Utilidad y limitaciones de la medición del CO₂ espirado (capnometría) en pacientes pediátricos en ventilación mecánica

José Baeza R.¹; Paulina Rojas N.²; Jaime Cordero T.¹

Comparison of arterial and end tidal PCO₂ in pediatric patients in mechanical ventilation

The monitoring of peak expired end tidal carbon dioxide partial pressure (Pet CO₂) is used as a method for noninvasive estimation of arterial CO₂ tension. Exhaled PCO₂ was serially measured in three groups of pediatric patients by means of a mainstream analyzer (Nihon Kohden Mod. TG-706 PCO₂): group 1 was formed by 14 patients under ventilator treatment with nonpulmonary diseases; group 2 included 18 patients with mild lung diseases (FiO₂ < 0.5); group 3 comprised 19 children with moderate to severe pulmonary diseases (FiO₂ > 0.5). Simultaneously arterial carbon dioxide pressure (PaCO₂) was determined in order to estimate the accuracy of PetCO₂ measurements in the estimation of PaCO₂. The determination coefficient for linear regression between PetCO₂ and PaCO₂ was 0.98 in group 1; 0.95 in group 2 and 0.71 in group 3 patients. The difference between arterial and end tidal carbon dioxide pressure, D(a-et) PCO₂, in group 3 (19.1 ± 14.5 mmHg) was greater than in both group 1 (1.7 ± 2.5 mmHg) and group 2 (3.5 ± 4.2 mmHg) patients (p < 0.001). Thus, in critically ill pediatric patients with nonpulmonary disease or mild pulmonary disease, PetCO₂ shows a good correlation with PaCO₂, however because of lack of such a correlation among patients with severe pulmonary disease, PetCO₂ cannot be considered a substitute for PaCO₂ in these last cases.

[**Key words:** carbon dioxide partial pressure determination, capnometry, end tidal, blood gas monitoring, ventilators, mechanical, ventilator weaning.]

La medición no invasiva continua de la presión de CO₂ al final de la espiración (PetCO₂) constituye uno de los más recientes métodos de vigilancia de la ventilación incorporados a las unidades de tratamiento intensivo (UTI)^{1,2}. Considerando inicialmente sustituto a la medición de presión arterial de CO₂ (PaCO₂), sus resultados pueden diferir considerablemente, ya sea por anormalidades fisiológicas de la relación ventilación perfusión pulmonar³ o por problemas técnicos en su determinación⁴, limitaciones que podrían ser mayores aún en pacientes pequeños⁵⁻⁶.

El propósito de este estudio fue describir la correlación existente entre PetCO₂ y PaCO₂ determinadas en forma simultánea, en pacientes con diferentes grados de compromiso pulmonar, sometidos a ventilación mecánica; el comporta-

miento de la diferencia de PaCO₂ y PetCO₂ (D(a-et)CO₂) según la evolución de esos enfermos y los problemas técnicos y complicaciones asociadas con el empleo de instrumentos de medición de PetCO₂.

Material y Método

Se estudiaron prospectivamente 51 pacientes que ingresaron a la UTI pediátrica del Hospital Luis Calvo Mackenna durante los primeros 8 meses de 1991 y que requirieron de apoyo ventilatorio mecánico.

Al realizar el estudio los pacientes se encontraban sometidos a registros continuos de presión arterial, temperatura y oximetría de pulso (spO₂), exigiéndose, para efectuar las determinaciones, que estuvieran normotensos, sin fiebre y con spO₂ estables en los 20 minutos previos. Todos estaban siendo ventilados a través de tubos endotraqueales sin manguito (balón), mediante respiradores ciclados por tiempo y de presión limitada o volumétricos, cuyos parámetros no fueron modificados en los 30 minutos que precedieron a las lecturas.

1. UTI pediátrica, Hospital Luis Calvo Mackenna.

2. Becada de Pediatría, Universidad de Chile, Sede Oriente.

La determinación de la $P_{et}CO_2$ se efectuó por espectroscopía infrarroja con capnógrafos en línea (Modelo 76-706- CO_2 Nihon Kohden), cuyo adaptador —de 7 cm de longitud y 1,5 cm de diámetro— se instalaba entre el tubo endotraqueal y la conexión en Y de los ventiladores. Los capnógrafos fueron calibrados a cero con aire ambiental. Las lecturas fueron efectuadas por uno de los autores, exigiéndose para que fuera confiable, una adecuada onda de registro del CO_2 espirado (capnograma). Las muestras de sangre para medición de gases fueron obtenidas en forma simultánea a la lectura del CO_2 espirado, extrayéndolas de la línea arterial o por punción con jeringa heparinizada. La $PaCO_2$ fue medida en un analizador automático AVL 995.

Para el análisis de los resultados, los pacientes fueron agrupados en tres categorías según la existencia y gravedad o importancia del compromiso pulmonar, calificándolos sobre bases clínicas, radiológicas y según sus requerimientos de oxígeno en un grupo I, sin afección pulmonar (radiografía de tórax normal, sin requerimiento adicional de oxígeno); grupo II, con afección pulmonar leve (alteraciones focales, menores de un tercio del campo pulmonar, requerimiento de oxígeno menor a 0,5); grupo III, con alteración patológica pulmonar moderada o grave (lesiones pulmonares perceptibles en las radiografías de tórax mayores a un tercio de los campos pulmonares o difusas, requerimientos de oxígeno mayores de FiO_2 0,5). Para cada grupo se estableció el grado de asociación entre la $PaCO_2$ y $P_{et}CO_2$ por medio de la fórmula de regresión lineal. El significado estadístico de las diferencias fue calculado mediante la prueba de Student pareada. Para determinar el comportamiento de $D(a-et)CO_2$, se efectuaron múltiples lecturas simultáneas en días sucesivos relacionándose la diferencia encontrada con la evolución clínica y radiológica.

Se registraron, además, en cada paciente, los problemas presentados en las lecturas y, en siete lactantes que pesaban menos de 7 kg, manejados con ventilación controlada (sedación con morfina, relajación muscular con atracurio) se investigó el efecto producido por la adición del capnógrafo en la $PaCO_2$, para lo cual se realizaron mediciones de gases en muestras de sangre obtenidas de las vías o líneas arteriales antes y 10 minutos después de instalarlo.

Resultados

Catorce pacientes correspondieron al grupo I, 18 al grupo II y 19 al grupo III. El promedio de edad fue 3 años 2 meses, existiendo diferencias significativas en los tres grupos, pues, éste era 4 años 7 meses en el primer grupo, 3 años 8 meses en el segundo y 1 año 10 meses en el tercero. Veintinueve pacientes eran varones.

En los pacientes del grupo I las causas de ventilación mecánica fueron enfermedades neurológicas en ocho (traumatismo encefalocraneano 5, estado convulsivo 2, encefalitis 1) y en seis una intervención quirúrgica precedente de gran magnitud (osteoarticular 2; tumores 2; cardiovascular 2). En los del grupo II el compromiso

pulmonar era secundario a atelectasias o condensaciones focales y su conexión a ventilador estuvo determinada por la magnitud de la enfermedad de base extrapulmonar (neurológicas 5; cardiovasculares 3; tumorales 2; cirugía del aparato digestivo 3; otros 5). Los niños del grupo III fueron sometidos a ventilación por insuficiencia respiratoria debida a afecciones del parénquima pulmonar (bronconeumonía en 13; edema pulmonar no cardiogénico en 3 y hemorragia pulmonar en 3 casos).

El número total de muestras pareadas estudiadas fue 147 y el promedio 2,88 por paciente. Analizado en forma separada, el coeficiente de correlación (r) entre $PaCO_2$ y $P_{et}CO_2$ fue alto en pacientes sin alteraciones pulmonares ($r = 0,98$) o con afecciones leves ($r = 0,95$), disminuyendo claramente en los niños con enfermedad pulmonar moderada o intensa ($r = 0,71$).

El $D(a-et)CO_2$ fue $1,7 \pm 2,5$ mmHg en pacientes con pulmones indemnes, $3,5 \pm 4,2$ mmHg en los que tenían lesiones leves y, en ambos significativamente menor ($p < 0,001$) que en pacientes con alteraciones moderadas o graves, en quienes fue de $19,1 \pm 14,5$ mmHg mostrando con ello amplia dispersión de los valores.

En la figura se puede apreciar mejor la relación entre la $PaCO_2$ y $P_{et}CO_2$ en los pacientes sin afección pulmonar y los con alteración pulmonar moderada o grave.

Durante el estudio, en 7 pacientes del Grupo III, evaluados con capnometría y $PaCO_2$ arterial durante su evolución y en los que mejoró su alteración pulmonar en las perspectivas clínica y radiológica, reduciéndose sus requerimientos de oxígeno a $FiO_2 < 0,5$, observamos disminución del $D(a-et)CO_2$ de 10 mmHg en promedio. Por el contrario, en 4 pacientes en que empeoraron sus manifestaciones clínicas y radiológicas, falleciendo en insuficiencia respiratoria irreversible, se registró aumento promedio del $D(a-et)CO_2$ de 33 mmHg.

El uso del adaptador del capnógrafo en la vía aérea, en los siete lactantes menores en que fue evaluado, no produjo aumento significativo de la $PaCO_2$ (promedio 1,8, variación 0,8 a 3 mmHg), la incidencia de extubaciones y quemaduras por contacto.

Comentario

En el manejo de pacientes sometidos a ventilación mecánica la determinación frecuente del

Figura: a) relación entre PaCO₂ y PetCO₂ en pacientes sin alteraciones pulmonares de base. b) relación entre PaCO₂ y PetCO₂ en pacientes con afecciones pulmonares moderadas o intensas. La línea continua ilustra los valores obtenidos, la interrumpida representa la identidad ideal entre ambos métodos.

estado de oxigenación y ventilación es considerada imprescindible, no sólo para evaluar la severidad de su afección pulmonar y adecuar los parámetros del ventilador, sino también, para seguir su evolución, determinar el momento de desconexión y detectar eventuales complicaciones derivadas de su empleo. Tradicionalmente este control es efectuado, en nuestro medio, a través del análisis de gases arteriales obtenidos por punción. Este procedimiento invasivo, no exento de complicaciones⁷, presenta como principal desventaja brindar información intermitente, a menudo con retardo, demorando en ocasiones la adopción de conductas oportunas que eviten las consecuencias de hipoxemia o hipoventilación prolongadas.

En busca de nuevos sistemas de vigilancia y control que, evitando los riesgos de invasividad,

sean confiables y brinden información continua, han sido desarrollados recientemente procedimientos para mediciones no invasivas de la saturación de hemoglobina (oximetría de pulso) y del anhídrido carbónico espirado (capnometría-capnografía).

Mientras la oximetría de pulso en pacientes pediátricos ha sido incorporada masivamente, después de confirmarse su alta correlación con la saturación de muestras arteriales^{8,9}, la capnometría capnografía, de más reciente desarrollo, no ha sido suficientemente validada. Los escasos estudios publicados ofrecen resultados contradictorios, pues mientras algunos encuentran marcada diferencia entre los valores de PaCO₂ y PetCO₂^{5,6}, sugiriendo que el procedimiento es poco útil, otros muestran buena correlación entre ambos métodos, destacando además, como ventajas del no invasivo, que disminuye la necesidad de muestras arteriales y facilita el retiro del ventilador¹⁰⁻¹². Creemos que, en gran parte, estas diferencias se deben a la falta de clasificación de los pacientes de acuerdo a la gravedad y tipo de afección pulmonar que sufrían. Los criterios de clasificación empleados en este estudio, si bien pueden ser arbitrarios, fueron pensados para hacerlos factibles de usar en la práctica diaria, ya que sólo incluyen variables clínicas y radiológicas.

La medición de la PetCO₂ en pacientes pediátricos tratados con ventilador, sin afecciones pulmonares, muestra buena correlación con la PaCO₂, la que se mantiene en la evolución si las condiciones respiratorias del paciente no se modifican. Bajo estas condiciones y después de haberse comprobado una correlación adecuada, la PetCO₂ puede ser empleada como un sustituto en la determinación de presión arterial de CO₂ y contribuir a disminuir la frecuencia de determinación de gases arteriales con este objetivo, si las condiciones del paciente permanecen estables. En cambio, en niños con afecciones pulmonares moderadas o graves la PetCO₂ difiere considerablemente de la PaCO₂ y en este tipo de pacientes esa medición no puede ser considerada confiable. Esta situación no es condicionada por un defecto en la medición de CO₂ espirado, si no por los mecanismos que rigen la eliminación del CO₂ a nivel pulmonar. Si existe aumento del espacio muerto, como en nuestros casos en que hay ocupación alveolar (debido a neumonía, síndrome de dificultad respiratoria o hemorragia),

se altera la relación entre ventilación y perfusión. El gas proveniente de la unidades afectadas tendrá menor presión de anhídrido carbónico que el correspondiente arterial, por no participar en el intercambio normal de gases y, al mezclarse con los procedentes de unidades pulmonares con relación ventilación perfusión normal, disminuirá el contenido total del CO espirado y, por lo tanto, de la $PetCO_2$, subestimándose la $PaCO_2$ ^{14, 15}.

Esto explica las diferentes conclusiones encontradas en otros estudios y la necesidad de valorar la capnometría relacionándola con el tipo de pacientes en quienes es empleada. Si bien en ciertos casos, en términos absolutos, es menos capaz de predecir la $PaCO_2$, la diferencia encontrada $D(a-et)CO_2$ y su evolución puede ser útil para evaluar indirectamente la gravedad y aumento o disminución del compromiso ventilatorio de estos pacientes. En nuestros casos, cuando esta diferencia fue registrada y en los pacientes empeoraron los signos clínicos o radiológicos, ella aumentó en forma significativa, disminuyendo, por el contrario, cuando se produjo mejoría.

La utilidad de medir $D(a-et)CO_2$ en forma seriada ha sido estudiada en adultos con distrés respiratorio¹⁶, en pacientes que reciben presión positiva al final de la espiración¹⁷ y en los que son retirados del ventilador¹⁸. En estos casos existe estrecha concordancia entre la relación volumen corriente a espacio muerto y $D(a-et)CO_2$. Mientras lograr la medición de los primeros resulta engorrosa en la práctica habitual, la determinación del gradiente de la $PaCO_2$ y $PetCO_2$ fue fácil y valiosa para valorar la eficiencia de la ventilación y la evolución de los pacientes. Si los estudios son validados en niños, puede ser útil para determinar el momento de la extubación convirtiéndose en otro criterio a considerar en esta decisión.

A pesar que —teóricamente— se señalaba como una importante limitación del tipo de capnógrafo usado, el reducido volumen corriente de lactantes pequeños, porque podría afectar la determinación de la $PetCO_2$, en niños de más de 3,5 kg de peso fue posible obtener buenos registros, siendo las diferencias en la capnometría similares a las de los niños mayores. Sin embargo, en pacientes pequeños que evolucionaron a muerte cerebral o que fueron entubados con tubos muy pequeños para el tamaño de su laringe, el cap-

nógrafo falló en registrar los valores de $PetCO_2$. Ello probablemente debido a escape importante del aire del volumen corriente alrededor del tubo endotraqueal, lo que deducimos del aspecto de la onda capnográfica en estas situaciones, caracterizado por lento ascenso inicial y menor amplitud¹⁹.

Otro inconveniente, señalado especialmente en recién nacidos, es la influencia que puede tener el adaptador añadido al tubo endotraqueal en aumentar el espacio muerto instrumental y producir incremento de la $PaCO_2$ arterial⁵. Sin embargo, en nuestro caso, las variaciones encontradas no fueron significativas y, por tanto, no puede ser un factor que limite su utilización.

Basados en esta experiencia, pensamos que la medición del CO_2 espirado constituye un método útil de vigilancia de la ventilación en pacientes pediátricos tratados con respirador mecánico, pero sus resultados deben ser interpretados conociendo sus limitaciones. En pacientes sin afección pulmonar o con compromiso leve, puede sustituir a la determinación de PCO_2 arterial, pero en aquellos con enfermedad pulmonar más importante no constituye un sustituto confiable, siendo en estos casos de más valor la tendencia observada en el $D(a-et)CO_2$. Su uso asociado a una adecuada observación y correcta interpretación del registro gráfico (capnografía) permite, por un método no invasivo de información continua y exenta de riesgo, el pronto reconocimiento de alteraciones de la ventilación y creemos que conviene incorporarla en la atención de pacientes que requieren ventiladores en nuestro medio, siempre y cuando otros métodos más esenciales de vigilancia y control estén ya disponibles, como es el caso de ventilador con alarmas, oximetría de pulso y otros.

Resumen

En 51 pacientes pediátricos tratados con ventiladores mecánicos, agrupados en tres conjuntos según la intensidad de su afección pulmonar, se determinó la utilidad y limitaciones de la medición de CO_2 espirado ($PetCO_2$) para conocer la presión arterial de CO_2 . Se efectuaron 147 determinaciones simultáneas de la $PaCO_2$ y de la $PetCO_2$ (capnógrafo en línea Modelo T6-706-PLO Nihon-Koden) en 14 niños con pulmón sano, 18 con compromiso pulmonar leve y 19 com-

promiso pulmonar moderado o intenso. El coeficiente de correlación encontrado fue alto en los pacientes sin afección pulmonar $r = 0,98$ o con compromiso pulmonar leve $r = 0,95$ y menor en los que tenían alteración pulmonar moderada o grave $r = 0,71$. La gradiente $\text{PaCO}_2 - \text{PetCO}_2$ fue baja en pacientes con pulmón sano ($1,7 \pm 2,5$ mmHg) a diferencia de lo observado en aquellos con afección pulmonar moderada o severa ($19,1 \pm 14,5$ mmHg). Concluimos que en pacientes pediátricos ventilados, con pulmón sano o levemente alterado, la determinación de la PetCO_2 muestra buena correlación con la PaCO_2 , sin embargo, en aquellos con mayor compromiso pulmonar la PetCO_2 subestima la PaCO_2 y no constituye un sustituto en su determinación. El gradiente $\text{PaCO}_2 - \text{PetCO}_2$ aumenta en relación a la severidad del compromiso pulmonar manteniéndose útil como indicador de tendencia en la evolución del paciente individual.

(Palabras clave: Anhídrido carbónico, presión parcial, medición de gases arteriales, capnometría, presión parcial en gases del final de la espiración, vigilancia de gases arteriales, ventiladores mecánicos, retirada de ventilador).

Agradecimientos

A la Fundación Consorcio Nacional Vida por la donación de los equipos utilizados en la monitorización de nuestros pacientes y que fueron empleados en la ejecución de este trabajo. A don. Angel Fuentes por la revisión estadística de nuestros resultados.

Referencias

1. Tobin MJ: Respiratory monitoring in the Intensive Care Unit. *Am Respir Dis* 1988; 138: 1625-1642.
2. Stock MC: Non Invasive carbon dioxide monitoring. *Crit Care Clin* 1988; 4: 511-526.
3. Yamanaka M and Sue D: Comparison of arterial-end tidal PCO_2 . Difference and dead space tidal volume ratio in respiratory failure. *Chest* 1987; 5: 832-835.
4. Badgwell JM, McLead ME, Lerman J, Creighton RE: End-tidal PCO_2 measurements sampled at the

- distal and proximal ends of the endotracheal tube in infants and children. *Anesthesiology* 1987; 66: 959-964.
5. McEvedy B, McLead M, Mulera M, Kinpalani H, Lerman J: End-tidal, transcutaneous and arterial PCO_2 measurements in critically ill neonates: A comparative study. *Anesthesiology* 1988; 69: 112-116.
6. Epstein M, Aaron C, Feldman H and Raemer D: Estimation of PaCO_2 by two non invasive methods in the critically ill newborn infant. *J Pediatr* 1985; 106: 282-286.
7. Smith Wright DL, Green TP, Lock JE et al.: Complications of vascular catheterization in critically ill children. *Crit Care Med* 1984; 12: 1015.
8. Fanconi S, Doherty P, Edmonds J, Berker G and Desmond J: Pulse oximetry in Pediatric Intensive Care: Comparison with measured saturations and transcutaneous oxygen tension. *J Pediatr* 1985; 107: 362-366.
9. *Proceedings of the Broadmoor Symposium: The uses, benefits and limitations of pulse oximetry in neonatal medicine*, *J Perinatology* 1987; VII: 305-349.
10. Sladjien R, Renaghon R, Ashion J and Wyner J: Reliability of end tidal CO_2 monitoring after cardiac surgery. *Anesthesiology* 1985; 63: A 142.
11. Weinger MB, Brimm JP, Binzeno RK, Utley JR, Peters RM: End tidal carbon dioxide as a measure of arterial carbon dioxide during intermittent mandatory ventilation. *Chest* 1981; 80: 380.
12. Niethoff J, Del Cuercio C, Lemonte W: Efficacy of pulse oximetry and capnometry in post operative ventilatory weaning. *Crit Care Med* 1988; 16: 701-705.
13. Bissonnette B, Lerman J: Single breath end tidal CO_2 estimator of arterial PCO_2 in infants and children. *J Clin Monit* 1989; 5: 63-64.
14. Jones NL, McHardy GL, Neimark A, Campbell EJ: Physiologic dead space and alveolar-arterial gas pressure differences during exercise. *Clin Sci* 1966; 31: 19-29.
15. Swedlow D: Indications and limitations of respiratory monitoring: pulse oximetry and capnography. In *Pediatric critical care clinical review series. Part 2. The Society of Critical Care Medicine* 1990: 67-86.
16. Shimode J, Yashiya J, Tanaka K, Sone S, Sakurai M: Evaluation of the progress and prognosis of adult respiratory distress syndrome: simple respiratory physiologic measurement. *Chest* 1979; 76: 180-186.
17. Murray IP, Modell JH, Gallagher TJ, Benner MJ: Titration of PEEP by the arterial minus end tidal carbon dioxide gradient. *Chest* 1984; 85: 100-104.
18. Menabb L, Globerson T, Clain St, Wilson AF: The arterial end tidal CO_2 difference in patient on ventilators. *Chest* 1981; 80: 381.
19. Blanch L: Capnografía En: Nel A, Benito S. *Función pulmonar en el paciente ventilado*, Barcelona: Ediciones Doyma 1990; 200-218.