

ACTUALIZACIÓN

AJUSTE DE LA RELACIÓN O COCIENTE PAO_2/FIO_2 A LA PRESIÓN BAROMÉTRICA EN LA CIUDAD DE LA PAZ 3600 MSNM

ADJUSTMENT OF THE PAO_2/FIO_2 RATIO OR RATIO TO BAROMETRIC PRESSURE IN THE CITY OF LA PAZ 3600 MASL

Ac. Dr. Oscar Vera Carrasco*

*Profesor Enerito de Pre y Postgrado de la Facultad de Medicina UMSA, Especialista en Medicina Crítica y Terapia Intensiva

RESUMEN

La hipoxemia es común en los pacientes en estado crítico, la misma que puede ser causada por hipoventilación, trastornos en la ventilación/perfusión, los cortocircuitos de derecha-izquierda, o en la limitación de la difusión a través de la membrana alvéolo-capilar. Otra de las causas puede ser como resultado de las bajas presiones inspiradas de O_2 como sucede en grandes alturas. La hipoxemia es uno de los parámetros importantes para la definición del síndrome de dificultad respiratoria aguda (SDRA). La relación PaO_2/FiO_2 se incluye en la definición de la conferencia del Consenso Americano-Europeo (lesión pulmonar aguda ≤ 300 y SIRA si es ≤ 200).

La hipoxia hipobárica es una manifestación que existe y que no se ha tomado en cuenta para la definición de LPA/SIRA. Cuando 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 de las formas para determinar la PaO_2/FiO_2 en relación a la presión barométrica es: PB ajustada: $PAO_2 \times PaO_2/FiO_2/100$, una fórmula similar a la publicada por West JB y utilizada en el estudio Alveoli: PaO_2/FiO_2 ajustada = $PO_2/FiO_2 \times (PB/760)$. La relación PO_2/FiO_2 debe ajustarse dependiendo de la presión barométrica.

Palabras clave: Relación PaO_2/FiO_2 , presión barométrica, síndrome de insuficiencia respiratoria aguda, lesión pulmonar aguda.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad se conoce con bastante precisión como disminuye la presión atmosférica con la altitud. Ello viene recogido en los cuadros de la atmósfera tipificada de la ICAO, que se utilizan en aviación y de la que se han servido en estudios de fisiología de la altitud⁵. Sin embargo, las mediciones sobre el terreno, han mostrado valores de presión atmosférica superiores a los que ofrecen los cuadros, especialmente en montañas próximas al Ecuador como el Himalaya y los Andes.^{6,8}

A la ciudad de La Paz (3,600 msnm) le corresponde una presión barométrica de 511 mmHg. Esta presión puede variar según las condiciones atmosféricas; sin embargo, estas variaciones se producen en menor magnitud que a nivel del mar. Ahora bien, puesto que el O_2 supone el 21% de los gases atmosféricos y esta proporción no disminuye con la altitud, la presión parcial del O_2 en la ciudad de La Paz es del 0,21% x 511–107 mmHg y tomamos en cuenta que la $PaCO_2$ es de 28 mmHg, la Presión parcial alveolar de O_2 (PAO_2) de acuerdo a la ecuación ya conocida para el cálculo de este parámetro, es de 61 mmHg. Por

lo tanto, debiendo existir un gradiente ($AaDO_2$) para la difusión de este gas y conociendo ya este parámetro a través de exámenes directos e indirectos, como el obtenido en este trabajo, el valor de la PaO_2 encontrado en nuestra investigación es coincidente con estos valores (6.44 mmHg).

En los últimos años se han publicado algunos estudios a nivel nacional e internacional sobre los parámetros como los anteriores en niveles de altitud mayores e inferiores a los 3.600 msnm de la ciudad de La Paz, en los cuales se señala sobre la importancia de ajustar el cociente o la relación PaO_2/FiO_2 a la presión barométrica de cada una de tales altitudes, para definir lesión pulmonar aguda/síndrome de insuficiencia respiratoria progresiva aguda (LPA/SIRPA), la que debe ajustarse en los pacientes que no viven a nivel del mar.

El **índice PAO_2/FIO_2** se trata de un cociente que mide indirectamente la lesión pulmonar, su aplicación más comprobada es como factor pronóstico de mortalidad. Las entidades que se manifiestan con síndrome de dificultad respiratoria aguda se benefician de dicha fórmula. Por lo tanto, este ajuste o corrección de acuerdo a la altura o presión barométrica, es necesario para evitar sobrevaluar el diagnóstico de ALI y SIRA.

En los pacientes en estado crítico frecuentemente se observa alteraciones graves del intercambio gaseoso que se asocia a una alta mortalidad.^{1,2} Esta alteración de la función respiratoria debe corregirse de forma inmediata, con diversas medidas terapéuticas de rescate y de forma escalonada; y si persiste, dicha alteración requerirá de asistencia ventilatoria mecánica.³ No obstante, cabe recordar que la ventilación mecánica invasiva también puede causar lesiones pulmonares y por lo tanto, debe ser monitorizado el paciente de forma constante para permitir una intervención oportuna que mantenga la integridad de la función respiratoria y por ende conseguir sus probabilidades de supervivencia.⁴

La presión arterial de oxígeno/fracción inspirada de oxígeno (PaO_2/FiO_2) es un indicador que mide el intercambio gaseoso y tiene utilidad en la UCI para poder tomar decisiones en el tratamiento.⁶ Para tal propósito, se considera de mucha

importancia conocer los conceptos básicos de la fisiopatología 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 antes indicados para entender por qué deben o no realizar (hacerse) ajustes a las definiciones de hipoxemia ya establecidas.

Fisiopatología

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 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 donde LPA se define con una relación $P/F \leq 300$ y SIRPA si es ≤ 200 .^{3,5}

Una de las medidas terapéuticas más extendidas en las UCI es la oxigenoterapia que modifica la FiO_2 administrada al paciente. En situaciones normales la PaO_2 aumenta 50 mmHg por cada aumento del 10% en la concentración de oxígeno aplicada (0.1 incremento de la FiO_2). El cociente PaO_2/FiO_2 estima el grado de oxigenación en los pacientes que reciben oxigenoterapia. (Ref. Guerrero C y Fernández-García E. en JC. Montejo, A. García de Lorenzo, C. Ortiz Leyba. Manual de Medicina Intensiva, 3ª. Edición. Madrid. Elsevier 2006)

La hipoxia hipobárica es un fenómeno que existe y que debe tomarse en cuenta al establecer la definición de LPA/SIRPA. Para entender dicho fenómeno es importante conocer los cambios 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.

Con este propósito se han utilizado, diversos índices en la Unidad de Cuidados Intensivos (UCI) para vigilar el estado ventilatorio y de oxigenación de los pacientes con insuficiencia respiratoria en los que se aplica ventilación mecánica, y evaluar la evolución de su función respiratoria, grado de compromiso pulmonar y los efectos de los cambios en las modalidades de ventilación y para controlar el daño pulmonar producto de la intervención de la respiración mecánica. Así, la búsqueda de un predictor de forma no invasiva que detecte pacientes con mayor compromiso pulmonar ha ganado auge; estableciendo los grados de hipoxemia moderada o severa como criterios para lesión pulmonar aguda (LPA) y síndrome de distrés respiratorio agudo (SDRA).⁴

El índice de oxigenación se utiliza para evaluar el grado de insuficiencia respiratoria y el daño pulmonar agudo no solamente de la hipoxia hipobárica. La lesión pulmonar puede ser causada por otros mecanismos directos o indirectos. En La identificación de los factores etiológicos para el desarrollo de lesión pulmonar aguda/síndrome de insuficiencia respiratoria aguda (LPA/SIRA), tres estudios evaluaron la incidencia de ARDS en pacientes con factores de riesgo conocidos. Tomando en cuenta los criterios de la (NAECC)

Este índice de oxigenación se utiliza también como criterio pronóstico para síndrome de insuficiencia respiratoria aguda (SIRA o SDRA) y la lesión pulmonar aguda (LPA o ALI), así como para corregir los parámetros de inducción de oxígeno como tratamiento, por medio de la FiO_2 . El cociente de oxigenación puede determinar si la gravedad del daño es reversible y se puede utilizar para modificar paulatinamente la conducta del apoyo ventilatorio.

Determina la cantidad de oxígeno disuelto en la sangre a partir del oxígeno suministrado, por ello su utilidad clínica principal radica en determinar la falla en dicho mecanismo si los valores son

bajos. Actualmente el cociente PaO_2/FiO_2 se utiliza en la definición de Berlín para el síndrome de dificultad respiratoria aguda (SDRA) jun o con otros parámetros.^{10,13} De acuerdo con el cociente, puede dividirse en: leve, moderada o severa.

El cociente PaO_2/FiO_2 determina dividiendo los siguientes valores:¹⁰

1. La presión parcial de oxígeno es la medición de las partículas de oxígeno disueltas en la sangre expresadas en mmHg o kPA, se mantiene estable en todo el árbol arterial, ya que no hay consumo de oxígeno en éste. Se entiende por lo tanto que esta medición denota el grado de oxemia.
2. La fracción inspirada de oxígeno es la concentración o proporción de oxígeno en la mezcla del aire inspirado. El oxígeno ocupa aproximadamente 20.93% del aire ambiental, por lo cual se acepta que la fracción inspirada de oxígeno es de 0.21 a cualquier altitud sobre el nivel del mar.

Así tenemos que: $Cociente PaO_2/FiO_2 = PaO_2/FiO_2$ (en porcentaje) x 100

$$Cociente PaO_2/FiO_2 \left(\frac{PaO_2}{FiO_2 \text{ en porcentaje}} \right) 100$$

Ejemplo con

$$PaO_2 = 60 \text{ mmHg y } FiO_2 21\% \left(\frac{60}{21} \right) 100 = 285.7$$

O bien:

$$Cociente PaO_2/FiO_2 \left(\frac{PaO_2}{FiO_2 \text{ en valor decimal}} \right)$$

Ejemplo con $PaO_2 = 60 \text{ mmHg y } FiO_2 0.21$
 $(60/0.21) = 285.7$

Se sugiere ajustar con una fórmula sencilla el cociente en ciudades que se encuentran a más de 1,000 metros sobre el nivel del mar,⁹ debido a que conforme se asciende en altura en metros, disminuye la presión atmosférica y por lo tanto disminuye la presión parcial de oxígeno, afectando el cociente. Se ajusta de la siguiente manera:

$$Cociente PaO_2/FiO_2 \text{ ajustado} = Cociente \left(\frac{PaO_2}{FiO_2} \right) \left(\frac{Presión barométrica del lugar}{760} \right)$$

Como ejemplo: tenemos a un paciente que tiene una PaO_2 de 60 mmHg en la Ciudad de La Paz (presión barométrica de 511 mmHg) con FiO_2 de 40%

Al calcular el cociente PaO_2/FiO_2 tenemos:

$$\text{Cociente } PaO_2/FiO_2: 60 \text{ mmHg}/0.4 = 150$$

Para corregirlo de acuerdo con la presión a la altura en la Ciudad de La Paz:

Cociente PaO_2/FiO_2 ajustado: $(150) (511/760) = 100,8$. En este caso disminuyó el puntaje del cociente esperado, cuando a mayor altitud sobre el nivel del mar hay menor presión parcial de oxígeno debido a la disminución de la presión barométrica.

La fórmula para determinar el cociente o índice de oxigenación es: PaO_2/FiO_2 , en donde la FiO_2 al aire ambiente se toma como constante en su forma fraccionaria, es decir, 0.21. En 1999 se realiza un estudio por parte de ARDS Clinical Network que dentro de sus criterios de inclusión para pacientes con SIRA era que todos aquellos pacientes que viven a más de 1,000 metros sobre el nivel del mar se deben de corregir el índice de oxigenación según la presión barométrica y así evaluar si los pacientes presentan síndrome de insuficiencia respiratoria aguda (SIRA) o lesión pulmonar aguda (LPA).^{6,2}

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 un 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 en el aire ambiente = Presión atmosférica x 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 mar; a mayor altura menor presión atmosférica y viceversa^{7,8} (figura 1). «La disminución de O_2 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 PO_2 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 O_2 de la mezcla gaseosa de la vía aérea superior, generándose una caída de la presión parcial de O_2 (figura 2).

Ejemplo: Para el nivel del Mar la PiO_2 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 (CO_2) – 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 PO_2 , produciéndose así un valor nuevo de presión que es la presión alveolar de oxígeno (PAO_2), la cual se calcula mediante la siguiente ecuación de gas alveolar:

$$PAO_2 = (P \text{ atmosférica} - P_{VH_2O} \times FiO_2) - PaCO_2/R$$

El valor de la $PACO_2$ es igual al de la $PaCO_2$ debido a las características de difusibilidad y solubilidad de éste. R es la relación entre O_2 y CO_2 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 PAO_2 es:

$$PAO_2 = PiO_2 - PaCO_2$$

Ejemplo: Para el nivel del mar la PAO_2 es entonces:

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

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

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

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

«En la ciudad de La Paz la PAO_2 es diferente»

Sabemos que la altura de la ciudad de La Paz es de 3,600 msnm, y la presión barométrica es de 511 mmHg, por lo que:

Ejemplo: Para el nivel de la ciudad de La Paz la PAO_2 es:

$$PB: 511. PvH_2O=47 \text{ mmHg. } PiO_2:21\%. PaCO_2=28 \text{ mmHg. } R=0,8$$

$$(511- 47 \text{ mmHg} \times 0,21) - 28 \text{ mmHg}/0,8 = 97.44 \text{ mmHg}$$

$$97,44 - 35 = 62.44 \text{ mmHg}$$

$$PAO_2 = 62.44 \text{ mmHg}$$

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

$$PAO_2 = PiO_2 - PaCO_2$$

$$PAO_2 = (511- 47 \text{ mmHg} \times 0,21) - 28 \text{ mmHg}/0.8 = 97.44 \text{ mmHg}$$

$$97.44 - 35 = 62.44 \text{ mmHg}$$

Esto corresponde al 59 % de la PAO_2 , al compararla con la del nivel del mar, lo que quiere

decir que la PAO_2 es 41 % 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 La Paz como criterio de SIRPA/LPA debe ser:

$$LPA = 300 - 41\% = 177$$

$$SIRPA = 200 - 41\% = 118$$

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 = $P/F \times (PB/760)$; dicha fórmula fue publicada por West JB. 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 como 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 41% menor que a nivel del mar:^{11,12}

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.

REFERENCIAS

1. Montes de Oca Sandoval MA et al. PaO₂/FiO₂ y presión barométrica Rev Asoc Mex Med Crit y Ter Int 2010;24(1):8-12
2. Pérez-Padilla JR. Distribution of Mexican population residing at different altitudes. Implications for hypoxemia. Arch Med Res 2002; 33:162-6.
3. Vázquez GJC, Pérez PR. Valores gasométricos estimados para las principales poblaciones y sitios a mayor altitud en México. 2000:6-13.
4. Ameghino-Bautista J, Morales-Corbacho JI, Apolaya-Segura M. Correlación entre SO₂/FiO₂ y PaO₂/FiO₂ en pacientes con insuficiencia respiratoria en ventilación mecánica Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas. 2018;37(3)
5. Sarmiento X, Almirall J, Guardiola JJ, Mesalles E, Labarta L, Mate JL, et al. Study on the clinicopathological correlation in the secondary acute respiratory distress syndrome. Medicina intensiva / Sociedad Española de Medicina Intensiva y Unidades Coronarias. 2011;35(1):22-7.
6. Pandharipande PP, Shintani AK, Hagerman HE, St Jacques PJ, Rice TW, Sanders NW, et al. Derivation and validation of Spo₂/Fio₂ ratio to impute for Pao₂/Fio₂ ratio in the respiratory component of the Sequential Organ Failure Assessment score. Crit Care Med. 2009;37(4):1317-21.
7. García-Prieto E, Amado-Rodríguez L, Albaiceta GM. Monitorization of respiratory mechanics in the ventilated patient. Medicina intensiva / Sociedad Española de Medicina Intensiva y Unidades Coronarias. 2014;38(1):49-55.
8. Carrasco Chávez I. Relación SO₂/FiO₂ y grado de correlación con el ratio de Pa/FiO₂ en la evaluación de las alteraciones de la oxigenación pulmonar en neumonía adquirida en la comunidad. Instituto Politécnico Nacional; 2010
9. West JB, Lahiri S. Predicted gas exchange on the summit of Mount Everest. Resp Physiol 1984; 142:1-16
10. Morales-Aguirre AM, Márquez-González H, Salazar-Rosales H, Álvarez-Valencia JL, Muñoz-Ramírez CM, Zárate-Castañón P. Cociente PaO₂/FiO₂ o índice de Kirby: determinación y uso en población pediátrica. El Residente. Mayo-Agosto 2015; 10 (2): 88-92
11. West JB. High Life: a history of high-altitude physiology and medicine. New York: Oxford University Press, 1998:413.
12. Prospective, randomized, multi-center trial of higher endexpiratory 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.
13. The ARDS task force. Acute respiratory distress syndrome the Berlin definition. JAMA. 2012; 307 (23): 2525-2533.