

## Comparación de $CO_2$ al final de la espiración y presión arterial de $CO_2$ en pacientes pediátricos con ventilación mecánica

Dra. Rosario Becerra Velásquez,

Médico asistente de la Unidad de Cuidados Intensivos, Instituto Especializado de Salud del Niño.

Dr. José Tantaleán Da Fieno,

Médico asistente de la Unidad de Cuidados Intensivos, Instituto Especializado de Salud del Niño.

Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, Perú

### RESUMEN

**Introducción:** El  $CO_2$  medido al final de la espiración (ETCO<sub>2</sub>) es una alternativa no invasiva para monitorizar la presión arterial de  $CO_2$  (PaCO<sub>2</sub>) de pacientes en ventilación mecánica. Existen pocos estudios sobre la validez de este método en las unidades de cuidados intensivos pediátricos y neonatales. **Objetivos:** 1) determinar si existe correlación entre la presión arterial de  $CO_2$  y el ETCO<sub>2</sub> en pacientes pediátricos en ventilación mecánica y 2) determinar si la medición del  $CO_2$  al final de la espiración, puede ser utilizada para estimar la ventilación en pacientes pediátricos con ventilación mecánica.

**Material y métodos:** Estudio prospectivo, y la muestra del estudio estuvo constituida por 20 niños en ventilación mecánica que ingresaron a la Unidad de Cuidados Intensivos del Instituto de Salud del Niño, entre los meses de Abril a Mayo del 2003. Se tomaron muestras de gases sanguíneos arteriales y en forma simultánea se registró el valor de ETCO<sub>2</sub> del capneógrafo. La relación entre ETCO<sub>2</sub> y PaCO<sub>2</sub> fue analizada usando correlación de Pearson, regresión lineal, prueba t de student, con un nivel de confianza del 95%. Un valor de  $p < 0.05$  fue considerado estadísticamente significativo.

**Resultados:** Fueron recolectados 28 pares de datos de los 20 pacientes, los que fueron sometidos a análisis. Las edades de los pacientes estuvieron comprendidas entre 16 días y 12 años, con un promedio de 2.1 años. El ETCO<sub>2</sub> se correlacionó fuertemente con la PaCO<sub>2</sub>; la r de Pearson (correlación) fue de 0.837,  $p < 0.001$ . La ecuación de regresión de PaCO<sub>2</sub> fue igual a  $ETCO_2 = -2.3 + 0.969 \times PaCO_2$ . El ETCO<sub>2</sub> fue generalmente menor que la PaCO<sub>2</sub>. El promedio de PaCO<sub>2</sub> fue 32.82 +/- 7.37 mmHg y el ETCO<sub>2</sub> de 29.42 +/- 8.53 mmHg, diferencia no significativa ( $p = 0.12$ ,  $t = 1.59$ ). La diferencia entre ETCO<sub>2</sub> y PaCO<sub>2</sub> fue  $< = 5$  en 20/ 28 pares de muestras, con un promedio de 4.55 mmHg.

**Conclusiones:** Se encontró correlación positiva entre el ETCO<sub>2</sub> y PaCO<sub>2</sub>. El ETCO<sub>2</sub> proporcionaría una estimación real de la ventilación en pacientes pediátricos en ventilación mecánica.

**Palabras clave:** CO<sub>2</sub>, capnografía, ventilación mecánica, UCI

### SUMMARY

**Introduction:** Measuring end tidal CO<sub>2</sub> (ETCO<sub>2</sub>) is a non-invasive alternative to arterial CO<sub>2</sub> (PaCO<sub>2</sub>) to monitorize patients in mechanical ventilation. There are scarce data about efficacy of this methodology in pediatric and neonatal intensive care units.

**Objectives:** 1) to determine if there is correlation between PaCO<sub>2</sub> and ETCO<sub>2</sub> in pediatric patients with mechanical ventilation; 2) to determine if measured ETCO<sub>2</sub> can be used to evaluate ventilation in these patients.

**Methodology:** We prospectively studied 20 children on mechanical ventilation who were admitted to the Pediatric Intensive Care Unit of the Instituto Especializado de Salud del Niño during April and May

of 2003. When indicated, arterial blood gases were drawn, and, simultaneously, the ETCO<sub>2</sub> value that appeared on the capnometer was registered. Relation between ETCO<sub>2</sub> and PaCO<sub>2</sub> was analyzed using Pearson correlation, linear regression, student t test, with a confidence level of 95%. A p value  $p < 0.05$  was considered significant.

**Results:** 28 pairs of samples (arterial - ETCO<sub>2</sub>), corresponding to the 20 patients, were analyzed. Age ranged from 16 days to 12 years, average was 2.1 years. Measured ETCO<sub>2</sub> was strongly correlated with PaCO<sub>2</sub>; and the r of Pearson (correlation) was 0.837,  $p < 0.001$ . The regression equation of PaCO<sub>2</sub> was  $ETCO_2 = -2.3 + 0.969 \times PaCO_2$ . Measured ETCO<sub>2</sub> was usually lower than PaCO<sub>2</sub>. The average PaCO<sub>2</sub> was 32.82 +/-

7.37 mmHg, and the average  $\text{ETCO}_2$  was  $29.42 \pm 8.53$  mmHg, difference not significant ( $p = 0.12$ ,  $t = 1.59$ ). The difference between  $\text{ETCO}_2$  and  $\text{PaCO}_2$  was  $< = 5$  in 20/ 28 pairs of samples, with an average of 4.55 mmHg.

Conclusions: There was a positive correlation between  $\text{ETCO}_2$  and  $\text{PaCO}_2$ .  $\text{ETCO}_2$  could estimate actual ventilation of pediatric patients in mechanical ventilation.

Key words:  $\text{CO}_2$ , capnography, mechanical ventilation, PICU

## INTRODUCCIÓN

Las funciones primarias del sistema cardiorrespiratorio son proporcionar adecuado oxígeno a los tejidos y eliminar el  $\text{CO}_2$  producido por ellos. En los pulmones, el  $\text{CO}_2$  difunde desde los capilares pulmonares a los alveolos, desde donde la ventilación alveolar minuto remueve el  $\text{CO}_2$  <sup>(1,2,3)</sup>. Las enfermedades cardiorrespiratorias en infantes y niños se asocian con frecuencia a anormalidades en la oxigenación y la eliminación de  $\text{CO}_2$ , requiriendo estas de un monitoreo adecuado <sup>(2,3)</sup>.

Algunos niños, con diferentes tipos de patologías y con diferente grado de compromiso pulmonar, presentan insuficiencia respiratoria, y muchos de éstos requerirán soporte ventilatorio. La ventilación mecánica es una de las tecnologías de soporte de vida más comúnmente usadas en las unidades de cuidados intensivos pediátricos. En estos pacientes, la evaluación frecuente de la oxigenación y ventilación son imprescindibles, para asegurar un manejo óptimo del soporte respiratorio, evitando los excesos y defectos en la programación del ventilador <sup>(1)</sup>.

Los gases sanguíneos arteriales continúan siendo el patrón de referencia para la evaluación del estado ácido básico y del intercambio gaseoso en pacientes pediátricos. Sin embargo, su medición no es continua, la punción arterial es dolorosa, demandan tiempo para ser procesados en el laboratorio y requieren del contacto con la sangre del paciente <sup>(4,5)</sup>, lo que compromete la bioseguridad.

Los valores más importantes del monitoreo de la función pulmonar en pacientes en ventilación mecánica son la  $\text{PaO}_2$  y el  $\text{PaCO}_2$ , los cuales se miden de manera intermitente con los análisis de gases arteriales, y reflejan la capacidad oxigenatoria y ventilatoria, respectivamente, del sistema respiratorio. Con cierta frecuencia, algunos pacientes requieren de mediciones frecuentes de gases arteriales, lo que requeriría de punciones arteriales reiteradas. En estos casos, se ha planteado el monitoreo continuo de gases sanguíneos arteriales, lo que permite reconocer cambios

inmediatos en los gases sanguíneos y hacer ajustes oportunos en la terapia <sup>(6)</sup>. Sin embargo, para ello se requiere de la inserción de un catéter arterial permanente.

Es importante el control de  $\text{CO}_2$ , debido a que datos recientes en neonatos indican que bajas presiones de  $\text{CO}_2$  pueden contribuir al desarrollo de enfermedad pulmonar crónica y leucomalacia periventricular, mientras que niveles altos pueden incrementar el flujo sanguíneo cerebral e incrementar el riesgo de hemorragia intraventricular <sup>(7-11)</sup>. En niños de mayor edad con problemas de hipertensión endocraneal o hipertensión pulmonar, también es importante controlar el nivel de  $\text{CO}_2$ , por los efectos de éste sobre la vasculatura cerebral o pulmonar <sup>(12)</sup>.

Los métodos no invasivos para la medición del oxígeno y  $\text{CO}_2$  han ido ganando una aceptación cada vez mayor. La evaluación continua de estos gases, a través de métodos no invasivos, tienen la ventaja adicional de no ser dolorosos, logrando mayor comfort del niño. La oximetría de pulso es el método preferido para el monitoreo continuo de la oxigenación de sangre arterial debido a su fácil uso, ausencia de efectos adversos y precisión reportada <sup>(13-18)</sup>. Para evaluar el estado ventilatorio, se mide la presión parcial de  $\text{CO}_2$  en sangre arterial ( $\text{PaCO}_2$ ). El método no invasivo para medir este gas se denomina capnometría.

La capnometría mide el  $\text{CO}_2$  en el aire espiratorio al final de la espiración. La composición del aire al final de la espiración refleja cercanamente la composición de aire alveolar sin el efecto del espacio muerto, por lo que el  $\text{ETCO}_2$  puede ser usado como una medida continua, indirecta de  $\text{PaCO}_2$  <sup>(1)</sup>. En condiciones normales, el  $\text{ETCO}_2$  es de 1 a 2 mmHg (hasta 5 mmHg) menor que la  $\text{PaCO}_2$  <sup>(2,3)</sup>.

La medición del  $\text{CO}_2$  al final de la espiración ( $\text{ETCO}_2$ ) es una tecnología relativamente nueva, que tiene muchas aplicaciones potenciales. Además de ser útil en verificar la posición del tubo endotraqueal (si el tubo está en el esófago no se registrará presencia de  $\text{CO}_2$ ), es una herramienta útil en el monitoreo no invasivo durante la reanimación cardiopulmonar, en el shock, convulsiones, asma y sedación <sup>(19-25)</sup>, dado que el nivel de  $\text{CO}_2$  en el alveolo depende de una adecuada perfusión vascular pulmonar. Por ejemplo, en un trabajo realizado por Garnet AR et al, los cambios en el  $\text{ETCO}_2$  fueron frecuentemente el primer indicador clínico del retorno de la circulación espontánea en pacientes con paro cardiorrespiratorio <sup>(23)</sup>.

Trabajos previos han mostrado la validez de la capnometría en pacientes adultos <sup>(2,20,26,27,28)</sup>. Sin

embargo, existen pocos estudios sobre este método en las unidades de cuidados intensivos pediátricos y neonatales (7,29).

Los objetivos del presente estudio fueron: 1) determinar si existe correlación entre la presión arterial de CO<sub>2</sub> y el ETCO<sub>2</sub> en pacientes pediátricos en ventilación mecánica y 2) determinar si la medición del CO<sub>2</sub> al final de la espiración puede ser utilizada para estimar la ventilación en pacientes pediátricos con ventilación mecánica.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó un registro no randomizado de muestras pareadas simultáneas de PaCO<sub>2</sub> y ETCO<sub>2</sub> en niños que ingresaron a la Unidad de Cuidados Intensivos del Instituto de Salud del Niño, entre los meses de Abril a Mayo de 2003 y sometidos a ventilación mecánica. No hubo restricción de edad.

Los criterios de inclusión fueron: pacientes menores de 18 años de edad con o sin patología pulmonar. Los criterios de exclusión fueron: inestabilidad hemodinámica, pacientes con traqueostomía, pacientes con cardiopatía congénita y pacientes con coagulopatía conocida. Se seleccionó a los sujetos según muestreo por conveniencia. Se definió inestabilidad hemodinámica cuando la presión arterial estuvo por debajo de 2 DS para la edad del paciente o si requirió de dosis elevadas de agentes vasoactivos para alcanzar esa cifra.

La presión parcial de CO<sub>2</sub> (PaCO<sub>2</sub>) en mmHg estuvo determinada por la máquina analizadora de gases arteriales Nova, cuya exactitud tiene una DS de 0.3 mM/L. El CO<sub>2</sub> al final de la espiración (ETCO<sub>2</sub>) estuvo determinado por un capnógrafo Nihon Kohden BSM- 8310K, serie 02995-6, de flujo central. Todas las determinaciones de capnometría se realizaron inmediatamente después de la calibración del equipo.

Se tomaron las muestras de gases sanguíneos arteriales por indicación del médico tratante, y en forma simultánea el investigador principal observó y anotó el valor de ETCO<sub>2</sub> registrado en el capnógrafo, y se calculó la relación entre la PaCO<sub>2</sub> y la FiO<sub>2</sub> (Pa/Fi). Consideramos una Pa/Fi > 300 como indicativo de daño pulmonar leve a moderado, entre 201 - 300 como moderado a severo y < 200 como severo. Las muestras arteriales fueron analizadas inmediatamente en un analizador de gases sanguíneos, el que se encuentra en la UCI.

En una hoja de recolección de datos se registró además del valor del ETCO<sub>2</sub> y PaCO<sub>2</sub>, la edad, diagnósticos, funciones vitales, score de riesgo de mortalidad

pediátrico, informe de radiografía de tórax y parámetros del ventilador.

La relación entre ETCO<sub>2</sub> y PaCO<sub>2</sub> fue analizada usando regresión lineal; correlación de Pearson con un intervalo de confianza del 95%, determinándose como hipótesis nula que no existe correlación entre ambas variables, lo cual no se rechazó si el valor de p era mayor del nivel de significación 0.05 y se rechazó si era menor de 0.05. Un valor de p menor de 0.05 fue considerado estadísticamente significativo. La diferencia entre los valores de ETCO<sub>2</sub> y PaCO<sub>2</sub> fue determinada a través de la prueba t de student para valores con distribución normal o a través de la prueba U de Mann Whitney para valores de distribución no normal. Se consideró que una diferencia PaCO<sub>2</sub> - ETCO<sub>2</sub> = 5 representa una cifra clínicamente apropiada para valorar el ETCO<sub>2</sub> como indicador del estado ventilatorio.

## RESULTADOS

Durante el periodo del estudio (Abril y Mayo de 2003) se admitieron 55 pacientes a la UCI del IESN. Cuarenta de ellos fueron sometidos a ventilación mecánica, de los cuales 20 niños ingresaron al presente estudio. El 50% de pacientes fueron varones, cuyas edades estuvieron comprendidas entre 16 días y 12 años (promedio de 2.1 años, DE 1.7). En la Tabla 1 se describen la edad, diagnósticos, servicio de procedencia, score de riesgo de mortalidad pediátrico (PRISM) y diagnóstico radiológico de cada paciente. El promedio de PRISM fue de 17.05 (DE: 9.36).

Presentaron patología pulmonar 13 de 20 pacientes (65%), y los diagnósticos radiológicos fueron: síndrome de distress respiratorio agudo (ARDS) en 2/13 (15%), atelectasia en 2/13 pacientes (15%) y bronconeumonía en 9/13 (70%) (Tabla 1).

Los pacientes fueron ventilados usando ventiladores Sechrist IV 100 y Horus Taema, con modo asistido controlado por volumen, presión o tiempo. Las muestras analizadas correspondieron a pacientes en ventiladores controlados por presión en 23/28 (82%) y controlados por volumen en 5/28 (18%). Los parámetros de ventilador se describen en la Tabla No. 2.

Se recolectaron 28 pares de datos de los 20 pacientes, los que fueron sometidos a análisis. De los 28 pares de muestras 7/28 (25%) fueron tomadas de pacientes sin patología pulmonar y 21/28 (75%) de pacientes con esta patología. De los 7 pacientes sin patología pulmonar, se tomó una muestra pareada en cada uno de ellos. De los 13 pacientes con patología pulmonar se tomaron 21 muestras pareadas: 10 pacientes contribuyeron con una muestra cada uno, y las 11 muestra restantes fueron obtenidas de 3 pacientes

(uno con 2, uno con 4 y uno con 5 muestras). La relación Pa/Fi O<sub>2</sub> fue > 300 en 11 casos, entre 201 - 300 en 8 y < 200 en 9 ocasiones.

El ETCO<sub>2</sub> fue generalmente menor que la PaCO<sub>2</sub>. El promedio de PaCO<sub>2</sub> fue de 32.82 +/- 7.37 mmHg y el ETCO<sub>2</sub> fue de 29.42 +/- 8.53 mmHg, no existiendo diferencia significativa entre ambas cifras (t = 1.59; p = 0.12). La diferencia global promedio entre la PaCO<sub>2</sub>-ETCO<sub>2</sub> fue de 4.55 (DS:3.5, rango 0-10.9) (Tabla No. 3). La diferencia entre ETCO<sub>2</sub> y PaCO<sub>2</sub> fue < = 5 en 21/28 (75%) pares de muestras. De las 7 muestras de niños cuya diferencia entre el PaCO<sub>2</sub> y ETCO<sub>2</sub> fue > de 5, seis correspondieron a pacientes con patología pulmonar.

El ETCO<sub>2</sub> se correlacionó fuerte y positivamente con la PaCO<sub>2</sub>. El coeficiente de correlación de Pearson fue de 0.837, p < 0.001 (Gráfico No. 1). La ecuación para el análisis de regresión de PaCO<sub>2</sub> fue igual a:

ETCO<sub>2</sub> = -2.3 + 0.969 x PaCO<sub>2</sub>. Esto significa que cada mm de Hg de variación de la PaCO<sub>2</sub> resultará en una variación del ETCO<sub>2</sub> en 0.969 mm de Hg, considerando una r<sup>2</sup> = 0.70.

En los pacientes con radiografías normales, el promedio de la diferencia entre PaCO<sub>2</sub> y ETCO<sub>2</sub> fue de 3.71 mmHg (DE: 3.43), y en los pacientes con radiografías anormales el promedio fue de 4.83 mmHg (DE: 3.57). No hubo diferencia estadísticamente significativa entre estos dos grupos (p = 0.47, U de Mann Whitney). Se observó una diferencia entre PaCO<sub>2</sub> - ETCO<sub>2</sub> = 5 en 21/28 casos. En los 19 casos con una Pa/Fi > 200 esta diferencia se encontró en 15 (79%); en los 9 casos con una Pa/Fi < 200 esta diferencia se encontró en sólo 6 (67%).

Los 28 pares de muestras se analizaron para evaluar la capacidad del ETCO<sub>2</sub> de predecir hipocapnea o hipercapnea. Definimos hipocapnea a una PaCO<sub>2</sub> < 30 mm de Hg; según nuestra ecuación de regresión lineal, el nivel de ETCO<sub>2</sub> correspondiente era de < 27. Así, un ETCO<sub>2</sub> < 27 tuvo una sensibilidad de 88.9%, especificidad de 89.5%, un valor predictivo positivo de 80% y un valor predictivo negativo de 94.4%. Definimos hipercapnea una PaCO<sub>2</sub> > 45 mmHg; el valor de ETCO<sub>2</sub> correspondiente según nuestra ecuación de regresión lineal fue de > 41. Un ETCO<sub>2</sub> > 41 tuvo una sensibilidad de 100%, especificidad de 88.5%, un valor predictivo positivo de 40% y un valor predictivo negativo de 100%.

Tabla 1. Características de los pacientes durante obtención de muestras

ID	EDAD (meses)	DIAGNÓSTICOS DE INGRESO	SERVICIO	SCORE DE PRISM	DIAGNÓSTICO RADIOLÓGICO	
1	7	DOM / ARDS / Postoperado Obstrucción intestinal.	SOP	23	Anormal	ARDS
2	12	Sepsis / Síndrome convulsivo	Infectología	15	Anormal	Bronconeumonía
3	2	Asfixia neonatal / Sind post PCR	Neonatología	39	Normal	
4	5	Sepsis / Neumonía intra Hosp. / ITU	Neumología	11	Anormal	Atelectasia Der.
5	1	Insuficiencia renal / ITU	Emergencia	17	Normal	
6	24	Quemadura III - Shock séptico	Quemados	38	Anormal	Bronconeumonía
7	1	Sepsis / bronconeumonía	Emergencia	3	Anormal	Bronconeumonía
8	9	DOM / ARDS	Infectología	17	Anormal	ARDS
9	1	Post Ope. Hernia diafragmática	SOP	8	Normal	
10	14	TEC grave / P.O. hematoma cerebral	SOP	15	Normal	
11	3	Post Ope. Eventración diafragma der.	SOP	10	Normal	
12	12	Neumonía intra. hospit./atelectasia	Neumología	8	Anormal	Atelectasia Sup Der.
13	72	Sepsis por estafilococo/ bronconeumonía	Emergencia	22	Anormal	Bronconeumonía
14	16	Shock hipovolémico/Hiponatremia	Emergencia	21	Anormal	Bronconeumonía
15	144	Shock séptico / Post. Ope. Peritonitis	SOP	13	Anormal	Bronconeumonía
16	9	Sepsis/neum.intra hospitalaria (NIH)	Cardiología	20	Anormal	Bronconeumonía
17	2	Shock séptico/bronconeumonía	Emergencia	18	Anormal	Bronconeumonía
18	30	Politraumatizado/TEC grave	Emergencia	15	Normal	
19	20	Shock séptico/Neum. IH/miocarditis	Medicina	23	Anormal	Bronconeumonía
20	122	Exéresis MAV/evacuación hematoma	SOP	5	Normal	

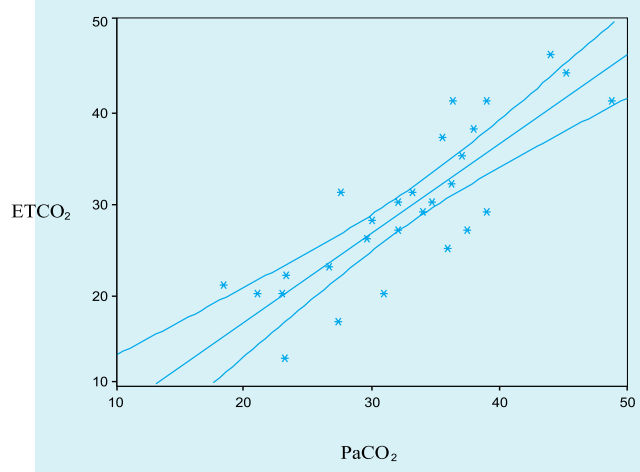
Tabla 2. Resumen de parámetros de ventilador

Parámetros	Valor mínimo	Valor máximo	Promedio	Desviación estándar
Frecuencia respiratoria	10	60	30.39	14.10
Presión inspiratoria pico	8	38	23.44	6.98
Presión positiva al final de la espiración	3	14	6.71	3.58
Tiempo inspiratorio	0.40	1.40	0.75	0.30
Fracción inspiratoria de oxígeno	0.30	0.80	0.49	0.16

Tabla 3. Diferencia entre presión arterial de CO<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> al final de la espiración

	Valor mínimo	Valor máximo	Promedio	Desviación estándar
PaCO <sub>2</sub>	18.4	48.8	32.82	7.37
ETCO <sub>2</sub>	13	46	29.42	8.53
PaCO <sub>2</sub> - ETCO <sub>2</sub>	0	10.9	4.55	3.51

Gráfico 1. Correlación entre CO<sub>2</sub> al final de espiración y presión arterial de CO<sub>2</sub>



Coefficiente de correlación de Pearson :  $r = 0.837$ ;  $p < 0.001$   $r^2 = 0.70$

## DISCUSIÓN

El CO<sub>2</sub> es producido durante el metabolismo celular y es transportado por el sistema venoso al lado derecho del corazón y luego es bombeado dentro de los pulmones por el ventrículo derecho. El CO<sub>2</sub> difunde entonces dentro del aire exhalado, en donde puede ser medido por la capnometría. La capnometría, por lo tanto, proporciona una medida no invasiva del metabolismo, gasto cardiaco, perfusión (Q) y ventilación pulmonar (V).

La composición del aire espirado refleja cercanamente la composición de aire alveolar sin el efecto del espacio

muerto, por lo que el ETCO<sub>2</sub> puede ser usado como una medida continua, indirecta de la PaCO<sub>2</sub> (1). Usualmente el ETCO<sub>2</sub> es algo menor que la PaCO<sub>2</sub>. La diferencia entre la PaCO<sub>2</sub> y ETCO<sub>2</sub> es influenciada por alteraciones de la ventilación y perfusión pulmonar (1,6).

Se observa un incremento de ETCO<sub>2</sub> en el caso de aumento del metabolismo, aumento de perfusión pulmonar, depresión del sistema nervioso central, obstrucción mecánica y patología respiratoria obstructiva. Por otro lado, puede notarse una disminución del ETCO<sub>2</sub> cuando el metabolismo disminuye, en disminución de perfusión pulmonar, hiperventilación, aumento de espacio muerto y embolia pulmonar. Se puede encontrar ausencia de ETCO<sub>2</sub> en paro cardiaco, desconexión de ventilador, intubación esofágica y falla del capnógrafo (1).

La capnometría y la capnografía (el registro gráfico de la concentración de CO<sub>2</sub> durante el ciclo respiratorio) han empezado a ser métodos estándar en la sala de operaciones. Sin embargo, su uso en unidades de cuidados intensivos pediátricos aun no está estandarizado (1,6). La capnografía es útil para detectar inmediatamente problemas clínicos como intubación esofágica, extubación accidental, obstrucción del tubo endotraqueal, mal funcionamiento del ventilador o desconexión de éste (1,22,23,25).

Se espera una relación óptima entre los valores de PaCO<sub>2</sub> y ETCO<sub>2</sub> cuando hay una relación normal de la ventilación / perfusión (V/Q). Como en los pacientes críticos la relación V/Q está generalmente alterada, se espera que en estos pacientes el ETCO<sub>2</sub> probablemente no refleje adecuadamente el valor de PaCO<sub>2</sub>. A pesar de ello, los estudios han demostrado resultados variables de la correlación entre el ETCO<sub>2</sub> y PaCO<sub>2</sub>, tanto en pacientes adultos como en niños (7,28-31).

Por ejemplo, en adultos con trauma craneal y compromiso pulmonar asociado (Síndrome de Dificultad Respiratoria Aguda, SDRA) se encontró una correlación pobre entre PaCO<sub>2</sub> y ETCO<sub>2</sub> (28). En este mismo estudio, sin embargo, la correlación fue buena si no había enfermedad pulmonar (definida como el uso de PEEP < 5 cm de H<sub>2</sub>O). Otro estudio realizado en adultos (32) durante el destete de pacientes en ventilación mecánica, tuvo conclusiones semejantes: se analizaron 16 pacientes que no tenían patología pulmonar, 22 pacientes con enfermedad parenquimal y 13 pacientes con enfisema pulmonar. Los autores concluyeron que la capnografía ofrece una estimación razonable de la PaCO<sub>2</sub> durante el destete de la ventilación mecánica en pacientes sin patología pulmonar. Sin embargo, es menos sensible en pacientes con patología pulmonar, especialmente en pacientes con enfisema.

Tres estudios más de adultos no mostraron buena correlación entre la PaCO<sub>2</sub> y el ETCO<sub>2</sub>. Russel<sup>(33)</sup>, en un estudio realizado en pacientes politraumatizados con ventilación mecánica, sólo encontró una correlación lineal en 40% de los casos. La correlación positiva entre PaCO<sub>2</sub> (44 + / - 10 mmHg) y el ETCO<sub>2</sub> (30 + / - 10 mmHg) ( $r = 0.64$ ,  $p < 0.01$ ) indicaron significancia estadística, pero solo 40% de los cambios reflejó una relación lineal. Christensen<sup>(34)</sup>, en pacientes neuroquirúrgicos sometidos a hiperventilación, halló que la correlación entre el ETCO<sub>2</sub> y la PaCO<sub>2</sub> no fue buena. Domsky<sup>(35)</sup>, en un estudio realizado en pacientes adultos críticos (mortalidad de 41%), encontró que los pacientes que presentaban bajos valores de ETCO<sub>2</sub> y pobre correlación entre PaCO<sub>2</sub> y ETCO<sub>2</sub> tuvieron alta mortalidad asociada a hipotermia y bajo gasto cardíaco, reflejando pacientes con pobre perfusión pulmonar

En contraste con estos estudios, en un artículo publicado por Weigner<sup>(31)</sup>, realizado en 25 pacientes adultos sometidos a cardiotoromía y que se encontraban en destete de ventilación mecánica, se describe una buena correlación. Hallaron un coeficiente de correlación de 0.786 ( $p < 0.001$ ), con una diferencia de 4.24 + / - 4.42 mmHg ( $p < 0.01$ ). Los autores concluyeron que el monitoreo del ETCO<sub>2</sub>, independientemente del patrón respiratorio, proporciona un indicador clínicamente útil de PaCO<sub>2</sub> en pacientes post cardiotoromía. Asimismo, en el estudio realizado por Kerr<sup>(28)</sup>, mencionado previamente, el ETCO<sub>2</sub> y PaCO<sub>2</sub> se correlacionaron bien ( $r = 0.77$ ) en pacientes que no tenían enfermedad pulmonar.

Nosotros hemos encontrado que existe buena correlación entre la PaCO<sub>2</sub> y el ETCO<sub>2</sub> en pacientes pediátricos con ventilación mecánica ( $r = 0.837$ ,  $p < 0.001$ ), en los que la mayoría tuvieron compromiso pulmonar moderado a severo (17/28 muestras procedieron de pacientes con Pa/Fi < 300). Estos hallazgos son similares a los encontrados en los trabajos realizados en niños por Rozicky, McDonald y Meredith<sup>(7, 29, 30)</sup>.

En el estudio realizado por Mc Donald en 129 niños (edad: 3 días hasta 30 años, promedio 4.1 años) con ventilación mecánica, la diferencia entre ETCO<sub>2</sub> y PaCO<sub>2</sub> fue de 4.7 + / - 8.2 mmHg. El ETCO<sub>2</sub> se correlacionó fuertemente con la PaCO<sub>2</sub> ( $r = 0.72$  y  $p < 0.01$ )<sup>(29)</sup>.

En otro estudio realizado por Meredith<sup>(30)</sup>, se reportó buena correlación entre el ETCO<sub>2</sub> y la PaCO<sub>2</sub>. Dicho estudio fue realizado en 16 neonatos con enfermedad pulmonar en ventilación mecánica y se encontró correlación entre la ETCO<sub>2</sub> y la PaCO<sub>2</sub> ( $n = 132$ ;  $r = 0.79$ ) y la diferencia entre PaCO<sub>2</sub> - ETCO<sub>2</sub> fue 4.7 + / - 4.7 mmHg.

Asimismo, Rozycki<sup>(7)</sup>, en un estudio realizado en 45

neonatos con 411 pares de muestras, encontró que el coeficiente de correlación fue de 0.833 y la diferencia de PaCO<sub>2</sub> y ETCO<sub>2</sub> fue de 6.9 mmHg + / - 11.5. Los resultados no difirieron marcadamente en los neonatos de muy bajo peso, y hubieron diversos grados de enfermedad pulmonar. Los autores notaron que ni el grado de enfermedad pulmonar, ni el índice ventilatorio ni el índice oxigenatorio tuvieron influencia en la diferencia entre los valores de PaCO<sub>2</sub> - ETCO<sub>2</sub>.

Se han realizado estudios para comparar el ETCO<sub>2</sub> y el CO<sub>2</sub> transcutáneo. Tobias<sup>(36)</sup>, en un estudio realizado en 25 niños quienes requirieron intubación y ventilación mecánica por insuficiencia respiratoria, encontraron una diferencia entre CO<sub>2</sub> transcutáneo y PaCO<sub>2</sub> de 2.3 + / - 1.3 y la diferencia entre ETCO<sub>2</sub> y PaCO<sub>2</sub> fue de 6.8 + / - 5.1 mmHg, concluyendo que, si bien el CO<sub>2</sub> transcutáneo es más preciso que el ETCO<sub>2</sub>, los autores recomiendan el uso complementario de ambos métodos.

Los valores descritos para pacientes sin patología pulmonar y sin anomalías en la relación ventilación perfusión (V/Q), en los cuales el ETCO<sub>2</sub> se aproxima al PaCO<sub>2</sub>, usualmente son de 5 mmHg menores que la PaCO<sub>2</sub><sup>(37)</sup>. En el presente trabajo encontramos en promedio una diferencia de 4.54 mmHg en el total de pacientes, de los cuales 13/20 presentaban patología pulmonar. Además, la diferencia entre los valores de CO<sub>2</sub> y ETCO<sub>2</sub> en niños con patología pulmonar fue semejante a la diferencia encontrada en niños sin esta patología.

La relación entre ETCO<sub>2</sub> y PaCO<sub>2</sub> puede verse afectada por factores como gasto cardíaco disminuido, hipotermia, volumen tidal y enfermedad pulmonar (especialmente si hay un incremento del espacio muerto). En algunos estudios se ha encontrado pobre correlación en pacientes con patología pulmonar<sup>(28, 32)</sup>, como en el estudio realizado por Kerr et al<sup>(28)</sup>, en el cual no se encontró correlación de ETCO<sub>2</sub> y PaCO<sub>2</sub> en pacientes adultos con TEC quienes tenían enfermedad pulmonar como ARDS.

En conclusión, en el presente estudio hemos observado una buena correlación entre el PaCO<sub>2</sub> y el ETCO<sub>2</sub>, aun en pacientes con patología pulmonar. Esta relación tiende a deteriorarse conforme la enfermedad pulmonar es más severa. El ETCO<sub>2</sub> podría ser utilizado para estimar la ventilación en pacientes pediátricos con ventilación mecánica. La capnografía puede ser útil para disminuir la necesidad de repetidas y usualmente dolorosas punciones arteriales requeridas para muestras de gases sanguíneos arteriales, y la información continua del CO<sub>2</sub> facilitaría los cambios inmediatos necesarios en el manejo de la ventilación mecánica. La limitación más importante del estudio es el escaso número de muestras examinadas, lo que obliga a realizar un nuevo trabajo para definir esta relación con mayor precisión.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Bhende M. Capnography in the pediatric emergency department. *Pediatric Emergency Care* 1999; 15 (1): 64 - 69.
2. Jubran A. Advances in respiratory monitoring during mechanical ventilation. *Chest* 1999; 116 (5): 1416 - 1425.
3. Jubran A. Monitoring during mechanical ventilation. *Clin chest med* 1996; 20: 363 - 372.
4. Shapiro BA. Evaluation of blood gas monitors: performance criteria, clinical impact, and cost benefit. *Crit Care Med* 1994; 22: 526 - 548.
5. Zimmerman JE. Evaluating laboratory usage in the intensive care unit: patient and institutional characteristics that influence of blood sampling. *Crit Care Med* 1997; 25: 737 - 748.
6. Weiss K, Fink S. Clinical use of continuous arterial blood gas monitoring in the pediatric intensive care unit. *Pediatrics* 1999; 103 (82): 440 - 445.
7. Rozycki HJ, Sysyn GD. Mainstream end tidal carbon dioxide monitoring in the neonatal intensive care unit. *Pediatrics* 1998; 101 (4): 648 - 652.
8. Fujimoto S. Hypocarbica and cystic periventricular leukomalacia en premature infants. *Arch Dis Child* 1994; 71: F107 - F110.
9. Wiswell TE. Effects of hipocarbica on the development of cystic periventricular leukomalacia in premature infants treated with high frequency jet ventilation. *Pediatrics* 1996; 98: 918 - 924.
10. Okumura A, Hayakawa F. Hypocarbica in preterm infants with periventricular leukomalacia: the relation between hypocarbica and mechanical ventilation. *Pediatrics* 2001; 107 (3): 469 - 475.
11. Shohat M, Reisner SH. Retinopathy of prematurity: incidence and risk factors. *Pediatrics* 1983; 72 (2): 159 - 163.
12. Newell DW, Weber JP, Watson R. Effect of transient moderate hyperventilation on dynamic cerebral autoregulation after severe head injury. *Neurosurgery* 1996; 39: 35 - 43.
13. Thilo EH, Andersen D. Saturation by pulse oxymetry: comparison of the results obtained by instruments of different brands. *J Pediatr* 1993; 122 (4): 620 - 625.
14. Durand M, Ramanathan R. Pulse oxymetry for continuous oxygen monitoring in sick newborn infants. *J Pediatr* 1986; 109 (6): 1052 - 1056.
15. Carter B, Carlin JB. Accuracy of two pulse oximeters at low arterial hemoglobin - oxygen saturation. *Crit Care Med* 1998; 26 (6): 1128 - 1133.
16. Grieve SH, Laing A. Comparison of two different pulse oximeters in monitoring preterm infants. *Crit Care Med* 1997; 25 (12): 2051 - 2054.
17. Hay WW, Rodden DJ. Reliability of conventional and new pulse oximetry in Neonatal patients. *Journal of Perinatology* 2002; 22 (5): 360 - 365.
18. Koppel R, Druschel C. Effectiveness of Pulse Oximetry Screening for congenital heart disease in asymptomatic newborns 2003; 111 (3): 451 - 455.
19. Roberts WA. The use of capnography for recognition of esophageal intubation in the neonatal intensive care unit. *Pediatr pulmonol* 1995; 19: 262 - 268.
20. Prause G, Herts HA. A comparison of the end tidal CO2 document by capnometry and the PaCO2 in emergency patients. *Resuscitation* 1997; 35: 145 - 148.
21. Harrison MA, Lynch JM, Dean JM. Comparison of simultaneously obtained arterial and capillary blood gases in pediatric intensive care unit patients. *Crit Care Med* 1997; 25 (11): 1904 - 1908.
22. Paky F, Koeck CM. Pulse oximetry in ventilated preterm newborns: reliability of detection of hyperoxaemia and hypoxaemia, and feasibility of alarm settings. *Acta Paediatr* 1995; 84: 613 - 616.
23. Garnet AR, Oranto JP, Gonzalez ER, et al. End tidal carbon dioxide monitoring during cardiopulmonary resuscitation. *JAMA* 1987; 257: 512 - 515.
24. Sanders AB, Kern KB, Otto cW, et al. End tidal carbon dioxide monitoring during cardiopulmonary resuscitation. *JAMA* 1989; 262: 1347 - 1351.
25. Grmec T. Comparison of three different methods to confirm tube placement in the emergency intubation. *Intensive care medicine* 2002; 28 (6): 701 - 704.
26. Szaflarski NL, Cohen NH. Use of capnography in critically ill adults. *Heart Lung* 1991; 20: 363 - 372.
27. Saura P, Blanch L. Use of capnography to detect hypercapnic episodes during weaning from mechanical ventilation. *Intensive care med* 1996; 22: 374 - 381.
28. Kerr ME, Zempsky J. Relationship between arterial carbon dioxide and end tidal carbon dioxide in mechanical ventilated adults with severe head trauma. *Crit Care Med* 1996; 24: 785 - 790.
29. McDonald MJ, Montgomery VL. Comparison of end tidal CO2 and PaCO2 in children receiving mechanical ventilation. *Pediatr Crit Care Med* 2002; 3 (3): 244 - 248.
30. Meredith KS, Monaco FJ. Evaluation of a mainstream capnometer and end - tidal carbon dioxide monitoring in mechanically ventilated infants. *Pediatr Pulmonol* 1990; 9: 254 - 259.
31. Weigner MB, Brimm JE. End tidal carbon dioxide as a measure of arterial carbon dioxide during intermittent mandatory ventilation. *J Clin Monit* 1987; 3: 73 - 79.
32. Morley TF, Giaimo J, Maroszan E, et al. Use of capnography for assesment of the adequacy of alveolar ventilation during weaning from

- mechanical ventilation. *Am Rev Resp Dis* 1993; 85: 55 - 58.
33. Russell GB, Graybeal JM. Reliability of the arterial to end- tidal carbon dioxide gradient in mechanically ventilated patients with multisistem trauma. *J trauma* 1994; 36: 317 -322.
34. Christensen MA, Bloom J, Sutton KR. Comparison arterial and end tidal carbon dioxide values in hyperventilated neurosurgical patients. *Am J Crit Care* 1995; 4: 116 - 121.
35. Domsky M, Wilson RF, Heins J. Intraoperative end tidal carbon dioxide values and derived calculations correlated with outcome: prognosis and capnography. *Crit care med* 1995; 23: 1497 - 1503
36. Tobias JD, Meyer DJ. Noninvasive monitoring of carbon dioxide during respiratory failure in toddlers and infants: End tidal versus transcutaneous carbon dioxide. *Anaesth Analg* 1997; 85: 55 - 58
37. Singh N. Assessment of oxigenation and ventilation. *Manual of Pediatric Critical Care*. Canada, WB Saunders Company 1997: 51 - 58.

Unidad de Cuidados Intensivos- Instituto Especializado de Salud del Niño  
Avenida Brasil 600, Teléfono 330 0066 anexo 136; telefax: 423 9904  
rosariobecerrave@hotmail.com