

# Precisión y exactitud de un oxímetro de pulso “de bolsillo” en la ciudad de México

Luis Torre-Bouscoulet,\* Elizabeth Chávez-Plascencia,\* Juan Carlos Vázquez-García,\*\* Rogelio Pérez-Padilla\*

\* Clínica de Sueño. \*\* Departamento de Fisiología Respiratoria.  
Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias.

## *Precision and accuracy of “a pocket” pulse oximeter in Mexico City*

### ABSTRACT

**Background.** Pulse oximeters are frequently used in the clinical practice and we must know their precision and accuracy. The objective was to evaluate the precision and accuracy of a “pocket” pulse oximeter at an altitude of 2,240 m above sea level. **Methods.** We tested miniature pulse oximeters (Onyx 9,500, Nonin Finger Pulse Oximeter) in 96 patients sent to the pulmonary laboratory for an arterial blood sample. Patients were tested with 5 pulse oximeters placed in each of the fingers of the hand opposite to that used for the arterial puncture. The gold standard was the oxygen saturation of the arterial blood sample. **Results.** Blood samples had  $\text{SaO}_2$  of  $87.2 \pm 11.0$  (between 42.2 and 97.9%). Pulse oximeters had a mean error of  $0.28 \pm 3.1\%$ .  $\text{SaO}_2 = (1.204 \times \text{SpO}_2) - 17.45966$  ( $r = 0.92$ ,  $p < 0.0001$ ). Intraclass correlation coefficient between each of five pulse oximeters against the arterial blood standard ranged between 0.87 and 0.99.  $\text{HbCO}$  ( $2.4 \pm 0.6$ ) did not affect the accuracy. **Conclusions.** The miniature oximeter Nonin is precise and accurate at 2,240 m of altitude. The observed levels of  $\text{HbCO}$  did not affect the performance of the equipment. The oximeter good performance, small size and low cost enhances its clinical usefulness.

**Key words.** Oximeter. Accuracy. Altitude. Calibration. Oxihemoglobin.

## INTRODUCCIÓN

La oximetría es la medición del estado de oxigenación utilizando las propiedades diferenciales de absor-

## RESUMEN

**Introducción.** Los oxímetros de pulso son ampliamente utilizados en la práctica clínica y su precisión y exactitud deben conocerse especialmente en altitudes moderadas como en la ciudad de México. El objetivo principal fue evaluar la precisión y exactitud de un oxímetro de pulso “de bolsillo” (Onyx 9500 de Nonin®) en la ciudad de México. **Métodos.** Se realizaron mediciones de la saturación de oxígeno estimada por el oxímetro de pulso ( $\text{SpO}_2$ ) y se compararon contra la medida espectrofotométricamente en sangre arterial ( $\text{SaO}_2$ ) en 96 pacientes que acudieron al laboratorio de fisiología pulmonar del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias. A cada paciente se le colocaron cinco oxímetros de pulso en los dedos de una mano obteniéndose un promedio de  $\text{SpO}_2$  para cada uno de los oxímetros y para los cinco oxímetros a la vez, mediciones que se compararon de manera simultánea contra el estándar. **Resultados.** Las muestras sanguíneas de los 96 pacientes que participaron tuvieron una  $\text{SaO}_2$  de  $87.2 \pm 11.0$  (entre 42.2-97.9%). Los oxímetros (promedio de los cinco) tuvieron un error de medición promedio de  $0.28 \pm 3.1\%$ .  $\text{SaO}_2 = (1.204 \times \text{SpO}_2) - 17.45966$  ( $r = 0.92$ ,  $p < 0.0001$ ). Los coeficientes de correlación intraclase que se obtuvieron al comparar los oxímetros entre sí y contra el estándar ( $\text{SaO}_2$ ) estuvieron entre 0.87 y 0.99. El nivel de carboxihemoglobina ( $\text{HbCO}$ ) fue de  $2.4 \pm 0.6\%$  y no afectó significativamente la exactitud del oxímetro. **Conclusiones.** El oxímetro digital de pulso “de bolsillo” es preciso y exacto en la estimación de la  $\text{SaO}_2$  a 2,240 metros de altitud. Los niveles observados de  $\text{HbCO}$  (2.4%) no afectaron su exactitud. Se observó un adecuado desempeño del oxímetro digital de pulso en la ciudad de México.

**Palabras clave.** Oxímetro. Exactitud. Altitud. Calibración. Oxihemoglobina.

ción de la luz de la forma oxigenada y no oxigenada de la hemoglobina. Los oxímetros de pulso evalúan la transmisión de la luz roja e infrarroja a través de un tejido translúcido con buen flujo sanguíneo (dedo o pa-

bellón auricular) de manera no invasiva y estiman el porcentaje de oxihemoglobina y hemoglobina no oxigenada en el componente pulsátil de la señal ( $SpO_2$ ).<sup>1</sup> A partir del cociente de transmisión de luz roja/luz infrarroja se puede estimar la  $SpO_2$ . Durante cada pulsación existe un incremento transitorio del volumen de sangre arterial en el lugar de la medición, lo cual produce una mayor absorción de luz comparada con la absorción basal, que es detectada por el oxímetro.<sup>2</sup> La absorción "basal" se debe a la piel, tejidos blandos y a la sangre venosa mientras que la absorción adicional, en la parte pulsátil, permite estimar de manera muy eficiente el componente arterial. El estándar de oro ( $SaO_2$ ), es una medición basada en el mismo principio (espectrofotometría) en una muestra de sangre arterial, aunque usando la absorción en general de cuatro diferentes longitudes de onda, en lugar de las dos del oxímetro de pulso.<sup>2</sup> La precisión y exactitud de otro modelo de oxímetro en la ciudad de México, ha sido analizada previamente.<sup>3</sup>

La medición del oxímetro de pulso puede afectarse por la pigmentación de la piel y tejidos como la hiperbilirrubinemia, o por la presencia de esmalte para uñas, además de que se requiere la pulsatilidad que se pierde en la hipotensión grave y se distorsiona por movimientos durante la lectura.<sup>4-6</sup> En un estudio de Bickler, *et al.*, se demostró que la pigmentación de la piel generó una sobreestimación de la medición en 3.56%.<sup>5</sup> En la actualidad, mucho del impacto del color de la piel se elimina con la tecnología actual que toma en cuenta la pigmentación basal y sólo analiza la parte pulsátil.

Debido a que el oxímetro de pulso utiliza sólo dos longitudes de onda, no es capaz de diferenciar la oxihemoglobina de la carboxihemoglobina ( $HbCO$ ) y cuando esta última se encuentra en niveles por arriba de 3 a 4%, genera una  $SpO_2$  que se encuentra por sobre el porcentaje de oxihemoglobina ( $HbO_2$ ) de la sangre.<sup>7,8</sup> Por otro lado, aun con cifras moderadas de  $HbCO$  no se afecta de manera importante la medición de  $HbO_2$  como por ciento de la hemoglobina disponible para la oxigenación (la total menos la  $HbCO$ ),<sup>3</sup> que es la definición habitual de saturación arterial de oxígeno.

La Administración de Drogas y Alimentos (FDA por sus siglas en inglés) en los Estados Unidos de América, certifica la precisión y exactitud de los oxímetros de pulso cuando la desviación estándar de las diferencias es menor a 3% para valores de saturación entre 70 y 100%<sup>5</sup> obtenido en una prueba de mediciones repetidas a sujetos sanos expuestos a mezclas hipóxicas. Los sujetos no son sometidos a saturaciones menores de 80%, de tal manera que la calibración por abajo de este nivel se realiza por extrapolación.<sup>9</sup>

Sin embargo, en la práctica clínica, las fuentes de variación son mayores a la prueba estándar descrita, ya que se analizan tanto sanos como enfermos y frecuentemente tienen una sola medición, salvo cuando el oxímetro es parte de una monitorización continua.

En la ciudad de México y en otras ciudades con altitud moderada, la hipoxemia es más frecuente y por lo tanto existe una mayor necesidad de medir la oxigenación. Aproximadamente 6% de los adultos mayores de 40 años en la zona metropolitana de la ciudad de México, tienen una  $SpO_2 \leq 88\%$  criterio utilizado frecuentemente para prescribir oxígeno y por lo mismo podría utilizarse como definición de hipoxemia.<sup>10,11</sup> El objetivo del presente estudio fue analizar la precisión y exactitud en la ciudad de México, de un modelo reciente de oxímetro de pulso "de bolsillo" ampliamente utilizado en la práctica clínica y determinar si los niveles de  $HbCO$ , potencialmente altos por efecto de la contaminación en la ciudad de México, afectan su desempeño. El objetivo secundario fue determinar la sensibilidad, especificidad y valores predictivos para el diagnóstico de hipoxemia ( $SaO_2 \leq 88\%$ ) al comparar el oxímetro de pulso contra el estándar de oro.

## PACIENTES Y MÉTODOS

El protocolo fue aprobado por el comité institucional de Bioética. Se invitó a participar a 100 pacientes consecutivos que fueron enviados por sus médicos tratantes al laboratorio de fisiología pulmonar del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias (INER) para la toma de una gasometría arterial, en los meses de noviembre y diciembre de 2004. Para el paciente, el protocolo implicó solamente una estancia en el laboratorio de aproximadamente 10 minutos adicionales al tiempo que hubiera estado en el laboratorio si no hubiera participado. No se consideró como parte del protocolo ninguna muestra sanguínea adicional a la solicitada por su médico.

Los pacientes permanecieron sentados y en reposo durante cinco minutos y, en caso de tener esmalte para uñas, se removió con acetona. Posteriormente se colocaron cinco oxímetros de pulso (Onyx 9500, Nonin Medical, Inc.), uno en cada dedo de la mano contralateral a la de la punción arterial para tomar las lecturas de los aparatos. Una vez que se obtuvo una señal de pulso adecuada (identificada en el equipo por una luz verde pulsátil) se realizaron seis lecturas de cada uno de los cinco oxímetros, una cada 10 segundos,<sup>12</sup> utilizando para el análisis su promedio. Estas mediciones se hicieron con el fin de conocer la precisión de cada equipo en comparación contra los demás o contra el promedio de todos los oxímetros.

**Cuadro 1.** Características generales de los 96 pacientes incluidos en el estudio.

	Mujeres n = 64	Hombres n = 32
Edad (años)*	55.6 ± 17.0	55.7 ± 17.3
IMC*	28.6 ± 7.0	26.7 ± 5.2
Tabaquismo actual (%)	3.1	9.3
Tabaquismo pasivo (%)	26.5	15.6
Exposición a humo de leña (%)	14.0	3.1

IMC: Índice de masa corporal. \*: Media ± desviación estándar.

Una séptima medición de SpO<sub>2</sub> fue simultánea a la toma de la muestra de sangre arterial y se utilizó para compararla contra el estándar de oro con la finalidad de evaluar su exactitud.

La muestra de sangre arterial de cada paciente fue tomada en condiciones anaeróbicas y procesada de inmediato en un analizador de gases sanguíneos (AVL Omni®, Austria) que determina espectrofotométricamente la concentración de hemoglobina en la sangre (Hb total) y el porcentaje del total de la hemoglobina constituido por oxihemoglobina (HbO<sub>2</sub>), hemoglobina sin oxigenar (HbH), carboxihemoglobina (HbCO) y metahemoglobina (MetaHb). El analizador de gases se calibró diariamente y fue sometido a muestras de prueba.

Se considera como el estándar de oro a la SaO<sub>2</sub> que es el porcentaje de la hemoglobina disponible para oxigenación formada por oxihemoglobina, obtenida de las mediciones de sangre arterial, con la siguiente fórmula:  $SaO_2 = HbO_2 * 100 / (HbO_2 + HbH)$ .<sup>13</sup>

Para el análisis multivariado se realizó una regresión lineal múltiple considerando como variable dependiente a la SaO<sub>2</sub> (como variable continua) y se incluyeron como variables independientes: edad, género, peso, talla, SpO<sub>2</sub> simultánea a la gasometría, nivel de HbCO, estatus de fumador, tabaquismo pasivo y exposición a humo de leña. Dada la medición de la misma variable por diferentes aparatos (oxímetros), se realizó un análisis de concordancias, utilizando el coeficiente de correlación intraclass para variables dimensionales continuas y la Kappa de Cohen para variables dicotómicas.<sup>14</sup> El error de medición se describe como la media y desviación estándar de las diferencias generadas al restar el valor de SpO<sub>2</sub> del valor obtenido al analizar la muestra arterial en el gasómetro. A través de una tabla de 2 x 2 se obtuvieron la sensibilidad, especificidad y valores predictivos de la SpO<sub>2</sub> como prueba diagnóstica de hipoxemia (SaO<sub>2</sub> ≤ 88%) tomando como estándar a la SaO<sub>2</sub> obtenida de la gasometría arterial. Se utilizó el programa estadístico STATA<sup>15</sup> y

se consideró una p significativa cuando fue menor a 0.05.

## RESULTADOS

Se incluyeron para el análisis final los datos de 96 pacientes. Las características basales de la población estudiada se muestran en el cuadro 1. La edad promedio de los pacientes estudiados fue de 55.6 ± 17 años (de 10 a 88 años) y tuvieron una SaO<sub>2</sub> entre 42.2 y 97.9%. Los diagnósticos fueron: fibrosis pulmonar (24 pacientes), asma bronquial (nueve pacientes), enfermedad pulmonar obstructiva crónica (ocho pacientes), bronquiectasias (cuatro pacientes), síndrome de apnea obstructiva del sueño (tres pacientes), cáncer pulmonar (tres pacientes), tuberculosis (dos pacientes), neumonía (dos pacientes), tromboembolia pulmonar (un paciente), bronquiolitis obliterante (un paciente), hipoplasia pulmonar (un paciente), cardiopatía no especificada (un paciente), estado poslobectomía (un paciente), lupus eritematoso generalizado (un paciente), artritis reumatoide (un paciente), presencia de síntomas respiratorios sin un diagnóstico preciso (34 pacientes). Los resultados obtenidos de las gasometrías y de la medición promedio de los oxímetros de pulso se

**Cuadro 2.** Resultados de la gasometría arterial y oximetría de pulso en los pacientes estudiados (n = 96). Se muestran las medias ± desviación estándar y entre paréntesis el intervalo de las mediciones.

Variable	media ± DE (intervalo)
PaO <sub>2</sub> (mm Hg)	53.2 ± 11.5 (23.6-78.8)
HbO <sub>2</sub> (%)	85 ± 10.9 (41-96.2)
HbCO (%)	2.4 ± 0.6 (0.8-4.1)
SaO <sub>2</sub> (%)	87.2 ± 11 (42.2-98.0)
SpO <sub>2</sub> (%)	86.7 ± 8.6 (52.7-96.3)

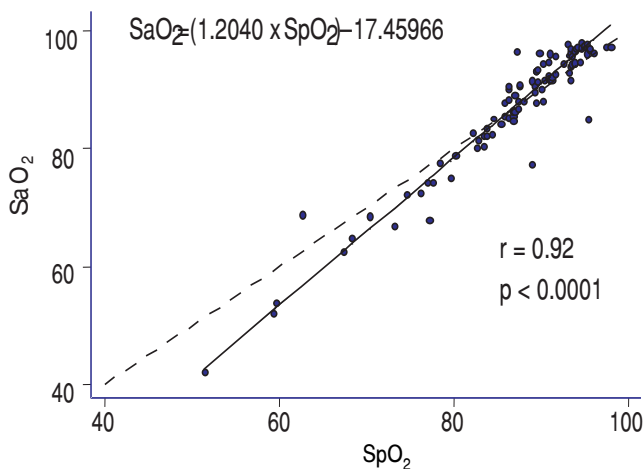
PaO<sub>2</sub>: Presión parcial de oxígeno. HbO<sub>2</sub>: Oxihemoglobina. HbCO: carboxihemoglobina. SaO<sub>2</sub>: Saturación de oxígeno por gasometría. SpO<sub>2</sub>: Saturación de oxígeno por el oxímetro de pulso. DE: Desviación estándar.

muestran en el cuadro 2. El valor promedio de la HbCO fue de  $2.4 \pm 0.6\%$ .

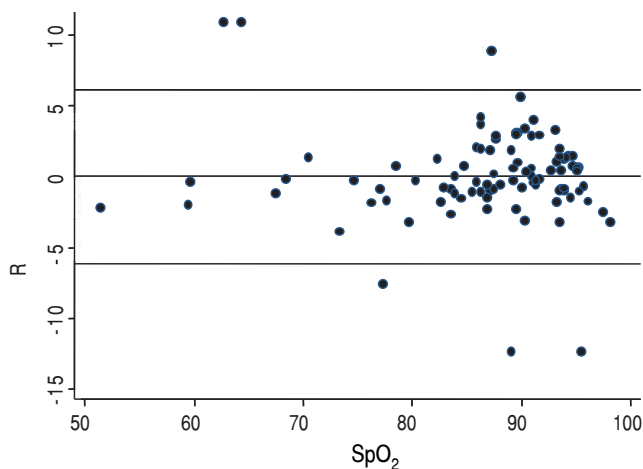
Una vez que se realizó el modelo multivariado (regresión lineal múltiple) considerando como variable dependiente a la  $SaO_2$ , la única variable que significativamente estuvo asociada a la  $SaO_2$  fue la  $SpO_2$  medida de manera simultánea a la gasometría (las covariables se describen en métodos). La ecuación re-

sultante fue  $SaO_2 = (1.204 \times SpO_2) - 17.45966$ ; con  $r$  de 0.92, y  $p < 0.0001$  (Figuras 1 y 2).

Los oxímetros de pulso tuvieron un error promedio de medición de  $0.28 \pm 3.1\%$  al comparar el promedio de la medición de  $SpO_2$  contra la media del estándar ( $SaO_2$ ) hechas simultáneamente. La exactitud del oxímetro de pulso disminuyó de manera significativa con saturaciones menores de 90%. El



**Figura 1.** Regresión lineal de la  $SaO_2$  (estándar de oro medido en la sangre arterial) y la  $SpO_2$  (del oxímetro de pulso). La  $SpO_2$  es el promedio de la medición de 5 oxímetros de pulso, realizada de manera simultánea a la toma de la gasometría arterial. La  $SaO_2$  es la saturación de la hemoglobina disponible para oxigenación =  $HbO_2 * 100 / (HbO_2 + HbH)$ .



**Figura 2.** Error (residuales) del oxímetro de pulso en función de la  $SpO_2$ . La  $SpO_2$  es el promedio de la medición de 5 oxímetros de pulso, realizada de manera simultánea a la toma de la gasometría arterial. El estándar de oro fue la  $SaO_2$ , que es la saturación de la hemoglobina disponible para oxigenación =  $HbO_2 * 100 / (HbO_2 + HbH)$  medida en la muestra de sangre arterial.

**Cuadro 3.** Coeficientes de correlación intraclass comparando cada oxímetro y el promedio de los cinco contra el estándar ( $SaO_2$ ) y de cada oxímetro contra el promedio de los cinco oxímetros.

Comparación	Coefficiente de correlación intraclass $\pm$ EE	IC 95%	Error promedio (DE)	IC 95% Bland & Altman
$SpO_2$ simultánea a la muestra arterial vs. $SaO_2$	$0.93 \pm 0.01$	0.91-0.95	$-0.28 \pm 3.1$	-7.27-6.70
$SpO_2$ previa a la muestra arterial vs. $SaO_2$	$0.91 \pm 0.01$	0.88-0.93	$-0.51 \pm 4$	-8.37-7.33
Oxímetro 1 vs. $SaO_2$	$0.87 \pm 0.01$	0.83-0.91	$-0.85 \pm 4.73$	-10.13-8.43
Oxímetro 2 vs. $SaO_2$	$0.90 \pm 0.01$	0.87-0.93	$-0.84 \pm 4.11$	-8.91-7.22
Oxímetro 3 vs. $SaO_2$	$0.91 \pm 0.01$	0.88-0.93	$-1.05 \pm 3.99$	-8.88-6.78
Oxímetro 4 vs. $SaO_2$	$0.91 \pm 0.01$	0.88-0.93	$0.57 \pm 4.06$	-7.39-8.54
Oxímetro 5 vs. $SaO_2$	$0.93 \pm 0.01$	0.90-0.95	$-0.40 \pm 3.68$	-7.62-6.81
Oxímetro 1 vs. promedio de oxímetros	$0.97 \pm 0.004$	0.96-0.98	$-0.33 \pm 1.72$	-3.70-3.03
Oxímetro 2 vs. promedio de oxímetros	$0.99 \pm 0.0001$	0.99-0.99	$-0.33 \pm 0.47$	-1.27-0.60
Oxímetro 3 vs. Promedio de oxímetros	$0.99 \pm 0.001$	0.99-0.99	$-0.53 \pm 0.83$	-2.17-1.10
Oxímetro 4 vs. promedio de oxímetros	$0.98 \pm 0.002$	0.98-0.99	$1.09 \pm 0.63$	-0.15-2.33
Oxímetro 5 vs. promedio de oxímetros	$0.99 \pm 0.001$	0.99-0.99	$0.11 \pm 0.92$	-1.69-1.91

EE: Error estándar. DE: Desviación estándar. IC 95%: Intervalo de confianza al 95%. El error promedio es la media y desviación estándar de las diferencias obtenidas de  $SpO_2 - SaO_2$ . Todas las probabilidades son menores a 0.0001.

error promedio de medición con saturaciones menores a 90% fue de  $0.65 \pm 4.0$  y fue estadísticamente diferente al error encontrado en saturaciones mayores o iguales a 90% que fue de  $-1.5 \pm 2.5$ ,  $p < 0.05$ .

En el cuadro 3 se muestran los coeficientes de correlación intraclase, como indicador de concordancia, comparando los oxímetros entre sí y contra el estándar ( $\text{SaO}_2$ ). El coeficiente de correlación más bajo entre un oxímetro y el estándar de oro fue de 0.87 y el más alto fue de 0.93, mientras que entre un oxímetro y el promedio de los cinco fue mayor a 0.97.

Realizamos un análisis del rendimiento diagnóstico del oxímetro de pulso para identificar a pacientes con  $\text{SaO}_2 = 88\%$ , criterio común para prescripción de oxígeno suplementario, tomando de nuevo como el estándar de oro a la  $\text{SaO}_2$ . La sensibilidad obtenida fue de 90% con una especificidad de 88%, valor predictivo positivo de 86% y valor predictivo negativo de 92%. Se realizó también un análisis de concordancia entre el diagnóstico de hipoxemia determinada por los dos métodos ( $\text{SaO}_2$  vs.  $\text{SpO}_2$ ) y la kappa fue de  $0.78 \pm 0.1$  ( $p < 0.00001$ ).

## DISCUSIÓN

La FDA recomienda que la desviación estándar de las diferencias ( $\text{SpO}_2$ - $\text{SaO}_2$ ) sea menor a  $\pm 3\%$ <sup>5</sup> y en este estudio se obtuvo un valor de 3.1% que fue aún mayor en los sujetos con saturaciones menores a 90% (4.0%). Sin embargo, la recomendación de la FDA se basa en la calibración de los oxímetros *in vivo* que consiste en la inducción de diferentes grados de hipoxemia en voluntarios sanos al respirar concentraciones progresivamente menores de oxígeno. Cada medición de  $\text{SpO}_2$  realizada por el oxímetro de pulso en el mismo paciente, se compara contra el estándar obtenido en el analizador de gases. Con este método las fuentes de variación son menores a las esperadas en este estudio en donde la medición de la  $\text{SpO}_2$  fue única y realizada en varios sujetos con diferentes niveles de saturación.

La regresión lineal que se generó al comparar la  $\text{SaO}_2$  (estándar) y la  $\text{SpO}_2$  demuestra una gran exactitud del oxímetro de pulso. También se comparó cada oxímetro contra el promedio de ellos y contra el estándar confirmando su consistencia (precisión y exactitud) dentro de las saturaciones esperadas habitualmente en los pacientes a 2,240 metros y menores. Sin embargo, la desviación estándar de la diferencia se incrementó significativamente con saturaciones menores de 90%, lo cual ha sido demostrado también por otros autores.<sup>9</sup>

Se ha descrito que las altas concentraciones de HbCO afectan el desempeño de los oxímetros de pul-

so,<sup>7,8</sup> sin embargo, en este estudio, la HbCO encontrada en los pacientes estudiados (promedio de  $2.4 \pm 0.6$ ) no afectó la exactitud de los oxímetros. Estos niveles de HbCO son los esperados en la población no fumadora y en la expuesta al tabaquismo pasivo o fumadora de pocos cigarrillos al día.<sup>8</sup> Desconocemos el efecto de concentraciones mayores de 2.4% de HbCO en el desempeño de este oxímetro de pulso, aunque lo esperable es que se sobrestime la  $\text{HbO}_2$  como se ha descrito en otros estudios,<sup>8</sup> pero el efecto esperable sobre la  $\text{SaO}_2$ , la medición estándar, es menor.<sup>3</sup>

La hipoxemia incrementa la mortalidad en pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica, lo que puede evitarse con el uso crónico de oxígeno.<sup>16,17</sup> La altitud es uno de los principales determinantes de la hipoxemia, por lo que su identificación es especialmente importante en zonas altas.<sup>10,11</sup> El estándar de oro para medir la oxigenación es la gasometría arterial, sin embargo, es un estudio invasivo: doloroso y con algunos riesgos. La oximetría de pulso permite, de manera no invasiva y rápida, identificar a los pacientes con hipoxemia, que difícilmente se detectarían por métodos clínicos y que están en riesgo de deterioro de la salud y de la calidad de vida.<sup>17</sup> El costo de los oxímetros de pulso y su tamaño ha disminuido notablemente si tomamos en cuenta que la primera generación de los oxímetros Hewlett-Packard con transductor de oído costaba alrededor de 25,000 dólares americanos y pesaba varios kilogramos con un volumen que evitaba su transporte. El oxímetro estudiado cabe en un bolsillo y cuesta menos de 500 dólares, lo que facilita el uso clínico de un instrumento útil, sobre todo en lugares con una altitud considerable sobre el nivel del mar. Tradicionalmente se ha considerado al oxímetro de pulso como un equipo principalmente útil para ver tendencias, es decir, para vigilar la oxigenación del mismo paciente a lo largo del tiempo y no para dar mediciones absolutas. Sin embargo, es posible hacer estimaciones puntuales, si se toma en cuenta el posible margen de error. Encontramos una variación de 2.5% en saturaciones mayores a 90% y de 4% en pacientes con saturaciones menores de 90%, lo que debe tomarse en cuenta en su interpretación.

## CONCLUSIONES

El oxímetro digital de pulso analizado es preciso y exacto en la estimación de la  $\text{SaO}_2$  a 2,240 metros de altitud. Los niveles observados de HbCO no afectaron el desempeño del oxímetro de pulso. La saturación de oxígeno menor a 90% incrementó el error de medición. Este oxímetro puede ser utiliza-

do tanto en la práctica clínica como en estudios epidemiológicos con un error promedio de medición de  $0.28 \pm 3.1\%$ .

#### REFERENCIAS

1. Davidson I, Henry JB (Editores). Todd-Sanford, Clinical Diagnosis by laboratory methods. *WB Saunders* 1974.
2. American Association for Respiratory Care. AARC Clinical Practice Guideline: Pulse oximetry. *Respir Care* 1991; 36: 1406-9.
3. Pérez-Padilla R, Bracamonte-Peraza R, Manrique G, Ruiz-Primo ME. Exactitud del oxímetro de oído (Biox-III) en la Ciudad de México y su sensibilidad a la carboxihemoglobina. *Arch Inst Cardiol Méx* 1986; 56: 303-7.
4. Ries AL, Farrow JT, Clausen JL. Accuracy of two ear oximeters at rest and during exercise in pulmonary patients. *Am Rev Resp Dis* 1985; 132: 685-9.
5. Bickler PE, Feiner JR, Severinghaus JW. Effects of skin pigmentation on pulse oximeter accuracy at low saturation. *Anesthesiology* 2005; 102(4): 715-9.
6. Ralston AC, Webb RK, Runciman WB. Potential errors in pulse oximetry. III: Effects of interferences, dyes, dysshaemoglobins and other pigments. *Anaesthesia* 1991; 46(4): 291-5.
7. Douglas NJ, Brash JM, Wraight PK. Accuracy, sensitivity to carboxyhemoglobin and speed of response of the new Hewlett-Packard 47201A ear oximeter. *Am Rev Resp Dis* 1979; 119: 311-13.
8. Tashiro C, Koo YH, Fukumitsu K, Tomi K, Mashimo T, Yoshiya I. Effects of carboxyhemoglobin on pulse oximetry in humans. *J Anesth* 1988; 2: 36-40.
9. Trivedi NS, Ghouri AF, Lai E, Shah NK, Barker SJ. Pulse oximeter performance during desaturation and resaturation: a comparison of seven models. *J Clin Anesth* 1997; 9(3): 184-8.
10. Pérez-Padilla R, Torre-Bouscoulet L, Chávez E, Vázquez JC, Corcho A, Franco F, Muino A, Menezes AM, Márquez M, López MV. Prevalence of oxygen desaturation in adults at sea level and at an altitude of 2,240 m. *Proc Am Thorac Soc* 2005; 2: A778.
11. Perez-Padilla R. Population distribution residing at different altitudes: implications for hypoxemia. *Arch Med Res* 2002; 33: 162-6.
12. Beall CM, Almasy LA, Blangero J, Williams-Blangero S, Brittenham GM, Strohl KP, Decker MJ, Vargas E, Villena M, Soria R, Alarcón AM, Gonzales C. Percent of oxygen saturation of arterial hemoglobin among Bolivian Aymara at 3,900-4,000 m. *Am J Phys Anthropol* 1999; 108: 41-51.
13. Wimberley PD, Siggaard-Andersen O, Fogh-Andersen N, Zijlstra WG, Severinghaus JW. Haemoglobin oxygen saturation and related quantities: definitions, symbols and clinical use. *Scand J Clin Lab Invest* 1990; 50(4): 455-9.
14. Kramer MS, Feinstein AR. Clinical biostatistics. LIV. The biostatistics of concordance. *Clin Pharmacol Ther* 1981; 29(1): 111-23.
15. STATA™ version 8.0, Stata Co, Texas, USA.
16. Medical Research Council Working Party. Long-term domiciliary oxygen therapy in chronic hypoxic cor pulmonale complicating chronic bronchitis and emphysema. *Lancet* 1981; 1: 681-6.
17. Nocturnal Oxygen Therapy Trial Group. Continuous or nocturnal oxygen therapy in hypoxemic chronic lung disease: a clinical trial. *Ann Intern Med* 1980; 93: 391-8.

Reimpresos:

**Dr. Rogelio Pérez-Padilla**

Clínica de Sueño  
Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias  
Tlalpan 4502.  
Col. Sección XVI.  
14080, México, D.F.  
Tel. y fax: 56-66-86-40  
Correo electrónico: perezpad@servidor.unam.mx

Recibido el 18 de marzo de 2005.  
Aceptado el 9 de noviembre de 2005.