

Determinación de la pulsioximetría y de la capnografía en el laboratorio de función pulmonar

J. Giner y P. Casan

Unitat de Funció Pulmonar. Departament de Pneumologia. Hospital de la Santa Creu i de Sant Pau. Facultat de Medicina. Universitat Autònoma de Barcelona. Barcelona. España.

OBJETIVO: Comparar los valores de oxihemoglobina, obtenidos mediante un pulsioxímetro, y de presión arterial de anhídrido carbónico (PaCO₂) al final de la espiración, medida con un capnógrafo, con los obtenidos a partir de una muestra de sangre arterial (oxihemoglobina y PaCO₂).

PACIENTES Y MÉTODOS: El estudio se realizó en 57 pacientes consecutivos —16 de ellos fumadores— que acudieron para un estudio de la función pulmonar, de entre 34 y 83 años de edad.

RESULTADOS: El valor medio (\pm desviación estándar) de la oxihemoglobina por pulsioximetría fue del $95 \pm 2,4\%$ y en sangre arterial del $95,1 \pm 2,3\%$ ($p = \text{NS}$). El valor medio de la PaCO₂ al final de la espiración, medida por el capnógrafo, fue de $37,9 \pm 5,3$ mmHg y el de la PaCO₂ en sangre arterial de $40,6 \pm 5,4$ mmHg ($p < 0,0001$). El coeficiente de correlación entre las 2 determinaciones de oxihemoglobina fue de $0,806$ ($p < 0,0001$) y entre la PaCO₂ al final de la espiración y la PaCO₂ en sangre arterial fue de $0,845$ ($p < 0,0001$). La media de las diferencias entre ambos valores de oxihemoglobina fue del $0,08 \pm 1,46\%$, y entre la PaCO₂ al final de la espiración y la PaCO₂ fue de $2,7 \pm 2,9$ mmHg.

CONCLUSIÓN: Ambos equipos de lectura (pulsioxímetro y capnógrafo) han demostrado ser correctos para su uso en el laboratorio de función pulmonar. Deben tenerse en cuenta las diferencias apreciadas entre la PaCO₂ al final de la espiración y la PaCO₂ arterial.

Palabras clave: Pulsioxímetro. Capnógrafo. Oxihemoglobina. PaCO₂.

Pulse Oximetry and Capnography in Lung Function Laboratories

OBJECTIVE: To compare values reflecting oxyhemoglobin saturation obtained by pulse oximetry (SpO₂) and values for end-tidal carbon dioxide pressure (PETCO₂) obtained by capnography with direct measures of gas saturation values and pressures (PaO₂ and PaCO₂) in arterial blood gas samples.

PATIENTS AND METHODS: We studied 57 consecutive patients ranging in age from 34 to 83 years —16 of whom were smokers— who presented for lung function testing.

RESULTS: The mean (SD) SpO₂ was 95% (2.4%), and oxygen saturation measured directly in arterial blood samples was 95.1% (2.3%) ($P=\text{NS}$). The mean PETCO₂ was 37.9 (5.3) mm Hg and PaCO₂ by arterial blood gas analysis was 40.6 (5.4) mm Hg ($P<.0001$). The correlation between the 2 measurements of oxygen saturation (SpO₂ and direct assessment) was 0.806 ($P<.0001$), and the correlation between PETCO₂ and PaCO₂ was 0.845 ($P<.0001$). The mean difference between the 2 expressions of oxygen saturation was 0.08% (1.46%) and between PETCO₂ and PaCO₂ was 2.7 (2.9) mm Hg.

CONCLUSION: Both measurement devices (pulse oximeter and capnograph) are appropriate for use in a lung function laboratory. The difference between PETCO₂ and the PaCO₂ should be kept in mind.

Key words: Pulse oximetry. Capnography. Oxyhemoglobin. PaCO₂.

Introducción

La eficacia del funcionamiento respiratorio se mide a partir de la determinación de los gases en sangre arterial. Si la presión arterial de oxígeno y la presión de anhídrido carbónico (PaCO₂) se mantienen entre sus márgenes de referencia, los pulmones realizan correctamente su labor¹. De esta forma, a partir de la interpretación de los valores de la gasometría arterial, se toma un gran número

de decisiones médicas (administrar oxígeno suplementario en el hospital, indicar oxigenoterapia domiciliaria, iniciar un programa de ventilación no invasiva, conectar o desconectar de un respirador, etc), algunas de las cuales tienen una gran importancia personal, social y económica. La frecuencia con que se plantea este proceso de toma de decisiones ha aumentado enormemente en los últimos años. Al mismo tiempo, se ha observado un notable cambio en la evolución técnica del instrumental, con una mayor sencillez y más fácil manejo de los equipos capaces de medir estas variables². Es en este contexto donde se inscribe el uso del medidor de la saturación de oxihemoglobina (pulsioxímetro) y del equipo capaz de medir indirectamente la PaCO₂ arterial, a partir de la PaCO₂ del aire espirado (capnógrafo).

Correspondencia: Dr. J. Giner.
Unitat de Funció Pulmonar. Hospital de la Santa Creu i de Sant Pau.
Avda. Antoni M. Claret, 167. 08025 Barcelona. España.
Correo electrónico: jginer@hsp.santpau.es

Recibido: 29-10-2003; aceptado para su publicación: 3-2-2004.

Nuestro objetivo ha sido comprobar, en condiciones clínicas habituales, la capacidad de medir adecuadamente el intercambio de gases pulmonares, a partir de los datos obtenidos mediante un pulsioxímetro y un capnógrafo, que permitan simplificar el proceso de toma de decisiones médicas relacionadas con la oxigenación y la ventilación, y evitar punciones arteriales innecesarias.

Pacientes y métodos

Pacientes

Las determinaciones se realizaron en un grupo de 57 pacientes consecutivos que acudieron al laboratorio por diferentes razones para evaluar su función pulmonar y entre cuyas observaciones se solicitaba realizar una punción arterial. En todos los casos se anotaron sus datos antropométricos y el motivo de la consulta, así como los elementos que pudieran influir de algún modo en los resultados (tabaco, entre otros). Las lecturas se realizaron de forma simultánea (pulsioximetría y punción arterial) y consecutiva (capnografía). Previamente se habían realizado las comprobaciones y calibraciones de todos los equipos.

Pulsioxímetro

La determinación de la saturación de oxihemoglobina se realizó mediante un pulsioxímetro Nanox 2 de Medlab GmbH (Karlsruhe, Alemania; representado por Sibelmed, Barcelona, España), que obtiene sus valores por el método espectrofotométrico habitual. Se anotaron adecuadamente las fuentes de error más conocidas *a priori*, tanto las derivadas de la mala calidad de la lectura (pulso insuficiente, uñas pintadas, piel coloreada, etc.) como las atribuibles a la coexistencia de hemoglobina combinada con otros elementos (carboxihemoglobina y metahemoglobina). Las lecturas se realizaron tras colocar el sensor en el dedo índice de la mano prevalente, a continuación se esperó a que el pulso estuviera a un ritmo regular y se observó el valor más estable durante un mínimo de 30 s. Los individuos estaban sentados cómodamente y en respiración espontánea en reposo.

Capnografía

La determinación de la PaCO₂ se obtuvo analizando la porción final del aire espirado mediante un capnógrafo Cap 10 de Medlab GmbH (Karlsruhe, Alemania; representado por Sibelmed, Barcelona, España), que mide el aire espirado mediante un analizador del tipo de absorción de infrarrojos. Los individuos estaban también cómodamente sentados y en respiración en reposo. Se anotó el valor más estable a partir de la observación de una respiración regular durante un mínimo de 30 s.

Gasometría arterial

La determinación de gases en sangre arterial se efectuó de forma simultánea a la pulsioximetría, con una muestra obtenida de la arteria radial en el brazo contralateral. Para el procedimiento se utilizó el método habitual en nuestro laboratorio³, que incluye el uso de anestesia local previa a la punción. Los valores se obtuvieron mediante un analizador ABL-500 conectado a un cooxímetro OSM-3, ambos de Radiometer (Copenhague, Dinamarca). Se realizó un mínimo de 2 lecturas en cada una de las muestras sanguíneas, tomando siempre el valor óptimo (mayor presión arterial de oxígeno y menor

PaCO₂) cuando no diferían los valores de presión arterial de oxígeno y PaCO₂ en más de 1 mmHg. En este caso se realizaba una tercera lectura.

Análisis estadístico

Los valores se expresan como media \pm desviación estándar, con sus extremos mínimo y máximo. La comparación entre procedimientos se realizó mediante la prueba de la t de Student para datos apareados. Se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson y se aplicó también el análisis de concordancia de Altman y Bland para detectar sesgos en las lecturas. Se consideró significativo un valor⁴ de p menor de 0,05.

Resultados

La edad media (\pm desviación estándar) de los pacientes estudiados fue de 67 ± 11 años. El número de pacientes fumadores activos fue de 16 (28%), con un promedio de carboxihemoglobina del $2,9 \pm 1,1\%$. El valor medio de la saturación de oxihemoglobina obtenida en la muestra de sangre arterial en el total de pacientes estudiados fue del $95,1 \pm 2,3\%$ (rango: 86,4-98,5%) y la obtenida con el pulsioxímetro del $95,0 \pm 2,4\%$ (rango: 85-98%) ($p = \text{NS}$). El valor medio de la saturación de oxihemoglobina en los 16 pacientes fumadores fue del $94,9 \pm 2,7\%$ (rango: 87,6-98,5%) y la obtenida con el pulsioxímetro del $95,5 \pm 2,2\%$ (rango: 91-98%) ($p = 0,007$).

La PaCO₂ promedio en sangre arterial fue de $40,6 \pm 5,4$ mmHg (rango: 31,8-57,2 mmHg) y la PaCO₂ al final de la espiración, obtenida a partir del capnógrafo, fue de $37,9 \pm 5,3$ mmHg (rango: 27-53 mmHg) ($p < 0,0001$).

El coeficiente de correlación lineal aplicado al total de los pacientes estudiados entre ambos valores de saturación de oxihemoglobina (la oxihemoglobina medida en sangre arterial con la obtenida por pulsioximetría) fue de $r = 0,806$; $p < 0,0001$. El coeficiente de correlación entre la PaCO₂ y la PaCO₂ al final de la espiración fue de $r = 0,845$; $p < 0,0001$. La distribución gráfica de estas variables puede apreciarse en la figura 1.

En la figura 2 se representa la distribución aplicando el análisis de concordancia de Altman y Bland. La media de las diferencias entre ambos sistemas para medir la saturación de oxihemoglobina fue del $0,08 \pm 1,46\%$ (intervalo de confianza del 95%, $-2,1$ al $2,2\%$). La media de las diferencias entre la PaCO₂ y la PaCO₂ al final de la espiración fue de $2,7 \pm 2,9$ mmHg (intervalo de confianza del 95%, $-2,1$ a $6,5$ mmHg).

En la tabla I se refleja la matriz de correlación con las relaciones estadísticamente significativas entre las variables estudiadas. La diferencia en la saturación de oxihemoglobina entre los 2 sistemas de lectura se relacionaba significativamente con la edad ($r = 0,335$; $p = 0,02$), la carboxihemoglobina ($r = -0,432$; $p = 0,001$), la PaCO₂ al final de la espiración ($r = -0,273$; $p = 0,04$) y el propio valor de oxihemoglobina medida por pulsioximetría ($r = -0,392$; $p = 0,03$). La diferencia entre la PaCO₂ y la PaCO₂ al final de la espiración se relacionaba significativamente con la edad ($r = 0,381$; $p = 0,005$), el pH ($r = -0,283$; $p = 0,03$), la PaO₂ ($r = -0,416$; $p = 0,001$), la PaCO₂ ($r = 0,320$; $p = 0,02$), la oxihemoglobina real ($r = -0,337$; $p = 0,01$) y la oxihe-

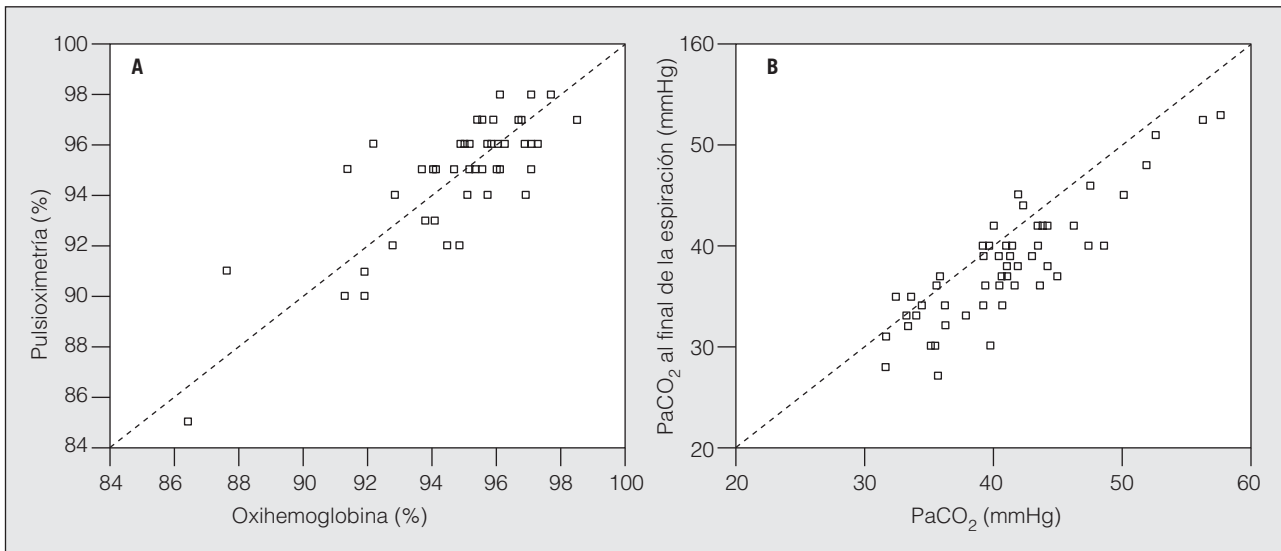


Fig. 1. Relación entre oxihemoglobina y pulsioximetría (A), y entre presión arterial de anhídrido carbónico (PaCO₂) y PaCO₂ al final de la espiración (B).

TABLA I
Matriz de correlación lineal entre diferentes variables del estudio

	PaO ₂	PaCO ₂	PaCO ₂ -E	SaO ₂	SaO ₂ -P	Dif. O ₂	Dif. CO ₂
PaO ₂		-0,605 0,000	-0,385 0,003	0,773 0	0,776 0		-0,416 0,001
PaCO ₂			0,845 0	-0,431 0,001	-0,547 0		0,32 0,02
PaCO ₂ -E					-0,402 0,002	-0,273 0,04	
SaO ₂					0,806 0		-0,337 0,01
SaO ₂ -P						-0,392 0,03	-0,281 0,03
Dif. O ₂							
Dif. CO ₂							

Dif. CO₂: diferencia entre PaCO₂ y PaCO₂ al final de la espiración; dif. O₂: diferencia entre ambos valores de saturación de oxihemoglobina; PaO₂: presión arterial de oxígeno; PaCO₂: presión arterial de anhídrido carbónico; PaCO₂-E: PaCO₂ al final de la espiración; SaO₂: saturación de oxihemoglobina obtenida en la muestra de sangre arterial; SaO₂-P: saturación de oxihemoglobina obtenida con el pulsioxímetro.

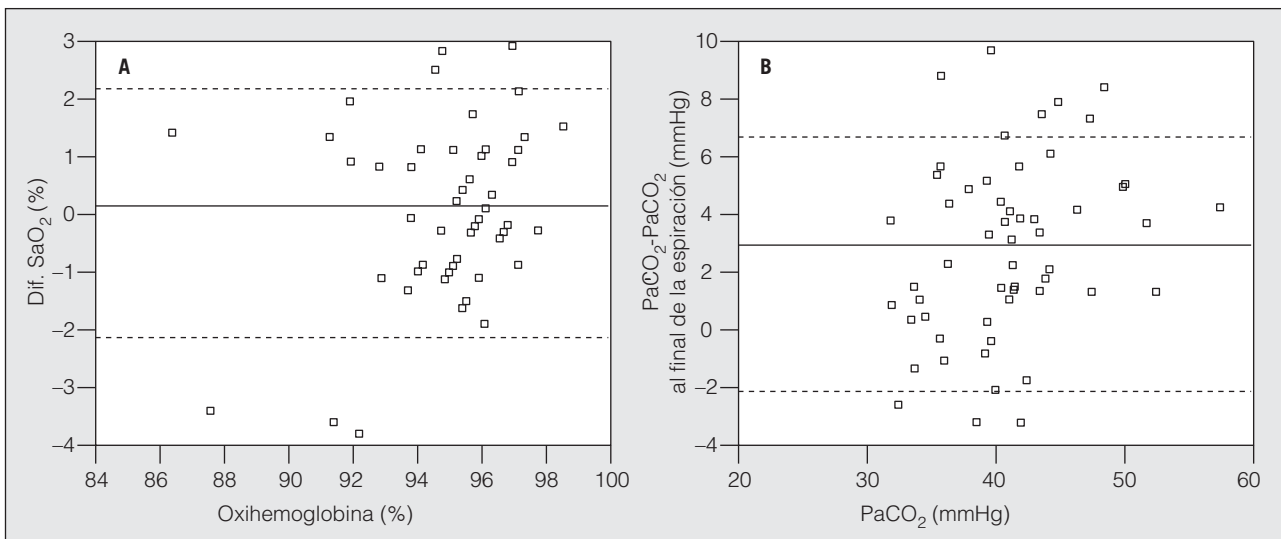


Fig. 2. Análisis de concordancia entre oxihemoglobina y pulsioximetría (A) y entre presión arterial de anhídrido carbónico (PaCO₂) y PaCO₂ al final de la espiración (B). Dif. SaO₂: diferencia entre los valores de saturación de oxihemoglobina obtenidos en la muestra de sangre arterial y con el pulsioxímetro.

moglobina medida por pulsioximetría ($r = -0,281$; $p = 0,03$).

Discusión

Los datos del estudio permiten deducir que la saturación de oxihemoglobina medida a través del pulsioxímetro refleja de manera adecuada la oxigenación de la sangre arterial. La PaCO_2 al final de la espiración, obtenida por el capnógrafo, permite evaluar, con un sesgo mantenido en la misma dirección, la situación de la ventilación alveolar, ya que refleja indirectamente el valor de la PaCO_2 . No obstante, ambos equipos de lectura presentan unas limitaciones e indicaciones de uso que deben conocerse y valorarse adecuadamente.

En el caso del pulsioxímetro, la principal limitación es la falsa interpretación que se produce en presencia de valores altos de carboxihemoglobina o de metahemoglobina. En el primer caso, debe recordarse que en individuos fumadores la concentración de carboxihemoglobina es superior al 1,6% y este valor y el de la metahemoglobina ($< 0,5\%$ en personas sanas) no es distinguible de la lectura que el pulsioxímetro efectúa de la saturación de oxihemoglobina. Obsérvese que en el conjunto de los 57 pacientes estudiados no existen diferencias significativas en el global de los valores de oxihemoglobina. Por el contrario, en el subgrupo de los 16 pacientes fumadores las diferencias fueron significativas aunque, en nuestro caso, clínicamente poco relevantes dado el bajo nivel de tabaquismo y su escasa repercusión sobre la carboxihemoglobina. En nuestro grupo, el valor promedio de la metahemoglobina fue del $0,4 \pm 0,2\%$ y en ningún caso supuso un artefacto a considerar. Las limitaciones atribuibles a defectos de lectura, previamente mencionadas en el apartado "Pacientes y métodos", se controlaron durante el estudio y no suponen un sesgo en los resultados.

El pulsioxímetro es un equipo ampliamente introducido en la medicina actual, ya sea en el laboratorio de función pulmonar, el quirófano, el servicio de urgencias, la propia sala de hospitalización o, más recientemente, para el estudio de la patología respiratoria durante el sueño. Sus limitaciones son bien conocidas pero deben recordarse, especialmente las que destacamos en relación con el tabaco y la carboxihemoglobina, ya que pueden llevar a una falsa interpretación, por exceso, del valor observado⁵.

El capnógrafo estudiado introduce un elemento novedoso para valorar la PaCO_2 con un método incruento. Aunque el valor de la PaCO_2 al final de la espiración no puede sustituir la verdadera lectura de la PaCO_2 , para tomar decisiones relacionadas directamente con esta va-

riable, sí proporciona una orientación muy aproximada sobre el verdadero estado de la ventilación alveolar. El sesgo de lectura es perfectamente predecible y en la mayoría de los casos se dio en la misma dirección, por debajo del valor real de la PaCO_2 .

La reciente introducción en las salas de hospitalización convencional de la posibilidad de realizar ventilación no invasiva y el estudio nocturno de pacientes con síndrome de apnea del sueño hacen preciso disponer de medidas periódicas del estado de la ventilación alveolar. El capnógrafo permite monitorizar de forma continua la PaCO_2 al final de la espiración y, en concreto, el equipo estudiado dispone de una memoria para guardar la información durante un período de 24 h. Debe recordarse, no obstante, que el presente estudio se realizó en un grupo de pacientes ambulatorios, la mayoría de los cuales son diferentes de los ingresados en unidades de hospitalización, laboratorios de sueño o en proceso de ventilación terapéutica; la utilidad de estos equipos debería también comprobarse en estas circunstancias.

Las relaciones encontradas entre las variables, aunque estadísticamente significativas, son de escasa relevancia clínica. Asimismo, hay que destacar la información que proporciona el análisis de concordancia y que no se evidencia por la correlación lineal. Aunque tanto las determinaciones de oxihemoglobina como de PaCO_2 con ambos métodos están muy directamente relacionadas, no puede derivarse de ello que ambos procedimientos sean perfectamente superponibles. Si lo que se solicita es una información exacta del estado del intercambio de gases, la determinación en una muestra de sangre arterial sigue siendo el método de referencia. Por el contrario, si lo que se precisa es monitorizar la saturación de oxihemoglobina o valorar cómo se mantiene la ventilación, el pulsioxímetro y el capnógrafo son 2 instrumentos que pueden resolver perfectamente el problema. Ambos equipos aportan soluciones prácticas a 2 cuestiones clínicas de permanente actualidad.

BIBLIOGRAFÍA

1. Cotes JE. Lung function. Assessment and application in medicine. 5th ed. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1993; p. 263-98.
2. Martin L. All you really need to know to interpret arterial blood gases? Philadelphia: Lea & Febiger, 1992.
3. Agustí AGN, Burgos F, Casan P, Perpiñá M, Rodríguez-Roisin R, Sánchez L, et al. Normativa de la gasometría arterial. Arch Bronconeumol 1998;34:142-53.
4. Altman DG. Practical statistics for medical research. London: Chapman & Hall, 1991.
5. Gómez J, Mota S, Casan P, Sanchis J. Pulse oximetry in smokers. Respir Med 1998;92:454-60.