

# Sensibilidad y especificidad de las mediciones de $\text{CO}_2$ por capnografía *vs* gasometría en niños con lesión neurológica en estado crítico

Vasthy Yadina Balam Canche,\* Jorge F Robles Alarcón,\*\* Leticia Pineda Suasto,\*  
Marino Medina Ramírez,\*\*\* Sergio Pérez Araúz,\* José Luis Escudero Castro,\*  
Natalia Rodríguez Zenteno,\* Óscar Martínez Jiménez,\* Raúl Flores Galindo\*

## RESUMEN

El seguimiento de los cambios en  $\text{CO}_2$  sanguíneo a través de un método no invasivo como el  $\text{CO}_2$  exhalado (ETCO<sub>2</sub>) o capnografía, facilita un monitoreo continuo de variaciones en la concentración durante los ciclos respiratorios, destete ventilatorio y detección de la presencia de hipercarbia que en pacientes graves con padecimientos neurológicos, incrementa la presión intracranal (PIC) y disminución consiguiente de la perfusión cerebral con incrementos en la morbilidad.

**Objetivo:** Determinar la eficacia de la capnografía en el monitoreo de  $\text{CO}_2$  con respecto a la gasometría arterial en pacientes neurológicos de Terapia Intensiva Pediátrica.

**Diseño:** Monitoreo aleatorio, pareado de valores de presión arterial de  $\text{CO}_2$  (PaCO<sub>2</sub>) por gasometría arterial y ETCO<sub>2</sub>. Estudio prospectivo, longitudinal, observacional y comparativo.

**Lugar:** Unidad de Terapia Intensiva Pediátrica (UTIP) del Hospital Regional «Lic. Adolfo López Mateos» del ISSSTE, en México, D.F.

**Pacientes:** Ocho pacientes con lesión neurológica bajo ventilación mecánica controlada (VMC) y 8 sin ventilación mecánica con edades hasta 16 años.

**Mediciones:** Coeficiente de correlación, grado de tendencia, intervalo de confianza al 95%, valor predictivo, así como la capacidad del capnógrafo para alertar al médico de la presencia de hipocarbia e hipercarbia.

**Resultados:** Se obtuvieron 82 pares de PaCO<sub>2</sub> y ETCO<sub>2</sub> de 8 pacientes ventilados con Coeficiente de correlación  $r^2 = 0.60$   $p < 0.001$ , Tendencia de  $-0.43 \pm 0.43 \text{ mmHg}$  (PaCO<sub>2</sub>  $30.2 \pm 6.5$  vs ETCO<sub>2</sub>  $29.8 \pm 7.6$ ), Intervalo de confianza al 95% en  $\pm 8.07 \text{ mmHg}$ . Los cambios de vol/min ( $r^2 = 0.72$ ), peep  $> 2$  ( $r^2 = 0.64$ ) y ciclos/min  $> 20$  ( $r^2 = 0.70$ ) presentaron las correlaciones más importantes entre PaCO<sub>2</sub> y ETCO<sub>2</sub>. El capnógrafo identificó 25 de 31 episodios de hipocarbia con una sensibilidad del 81% y una especificidad del 94%. Los coeficientes de correlación y tendencia en el grupo de pacientes no ventilados fueron menores que el grupo de ventilados.

**Conclusiones.** El monitoreo del ETCO<sub>2</sub> en pacientes neurológicos en UTIP es un método útil y preciso para la vigilancia de cambios del  $\text{CO}_2$  arterial similar a las gasometrías, ofreciendo confiabilidad en la vigilancia del mismo en pacientes ventilados y no ventilados.

**Palabras clave:** Capnografía, ventilación mecánica, hipocarbia, hipercarbia, monitoreo no invasivo, gasometría, lesión neurológica.

## SUMMARY

Continuos noninvasive monitoring of arterial  $\text{CO}_2$  tension (PaCO<sub>2</sub>) estimated by capnography may provide important information of alveolar  $\text{CO}_2$  changes of respiratory cycles, ventilatory weaning and monitoring of hypcapnia or hypercapnia in critically ill neurological patients, they may cause changes on intracranial pressure and cerebral perfusion pressure.

**Objective:** To determine the accuracy of End-tidal  $\text{CO}_2$  monitoring related to arterial  $\text{CO}_2$  of neurological patients in pediatric intensive care unit (PICU).

**Design:** Non randomized recording of simultaneous end-tidal and arterial  $\text{CO}_2$  pairs. A prospective, longitudinal, observational study.

**Setting:** PICU patients of «Lic. Adolfo Lopez Mateos» regional Hospital, ISSSTE, México, DF.

**Patients:** With neurological problems: eight mechanical ventilated and eight intubated spontaneous breathing patients until 16 years old.

**Measurements:** The correlation coefficient, degree of bias, 95% confidence interval, predictive value, and ability of end-tidal monitor to alert the clinician to instances of hypcapnia or hypercapnia in both groups.

**Results:** We included 82 end-tidal/arterial pairs from 8 ventilated patients. The correlation coefficient was  $r^2 = 0.60$   $p < 0.001$  and the ETCO<sub>2</sub>-PaCO<sub>2</sub> bias was  $\pm 0.43 \text{ mmHg}$  (PaCO<sub>2</sub>  $30.2 \pm 6.5$  vs ETCO<sub>2</sub>  $29.8 \pm 7.6$ ) 95% confidence interval  $\pm 8.07 \text{ mmHg}$ . Changes on tidal volume ( $r^2 = 0.72$ ), peep  $> 2 \text{ mmHg}$  ( $r^2 = 0.64$ ) and respiratory rate ( $r^2 = 0.70$ ) had the more important PaCO<sub>2</sub>-ETCO<sub>2</sub> correlations. The capnography identified 25/31 hypcapnic instances (81%), specificity of 94%. The correlation coefficient and bias in spontaneous breathing patients were lower than of ventilated group.

**Conclusion:** End-tidal  $\text{CO}_2$  monitoring in PICU neurological patients is a useful, accurate method for recording arterial  $\text{CO}_2$  changes and similar to gasometry on ventilated patients.

**Key words:** Capnography, mechanical ventilation, hypcapnia, hypercapnia, non invasive monitoring, neurological conditions.

\* U.T.I.P. Hospital Regional "Lic. Adolfo López Mateos"

\*\* Coordinador de Pediatría.

\*\*\* Jefe de Servicio de U.T.I.P.

El monitoreo de la ventilación alveolar durante la ventilación mecánica requiere de la medición de los gases arteriales. La gasometría es la prueba más solicitada en las unidades de terapia intensiva; aunque este método es invasivo, laborioso, costoso y únicamente provee de manera intermitente los valores de CO<sub>2</sub> arterial. Las alternativas para la obtención de las gasometrías arteriales son: la gasometría capilar, la capnografía transcutánea y la capnografía exhalada (ETCO<sub>2</sub>);<sup>1-5</sup> todas ellas proporcionan un monitoreo continuo de la ventilación alveolar. Si el gradiente entre la PaCO<sub>2</sub> y ETCO<sub>2</sub> permanecen estables en el tiempo y durante los cambios del tratamiento de los enfermos, entonces el ETCO<sub>2</sub> puede ser útil para seguir el equilibrio respiratorio ácido base, o sea, que se pueden conocer los cambios en la concentración del CO<sub>2</sub> durante los ciclos respiratorios y en el «destete» ventilatorio, durante la vigilancia de pacientes críticos con lesión neurológica ó durante eventos de paro cardiorrespiratorio.<sup>2,3,6-16,18-20</sup>

En los pacientes con traumatismo craneal o con lesión neurológica, la hiperventilación condiciona oligohemia, disminución del consumo metabólico cerebral de O<sub>2</sub> (CMRO<sub>2</sub>), alteraciones en respuesta a cambios del CO<sub>2</sub>, disminución en la saturación venosa yugular de O<sub>2</sub> y acidosis láctica pero, sin caída de la PIC.<sup>1,2,10,17</sup>

Por lo tanto, ante estas opciones y en la búsqueda de utilidad de la capnografía en el monitoreo de niños con lesión neurológica se realizó el presente estudio enfocado hacia los siguientes propósitos: a) Determinar la eficacia de la capnografía para valorar el CO<sub>2</sub> arterial en pacientes neurológicos, durante intervenciones controladas.

b) Conocer la especificidad y sensibilidad del ETCO<sub>2</sub> para identificar cambios en la concentración de CO<sub>2</sub>.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Se estudiaron pacientes con lesión neurológica admitidos en una unidad de terapia intensiva pediátrica (Hospital Regional «Lic. Adolfo López Mateos» del ISSSTE en México, D.F.). En un grupo se incluyeron 8 niños (4 varones y 4 niñas) que requirieron ventilación mecánica controlada (VMC) con Servo 900c (Siemens, Sweden) y un segundo grupo se integró con pacientes sin ventilación mecánica mientras otro grupo de 8 niños permaneció sin ventilación mecánica. El estudio se hizo en forma longitudinal, prospectiva y de manera comparativa y fue autorizado por el comité de ética.

En este grupo se estudió la relación entre PaCO<sub>2</sub> y ETCO<sub>2</sub>, donde el ETCO<sub>2</sub> se monitorizó en forma continua, registrando las mediciones 15 minutos después a los cambios en los parámetros ventilatorios; para ello se usó un capnógrafo Datex (Modelo Oscar II SC-1232802). Con este equipo midieron los cambios en la concentración del CO<sub>2</sub> en el gas que atraviesa el receptor

infrarrojo, el cual tiene una capacidad de recepción de 30 veces/seg y se autocalibra. El adaptador (< 1 mL de espacio muerto) fue colocado próximo a la cánula endotraqueal. La posición de la cánula fue verificada con una radiografía de tórax cada 24 horas.

En forma simultánea se registró la PaCO<sub>2</sub> por gasometría en la sangre obtenida mediante punciones de la arteria radial y 15 minutos después a los cambios en los parámetros del ventilador como: FIO<sub>2</sub>, Peep, vol/min, ciclados y presión inspiratoria máxima (PIM). Las muestras se tomaron con jeringas heparinizadas, de plástico y la sangre fue analizada en forma inmediata, a fin de obtener las presiones parciales de PaCO<sub>2</sub> y HCO<sub>3</sub>. Las cuales fueron procesadas por el equipo Radiometer Copenhagen ABL-330. Otros datos registrados fueron: los cambios del ventilador al momento del registro y de la toma de gasometría y de la capnografía y el estado neurológico del paciente valorado mediante la escala de Glasgow.

El primer grupo de niños, sometidos a VMC, se mantuvieron sedados y relajados, y en tanto que el otro grupo de pacientes no ventilados permanecieron intubados y con un nebulizador en pieza en «T», sin sedación y relajación.

Para determinar la eficacia del ETCO<sub>2</sub> y su relación con la PaCO<sub>2</sub> se usó una prueba de regresión lineal. La precisión del ETCO<sub>2</sub> (Variabilidad alrededor de un valor único de ETCO<sub>2</sub>) se estimó al calcular un intervalo de confianza (IC) de 95% y la tendencia (diferencia entre ETCO<sub>2</sub> y PaCO<sub>2</sub> simultáneo) se obtuvo de ETCO<sub>2</sub>(-)PaCO<sub>2</sub>. La consistencia del monitoreo del ETCO<sub>2</sub> en cada paciente se obtuvo al examinar la relación entre cambios de PaCO<sub>2</sub> y del ETCO<sub>2</sub> en muestras consecutivas. El nivel de significación de las diferencias entre ambas mediciones se consideró cuando «p» fue menor de 0.01 en el análisis de la regresión.

Para estimar el valor clínico potencial del monitoreo de ETCO<sub>2</sub>, se calculó la sensibilidad (PV/PV+NF), la especificidad (NV/NV+PF) y los valores predictivos (positivo: PV/PV+PF y negativo: (NV/NV+NF), en relación a la hipocarbia e hipercarbia. La hipocarbia fue definida como: PaCO<sub>2</sub> < 28 mmHg, y la hipercarbia: PaCO<sub>2</sub> > 45 mmHg. La capacidad del capnógrafo para predecir estas anomalías se basó en una ETCO<sub>2</sub> < 26 o > 40 mmHg.<sup>12</sup>

## RESULTADOS

Los diagnósticos en los 8 niños ventilados fueron: TCE + edema cerebral severo (n = 3), TCE + hematoma cerebeloso (n = 1), TCE + hematoma epidural (n = 1), PO encefalocele frontal (n = 1), Neuroinfección (n = 1), Post-paro cardiorrespiratorio (n = 1). Su promedio de edad fue de 6.2 ± 5.4 años.

Se compararon 82 pares de mediciones de gasometrías y capnografías en número de 10.2 ± 5.9 por cada

**Cuadro 1. Características clínicas, mediciones de gases y parámetros de ventilación en los niños sujetos a estudio.**

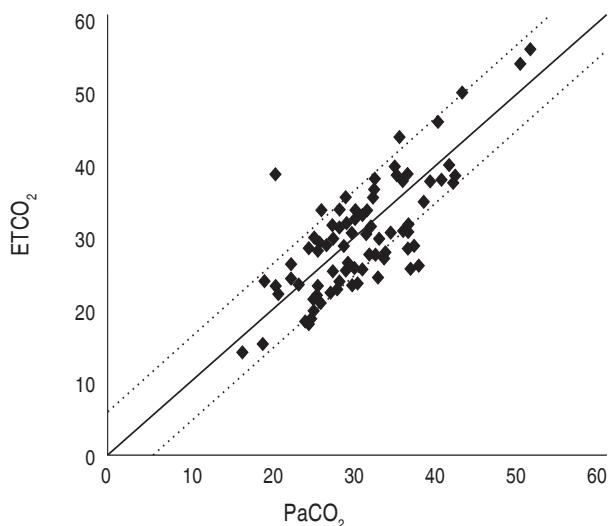
Características	Ventilados (n = 8)	No ventilados (n = 8)
Edad (X $\pm$ DS)	6.2 $\pm$ 5.4	8.7 $\pm$ 5.02
Días de estancia	8.6 $\pm$ 4	3 $\pm$ 0.9
Pares Gas/capnog	82	18
Gases arteriales	10.2 $\pm$ 5.9	2.2 $\pm$ 1.28
FIO <sub>2</sub> L/min	55 $\pm$ 24	55.2 $\pm$ 25.5
Vol/min (L/min)	3.6 $\pm$ 2.2	
CPM	18.9 $\pm$ 6.38	
PIM	17.3 $\pm$ 11.1	
PEEP	2.4 $\pm$ 1.4	
HCO <sub>3</sub>	18.1 $\pm$ 2.9	19.8 $\pm$ 2.3
Glasgow	4.8 $\pm$ 2.1	10.8 $\pm$ 2.9
PaCO <sub>2</sub> (mmHg)	30.2 $\pm$ 6.5	31.7 $\pm$ 5.3
ETCO <sub>2</sub> (mmHg)	29.8 $\pm$ 7.6	29.4 $\pm$ 5.3
Tendencia ETCO <sub>2</sub> -PaCO <sub>2</sub>	-0.43 $\pm$ 0.43	2.26 $\pm$ 2.26

**Cuadro 2. Coeficientes de correlación de ETCO<sub>2</sub> y PaCO<sub>2</sub> de acuerdo a los parámetros ventilatorios y las gasometrías, en los niños con ventilación mecánica.**

Parámetros	r	r <sup>2</sup>
PEEP > 2	0.8	0.64
PEEP < 2	0.73	0.53
FIO <sub>2</sub> > 55	0.81	0.66
FIO <sub>2</sub> < 55	0.68	0.46
Vol/min > 3 L	0.85	0.72
Vol/min < 3 L	0.71	0.51
PIM > 18	0.76	0.58
PIM < 18	0.77	0.60
CPM > 20	0.66	0.43
CPM < 20	0.84	0.70
HCO <sub>3</sub> > 18	0.72	0.52
HCO <sub>3</sub> < 18	0.79	0.63
Glasgow	0.77	0.60

paciente y durante 8.6  $\pm$  4 días de estancia. Las características clínicas y parámetros de ventilación de este grupo se enlistan en el cuadro 1.

La tendencia de ETCO<sub>2</sub>-PaCO<sub>2</sub> fue de -0.43  $\pm$  0.43 mmHg con medias y desviaciones estándares de PaCO<sub>2</sub>; 30.2  $\pm$  6.5 mmHg, y para ETCO<sub>2</sub>; 29.8  $\pm$  7.6 mmHg. El coeficiente de correlación fue de 0.77 (p < 0.001) y el valor de r cuadrada fue de 0.60 (Figura 1). El error estándar calculado fue de  $\pm$  4.13 con un intervalo de confianza para 95% de  $\pm$  8.07 mmHg. Es decir, cuando la PaCO<sub>2</sub> estuvo en 40 mmHg, el ETCO<sub>2</sub> correspondiente fue de 35.8 mmHg con una probabilidad

Pacientes con VMC (n = 82; r = 0.77; p < 0.01; R<sup>2</sup> = 0.60).**Figura 1. ETCO<sub>2</sub> vs PaCO<sub>2</sub> en pacientes con ventilación mecánica.**

del 95% que estos valores estuviesen entre 27 y 44 mmHg. La bondad del ajuste de la correlación entre ETCO<sub>2</sub> y PaCO<sub>2</sub> fue menor de 0.01.

Las correlaciones entre PaCO<sub>2</sub> y ETCO<sub>2</sub>, con relación a los parámetros ventilatorios más importantes, fueron: en relación a vol/min con cambios > 3L (r<sup>2</sup>=0.72 p < 0.001), en relación a ciclados por minutos (CPM) en cambios de < 20 veces/min, los valores fueron de (r<sup>2</sup>= 0.70 p < 0.001) y con cambios en FIO<sub>2</sub> a > 55, los valores de r<sup>2</sup>=0.66 (Cuadro 2).

El capnógrafo identificó 25 a 31 episodios de hipocarbia con una sensibilidad del 81%, especificidad del 94%, y un valor predictivo positivo de 89% (Cuadro 3). En el momento que se realizaron cambios de CPM > 20 el capnógrafo tuvo una sensibilidad del 90% para detectar hipocarbias (9 de 10). Ante cambios de Peep > 2, este instrumento detectó 6 de 10 episodios de hipocarbias con sensibilidad del 60%. Con cambios de vol/min > 3 se registraron 13 de 16 episodios de hipocarbias y una sensibilidad del 81%. Con cambios de presión inspirada

**Cuadro 3. Valores de ETCO<sub>2</sub> y PaCO<sub>2</sub> en pacientes con ventilación mecánica.**

Niveles de CO <sub>2</sub>	PaCO <sub>2</sub>	ETCO <sub>2</sub>
< 28 mmHg	n = 31	38%
< 26 mmHg		n = 25 30.5%
28 - 45 mmHg	n = 49	60%
26 - 40 mmHg		n = 52 63.5%
> 45 mmHg	n = 2	2%
> 40 mmHg		n = 5 6%

**Cuadro 4. Sensibilidad, especificidad y valor predictivo de la capnografía en hipocarbia en pacientes ventilados**

Parámetros	Sensibilidad % PV/PV + NF	Especificidad % NV/NV + PF	V. Predict (+) % PV/PV + PF	V. Predict (-) % NV/NV + NF
Global	81 (25/31)	94 (49/51)	89 (25/28)	91 (49/54)
PEEP > 2	60 (6/10)	90 (19/21)	75 (6/8)	83 (19/23)
PEEP < 2	100 (19/19)	100 (32/32)	100 (19/19)	100 (32/32)
CPM > 20	90 (9/10)	100 (15/15)	100 (9/9)	94 (15/16)
CPM < 20	86 (18/21)	94 (34/36)	90 (18/20)	92 (34/37)
$HCO_3$ > 18	88 (7/8)	100 (31/31)	100 (7/7)	97 (31/32)
$HCO_3$ < 18	71 (17/24)	63 (12/19)	71 (17/24)	63 (12/19)
$FIO_2$ > 55	70 (7/10)	90 (19/21)	88 (7/8)	86 (19/23)
$FIO_2$ < 55	95 (20/21)	100 (30/30)	100 (20/20)	97 (30/31)
Vol/min > 3 L	76 (13/17)	88 (23/26)	81 (13/16)	85 (23/27)
Vol/min < 3 L	93 (14/15)	100 (24/24)	100 (14/14)	96 (24/25)
PIM > 18	73 (8/11)	77 (10/13)	73 (8/11)	77 (10/13)
PIM < 18	100 (19/19)	100 (39/39)	100 (19/19)	100 (39/39)
Glasgow < 8	87 (27/31)	100 (46/46)	100 (27/27)	92 (46/50)

Los valores en paréntesis corresponden al número de pacientes

**Cuadro 5. Sensibilidad, especificidad y valor predictivo de la capnografía en pacientes no ventilados con normocarbia.**

Parámetros	Sensibilidad % PV/PV + NF	Especificidad % NV/NV + PF	V. Predict (+) % PV/PV + PF	V. Predict (-) % NV/NV + NF
$FIO_2$ > 55	100 (2/2)	100 (7/7)	100 (2/2)	100 (7/7)
$FIO_2$ < 55	50 (1/2)	86 (6/7)	50 (1/2)	86 (6/7)
Glasgow > 8	100 (3/3)	100 (11/11)	100 (3/3)	100 (11/11)
Glasgow < 8	100 (2/2)	50 (1/2)	67 (2/3)	100 (1/1)
$HCO_3$ > 18	100 (1/1)	100 (12/12)	100 (1/1)	100 (12/12)
$HCO_3$ < 18	100 (2/2)	100 (3/3)	100 (2/2)	100 (3/3)

Los valores en paréntesis corresponden al número de pacientes.

máxima (PIM) > 18 se detectaron 8 de 10 episodios de hipocarbias y sensibilidad del 80% (*Cuadro 4*).

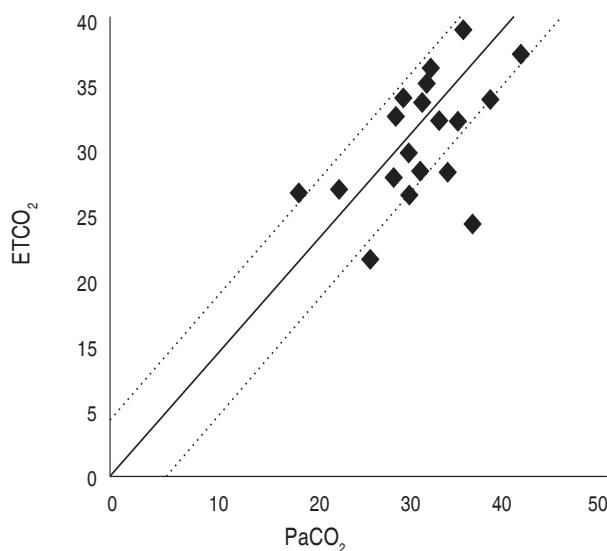
La sensibilidad del capnógrafo para detectar hipocarbias fue del 100% ante cualquier cambio del ventilador. Con relación la escala de Glasgow, los pacientes ventilados estuvieron bajo efectos de relajantes y sedantes, manteniéndose con puntajes inferiores a 8 en 96% de los pacientes (79 de 82) presentando 27 de 31 casos de hipocarbia con una sensibilidad del 87%.

En lo que respecta al grupo de pacientes no ventilados, su edad media fue de  $8.7 \pm 5.02$ , 4 fueron mujeres y 4 varones; los diagnósticos fueron: TEC + edema cerebral leve ( $n = 3$ ), neuroinfección ( $n = 2$ ), posoperado de resección tumoral ( $n = 3$ ). Los pares de gasometrías/ETCO<sub>2</sub> obtenidos fueron  $2.2 \pm 1.28$  por cada paciente y en  $3 \pm 0.9$  días de estancia (*Cuadro 1*). Los valores registrados de ETCO<sub>2</sub> > PaCO<sub>2</sub> fueron 7 de 18 (38.8%). La tendencia ETCO<sub>2</sub>-PaCO<sub>2</sub> en este grupo tuvo un valor

de  $-2.3 \pm 2.3$  mmHg, donde la PaCO<sub>2</sub> tuvo valores ( $x \pm DS$ ) de  $31.7 \pm 5.3$  mmHg y para ETCO<sub>2</sub> de  $29.4 \pm 5.3$  mmHg ( $x \pm DS$ ). El coeficiente de correlación fue de 0.55 ( $p < 0.01$ ) y un valor de  $r^2$  de 0.31 (*Figura 2*). El error estándar se ubicó en  $\pm 4.5$ , el IC para el 95% de la población fue  $\pm 8.7$ . El valor de  $X^2$  entre PaCO<sub>2</sub>-ETCO<sub>2</sub> de este grupo fue de 0.19 ( $p > 0.01$ ).

La correlación entre ETCO<sub>2</sub>-HCO<sub>3</sub> fue de  $r^2=0.09$ , para ETCO<sub>2</sub>-FIO<sub>2</sub> la  $r^2$  fue de 0.04 y en relación a Glasgow fue de  $r^2=0.007$  (paciente sin sedación ni relajación). Así mismo las correlaciones entre PaCO<sub>2</sub>-HCO<sub>3</sub> tuvo valores de  $r^2=0.35$ , en relación a FIO<sub>2</sub> ( $r^2 = 0.01$ ) y con Glasgow de  $r^2=0.03$ .

El capnógrafo identificó 2 casos de hipocarbias con una sensibilidad del 100% y una especificidad del 100%. No se presentaron casos de hipercarbias. Las relaciones de especificidad y sensibilidad en normocarbia se presentan en el *cuadro 5*.

Pacientes no ventilados ( $n = 18$ ;  $r = 0.55$ ;  $P < 0.01$ ;  $R^2 = 0.31$ ).**Figura 2.**  $\text{ETCO}_2$  vs  $\text{PaCO}_2$  en pacientes no ventilados.

## DISCUSIÓN

En el presente estudio se obtuvo una correlación entre  $\text{P}(\text{a-ET})\text{CO}_2$  de 0.77, que se encuentra entre los rangos observados en pacientes monitorizados durante neurocirugía<sup>1,17</sup> y de los pacientes que no presentan complicaciones respiratorias.<sup>3,19</sup>

El estudio realizado por Mackersie y Karagianes<sup>17</sup> incluyó pacientes con traumatismo craneal severo en donde encontró que la  $r^2$  de  $\text{P}(\text{a-ET})\text{CO}_2$  era de 0.90 a diferencia de lo encontrado en este estudio; probablemente esto se debió a que se incluyó un grupo de pacientes heterogéneo, con diversos diagnósticos neurológicos. Además, cabe señalar que los datos del estudio fueron recabados después de estabilización neurológica y de los niveles de  $\text{PaCO}_2$ , mientras que en los niños del presente informe se obtuvieron pocos minutos después de hacer cambios en los parámetros ventilatorios.

La  $r^2$  entre  $\text{P}(\text{a-ET})\text{CO}_2$  en relación a los cambios de  $\text{CPM} < 20$  del ventilador, fue de 0.70, en relación a cambios en  $\text{vol/min} > 3\text{L}$  ésta fue de 0.72 y las modificaciones al  $\text{peep} > 2\text{ mmHg}$  dieron una  $r^2$  de 0.64; comparables a los obtenidos por Kerr y Zempsky<sup>2</sup> donde el cambio de  $\text{peep} > 5\text{ mmHg}$  presentó una  $r^2$  entre  $\text{PaCO}_2$  y  $\text{ETCO}_2$  de 0.77, el cual tuvo mayor significancia en pacientes sedados, relajados y sin complicaciones neurológicas; sobre todo al disminuir el nivel del  $\text{peep}$  en pacientes que habían presentado complicaciones respiratorias. En este informe los pacientes nunca presentaron esas complicaciones y el máximo  $\text{peep}$  empleado fue de 4 mmHg.

La hipocarbia ocasiona una desviación de la sangre de áreas con respuesta normal al  $\text{CO}_2$  hacia áreas isquémicas que no responden a las concentraciones de  $\text{CO}_2$  (fenómeno de «Robin Hood» o robo invertido) empeoran la lesión cerebral focal al ocasionar vasoconstricción y disminuir el gasto cardíaco (GC), además de que desvían la curva de disociación de la oxihemoglobina.<sup>1</sup> Ante esto, la sensibilidad del capnógrafo para detectar hipocarbia es del 81% con una especificidad del 94%, la sensibilidad relacionada a cambios en el  $\text{peep} < 2\text{ mmHg}$ ,  $\text{PIM} < 18$  y  $\text{vol/min} > 3\text{L}$  se calcula entre 90-100%, a diferencia del estudio de Niehoff y col,<sup>12</sup> quienes estimaron una sensibilidad de 85% con el capnógrafo para detectar hipocarbia durante el destete ventilatorio, y donde la sensibilidad descrita más importante fue relacionada con el modo ventilatorio: mandatorio intermitente (IMV). Influyó en ésta, los cambios ventilatorios  $\leq 4$  resp/min donde la sensibilidad fue del 52%, disminuyendo aún más este valor hasta 19% con IMV a  $> 4$  resp/min. Los eventos de hipercarbia tuvieron una sensibilidad del 28% para ser detectados por el capnógrafo. En el estudio realizado por Saura y Blanch,<sup>11</sup> la hipercarbia detectada por el capnógrafo tuvo una sensibilidad del 82% con una especificidad del 76%, comparada con nuestro estudio en el que se detectaron episodios de hipercarbia en el 100% de los casos ante cualquier cambio de parámetros del ventilador.

En los pacientes no ventilados de nuestro estudio, la correlación entre  $\text{PaCO}_2/\text{ETCO}_2$  fue de  $r = 0.55$  y la tendencia de  $-2.3 \pm 2.3\text{ mmHg}$  ( $\text{PaCO}_2 = 31.7 \pm 5.3$  vs  $\text{ETCO}_2 = 29.4 \pm 5.3$ ); lo cual, se compara con el estudio de Healey y cols.<sup>9</sup> en donde el coeficiente de correlación fue de  $r = 0.82$  y la tendencia de  $3.2 \pm 5.5\text{ mmHg}$ ; sin embargo, con incrementos de  $\text{ETCO}_2 > 5$  torr dentro de rangos de hipercarbia, ellos realizaron evaluación clínica del paciente y toma de gasometría, para comprobar dicha alteración. En nuestro estudio no se pudo corroborar esta información ya que no encontramos incrementos de  $\text{PaCO}_2$  o  $\text{ETCO}_2$  dentro de niveles de hipercarbia.

La valoración neurológica en relación a valores de  $\text{PaCO}_2$  y  $\text{ETCO}_2$  en pacientes sometidos a ventilación mecánica tuvo un valor de  $r^2 = 0.60$ , valores de Glasgow menor de 8 y con efectos de sedación y relajación, semejante al estudio de Russell y Graybeal<sup>18</sup> en donde se sometieron a sedación y relajación a pacientes con daño neurológico resultado de muy diversos diagnósticos.

Se pueden señalar las siguientes conclusiones:

- La medición de la concentración de  $\text{CO}_2$  en pacientes con lesión neurológica, es útil para la vigilancia de cambios en la presión intracranal; la capnografía se emplea comúnmente, en el monitoreo de los niveles de  $\text{CO}_2$ .

- La correlación PaCO<sub>2</sub>-ETCO<sub>2</sub> es particularmente importante con los cambios en CPM < 20 y vol/min > 3, de los parámetros ventilatorios.
  - La sensibilidad del capnógrafo para determinar los cambios en el PaCO<sub>2</sub>, como la presencia de hipocarbia en pacientes ventilados, es semejante al encontrado en otros estudios;<sup>11,12</sup> esto es importante para cambios en el peep < 2, CPM > 20, vol/min < 3 y cambios en el PIM < 18.
  - Los eventos de hipercarbia fueron detectados con una sensibilidad del 100% mediante capnógrafo, en los pacientes sometidos tanto a VMC y como sin ventilación; sin embargo es necesario incluir un mayor número de pacientes y buscar de manera intencionada la utilidad del capnógrafo para identificar hipercarbias.
  - El empleo clínico del monitoreo de los niveles de CO<sub>2</sub> en pacientes no ventilados y con daño neurológico, sin daño pulmonar, tuvo una aceptable sensibilidad, semejante como se ha informado en la literatura.<sup>9</sup>
  - La utilidad clínica del ETCO<sub>2</sub> como un indicador de la PaCO<sub>2</sub> es variable, habiendo encontrado en nuestro estudio el IC para el 95% de  $\pm$  8.07 mmHg, lo cual provee de una estimación estable de PaCO<sub>2</sub> en pacientes neurológicos ventilados. Sin embargo el capnógrafo sigue siendo menos preciso que las gasometrías para el monitoreo de niveles de CO<sub>2</sub> sanguíneo, el cual sigue constituyendo hasta hoy el estándar de oro para esta vigilancia. El capnógrafo debe considerarse como un instrumento útil, no invasivo, portátil, inocuo, eficaz y reproducible que disminuye los costos de las gasometrías, para el monitoreo de los niveles de CO<sub>2</sub> en forma continua en pacientes sometidos a manejo ventilatorio y en aquellos con respiración espontánea, correlacionando los niveles de P(a-ET)CO<sub>2</sub> en forma significativa. Esta técnica nos ofrece; por lo tanto, de una excelente alternativa para el monitoreo del CO<sub>2</sub> en pacientes pediátricos de terapia intensiva con lesión neurológica.
4. Sasse SA, Chen PA, Mahutte CK. Variability of arterial blood gas values over time in stable medical ICU patients. *Chest* 1994; 106(1): 187-93.
5. Rozycki HJ, Sysyn GD y cols. Mainstream end-tidal carbon dioxide monitoring in the neonatal intensive care unit. *Pediatrics* 1998; 101(4): 648-53.
6. Carion GC, Ray C y cols. Capnography in mechanically ventilated patients. *Crit Care Med* 1988; 16(5): 550-56.
7. 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(9): 1497-1503.
8. Glauser FL, Polatty RC, Sessler CN. Worsening oxygenation in the mechanically ventilated patient: causes, mechanisms and early detection. *Am Rev Respir Dis* 1988; 138: 458-65.
9. Healey CJ, Fedullo AJ y cols. Comparison of noninvasive measurements of carbon dioxide tension during withdrawal from mechanical ventilation. *Crit Care Med* 1987; 15(8): 764-68.
10. Russell GB, Graybeal JM. The arterial to, end-tidal carbon dioxide difference in neurosurgical patients during craniotomy. *Anesth Analg* 1995; 81: 806-10.
11. Saura PB y cols. Use of capnography to detect hypercapnic episodes during weaning from mechanical ventilation. *Intensive Care Med* 1996; 22: 374-81.
12. Niehoff J, DelGuercio C y cols. Efficacy of pulse oximetry and caprimetry in postoperative ventilatory weaning. *Crit Care Med* 1988; 16(7): 701-705.
13. Callaham M, Barton C. Prediction of outcome of cardiopulmonary resuscitation from end-tidal carbon dioxide concentration. *Crit Care Med* 1990; 18(4): 358-62.
14. Falk JL, Rackow EC y cols. End-tidal dioxide concentration during cardiopulmonary resuscitation. *N Eng J Med* 1988; 318(10): 607-11.
15. Gasman JD, Raffin TA y cols. Monitoring cardiopulmonary resuscitation: role of blood and end-tidal carbon dioxide tension. *Crit Care Med* 1995; 23(5): 799-8.
16. Treviño RP, Bisera J y cols. End-tidal CO<sub>2</sub> as a guide to, successful cardiopulmonary resuscitation: a preliminary report. *Crit Care Med* 1985; 13(11): 910-11.
17. Mackersie RC, Karagiannis TG. Use of end-tidal carbon dioxide tension for monitoring induce hypocapnia in head-injured patients. *Crit Care Med* 1990; 18(7): 764-65.
18. Russell GB, Graybeal JM: End-tidal carbon dioxide as an indicator of arterial carbon dioxide in neurointensive care patients. *J Neurosurg Anesthesiol* 1992; 4: 245-49.
19. Sanders AB, Kern KB y cols. End-tidal carbon dioxide monitoring during cardiopulmonary resuscitation. *JAMA* 1989; 262(19): 1347-51.
20. Morimoto Y, Kemmotsu O y cols. End-tidal CO<sub>2</sub> changes under constant cardiac output during cardiopulmonary resuscitation. *Crit Care Med* 1993; 21(10): 1572-76.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Isert P. Control of carbon dioxide levels during neuroanaesthesia: current practice and an appraisal of our reliance upon capnography. *Anaesth Intens Care* 1994; 22(4): 435-41.
2. Kerr ME, Zempsky J y cols. Relationship between arterial carbon dioxide and end-tidal carbon dioxide in mechanically ventilated adults with severe head trauma. *Crit Care Med* 1996; 24(5): 785-90.
3. Morley TF, Giaimo J y cols. Use of capnography for assessment of the adequacy of alveolar ventilation during weaning from mechanical ventilation. *Am Rev Respir Dis* 1993; 148: 339-44.

## Correspondencia:

Dra. Vasthy Yadina Balam Canche  
Unidad De Terapia Intensiva Pediátrica  
Hospital Regional «Lic. Adolfo López Mateos»  
ISSSTE, México DF.  
Av. Universidad 1321.  
Col Florida Tel: 661 6364 Ext 1234