

Medición transcutánea de la presión parcial de anhídrido carbónico y de la saturación de oxígeno: validación del monitor SenTec

Ch. Domingo, E. Canturri, M. Luján, A. Moreno, H. Espuelas y A. Marín

Servei de Pneumologia. Corporació Sanitària Parc Taulí. Sabadell. Barcelona. España.

OBJETIVO: Validar un monitor que mide la saturación de oxígeno y la presión parcial de anhídrido carbónico por vía transcutánea (SpO₂ y PtcCO₂).

PACIENTES Y MÉTODOS: Se ha realizado un estudio observacional en el que se incluyó a 140 pacientes de raza caucásica, no fumadores y sin ictericia. Se les realizó: espirometría forzada, medición de la SpO₂ y PtcCO₂ mediante el monitor SenTec y gasometría arterial (lectura en 2 gasómetros) durante la fase de estabilización del monitor. En la evaluación estadística se compararon los valores de las 2 mediciones de gasometría arterial mediante media de diferencias para la presión arterial de anhídrido carbónico (PaCO₂) y la saturación de oxígeno (SaO₂). Se calculó la media aritmética entre las 2 gasometrías, además del coeficiente de correlación de Pearson (*r*) y el coeficiente de correlación intraclass (CCI) entre SaO₂ y SpO₂, y PaCO₂ y PtcCO₂ como medida de concordancia. Se aplicó el análisis de Bland y Altman para el estudio de la dispersión de datos.

RESULTADOS: Se rechazó a 10 pacientes debido a un error sistemático por problemas del gas calibrador. El tiempo medio (\pm desviación estándar) de estabilización del monitor antes de lectura fue de 13,9 \pm 2,4 min. El volumen espiratorio forzado en el primer segundo fue superior al 80% en 40 pacientes; se situó entre el 60 y el 79% en 23; entre el 40 y el 59% en 30, y fue menor del 40% en 37. La media de diferencias entre las gasometrías arteriales fue: para la PaCO₂, 0,28 \pm 1,0 mmHg; para la SaO₂, -0,06 \pm 0,86%, y para la presión arterial de oxígeno, -0,9 \pm 2,7 mmHg. En cuanto a la correlación y concordancia, los resultados fueron los siguientes: para la SaO₂ y SpO₂, *r* = 0,74 y CCI = 0,73; para la PaCO₂ y PtcCO₂, *r* = 0,92 y CCI = 0,92. El análisis por subgrupos no mostró diferencias destacables. El análisis de Bland y Altman no demostró dispersión significativa de datos. Se observó que el monitor SenTec infravaloró los valores de SaO₂ alrededor del 1% y sobrevaloró los de PaCO₂ en 1 mmHg.

CONCLUSIONES: El tiempo de estabilización aconsejable del monitor SenTec antes de realizar una lectura es de 20 min. Las sobrevaloraciones e infravaloraciones del monitor carecen de traducción clínica. Por último, los valores obtenidos de SpO₂ y PtcCO₂ del monitor validado son fiables.

Palabras clave: PaCO₂ transcutáneo. Sensor tipo Severinghaus. Pulsioxímetro.

Financiado por la beca CIR Fundación Parc Taulí 2005.

Correspondencia: Dr. Ch. Domingo.
Servei de Pneumologia. Corporació Sanitària Parc Taulí.
Parc Taulí, s/n. 08208 Sabadell. Barcelona. España.
Correo electrónico: cdomingo@cspt.es

Recibido: 5-7-2005; aceptado para su publicación: 15-11-2005.

Transcutaneous Measurement of Partial Pressure of Carbon Dioxide and Oxygen Saturation: Validation of the SenTec Monitor

OBJECTIVE: To validate a monitor for transcutaneous measurement of oxygen saturation (SpO₂) and partial pressure of carbon dioxide (TcPCO₂).

PATIENTS AND METHODS: This observational study included 140 Caucasian nonsmokers without jaundice. Patients underwent forced spirometry, measurement of SpO₂ and TcPCO₂ with the SenTec monitor, and arterial blood gas analysis (readings with 2 devices) during the stabilization phase of the monitor. In the statistical analysis, values from the 2 devices for measuring arterial blood gases were compared by mean differences for PaCO₂ and oxygen saturation (SaO₂). The arithmetic mean of the 2 blood gas measurements was calculated and relations between them and the SpO₂ and TcPCO₂ were assessed by the Pearson correlation coefficient (*r*) and the intraclass correlation coefficient (ICC) as a measure of agreement. Bland-Altman analysis was used to test data dispersion.

RESULTS: Ten patients were excluded due to a systematic error in the gas calibrator. The mean (SD) time to stabilization of the monitor before reading was 13.9 (2.4) minutes. The forced expiratory volume in the first second was greater than 80% in 40 patients, between 60% and 79% in 23, between 40% and 59% in 30, and less than 40% in 37. The mean (SD) differences between arterial blood gas measurements were 0.28 (1.0) mm Hg for PaCO₂, -0.06% (0.86%) for SaO₂, and -0.9 (2.7) mm Hg for PaO₂. In the tests for correlation and agreement, *r* was 0.74 and ICC was 0.73 for SaO₂ and SpO₂; *r* was 0.92 and ICC was 0.92 for PaCO₂ and TcPCO₂. The subgroup analyses did not show any noteworthy differences. The Bland Altman analysis showed no significant dispersion. It was observed that the SenTec monitor underestimated oxygen saturation values by around 1% with respect to SaO₂ and overestimated carbon dioxide pressure by 1 mm Hg with respect to PaCO₂ values.

CONCLUSIONS: The stabilization time recommended for the SenTec monitor before taking a reading is 20 minutes. The overestimates and underestimates by the monitor are not clinically relevant. Finally, the values for SpO₂ and TcPCO₂ measured by the validated monitor are reliable.

Key words: Carbon dioxide partial pressure determination, transcutaneous. Severinghaus-type sensor. Pulse oximetry.

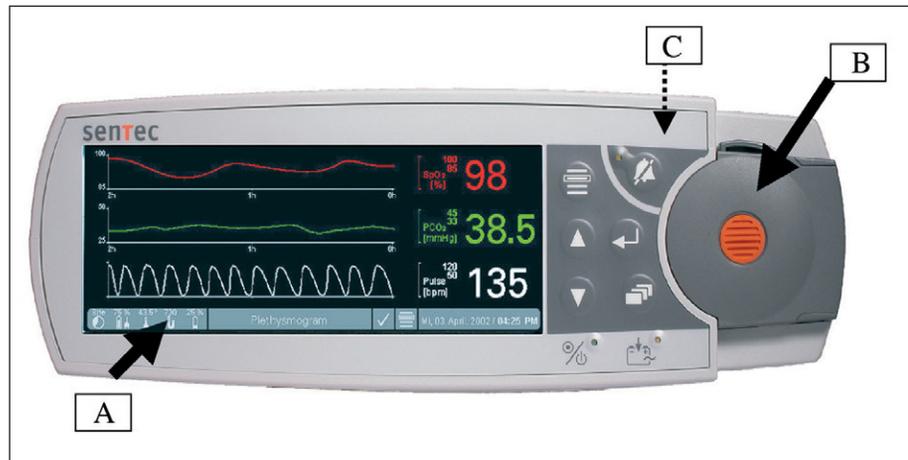


Fig. 1. Monitor SenTec. A: pantalla del monitor que muestra de arriba abajo los valores de saturación de oxígeno, presión parcial de anhídrido carbónico y frecuencia cardíaca. B: portal donde se encuentra el sensor V-Sign™ con la membrana, que debe cambiarse periódicamente. C: posteriormente se coloca la bombona de gas calibrador.

Introducción

Durante la década de los cincuenta la aparición de ceguera en prematuros secundaria a oxigenoterapia motivó el interés por el desarrollo de monitores que informaran de modo no invasivo de la presión arterial de oxígeno. Posteriormente se añadió el interés por la monitorización del anhídrido carbónico. Debido a los problemas técnicos y prácticos que presentaban estos monitores (tabla I) y la introducción hacia 1985 de la pulsioximetría, que ha mostrado históricamente su efectividad^{1,2} para la evaluación de la oxigenación tanto durante el sueño³ como durante el esfuerzo^{4,5} de manera no invasiva, el interés por la medición no invasiva de la presión parcial de anhídrido carbónico (PaCO_2) y de oxígeno disminuyó. La pulsioximetría, sin embargo, no aporta información sobre la PaCO_2 , es decir, sobre la ventilación del paciente. De ahí la importancia de disponer de una técnica que informe de

su valor de manera no invasiva y que permita, además, su monitorización de manera continuada y no puntual como la gasometría. En la actualidad existen ya algunos resultados indicativos de la fiabilidad de este tipo de monitores, que permiten la determinación transcutánea de la saturación de oxígeno (SpO_2) y PaCO_2 (PtcCO_2)⁶⁻⁹.

La finalidad de nuestro estudio ha sido evaluar la fiabilidad de un monitor de medición de SpO_2 y PtcCO_2 en pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica ligera, moderada y grave, y en controles sanos, en reposo y ventilación espontánea en aire ambiente.

Pacientes y métodos

Pacientes

Se ha estudiado consecutivamente una cohorte de pacientes no fumadores, de raza caucásica y sin ictericia, remitidos al Laboratorio de Exploraciones Funcionales Respiratorias de nuestro hospital para la realización de una espirometría forzada y una gasometría arterial. Se estableció un número de pacientes mínimo a estudiar de 120 para intentar tener 4 categorías de 30 pacientes cada una.

Métodos

El estudio es observacional. A todos los pacientes se les realizó una espirometría forzada (MedGraphics system 1070, Series 2E/1085) el mismo día del estudio. La prueba se efectuó de acuerdo con la normativa de la Sociedad Española de Neumología y Cirugía Torácica (SEPAR)¹⁰ y se utilizaron como ecuaciones de referencia las de la población mediterránea¹¹. Posteriormente se procedió a la medición de la SpO_2 y PtcCO_2 mediante el sensor combinado V-Sign™ (SenTec Inc., Suiza). Las características del monitor son las siguientes: peso de 2,5 kg (5,5 libras) y tamaño de 10,2 × 27,0 × 23,0 cm (4,00" × 10,63" × 9,06"). Dispone de un electrodo modelo pinza desechable que debe ejercer la presión adecuada sobre el pabellón auricular para su correcto funcionamiento. La calibración es automática cada vez que se cierra la puerta de la estación de acoplamiento (fig. 1). Es aconsejable un cambio de membrana del sensor cada 2 semanas debido al consumo de electrolitos entre el sensor y la membrana. Las mediciones se realizaron de acuerdo con el método expuesto en la tabla II y la figura 1, y se anotó el tiempo de estabilización desde la colocación del sensor en el lóbulo auricular hasta que se consideró el valor estabilizado.

TABLA I
Desventajas de los monitores clásicos para la medición transcutánea de anhídrido carbónico

Quemaduras de piel secundarias a la temperatura de los electrodos
Erosiones cutáneas secundarias a la excesiva adhesividad de los electrodos
Lectura poco fiable en situación de acidosis
Intervalos de calibración y estabilización largos
Necesidad de cambiar los electrodos de lugar cada 2-4 h

TABLA II
Proceso de medición mediante el sensor V-Sign™ (SenTec Inc., Suiza)

Conexión permanente del aparato a la corriente eléctrica
La calibración es automática antes de cada determinación
Comprobación del nivel de gas calibrador
Limpieza con una gasa embebida en alcohol del lóbulo de la oreja del paciente
Colocación de una gota de gel conductor en la superficie de la membrana del lector
Colocación de la pinza con el sensor en el lóbulo de la oreja del paciente
Estabilización de los valores de la presión parcial de anhídrido carbónico y saturación de oxígeno

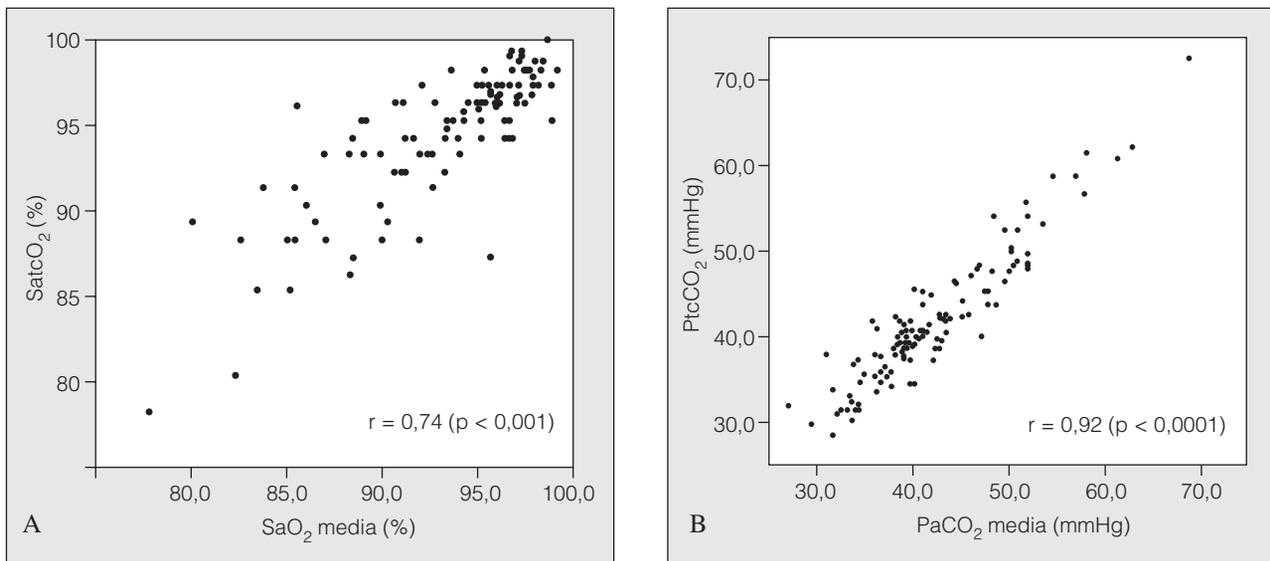


Fig. 2. A: correlación entre los valores de saturación de oxígeno obtenidos mediante el sensor V-Sign™ (SenTec Inc., Suiza) (SpO₂) y la gasometría arterial (SaO₂). B: correlación entre los valores de presión parcial de anhídrido carbónico por gasometría arterial (PaCO₂) y por sensor V-Sign™ (PtcCO₂).

Durante el tiempo de estabilización se realizó una gasometría arterial al paciente de acuerdo con la normativa SEPAR¹², que incluye el uso de anestesia subcutánea previa a la punción. La muestra de gasometría arterial se procesó en 2 gasómetros y hemoxímetros, el del Laboratorio de Pruebas Funcionales Respiratorias (Radiometer Copenhagen, ABL 500 series; hemoxímetro Radiometer OSM3) e inmediatamente después en el de la Unidad de Cuidados Intensivos (UCI) (Radiometer Copenhagen, ABL 700 series; hemoxímetro Radiometer OSM3). A pesar de que ambos laboratorios están en la misma planta y a corta distancia, las muestras de sangre se transportaron en hielo desde el uno al otro. Se realizó un mínimo de 2 lecturas en cada una de las muestras sanguíneas en cada gasómetro y se tomó siempre el valor óptimo (mayor presión arterial de oxígeno y menor PaCO₂) cuando no diferían los valores en más de 1 mmHg (en este caso se efectuaba una tercera lectura)¹³. Posteriormente se calculó la media aritmética entre ambas gasometrías y el valor resultante se aceptó como valor de referencia gasométrico. En el momento de introducir la muestra de sangre en el gasómetro se especificó la temperatura del paciente.

Análisis estadístico

Los resultados antropométricos, espirométricos y gasométricos se expresan en forma de media \pm desviación estándar. Se compararon los valores de las gasometrías arteriales procesadas en el Laboratorio de Función Respiratoria y de la UCI mediante el cálculo de la media de las diferencias para la PaCO₂ y la saturación arterial de oxígeno (SaO₂). Se determinó el coeficiente de correlación de Pearson (r) entre la PaCO₂ y la SaO₂ y la PtcCO₂ y la SpO₂, respectivamente. Por último se realizó un estudio de concordancia mediante el cálculo del coeficiente de correlación intraclase (CCI) y el análisis de Bland y Altman.

El estudio fue aprobado por el Comité de Ética de nuestro hospital.

Resultados

Se estudió consecutivamente a 140 pacientes. Se retiraron de la evaluación estadística 10 casos correspondientes a 2 días en que, debido al bajo nivel de gas cali-

brador, se produjo un error sistemático en la medida, de manera que el número de pacientes finalmente evaluados fue de 130. El tiempo medio de lectura, una vez que la enfermera consideró que el valor del monitor se había estabilizado, fue de $13,9 \pm 2,4$ min. La edad de los pacientes, sus datos antropométricos, espirométricos y gasométricos medios se recogen en la tabla III. No se detectó ningún caso con valores elevados de carboxihemoglobina indicativos de tabaquismo reciente. La media de las diferencias entre los valores de las gasometrías procesadas en el Laboratorio de Función Pulmonar y de la UCI fue: para la PaCO₂, $0,28 \pm 1,0$ mmHg, y para la SaO₂, $-0,06 \pm 0,86\%$.

Los datos de la comparación entre la SaO₂ y la SpO₂ se exponen en la tabla IV, tanto para toda la cohorte (fig. 2A) como para los grupos establecidos en función de la gravedad de la alteración ventilatoria. En la tabla V se muestran los datos comparativos entre la PaCO₂ y la PtcCO₂, tanto para toda la cohorte (fig. 2B) como para los grupos establecidos en función de la gravedad de la alteración ventilatoria.

TABLA III
Descripción de la población estudiada (n = 130)

Características	Media \pm DE
Edad (años)	64,2 \pm 13,4
Altura (cm)	163,3 \pm 9,3
Peso (kg)	79,2 \pm 16,6
FEV ₁ (l)	1,8 \pm 1,0
FEV ₁ (% teórico)	61,9 \pm 27,4
FVC (l)	2,9 \pm 1,1
FVC (% teórico)	72,9 \pm 19,8
FEV ₁ /FVC (%)	60,8 \pm 17,7
PaCO ₂ media (mmHg)	42,2 \pm 7,2
SaO ₂ media (%)	93,5 \pm 4,4

FEV₁: volumen espiratorio forzado en el primer segundo; FVC: capacidad vital forzada; PaCO₂: presión parcial de anhídrido carbónico; SaO₂: saturación de oxígeno; DE: desviación estándar.

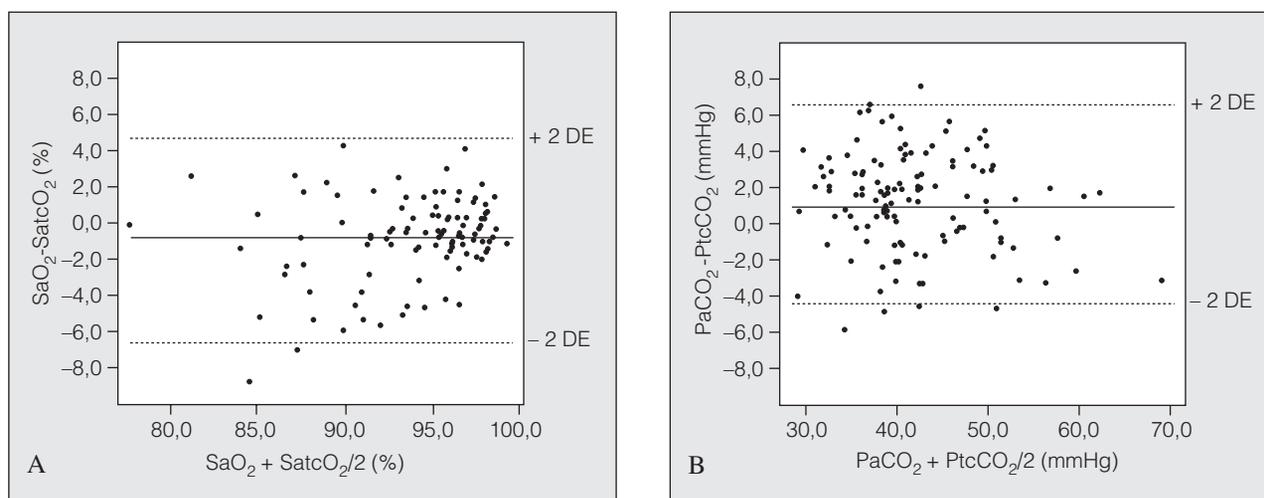


Fig. 3. A: análisis de Bland y Altman entre los valores de saturación de oxígeno obtenidos por gasometría arterial (SaO_2) y por sensor V-Sign™ (SenTec Inc., Suiza) (SpO_2). B: análisis de Bland y Altman entre los valores de presión parcial de anhídrido carbónico medidos por gasometría arterial ($PaCO_2$) y por sensor V-Sign™ ($PtcCO_2$). DE: desviación estándar.

En la figura 3 se muestra, mediante la representación de Bland y Altman, el grado de dispersión de los datos para la SaO_2 y SpO_2 (fig. 3A) y para la $PaCO_2$ y $PtcCO_2$ (fig. 3B).

Discusión

A finales del siglo pasado y principios del actual, Rohling y Biro⁶ y Tschupp y Fanconi⁸ describieron por primera vez un monitor que incorporaba los elementos de un sensor de pulsioximetría óptica con un sensor de $PaCO_2$ tipo Severinghaus¹⁴, cuya base radica en incrementar el flujo sanguíneo local mediante el calentamiento del tejido sobre el cual se aplica el electrodo de

medida. Este monitor minimiza las desventajas de los monitores clásicos expuestos en la tabla I, al presentar un tiempo menor de estabilización (15-20 min) y un tiempo de respuesta inferior (los valores de $PtcCO_2$ se observan entre 1 y 2 min después de los cambios de la $PaCO_2$), y al utilizar electrodos que trabajan a temperaturas inferiores (entre 39 y 42 °C)¹⁵. Los monitores que miden la presión arterial de oxígeno y la $PaCO_2$ trabajan a temperaturas superiores (≥ 45 °C), por lo que pueden producir quemaduras en la piel de los pacientes si no se cambia de lugar el sensor. El modelo de monitor que hemos evaluado, al trabajar a temperaturas inferiores, no debe en principio generar este tipo de problemas.

TABLA IV
Comparación de los valores de saturación de oxígeno obtenidos por gasometría arterial (SaO_2 ; media de 2 determinaciones) y mediante el sensor V-Sign™ (SenTec Inc., Suiza) (SpO_2)

	N	SaO_2 (%)	SpO_2 (%)	CCI	MD (IC)
Cohorte total	130	93,5 ± 4,4	94,3 ± 4,5	0,73	-0,89 (de -1,43 a -0,33)
$FEV_1 \geq 80\%$	40	96,6 ± 1,9	96,7 ± 1,9	0,52	-0,09 (de -0,68 a 0,49)
FEV_1 : 60-79%	23	95,2 ± 2,6	95,2 ± 4,3	0,39	0,04 (de -1,65 a 1,70)
FEV_1 : 40-59%	30	92,6 ± 3,9	94,4 ± 4,1	0,69	-1,82 (de -2,87 a -0,78)
$FEV_1 < 40\%$	37	89,7 ± 4,6	91,2 ± 5,1	0,67	-1,50 (de -2,80 a -0,30)

FEV_1 : volumen espiratorio forzado en el primer segundo; N: número de casos; CCI: coeficiente de correlación intraclase; MD: media de las diferencias SaO_2 - SpO_2 ; IC: intervalo de confianza.

* $p < 0,03$ en todos los casos.

TABLA V
Comparación de los valores de presión parcial de anhídrido carbónico obtenidos por gasometría arterial ($PaCO_2$; media de 2 determinaciones) y mediante el sensor V-Sign™ (SenTec Inc., Suiza) ($PtcCO_2$)

	N	$PaCO_2$ (mmHg)	$PtcCO_2$ (mmHg)	CCI*	MD (IC del 95%)
Cohorte total	130	42,16 ± 7,2	41,2 ± 7,6	0,92	0,99 (0,5-1,47)
$FEV_1 \geq 80\%$	40	38,48 ± 3,5	37,2 ± 3,9	0,68	1,22 (0,33-2,1)
FEV_1 : 60-79%	23	38,11 ± 4,1	37,4 ± 3,7	0,77	0,64 (de -0,47 a 1,7)
FEV_1 : 40-59%	30	43,14 ± 7,2	42,2 ± 7,9	0,90	0,89 (de -0,3 a 2,1)
$FEV_1 < 40\%$	37	47,86 ± 7,8	46,8 ± 8,3	0,94	1,02 (0,15-1,9)

FEV_1 : volumen espiratorio forzado en el primer segundo; N: número de casos. CCI: coeficiente de correlación intraclase; MD: media de las diferencias $PaCO_2$ - $PtcCO_2$; IC: intervalo de confianza;

* $p < 0,00001$ en todos los casos.

El tiempo de estabilización establecido empíricamente según el criterio de la enfermera que realizaba la medición se situó en torno a 14 ± 3 min, por lo que parece razonable aconsejar que, al utilizar el monitor SenTec, la lectura de los datos se efectúe a los 20 min de colocado el sensor y, desde luego, nunca antes de los 15 min. Ningún paciente de nuestra serie era fumador y todos eran de raza blanca y no presentaban ictericia, factores que, según se ha demostrado, pueden alterar los resultados de la pulsioximetría².

Desde el punto de vista metodológico seguimos la normativa SEPAR¹² en la realización de la gasometría arterial. Para no caer en un posible error sistemático de calibración del gasómetro procedimos a analizar la muestra de sangre en 2 gasómetros y aceptar como valor gasométrico de referencia la media de los valores obtenidos. Como muestran los resultados comparativos de ambas determinaciones gasométricas (en neumología y UCI), la fiabilidad del valor considerado de referencia (es decir, la gasometría arterial media) es total (la media de las diferencias entre los valores obtenidos en los 2 gasómetros es mínima).

La medición es un proceso inherente tanto a la práctica médica como a la investigación clínica. Repetidas medidas de una misma variable en un mismo sujeto no dan habitualmente los mismos valores. Esto puede deberse a variaciones naturales de los sujetos, a variaciones en el proceso de medida o a ambas¹⁶. De ahí la importancia de los métodos estadísticos utilizados para calcular el error. A fin de comparar los resultados de la técnica de referencia (gasometría arterial) con el nuevo método (monitor SenTec), se realizó como primera aproximación el cálculo del coeficiente de correlación de Pearson, además de la representación gráfica en forma de nube de puntos, como muestran las figuras 2A y 2B¹⁷. Este coeficiente mide la fuerza de asociación lineal de 2 variables e indica cómo varían los valores de una de ellas según cuáles sean los valores que dé la segunda. Mediante la aplicación de esta prueba lo que buscamos es negar la hipótesis nula, que dice que no hay asociación lineal entre ambas mediciones (la considerada de referencia y la que queremos validar). Una correlación elevada, sin embargo, no significa que haya concordancia entre las 2 medidas^{17,18}. Para validar una técnica interesa conocer no sólo si los valores de las 2 variables varían en la misma dirección, sino si lo hacen de la misma forma.

La fiabilidad de un instrumento o de un método de análisis debe evaluarse mediante la concordancia. Diversos autores han propuesto el cálculo del coeficiente CCI como medida de concordancia para variables continuas, puesto que no presenta los problemas inherentes al coeficiente de correlación lineal (no depende del rango de valores de la muestra, su resultado no se altera por el orden de presentación de las mediciones y no depende de la variabilidad entre sujetos; sin embargo, sí se ve afectado por los cambios en las escalas de medida)^{19,20} y es un excelente indicador de la fiabilidad de una medida^{18,19}. En la actualidad la mayoría de los autores recomiendan el uso del CCI para cuantificar la fiabilidad de las mediciones clínicas²¹. Nosotros también uti-

lizamos este coeficiente, que muestra unos valores francamente satisfactorios. Se considera que la fuerza de la concordancia es buena cuando CCI está comprendido entre 0,71 y 0,9, y muy buena cuando es mayor de 0,9²⁰, como observamos para la SaO₂ y la PaCO₂, respectivamente.

Un procedimiento gráfico sencillo, aunque subjetivo²¹, para evaluar la concordancia entre 2 sistemas de medida es el propuesto por Bland y Altman¹⁷, que consiste en representar las diferencias entre 2 mediciones frente a su media. El intervalo de confianza de la media de las diferencias indica si hay o no infra o sobrevaloración sistemática de la medición evaluada y, en caso de haberla, corresponde al clínico darle o quitarle relevancia. En nuestro caso se observó que el monitor SenTec infravaloraba sistemáticamente los valores de SaO₂ en alrededor del 1% y sobrevaloraba los de PaCO₂ en alrededor de 1 mmHg, lo cual carece de relevancia clínica. El análisis por subgrupos tampoco ofreció información adicional significativa. Otro concepto es el de los límites de concordancia, que son los límites de confianza de la media de las diferencias. Como es bien sabido, el intervalo de 2 desviaciones estándar alrededor de la media (en este caso, media de las diferencias) incluye el 95% de las diferencias observadas. Las figuras 3A y 3B muestran que casi la totalidad de los valores obtenidos estaban comprendidos entre ± 2 desviaciones estándar, por lo que desde un punto de vista estadístico deberíamos concluir que el monitor evaluado ofrece una gran fiabilidad. Finalmente, el gráfico propuesto por Bland y Altman¹⁹ evidencia que la dispersión de datos no se modifica en función de los valores de la PaCO₂ ni de la SaO₂.

El análisis de Bland y Altman¹⁹, sin embargo, requiere para su correcta interpretación que se establezca si las diferencias observadas son o no clínicamente relevantes²⁰. En el caso de la SaO₂, en la práctica totalidad de los casos las variaciones eran inferiores al 5%, como ocurre con la mayoría de pulsioxímetros^{2,8,22}. En el caso de la PaCO₂ debe señalarse que el valor de la media de las diferencias se sitúa en torno a 1 mmHg, lo cual no tiene gran valor para el manejo de la mayoría de los pacientes afectados de trastornos respiratorios, especialmente los que se hallan en fase de estabilidad. Puesto que la población estudiada estaba constituida por pacientes estables en reposo, no podemos extrapolar nuestros resultados a pacientes sometidos a oxigenoterapia o ventilación mecánica.

La limitación más importante del monitor SenTec es la falta de memoria, que impide la grabación de registros nocturnos, lo cual restringe su utilidad a la lectura en tiempo real. Es de esperar que se comercialicen en breve versiones del aparato que subsanen esta limitación. Por otro lado, debe tenerse en cuenta que, comparado con el pulsioxímetro habitual, su uso es más complejo y su colocación más lenta, por lo que existe una curva de aprendizaje. Debe cambiarse la membrana del lector con periodicidad quincenal, comprobarse el nivel de gas calibrador, esperar un tiempo de estabilización (que, como hemos señalado, es de unos 20 min) y vigilarse errores de medida secundarios a bajo gasto o mala

adherencia cutánea de la pinza. El peso y tamaño del monitor, así como el tiempo de estabilización, permiten que su uso para el control de pacientes estables no sea exclusivamente hospitalario. En situaciones de descompensación grave, especialmente extrahospitalaria, el tiempo de estabilización es una limitación que debe tenerse en cuenta.

Nuestros resultados son parecidos a los de Kocher et al²³, si bien el intervalo de confianza para la PaCO₂ en nuestro caso es ligeramente superior. En España se han comunicado recientemente unos resultados²⁴ parecidos a los nuestros, aunque dicho estudio contaba con un número reducido de pacientes. Creemos, pues, que el monitor SenTec en su versión actual es una herramienta útil para la monitorización no invasiva de la PaCO₂ como alternativa a la gasometría arterial para la medida puntual de la PaCO₂ y que contribuirá a mejorar las expectativas diagnósticas y terapéuticas de muchos pacientes durante el siglo XXI²⁵.

BIBLIOGRAFÍA

1. King T, Simon RH. Pulse oximetry for tapering supplemental oxygen in hospitalized patients. *Chest*. 1987;92:713-6.
2. Ries AL, Prewitt LM, Jonson JJ. Skin color and ear oximetry. *Chest*. 1989;96:287-90.
3. Domingo C, Roig J, Coll R, Klamburg J, Izquierdo J, Ruiz-Manzano J, et al. Evaluation of the use of three different devices for nocturnal oxygen therapy in COPD patients. *Respiration*. 1996;63:230-5.
4. Domingo C, Coll R, Izquierdo J, Roig J, Klamburg J, Domingo E, et al. Catéter transtraqueal y oxígeno líquido: 5 años de experiencia. *Arch Bronconeumol*. 1995;31:13-7.
5. Domingo C, Klamburg KJ, Roig J, Coll R, Izquierdo J, Morera J, et al. Acute and long-term haemodynamic response to home oxygen therapy: nasal prongs versus oxygen saving devices. *J Appl Res*. 2004;4:149-63.
6. Rohling R, Biro P. Clinical investigation of a new combined pulse oximetry and carbon dioxide tension sensor in adult anesthesia. *J Clin Monit*. 1999;15:23-7.
7. Janssens JP, Perrin E, Bennani I, et al. Is continuous transcutaneous monitoring of PCO₂ (TcPCO₂) over 8 h reliable in adults? *Respir Med*. 2001;95:331-5.
8. Tschupp A, Fanconi S. A combined ear sensor for pulse oximetry and carbon dioxide tension monitoring: accuracy in critically ill children. *Anesth Analg*. 2003;96:82-4.
9. Jacob J, Rose D, Stilson M, Davis RF, Gilbert D. Transcutaneous carbon dioxide monitoring during neonatal transport. *Crit Care Med*. 1986;14:1050-2.
10. Sanchis J, Casán P, Castillo J, González N, Palenciano L, Roca J. Normativa para la práctica de la espirometría forzada. *Arch Bronconeumol*. 1989;25:132-42.
11. Roca J, Sanchis J, Agustí-Vidal A, Segarra F, Navajas A, Rodríguez-Roisin R, et al. Spirometric reference values from a Mediterranean population. *Bull Eur Physiopathol Respir*. 1986;22:217-24.
12. Agustí AGN, Burgos F, Casán P, Perpiñá M, Rodríguez-Roisin R, Sánchez L, et al. Normativa de la gasometría arterial. *Arch Bronconeumol*. 1998;34:142-53.
13. Giner J, Casán P. Determinación de la pulsioximetría y de la capnografía en el laboratorio de función pulmonar. *Arch Bronconeumol*. 2004;40:311-4.
14. Severinghaus JW, Bradley AF. Electrodes for blood PO₂ and PCO₂ determination. *J Appl Physiol*. 1958;13:515-20.
15. Bhavani-Shankar K, Steinbrook RA, Mushlin PS, Freiberger D. Transcutaneous PCO₂ monitoring during laparoscopic cholecystectomy in pregnancy. *Can J Anaesth*. 1998;45:164-9.
16. Bland JM, Altman DG. Statistics notes: measurement error. *BMJ*. 1996;313:744-5.
17. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*. 1986;1:307-10.
18. Molinero L. Errores de medida en variables numéricas: correlación y concordancia [accedido 5 Jul 2005]. Disponible en: <http://www.seh-lelha.org/concor1.htm>
19. Bland JM, Altman DG. Measurement error and correlation coefficients. *BMJ*. 1996;313:41-2.
20. Pita Fernández S, Pértegas Díaz S. La fiabilidad de las mediciones clínicas: el análisis de concordancia para variables numéricas [accedido 5 Jul 2005]. Disponible en: http://www.fisterra.com/mbe/investiga/conc_numerica/conc_numerica.htm
21. Prieto L, Lamarca R, Casado A. La evaluación de la fiabilidad en las observaciones clínicas: el coeficiente de correlación intraclass. *Med Clin (Barc)*. 1998;110:142-5.
22. Southall DP, Bignall S, Stebbens VA, Alexander JR, Rivers RPA, Lissauer T. Pulse oximeter and transcutaneous arterial oxygen measurements in neonatal and pediatric intensive care. *Arch Dis Child*. 1987;62:882-8.
23. Kocher S, Rohling R, Tschupp A. Performance of a digital PCO₂/SpO₂ ear sensor. *J Clin Monit Comput*. 2004;18:75-9.
24. Ponce S, Herrejón A, Fernando A, Terrádez M, Inchaurrega I, Blanquer R. Validación del sistema digital portátil SenTec de medición de PCO₂ transcutáneo. *Arch Bronconeumol*. 2005;41 (Especial Congreso):88.
25. Domingo C. Home oxygen therapy for the 21st century. *Curr Respir Med Rev*. 2006;2:237-251.