

ORIGINAL

Validación de la medición transcutánea de la presión parcial de dióxido de carbono en el paciente crítico pediátrico

S. Fernández de Miguel*, M. Gaboli, R. González-Celador, P. Gómez de Quero, V. Murga Herrero, J.M. Sánchez Granados y R. Payo Pérez

Unidad de Críticos y Urgencias Pediátricas, Hospital Universitario de Salamanca, Salamanca, España

Recibido el 30 de agosto de 2009; aceptado el 28 de octubre de 2009

Disponible en Internet el 6 de febrero de 2010

PALABRAS CLAVE

Presión transcutánea de dióxido de carbono;
Monitorización;
Cuidados intensivos pediátricos;
Monitorización de la presión de dióxido de carbono;
Medición de gases arteriales

Resumen

Objetivo: Valorar la fiabilidad de la medición de la presión transcutánea de dióxido de carbono (PtCO₂) respecto a la medición de la presión arterial de dióxido de carbono (PaCO₂).

Material y métodos: Estudio analítico, observacional, longitudinal y prospectivo. Cohorte de pacientes ingresados en unidad de cuidados intensivos pediátricos. La PtCO₂ se midió con el monitor digital SenTec, aplicando el sensor con un anillo específico (sensor V-sign, versión MDB 04.04.02). Se recogieron al mismo tiempo la PtCO₂ y PaCO₂. La significación estadística de la asociación se calculó mediante el test F de Snedecor, el coeficiente de correlación r² de Pearson y el coeficiente de correlación intraclase. El grado de acuerdo se estimó con el método de Bland y Altman. La consistencia de los resultados se estudió con el ANOVA.

Resultados: Se compararon 106 mediciones pareadas de PtCO₂ y PaCO₂, de 12 pacientes. Las PaCO₂ y PtCO₂ medias fueron 51,0 ± 13 mmHg y 50,1 ± 14 mmHg; r²=0,87 (p < 0,001), CCI=0,96 (IC: 0,94–0,97). El análisis de Bland-Altman mostró una media de las diferencias de –0,9 mmHg (IC: –2,0 a 0,2 mmHg). La correlación fue mejor en ausencia de patología respiratoria, con asistencia respiratoria baja, con PaCO₂ > 50 mmHg y con aplicación frontal del sensor. Hubo consistencia de los resultados. No se observaron efectos secundarios derivados de la utilización del anillo.

Conclusiones: La correlación obtenida entre la PtCO₂ y PaCO₂ fue muy buena. El monitor digital SenTec y el sensor de anillo específico constituyen una herramienta fiable, segura y fácil de utilizar.

© 2009 Asociación Española de Pediatría. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

*Autor para correspondencia.

Correo electrónico: sir007@hotmail.com (S. Fernández de Miguel).

KEYWORDS

Transcutaneous carbon dioxide tension;
Monitoring;
Paediatric intensive care;
Carbonic dioxide tension monitoring;
Arterial gas measurement

Validation of the transcutaneous carbon dioxide tension measurements in critical paediatric patients

Abstract

Objective: To estimate the accuracy of the transcutaneous carbon dioxide tension measurement (PtCO₂) compared to the measurement of the arterial carbon dioxide tension (PaCO₂).

Material and methods: An analytical, longitudinal, prospective and observational study, of a dynamic cohort taken from the in-patients of a Paediatric Intensive Care Unit (PICU). The PtCO₂ was measured with the SenTec AG analyzer, and the sensor was applied with the specific Multi-Site Attachment Ring. PtCO₂ and PaCO₂ were recorded at the same time. The statistical significance of the association between paired measurements was evaluated with the Snedecor's F test, the Pearson's r^2 correlation coefficient and the Interclass Correlation Coefficient (ICC). The degree of agreement was evaluated with the Bland & Altman method. The consistency of the results was evaluated with the ANalysis Of the VAriance (ANOVA).

Results: One hundred and six paired measurements, PtCO₂ and PaCO₂, from twelve patients, were compared. The means of the PaCO₂ and PtCO₂ were 51.0 ± 13 mmHg and 50.1 ± 14 mmHg, respectively; $r^2=0.87$ ($p < 0.001$), ICC=0.96, (95% CI: 0.94–0.97). The Bland-Altman analysis showed a mean difference of -0.9 mmHg (95% CI: -2.0 to 0.2 mmHg). The correlation was better in cases with no respiratory disease, with low respiratory assistance, with PaCO₂ > 50 mmHg and with the sensor applied on the forehead. The results were consistent. No side effects derived from the use of the ring were observed.

Conclusion: The correlation between PtCO₂ and PaCO₂ is excellent and stable. The ring sensor was safe and easy to use.

© 2009 Asociación Española de Pediatría. Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

Introducción

La posibilidad de monitorizar de forma continua la presión parcial de oxígeno y la presión arterial de dióxido de carbono (PaCO₂) usando electrodos térmicos sobre la piel fue descubierta en los años setenta del siglo pasado. La pulsioximetría ha tenido una amplia difusión y disponemos de sistemas transcutáneos fiables con correlación precisa con la saturación arterial de oxígeno. Los sistemas de monitorización transcutánea de dióxido de carbono presentaban problemas técnicos que limitaron su uso¹⁻³.

Para un correcto control de la ventilación lo óptimo es monitorizar la presión de dióxido de carbono (PCO₂)^{4,5}. El «gold standard» continúa siendo la PaCO₂. Esta determinación, mediante punción o canalización arterial, resulta invasiva, dolorosa y no aporta información en tiempo real; es discontinua, supone un coste elevado y no está exenta de complicaciones. La posibilidad de disponer de un método no invasivo, continuo y fiable de medir o estimar la PaCO₂ resultaría de gran ayuda en muchas situaciones clínicas. En la actualidad se utilizan dos técnicas:

- monitorización del CO₂ espirado (PetCO₂) mediante capnografía: presenta resultados irregulares con mala correlación en pacientes con patología del parénquima pulmonar, alteración de la relación ventilación-perfusión, en ventilación unipulmonar, obstrucción de vía aérea y en paciente hemodinámicamente inestable.

Además la pérdida de aire espirado como en presencia de fugas y en la ventilación no invasiva limita sensiblemente esta técnica. También se han descrito variaciones en función de la posición del paciente⁶⁻⁸.

- medición de la presión transcutánea de CO₂ (PtCO₂): se basa en la alta solubilidad y difusión del CO₂ a través de la piel. Los sistemas actuales utilizan el principio de Severinghaus¹ (electrodo sensible a los cambios de pH inducidos por el CO₂ en una solución acuosa añadiendo NaHCO₂). La medición se realiza colocando sobre la piel un electrodo que calienta hasta una temperatura de 42 °C produciendo arteriolización de la sangre³.

En el ámbito pediátrico los sistemas de monitorización de PtCO₂ siguen presentando serias limitaciones. Entre ellas destacan: quemaduras en la piel por la temperatura de los electrodos, erosiones cutáneas por alta adhesividad, intervalos de calibración y estabilización largos, necesidad de cambiar electrodos de lugar cada 2-4 h y lectura poco fiable en situación de acidosis, vasoconstricción o hipotensión^{1,2}.

Existe actualmente un sistema de monitorización digital, el analizador de PtCO₂ SenTec Digital Monitor (distribuido en España por Bioline Supply) que por medio de un sensor digital (V-Sign sensor) permite monitorizar de forma continua la PtCO₂, aportando además información sobre la saturación periférica de oxígeno (SpO₂) y la frecuencia cardiaca. Se aplica en el lóbulo de la oreja mediante una pinza. Su utilización es sencilla, cómoda, y su tolerancia

bueno. La experiencia con este monitor y sensor en adultos ha demostrado una buena correlación entre la PaCO_2 y la PtCO_2 , tanto en adultos sanos⁴ como en adultos con patología respiratoria^{5,7,9,10}. Además se ha utilizado en adultos durante diferentes procedimientos que requerían sedoanalgesia, como broncoscopia¹¹, colonoscopia¹², y en ventilación unipulmonar durante toracoscopia⁶. Por último hay datos relativos a su utilización durante la ventilación no invasiva⁸ o durante el test de apnea en muerte cerebral¹³.

En pacientes pediátricos existen escasas publicaciones con este monitor y sensor^{14,15}. El trabajo más extenso se refiere a pacientes mayores de un año sin ventilación mecánica¹⁵. Sin embargo, en niños pequeños (especialmente en lactantes y neonatos) la colocación del sensor mediante pinza en el lóbulo auricular presenta problemas por la escasa superficie cutánea para adaptar el sensor.

Recientemente se ha comercializado un anillo específico para la aplicación del sensor en pacientes pediátricos (V-Sign sensor MDB 04.04.02, distribuido en España por Bioline Supply). Dicho anillo puede usarse en todas las edades en diferentes localizaciones cutáneas sobre prominencia ósea (clavicular, esternal, frontal, etc.) siendo por lo tanto más adaptable al paciente pediátrico. Permite la monitorización de la PtCO_2 calentando la piel solamente hasta 40 °C. Aún no registra la SpO_2 ni la frecuencia cardíaca en estas condiciones. Hasta la fecha, según conocimiento de los autores, revisada la literatura, no se han publicado estudios sobre la fiabilidad y seguridad del sistema, ni sobre sus posibles inconvenientes técnicos. El sistema se calibra de forma automática por medio de una concentración conocida de CO_2 ; este proceso requiere pocos minutos. Se puede monitorizar la PtCO_2 durante 8 h seguidas sin necesidad de repetir la calibración. La membrana del sensor se debe cambiar cada 28 días según instrucciones del fabricante. Permite además el registro completo del estudio para su análisis posterior, por medio de un software específico en un ordenador.

El objetivo principal de este estudio consiste en valorar la fiabilidad de la medición de la PtCO_2 respecto a la medición directa de la PaCO_2 . Se realiza en una cohorte de pacientes pediátricos ingresados en una unidad de cuidados intensivos. Se pretende establecer la correlación, la asociación y el grado de acuerdo entre la PtCO_2 y la PaCO_2 , utilizando el anillo para la aplicación del sensor diseñado específicamente para pacientes pediátricos. Se analiza además si las diferencias individuales entre la PtCO_2 y PaCO_2 se mantienen constantes.

Como objetivo secundario se plantea verificar si la correlación entre PtCO_2 y PaCO_2 y la diferencia entre las dos medidas son iguales en diferentes situaciones clínicas y técnicas (localización del sensor, tiempo desde calibración, etc.).

Por último se registran posibles efectos secundarios y problemas técnicos derivados de la utilización del sensor aplicado con anillo.

Material y métodos

El estudio se diseñó como analítico, observacional, longitudinal y prospectivo de cohorte dinámica.

La muestra la constituyeron los pacientes ingresados en la unidad de cuidados intensivos pediátricos entre octubre de 2008 y febrero de 2009. Se tomó como criterio de inclusión la necesidad de cateterización arterial debido a la situación clínica del paciente. Se obtuvo consentimiento informado de los padres o tutores y las correspondientes autorizaciones por parte del comité ético y de la unidad de investigación del centro donde se realizó el estudio.

En cada paciente, cuando su situación clínica precisaba la realización de una gasometría arterial, se realizaban dos determinaciones de PCO_2 : una transcutánea y otra arterial. Las mediciones de PtCO_2 se realizaron con el monitor digital SenTec (versión SMB 06.20.02, Therwill, Suiza) y un sensor específico aplicado mediante un anillo (sensor V-sign, versión MDB 04.04.02). Dicho sensor calienta la piel hasta 40 °C para lograr arterialización de la sangre. Se posiciona a nivel cutáneo sobre prominencia ósea tras añadir una gota de gel difusor. Previo a su aplicación el sensor se calibró según las instrucciones del fabricante. Tras su colocación se esperó un tiempo de 10–15 min hasta la correcta estabilización del valor de PtCO_2 . Las mediciones de PaCO_2 se realizaron en un analizador de gases GEM Premium 3.000 (Instrumentation Laboratory). Para evitar sesgos se realizaron sesiones de adiestramiento para la utilización del equipo dirigidas a todo el personal de la unidad.

Además de las presiones de CO_2 , en cada paciente se recogieron las siguientes variables independientes: edad, sexo, peso, talla, superficie corporal y diagnósticos al ingreso. Así mismo con cada determinación se anotaron los siguientes datos: frecuencia cardíaca, tensión arterial, tipo y dosis de fármacos inotrópicos; saturación periférica de oxígeno; tipo, modalidad y parámetros de asistencia respiratoria; saturación arterial de oxígeno, pH, concentración de ácido láctico y de bicarbonato, exceso de bases, PaO_2 ; localización del sensor, tiempo transcurrido desde la última calibración del sensor y desde el último cambio de membrana.

Para el manejo de los datos se creó una base de datos con el programa Access de Microsoft y para el análisis se utilizó el programa SPSS versión 15.0 para Window.

En el análisis de los datos se utilizó la regresión lineal, calculando la significación estadística de la asociación entre determinaciones mediante el test F de Snedecor y el coeficiente de correlación r^2 de Pearson. Con el fin de evitar las limitaciones de este coeficiente, se calculó también el coeficiente de correlación intraclase. Cuando la correlación fue significativa, se obtuvo la ecuación de regresión correspondiente. El grado de acuerdo entre las mediciones pareadas se estudió con el método de Bland y Altman¹⁶.

La consistencia de los resultados se comprobó analizando el comportamiento de la PtCO_2 al variar la PaCO_2 entre determinaciones. Para ello se realizó el ANOVA entre las dos primeras medidas de cada paciente así como la correlación entre ellas.

Con el fin de detectar factores que pudieran asociarse o influir en la variación de la correlación PaCO_2 - PtCO_2 , y para validar el sistema de medición en diferentes situaciones clínicas, se llevó a cabo un análisis estratificado de los datos. Para ello se estudió la variación de la correlación entre determinaciones según las siguientes variables: existencia o no de patología respiratoria; tipo de ventilación (mecánica

Tabla 1 Características de los pacientes

	Sexo	Edad (meses)	Peso (kg)	SC (m ²)	IRA	Diagnóstico principal
1	Varón	5	4,5	0,27	sí	Bronquiolitis
2	Varón	26	14	0,61	sí	Displasia broncopulmonar
3	Varón	115,5	40	1,26	no	Neumonía atípica
4	Mujer	3,5	3,4	0,22	no	Encefalomiелitis aguda diseminada
5	Mujer	13,5	10,7	0,51	no	Enfermedad de Wolman. Transplante de progenitores hematopoyéticos
6	Varón	156	45	1,322	no	Estatus convulsivo
7	Varón	2	4,5	0,26	no	Meningoencefalitis
8	Mujer	35	14	0,59	no	Hemorragia cerebral
9	Mujer	93	20	0,79	sí	Neumonía aspirativa
10	Varón	0,3	3,52	0,22	sí	Insuficiencia ventilatoria secundaria a atrofia espinal
11	Varón	1,5	4,5	0,28	sí	Bronquiolitis
12	Varón	10	7	0,37	sí	Bronquiolitis Traqueobroncomalacia

IRA: insuficiencia respiratoria aguda; SC: superficie corporal.

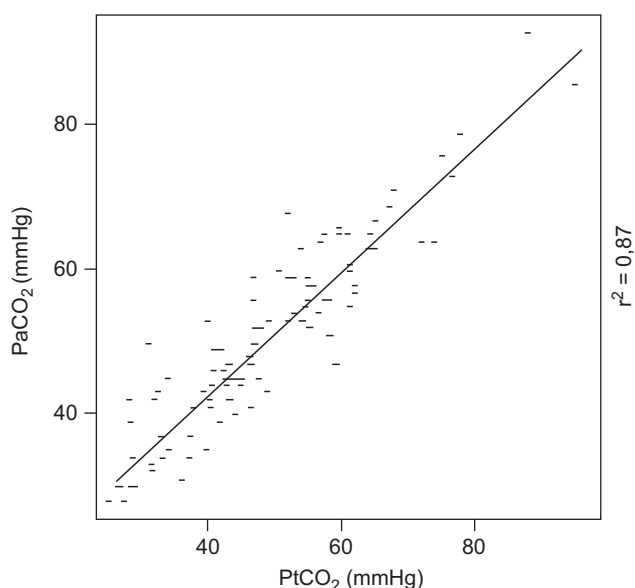


Figura 1 Correlación entre los valores de presión transtúrea de dióxido de carbono (PtCO₂) y presión arterial de dióxido de carbono (PaCO₂). $r^2=0,87$ ($p < 0,001$)

convencional, de alta frecuencia, no invasiva y respiración espontánea); asistencia respiratoria alta (definida como PEEP ≥ 8 cmH₂O y/o FiO₂ $\geq 0,6$) o baja; grado de ventilación (PaCO₂ < 35 mmHg; entre 35–50 mmHg; > 50 mmHg); localización del sensor (frontal, esternal, clavicular o escapular); y tiempo desde la calibración de membrana (mayor o menor de 20 días).

Resultados

Durante el estudio se siguieron 12 pacientes, 8 varones y 4 mujeres. Con un amplio rango de edades, comprendidas entre 10 días y 12,62 años y con pesos entre 3,4–45 kg. Las

características de los pacientes se resumen en la tabla 1. Ningún paciente fue excluido del estudio una vez captado.

Respecto al diagnóstico de los pacientes, 7 presentaban patología respiratoria, 4 deterioro neurológico grave y una metabolopatía congénita (tabla 1).

En los pacientes se recogieron un total de 106 pares de determinaciones, de ellos se excluyeron 6 por problemas técnicos en la recogida (1 por calibración incorrecta, 3 por anillo no colocado sobre prominencia ósea, 1 porque no se realizó en el mismo momento la determinación de PaCO₂ y 1 porque no se recogió el valor de PtCO₂). Con ello el número final de pares de determinaciones fue 100.

En el momento de realizar la determinación el paciente se encontraban en respiración espontánea en 12 ocasiones y en 88 estaba sometido a ventilación (57 ventilación mecánica convencional, 19 ventilación no invasiva y 12 ventilación de alta frecuencia).

La PaCO₂ media de las determinaciones resultó 51,0 mmHg, con desviación estándar de ± 13 mmHg. La PtCO₂ media fue 50,1 mmHg, con desviación estándar ± 14 mmHg. Tras comprobar la normalidad de la distribución de los valores se obtuvo un coeficiente $r^2=0,87$ ($p < 0,001$). La ecuación obtenida fue: $\text{PaCO}_2 = 8,17 + 0,86 \times \text{PtCO}_2$ (fig. 1). El coeficiente de correlación intraclase para medidas promedio fue 0,96 con IC: 0,94–0,97 y para medidas individuales 0,92 (IC: 0,88–0,94).

El análisis de Bland-Altman mostró una media de las diferencias de $-0,9$ mmHg (IC: $-2,0$ – $0,2$ mmHg). Con unos límites de acuerdo para dos desviaciones estándar entre $-11,5$ mmHg (IC: -13 – $-9,6$ mmHg) y $9,7$ mmHg (IC: $7,8$ – $11,5$ mmHg) (fig. 2).

En el análisis estratificado se comprobó una mejor correlación en pacientes sin patología respiratoria, en aquellos con asistencia respiratoria baja, cuando los valores de PaCO₂ eran mayores de 50 mmHg y si el sensor se colocaba a nivel frontal (tabla 2). La correlación era menor cuando se aproximaba la fecha de caducidad de la membrana indicada por el fabricante.

En el análisis de la varianza entre los pares de determinaciones consecutivas no se encontraron diferencias significativas.

El tiempo de estabilización necesario para que mediación fuese fiable tras la calibración del sensor osciló entre 10–15 min.

No se observaron efectos secundarios derivados de la utilización del anillo para la aplicación del sensor, ni relacionados con el estudio.

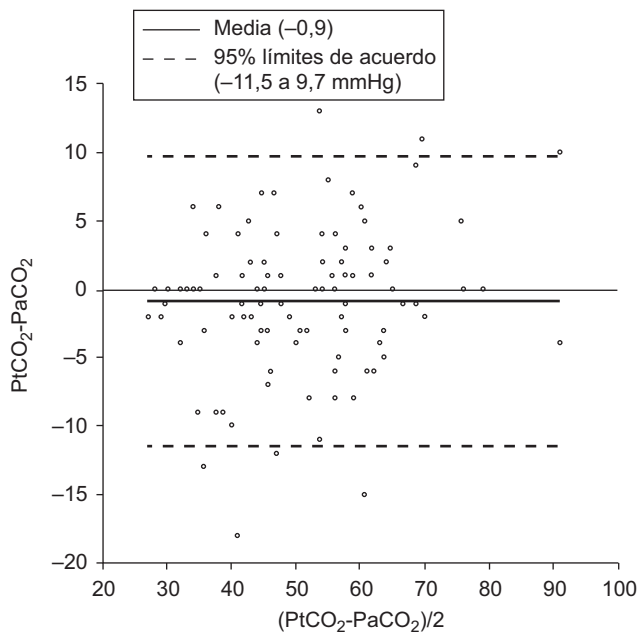


Figura 2 Análisis de Bland-Altman entre los valores de presión transcutánea de dióxido de carbono (PtCO₂) y presión arterial de dióxido de carbono (PaCO₂). Límites de acuerdo del 95%.

Discusión

La aparición en el mercado de nuevos procedimientos menos cruentos para la determinación de presión de CO₂ en sangre, hace necesaria la realización de estudios para la validación de este instrumental en situaciones reales. Se presentan los resultados del primer estudio realizado con el monitor digital SenTec y el anillo de aplicación del sensor, especialmente indicado para el paciente pediátrico. Con este primer estudio, de manera independiente del productor, se comprueba la fiabilidad y la adecuación del sistema de detección de la PtCO₂ en el paciente pediátrico de cualquier edad (el paciente más pequeño tenía 10 días y pesaba menos de 4 kg; el mayor tenía 12 años y medio y un peso de 45 kg).

La PtCO₂ obtenida mediante monitor digital SenTec con sensor de anillo específico tiene una correlación muy buena con la PaCO₂, alcanzando cifras superiores a 0,9 con el coeficiente de correlación intraclase. Se comprobó además que esta correlación se mantenía estable y no aparecían diferencias en determinaciones consecutivas del mismo paciente. En el análisis de Bland-Altman encontramos que la PtCO₂ infraestimaba ligeramente la PaCO₂ en 0,9 mmHg de media, lo cual carece de relevancia clínica. Sin embargo, los límites de acuerdo (entre -11,5 mmHg y +9,7 mmHg), pueden resultar excesivos en situaciones clínicas en las cuales en control de la PaCO₂ deba ser estricto, (por ejemplo, si se precisa hiperventilación controlada en situaciones de hipertensión intracraneal o hipertensión pulmonar). En estos casos la medición de la PtCO₂ puede resultar muy adecuada para vigilar la tendencia y los posibles cambios ante complicaciones respiratorias, hemodinámicas o neurológicas. Estos resultados concuerdan con los obtenidos en adultos críticamente enfermos con sensor de pinza auricular^{5,7}.

Tabla 2 Análisis de la correlción entre PtCO₂ y PaCO₂ por subgrupos (coeficiente de correlación r² de Pearson y coeficiente de correlación intraclase)

Variable	Categorías	p	r ²	CCI	IC
Patología respiratoria	sí	<0,001	0,85	0,99	0,98–0,99
	no	<0,001	0,98	0,91	0,85–0,95
Asistencia respiratoria	baja	<0,001	0,92	0,96	0,92–0,97
	alta	<0,001	0,87	0,92	0,86–0,96
Tipo de ventilación	VMC	<0,001	0,91	0,95	0,91–0,97
	VAFO	<0,001	0,94	0,96	0,85–0,99
	VNI	<0,001	0,83	0,91	0,76–0,96
	Espontánea	<0,001	0,94	0,97	0,89–0,99
PaCO ₂	< 35 mmHg	<0,05	0,68	0,74	0,62–0,93
	35–50 mmHg	<0,001	0,67	0,77	0,59–0,87
	> 50 mmHg	<0,001	0,84	0,9	0,81–0,95
Localización sensor	Frente	<0,001	0,97	0,99	0,97–0,99
	Escápula	<0,001	0,96	0,98	0,91–0,99
	Clavícula	<0,001	0,91	0,95	0,87–0,98
	Esternón	<0,001	0,88	0,93	0,87–0,96
Tiempo desde cambio membrana	<20 días	<0,001	0,96	0,98	0,96–0,99
	> =20 días	<0,001	0,90	0,94	0,90–0,97

VAFO: ventilación de alta frecuencia; VMC: ventilación mecánica convencional; VNI: ventilación no invasiva.

La monitorización continua no invasiva de la $PtCO_2$ en el paciente crítico permite evitar gasometrías repetidas y podría ser de extrema utilidad en los pacientes en los cuales la cateterización arterial no esté indicada, fuese muy dificultosa o pudiese conllevar efectos secundarios importantes. Además, la medición de la $PtCO_2$ aporta información continua a tiempo real. También resulta muy interesante en situaciones en que la $PaCO_2$ puede variar de manera importante, como en el destete o tras ajustes de ventilación mecánica. Parece conveniente y oportuno realizar al menos una primera gasometría arterial que sirva de referencia a posteriores mediciones.

En el análisis estratificado se encontraron resultados concordantes con otros ya publicados. Resulta razonable que la fiabilidad de los resultados se vea afectada por el tiempo de uso de la membrana. En los estudios realizados con el sensor de pinza auricular también se ha comprobado mayor diferencia cuando se aproximaba la fecha de cambio de membrana indicada por el fabricante¹⁰. Además se han puesto de manifiesto problemas técnicos por errónea colocación de la membrana en el sensor, daño de la membrana o aplicación inadecuada del sensor, como se describe en otros artículos⁹. Otra consideración importante es el tiempo necesario para la estabilización de la medida de $PtCO_2$ tras aplicar el sensor al paciente. Con el sensor de pinza auricular se recomiendan entre 5¹²–20 min^{5,9}. En este estudio el tiempo necesario ha sido de 10–15 min. Todo ello indica la necesidad de cumplir las especificaciones técnicas de forma precisa, así como de realizar un entrenamiento previo al personal.

Se observó que las mediciones obtenidas mediante ambos métodos se aproximaban más cuando la PCO_2 era más alta. Estos resultados son similares a los publicados en adultos, según los cuales la concordancia empeora cuando el paciente está hiperventilado, indicando un problema para la detección de valores bajos de PCO_2 ^{4,5}. En esta misma línea, en el estudio se han observado diferencias según la localización del sensor, siendo mejor la correlación en la localización frontal y peor en la esternal. La sensibilidad en la determinación de la $PtCO_2$ parece estar inversamente relacionada con el espesor del tejido subcutáneo entre la superficie ósea y la piel donde se coloca el sensor. Otras posibles limitaciones de la medición de $PtCO_2$ descritas por varios autores son las debidas a edema, hipoperfusión (por bajo gasto cardíaco, hipovolemia o vasoconstricción) e hipotermia^{3,5-7,15}. En nuestro estudio no hubo posibilidad de valorar la importancia de estos factores de confusión, puesto que un número muy limitado de determinaciones fueron recogidas en situación de inestabilidad hemodinámica.

La mayor correlación observada en ausencia de patología respiratoria y en pacientes en respiración espontánea debe ser contrastada en nuevos estudios, puesto que no es posible descartar la concurrencia de otros factores de confusión como localización del sensor diferente a la frontal en pacientes graves (por existencia de otras monitorizaciones como el índice biespectral o paciente en pronó); hiperventilación en pacientes con asistencia respiratoria; o mayor tiempo de uso de la membrana en pacientes graves.

Respecto al manejo y la seguridad del sensor, el usar temperaturas menores (entre 39–40 °C) permite un uso más prolongado en niños pequeños, sin los problemas de lesiones

cutáneas. Esto, técnicamente posibilita tiempos de monitorización más largos, incluso registros nocturnos, puesto que además la calibración de la membrana se realiza cada 8 h. Así, además de la monitorización del paciente en unidad de cuidados intensivos (neonatales y pediátricos) se han descrito otros usos de la monitorización de la $PtCO_2$: en el control anestésico, en estudios respiratorios durante el sueño, en las revisiones de la ventilación domiciliaria, en pruebas de esfuerzo, en sedoanalgesia para procedimientos, en el transporte inter e intra hospitalario, en el test de apnea en muerte cerebral e incluso para valorar la viabilidad de la piel tras injerto o quemadura.^{1,3,6,11-13,15,17,18}

En resumen, en opinión de los autores el monitor digital SenTec, el sensor para la medición de la $PtCO_2$ y el sistema de anillo específico, constituyen una herramienta fiable, segura y fácil de utilizar en el paciente pediátrico, cuando se cumplan unos requisitos mínimos de entrenamiento. La tolerancia es excelente por parte del paciente y del personal que realiza la técnica.

Entre las limitaciones del estudio destaca que, aunque se recogieron diversas características clínicas en el momento de las mediciones (como la tensión arterial, la existencia de edemas, la vasoconstricción cutánea y la temperatura) no se obtuvo un número suficiente de muestras para realizar un estudio estratificado que permita valorar por separado todas estas variables, relevantes en la clínica diaria.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Financiación

Proyecto de investigación modalidad «B», aprobado para el año 2008, según la Resolución de 18 de agosto del año 2008, del Director Gerente de la Gerencia Regional de Salud de Castilla y León.

Agradecimientos

A todo el personal de la Unidad de Cuidados Intensivos Pediátricos que ha posibilitado con su trabajo la realización de este estudio.

Bibliografía

- Severinghaus JW. The current status of transcutaneous blood gas analysis and monitoring. *Blood Gas News*. 1998;7:4-9.
- Eberhard P. The design, use, and results of transcutaneous carbon dioxide analysis: current and future directions. *Anesth Analg*. 2007;105:548-52.
- Chhajed PN, Heuss L, Tamm M. Cutaneous carbon dioxide monitoring in adults. *Curr Opin Anaesthesiol*. 2004;17:521-5.
- Kocher S, Rohling R, Tschupp A. Performance of a digital PCO_2 /SPO2 ear sensor. *J Clin Monit Comput*. 2004;18:75-9.
- Baulig W, Schütt P, Roth HR, Hayoz J, Schmid ER. Clinical validation of a digital transcutaneous PCO_2 /SpO2 ear sensor in adult patients after cardiac surgery. *J Clin Monit Comput*. 2007;21:303-9.

6. Cox P, Tobias JD. Noninvasive monitoring of PaCO₂ during one-lung ventilation and minimal access surgery in adults: End-tidal versus transcutaneous techniques. *J Min Access Surg.* 2007;3: 8–13.
7. Rodríguez P, Lellouche F, Aboab J, Buisson CB, Brochard L. Transcutaneous arterial carbon dioxide pressure monitoring in critically ill adult patients. *Intensive Care Med.* 2006;32: 309–312.
8. Storre JH, Steurer B, Kabitz HJ, Dreher M, Windisch W. Transcutaneous PCO₂ monitoring during initiation of noninvasive ventilation. *Chest.* 2007;132:1810–6.
9. Domingo Ch, Canturri E, Luján M, Moreno A, Espuelas H, Marín A. Transcutaneous measurement of partial pressure of carbon dioxide and oxygen saturation: validation of the SenTec monitor. *Arch Bronconeumol.* 2006;42:246–51.
10. Herrejón A, Inchaurreaga I, Palop J, Ponce S, Peris R, Terrádez M, et al. Usefulness of transcutaneous carbon dioxide pressure monitoring to measure blood gases in adults hospitalized for respiratory disease. *Arch Bronconeumol.* 2006;42:225–9.
11. Chhajed PN, Rajasekaran R, Kaegi B, Chhajed TP, Pflimlin E, Leuppi J, et al. Measurement of combined oximetry and cutaneous capnography during flexible bronchoscopy. *Eur Respir J.* 2006;28:386–90.
12. Heuss LT, Chhajed PN, Schnieper P, Hirt T, Beglinger C. Combined pulse oximetry/cutaneous carbon dioxide tension monitoring during colonoscopies: pilot study with a smart ear clip. *Digestion.* 2004;70:152–8, doi:10.1159/000081515.
13. Vivien B, Marmion F, Roche S, Devilliers C, Langeron O, Coriat P, et al. An evaluation of transcutaneous carbon dioxide partial pressure monitoring during apnea testing in brain-dead patients. *Anesthesiology.* 2006;104:701–7.
14. Urbano Villaescusa J, Cruzado Nuevo V, Bellón Cano JM, López-Herce Cid J, Herrera López M, Carrillo Álvarez A. Comparación de la fiabilidad de tres monitores de CO₂ transcutánea en niños críticos. *An Pediatr (Barc).* 2008;68(Supl 2):1–378.
15. Paiva R, Krivec U, Aubertin G, Cohen E, Clément A, Fauroux B. Carbon dioxide monitoring during long-term noninvasive respiratory support in children. *Intensive Care Med.* 2009;35: 1068–1074.
16. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet.* 1986;1:307–10.
17. Hinkelbein J, Floss F, Denz C, Krieter H. Accuracy and precision of three different methods to determine PCO₂ (PaCO₂ vs. PetCO₂ vs. PtcCO₂) during interhospital ground transport of critically ill and ventilated adults. *J Trauma.* 2008;65:10–8.
18. Stege G, van den Elshout FJ, Heijdra YF, van de Ven MJ, Dekhuijzen PN, Vos PJ. Accuracy of Transcutaneous Carbon Dioxide Tension Measurements during Cardiopulmonary Exercise Testing. *Respiration.* 2008, doi:10.1159/000187631.