

Ajuste de la relación $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ a la presión barométrica: Presión barométrica- $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$

Marco Antonio Montes de Oca Sandoval,* María Antonieta Xóchitl Padua,† Claudia I Olvera Guzmán,‡ Juvenal Franco Granillo§

RESUMEN

La hipoxemia es común en el paciente en estado crítico. Puede ser causada por hipoventilación, trastorno en la ventilación/perfusión, cortocircuito de derecha-izquierda, o limitación de la difusión a través de la membrana alvéolo-capilar. También puede ocurrir como resultado de bajas presiones inspiradas de O_2 como sucede en grandes alturas. La hipoxemia es piedra angular en la definición del síndrome de dificultad respiratoria aguda (SIRA). La relación $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ (P/F) se incluye en la definición de la conferencia del Consenso Americano-Europeo (lesión pulmonar aguda ≤ 300 y SIRA si es \leq a 200). La hipoxia hipobárica es un fenómeno que existe y que no se ha tomado en cuenta para la definición de LPA/SIRA. A medida que disminuye la presión barométrica (PB) como consecuencia de la disminución de la presión atmosférica (P atm), disminuye la presión parcial de oxígeno (PO_2). Una forma práctica para determinar la P/F en relación a la presión barométrica es: PB ajustada: $\text{PAO}_2 \times \text{PaO}_2/\text{FiO}_2/100$, fórmula similar a la publicada por West JB y utilizada en el estudio Alveoli: PF ajustada = $\text{PF} \times (\text{PB}/760)$. La relación PF debe ajustarse dependiendo de la presión barométrica.

Palabras clave: Relación $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$, presión barométrica, síndrome de insuficiencia respiratoria aguda, lesión pulmonar aguda.

SUMMARY

Hypoxemia is frequent in critically ill patients. It can be produced by hypoventilation, ventilation/perfusion mismatch, right to left shunts, or abnormalities of the diffusion within the capillary-alveoli membrane. It can be produced too as a result of low inspiratory pressures, as in high altitudes. Hypoxemia is one of the key points in the definitions of Acute Respiratory Distress Syndrome (ARDS) and Acute Lung Injury (ALI). $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ (P/F) relation is included in the American-European definition for ARDS (if less than 200) and ALI, if less than 300. Hypobaric hypoxia is a phenomenon that exists, and that has not been considered for the definition of ALI/ARDS. When barometric pressure (PB) diminishes as a consequence of lower atmospheric pressure (P atm), oxygen partial pressure (PO_2) diminishes too. A useful way to determine the P/F, related to barometric pressure is: adjusted PB: $\text{PAO}_2 \times \text{PaO}_2/\text{FiO}_2/100$; a similar formula to that, published by West JB and used in the Alveoli study: Adjusted P/F = $\text{P/F} \times (\text{PB}/760)$. P/F relation has to be adjusted according to the barometric pressure.

Key words: $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ ratio, barometric pressure, acute respiratory distress syndrome, acute lung injury.

INTRODUCCIÓN

Recientemente se han publicado diversos estudios en los cuales se habla de la importancia de ajustar los valores «normales» de PaO_2 a la altura de la ciudad de México.^{1,2} Existe controversia con respecto a qué niveles debemos considerar como normales, o si las definiciones establecidas y ampliamente utilizadas (como las utilizadas para definir lesión pulmonar aguda/síndrome de insuficiencia respiratoria progresiva aguda, LPA/SIRPA) deben

* Médico residente de tercer año de la Especialidad de Medicina del Enfermo en Estado Crítico. Departamento de Medicina Crítica «Dr. Mario Shapiro» Centro Médico ABC. México, D.F.

† Médico residente de primer año de la Especialidad de Medicina del Enfermo en Estado Crítico. Departamento de Medicina Crítica «Dr. Mario Shapiro» Centro Médico ABC. México, D.F.

‡ Médico adscrito del Departamento de Medicina Crítica y Terapia Intensiva «Dr. Mario Shapiro» del Centro Médico ABC. Campus Santa Fe.

§ Jefe del Departamento de Medicina Crítica y Terapia Intensiva «Dr. Mario Shapiro» del Centro Médico ABC.

ajustarse en los pacientes que no viven a nivel del mar. Consideramos de suma importancia conocer los conceptos básicos de fisiología respiratoria antes de sugerir fórmulas o realizar estudios con criterios no bien justificados. A continuación se presenta una revisión breve de la literatura con los conceptos necesarios para entender porqué deben o no hacerse ajustes a las definiciones de hipoxemia ya establecidas.

La hipoxemia es común en el paciente en estado crítico y puede ser causada por hipoventilación, trastornos en la relación ventilación/perfusión, cortocircuito de derecha-izquierda, o limitación de la difusión a través de la membrana alvéolo-capilar. También puede ocurrir como resultado de bajas presiones inspiradas de O_2 , por ejemplo en las grandes alturas.³

Numerosos índices han sido utilizados para describir esta hipoxemia como la PaO_2/PiO_2 , PaO_2/PAO_2 , PaO_2/FiO_2 , etc.; de éstas, la relación PaO_2/FiO_2 (P/F) es la más utilizada debido a su simplicidad; esta relación se incluye en la mayoría de las definiciones, tales como la puntuación de la lesión pulmonar (Murray), y la definición de la conferencia del Consenso Americano-Europeo en donde LPA se define con una relación P/F ≤ 300 y SIRPA si es $\leq a 200$.³⁻⁵

La hipoxia hipobárica es un fenómeno que existe y que generalmente no se toma en cuenta al establecer la definición de LPA/SIRPA. Para entender dicho fenómeno es importante conocer los cambios de presión que existen en la vía aérea y para eso tenemos que conocer los aspectos fisiológicos.

CONCEPTOS BÁSICOS

El cociente PaO_2/FiO_2 se utiliza comúnmente para definir LPA y SIRPA; éste disminuye con la altura sobre el nivel del mar, por lo que los pacientes que residen a altitudes mayores sobre el nivel del mar tienen presumiblemente un grado de hipoxemia menor que los residentes al nivel del mar en el momento de cumplir el criterio de LPA/SIRPA.

Existen diferentes índices para determinar hipoxemia. En 1972, Lecky y Ominsky reportaron por primera vez el empleo de la ecuación PaO_2/FiO_2 para evaluar la función respiratoria en pacientes postoperados; ésta actualmente se incluye en la mayoría de las definiciones, tales como la puntuación de lesión pulmonar aguda (Murray), y la definición de la conferencia del Consenso Americano-Europeo.⁴⁻⁶

ASPECTOS FISIOPATÓLOGICOS

El O_2 forma parte del gas atmosférico, el cual está compuesto por una mezcla de gases, principalmente O_2 y nitrógeno. El O_2 ocupa un volumen 20.93 por ciento de la totalidad del aire. En la práctica se considera como valor normal de concentración de O_2 21%, por lo que la fracción inspirada de O_2 es de 0.21, valor constante a cualquier altitud sobre el nivel del mar.⁶

El cálculo de la presión parcial de un gas, es el producto de la presión atmosférica por la concentración de dicho gas. Por lo tanto, la presión parcial de oxígeno en el aire ambiente (PO_2) se expresa como:

$$PO_2 \text{ en el aire ambiente} = \text{Presión atmosférica} \times 0.21$$

De la expresión anterior se deduce que la presión parcial de oxígeno (PO_2) en el aire, es dependiente de la presión atmosférica, ya que su concentración (21%) es constante.

El elemento crítico para determinar la «disponibilidad ambiental de O_2 », – referido a presión y no a volumen – es la presión total que ejerce la columna de gases ubicada sobre un cuerpo situado en cualquier punto de la superficie terrestre, concepto conocido como *presión atmosférica (P atm)*, cuyo valor es dependiente de la altura sobre el nivel del

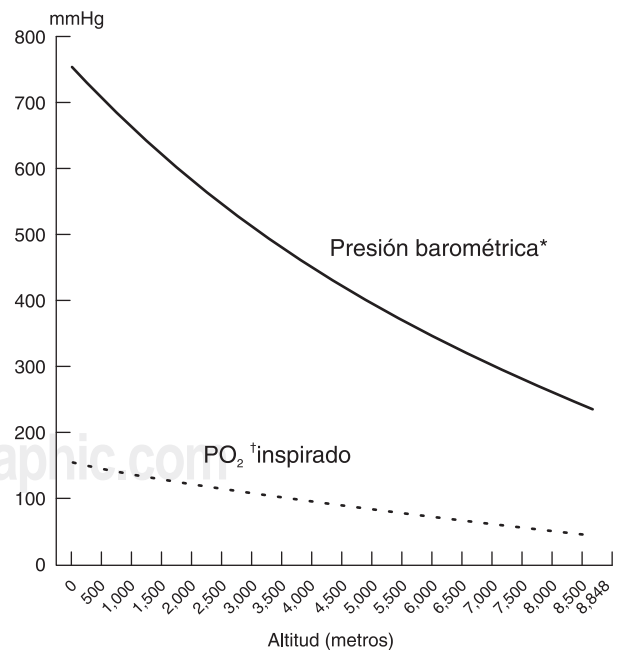


Figura 1. Cambio de la PiO_2 respecto a la presión barométrica.

mar; a mayor altura menor presión atmosférica y viceversa^{7,8} (figura 1).

«La disminución de O₂ a grandes alturas es consecuencia de la disminución de la presión atmosférica y no de la concentración del gas».

«A medida que se asciende sobre el nivel del mar, la presión atmosférica disminuye y por tanto la PO₂ también desciende».

Con la inspiración, la vía aérea superior lleva a cabo funciones de limpieza, calentamiento, humidificación de los gases inspirados y en ella se encuentra vapor de agua; éste ocupa un volumen y ejerce una presión cuyo valor aproximado es de 47 mmHg. Esto ocasiona un desplazamiento de O₂ de la mezcla gaseosa de la vía aérea superior, generándose una caída de la presión parcial de O₂ (figura 2).

El cálculo de la presión inspirada de oxígeno en la vía aérea superior (PiO₂) se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$PiO_2 = (P \text{ atmosférica} - P \text{ vapor de H}_2\text{O}) \times FiO_2$$

Ejemplo: Para el nivel del mar la PiO₂ sería:

$$PiO_2 = (760 - 47 \text{ mmHg}) \times 0.21 = 150 \text{ mmHg}$$

En su recorrido hacia los alvéolos a través del espacio muerto anatómico, la presión de oxígeno no experimenta ninguna variación, puesto que a los gases circulantes no se adiciona ningún otro gas.

En el alvéolo aparece un gas diferente en la mezcla – el dióxido de carbono (CO₂) – el cual sale del capilar para ser eliminado en la fase espiratoria del ciclo ventilatorio (figura 3).

La presión de este gas genera disminución de la PO₂, produciéndose así un valor nuevo de presión que es la presión alveolar de oxígeno (PAO₂), la cual se calcula mediante la ecuación de gas alveolar:

$$PAO_2 = (P \text{ atmosférica} - P \text{ VH}_2\text{O} \times FiO_2) - PaCO_2/R$$

El valor de la PACO₂ es igual al de la PaCO₂ debido a las características de difusibilidad y solubilidad de éste. R es la relación entre O₂ y CO₂ difundidos a través de la membrana alvéolo-capilar. Su valor normal es de 0.8 a 1.^{8,9}

La expresión en la utilidad clínica para determinar la PAO₂ es:

$$PAO_2 = PiO_2 - PaCO_2$$

Ejemplo: Para el nivel del mar la PAO₂ es entonces:

$$PB: 760 \text{ mmHg} \quad PvH_2O = 47 \text{ mmHg} \quad PiO_2: 21\% \quad PaCO_2 = 35 \text{ mmHg} \quad R = 0.8$$

$$(760 - 47 \text{ mmHg} \times 0.21) - 35 \text{ mmHg}/0.8 = 149.73 \text{ mmHg}$$

$$149.73 - 43.75 \text{ mmHg} = 105.9 \text{ mmHg}$$

$$PAO_2 = 105.98 \text{ mmHg}$$

«En la ciudad de México la PAO₂ es diferente»

Sabemos que la altura de la ciudad de México es de 2,235 msnm, y la presión barométrica es de 580 mmHg, por lo que:²

¿Cuál sería la PAO₂ en la ciudad de México?

www.medigraphic.com

Ejemplo: Para el nivel de la ciudad de México la PAO₂ es:

$$PB: 580 \text{ mmHg} \quad PvH_2O = 47 \text{ mmHg} \quad PiO_2: 21\% \quad PaCO_2 = 35 \text{ mmHg} \quad R = 0.8$$

$$(580 - 47 \text{ mmHg} \times 0.21) - 35 \text{ mmHg}/0.8 = 111.93 \text{ mmHg}$$

$$111.93 - 43.75 \text{ mmHg} = 68.2 \text{ mmHg}$$

$$PAO_2 = 68.2 \text{ mmHg}$$

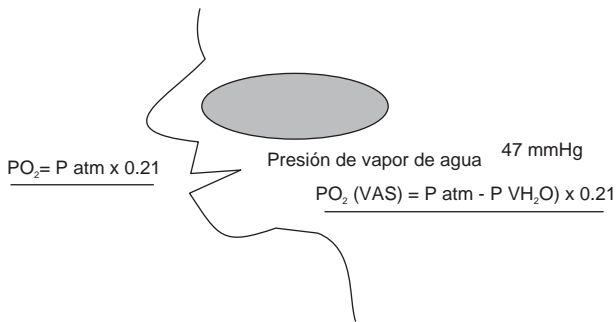


Figura 2. Representación esquemática de la disminución de la PaO_2 ; consecuencia de la presión que ejerce el vapor de agua en la vía aérea.

La expresión en la utilidad clínica para determinar la PAO_2 es:

$$PAO_2 = PIO_2 - PaCO_2$$

$$PAO_2 = (580 - 47 \text{ mmHg} \times 0.21) - 35 = 76.9 \text{ mmHg}$$

Esto corresponde al 72.5% de la PAO_2 , al compararla con la del nivel del mar, lo que quiere decir que la PAO_2 es 27.4% menor que a nivel del mar.

Una de las determinantes de la relación P/F (a veces confundida con el índice de Kirby, el cual es exactamente a la inversa, FiO_2/PaO_2) es la PAO_2 , la cual cambia cuando hay diferente presión barométrica, por lo que en realidad la relación P/F en la ciudad de México como criterio de SIRPA/LPA debe ser:¹⁰

$$LPA = 300 - 27.4\% = 217$$

$$SIRPA = 200 - 27.4\% = 152$$

El estudio ALVEOLI sugiere el ajuste de la relación PaO_2/FiO_2 en ciudades que se encuentran por arriba de 1,000 msnm mediante la siguiente fórmula **P/F ajustada = P/F x (PB/760)**; dicha fórmula fue publicada por West JB.^{1,7} Existe una fórmula muy similar a ésta, en la que se toma en cuenta la PAO_2 para realizar el ajuste de la relación **P/F [(P/F ajustada = $PAO_2 \times (PF/100)$]**; y que podemos utilizar según la altitud en la que nos encontremos. En nuestro estudio utilizamos la fórmula publicada por West JB, ya validada. Esta diferencia en el ajuste de la relación P/F hace que cambien los criterios que conocemos para LPA/SIRPA en la ciudad de México (y en ciudades que no se encuentren a nivel del mar); por lo que el criterio de LPA/SIRPA debe ser 27.4% menor que a nivel del mar:^{7,10}

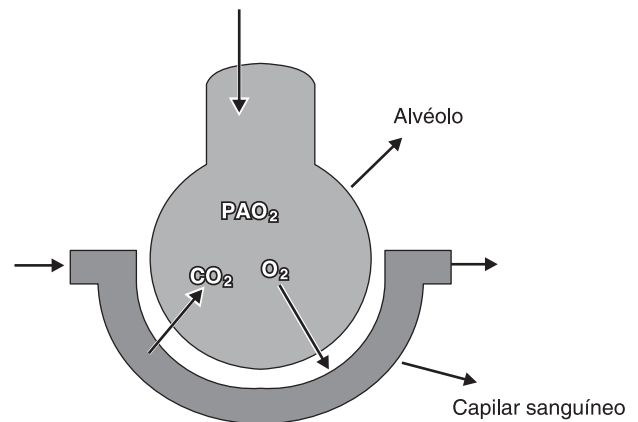


Figura 3. Representación gráfica del intercambio alveolar de O_2 y CO_2 , el cual determina la PAO_2 .

Al momento de medir la oxigenación, las personas que se encuentran a mayor altitud se les debe aumentar la diferencia que existe entre P/F ajustada y la P/F no ajustada, ya que éstas se encuentran aclimatadas y la PaO_2 es menor comparada con otra que vive a nivel del mar.

Ejemplo: Una persona que vive en la Cd. de México con:

$PaO_2 = 90 \text{ mmHg}$, $FiO_2 = 50\%$, tendría una P/F y una P/F ajustada de:

$$P/F = PaO_2 / FiO_2 \times 100;$$

$$90/50 \times 100 = 180$$

$$P/F \text{ ajustada} = PF \times (580/760 \text{ mmHg}) =$$

$$180 \times 0.76 = 137.3$$

Las personas que se encuentran a altitudes por arriba del nivel del mar están aclimatadas y el nivel de PaO_2 es menor comparado con las personas a nivel del mar (aclimatación ventilatoria), por lo que en lugar de restar, habría que aumentar 27.4% de la P/F encontrada, debido a que es la diferencia que existe entre la PAO_2 a nivel de la Cd. de México y la del nivel del mar. Por lo que en realidad, al utilizar la fórmula del ajuste de la relación P/F, nos sirve como parámetro para definir los rangos de criterios de LPA/SIRPA mas no para tomar en cuenta la relación P/F del paciente, ya que ésta en realidad aumentaría de 180 a 224 al aumentar 27.4% de la P/F no ajustada, con lo que no tendría criterios de SIRPA sino de LPA. Es difícil cambiar los criterios internacionales de la definición de SIRPA y LPA ya esta-

blecidos; en la Cd. de México, dichos valores corresponderían a 217 y 152 equivalentes al 300 y 200 utilizados normalmente. En lugar de disminuir las cifras de las definiciones internacionales (27.4%), lo que debe hacerse, es aumentar este 27.4% al valor de P/F de los pacientes de la Cd. de México para que la definición se aplique de forma normal.

BIBLIOGRAFÍA

1. Vázquez GJC, Pérez PR. *Valores gasométricos estimados para las principales poblaciones y sitios a mayor altitud en México*. 2000;6:1-3.
2. Pérez-Padilla JR. Distribution of Mexican population residing at different altitudes. Implications for hypoxemia. *Arch Med Res* 2002;33:162-6.
3. Moore LG, Niermeyer S, Zamudio S. Human adaptation to high altitude: Regional and life-cycle perspectives. *Am J Phys Anthropol* 1998;27:25-64.
4. West JB. Oxygen enrichment of room air to relieve the hypoxia of high altitude. *Resp Physiol* 1995;1997;225-232.
5. Bernard G, Artigas A, Brigham K, et al. The American European Consensus Conference on ARDS. Definitions, mechanisms, relevant outcomes, and clinical trial coordination. *Am J Respir Crit Care Med* 1994;149:818-24.
6. Murray JF, Matthay MA, Luce JM, et al. An expanded definition of the adult respiratory distress syndrome. *Am Rev Respir Dis* 1988;138:720-3.
7. West JB. *High Life: a history of high-altitude physiology and medicine*. New York: Oxford University Press, 1998:413.
8. Dempsey JA, HV Forster. 1982. Mediation of ventilatory adaptations. *Physiol Rev* 1987;62:262-346.
9. West JB, Lahiri S. Predicted gas exchange on the summit of Mount Everest. *Resp Physiol* 1984;142:1-16.
10. *Prospective, randomized, multi-center trial of higher end-expiratory lung volume/lower FiO₂ versus lower end-expiratory lung volume/higher FiO₂ ventilation in acute lung injury and acute respiratory distress syndrome assessment of low tidal volume and elevated end-expiratory volume to obviate lung injury (ALVEOLI) ARDS clinical network ARDSNet Study 04, Version I 1999, July 20, 1999.*
11. Dynamic aspects of regulation of ventilation in man during acclimatization to high altitude. *Resp Physiol* 1972;16:245-58.
12. Monge C. Control of ventilation in extreme-altitude climbers. *J Appl Physiol* 1948;61:500-6.
13. Rebuck AS, Campbell EJ. A clinical method for assessing the ventilatory response to hypoxia. *Am Rev Respir Dis* 1974;109:345-50.
14. Ward MP, Milledge JS, West JB. *High altitude medicine and physiology*. Londres: Chapman & Hall. West, JB, PD Wagner. 1980.
15. West JB, Lahiri S. Predicted gas exchange on the summit of Mount Everest. *Resp Physiol* 1984;142:1-16.
16. Sarnquist FH, Schoene RB, Winslow RM. *High altitude and man*. Bethesda, Maryland: American Physiological Society. 1983.
17. *Fisiología respiratoria de West 7a edición*. West John B. Médica Panamericana. En: Sandur S, Stoller JK. Pulmonary complications of mechanical ventilation. *Clin Chest Med* 1999;20:223-47.

Correspondencia:
 Marco Antonio Montes de Oca Sandoval
 Sur 136 Núm. 116,
 Col. Las Américas
 Delegación Álvaro Obregón
 01120 México, DF.
 Tel: 52308000
 E-mail: marcoantoniomontesdeoca@hotmail.com