al sustituir los valores de una muestra de gasometría arterial podremos realizar una valoración respiratoria, conocer más datos acerca del estado de salud de nuestro paciente y cuál proceso de la respiración se encuentra alterado, la ventilación o la difusión.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Morales JE, Barbera M. Insuficiencia Respiratoria: concepto, fisiopatología y clasificación. *MEDICINE*. 2002; 08 (74): 3983-3988.
2. Gutiérrez-Muñoz FR. Insuficiencia respiratoria aguda. *Acta Me Per*. 2010; 27 (4): 286-297.
3. Sánchez-Casado M. Relación entre el gradiente alvéoloarterial de oxígeno y la PA/FiO<sub>2</sub> introduciendo la PEEP en el modelo. *Med Intensiva*. 2012; 36 (5): 329-334.
4. Márquez-González H, Mota-Nova AR, Cantellano-García DM, Yáñez-Gutiérrez L, Muñoz-Ramírez MC, Villa-Romero AR. Diferencias gasométricas y ventilatorias de cinco enfermedades respiratorias en neonatos. *Rev Mex Ped*. 2014; 80 (1): 32-37.
5. Heyland DK, Cook DJ, King D et al. Maximizing oxygen delivery in critically ill patients: a methodologic appraisal of the evidence. *Crit Care Med*. 1996; 24: 517-524.
6. Kern JW, Shoemaker WC. Meta-analysis of hemodynamic optimization in high-risk patients. *Crit Care Med*. 2002; 30: 1686-1692.
7. Wells H, Blajchman MA, Marshall J et al. A multicenter, randomized controlled clinical trial of transfusion requirements in critical care. *N Engl J Med*. 1999; 340: 409-417.
8. Mahutte CK, Holody M, Maxwell TP, Chen PA, Sasse SA. Development of patient-dedicated, on demand, blood gas monitor. *Am J Respir Crit Care Med*. 1994; 149: 852-859.
9. Bacher A, Mayer N, Rajek AM. Acute normovolaemic haemodilution does not aggravate gastric mucosal acidosis during cardiac surgery. *Intensive Care Med*. 1998; 24: 313-321.
10. Rasanen J, Downs JB, Hodges MR. Continuous monitoring of gas exchange and oxygen use with dual oximetry. *J Clin Anesth*. 1998; 1:1 3-8.
11. Pollack MM, Ruttimann UE, Getson PR. Pediatric risk of mortality (PRISM) score. *Crit Care Med*. 1988; 16: 1110-1116.
12. Acute Respiratory Distress Syndrome Network. Ventilation with lower tidal volumes compared with traditional tidal volumes for acute lung injury, and the acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med*. 2000; 342: 1301-1308.
13. Sud S, Sud M, Friedrich JO, Meade MO, Ferguson ND, Wunsch H et al. High frequency oscillation in patients with acute lung injury and acute respiratory distress syndrome (ARDS): systematic review and meta-analysis. *BMJ*. 2010; 340: c2327. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1136/bmj.c2327>.