

Efecto de la ventilación mecánica en la variabilidad de la oximetría de pulso en el posoperatorio de cirugía cardíaca

Effect of mechanical ventilation on pulse oximetry variability in the postoperative period of cardiac surgery

Luis E. Santos-Martínez^{1,2*}, Marissa Gámez-Escamilla³, Julio E. López-Nuño³, Adriana Ordóñez-Reyna¹, Raúl Reséndiz-Herrera³, Javier Quevedo-Paredes³, Jacobo J. Cruz-Sánchez²
y Francisco J. González-Ruiz²

¹Departamento de Hipertensión Pulmonar y Corazón Derecho, Unidad Médica de Alta Especialidad, Hospital de Cardiología, Centro Médico Nacional Siglo XXI, IMSS; ²Departamento de Cuidados Intensivos Posquirúrgicos Cardiovasculares, Secretaría de Salubridad y Asistencia, Instituto Nacional de Cardiología Ignacio Chávez; ³Coordinación del Curso Profesional Técnico Universitario en Terapia Respiratoria, Unidad Médica de Alta Especialidad, Hospital de Especialidades Antonio Fraga Mouret, Centro Médico Nacional La Raza, IMSS. Ciudad de México, México

Resumen

Objetivo: Describir si la ventilación mecánica participa en la variabilidad de la oximetría de pulso en sujetos en condiciones críticas. **Método:** Se analizaron sujetos en posoperatorio de cirugía cardíaca con y sin ventilación mecánica, acotando sus variables demográficas, frecuencia cardíaca y gasometría arterial. Se obtuvo la variabilidad de la saturación arterial (SaO₂) y parcial de oxígeno (SpO₂). Se obtuvieron los gases sanguíneos con oxímetro de pulso «de bolsillo» Nonin y un monitor Phillips. Se analizaron con el procedimiento de Bland-Altman. **Resultados:** Se estudiaron 260 sujetos y 780 pares de comparaciones. La diferencia media (sesgo) con y sin ventilación mecánica fue: SaO₂ monitor 0.0 (6.3, -6.3) frente a 0.1 (6.3, -6.2); SaO₂ Nonin 1.2 (7.7, -5.3) frente a 1.4 (7.2, -4.4); SpO₂ Nonin - SpO₂ monitor 1.2 (6.6 -4.2) frente a 1.3 (5.8, -3.2). En cuanto a la frecuencia cardíaca: auscultada monitor -0.5 (3.6, -4.5) frente a -0.1 (3, -3.3); auscultada Nonin -1.1 (7.4, -9.7) frente a -0.8 (4.2, -5.7); monitor - Nonin -0.6 (3, -4.3) frente a -0.6 (3, -4.3). **Conclusiones:** La ventilación mecánica no incrementa la variabilidad de la frecuencia cardíaca ni de la SpO₂ en sujetos en estado crítico en el posoperatorio de cirugía cardíaca.

Palabras clave: Cuidados críticos. Oximetría de pulso. Procedimientos quirúrgicos cardíacos. Signos vitales. Variación del observador.

Abstract

Objective: To describe whether mechanical ventilation participates in the variability of pulse oximetry in subjects in critical conditions. **Methods:** Postoperative cardiac surgery subjects with and without mechanical ventilation were analyzed; their demographic variables, heart rate and arterial blood gases were defined. Variability was obtained from the comparison of arterial saturation (SaO₂) and partial oxygen saturation (SpO₂). They were obtained from blood gases, a pocket-sized Nonin pulse oximeter, and a Phillips monitor. It was analyzed with the Bland-Altman procedure. **Results:** 260 subjects and 780 pairs

*Correspondencia:

Luis E. Santos-Martínez
E-mail: luis.santos@cardiologia.gob.mx

Fecha de recepción: 15-11-2024
Fecha de aceptación: 04-04-2025
DOI: 10.24875/ACM.24000213

Disponible en internet: 03-11-2025
Arch Cardiol Mex. 2025;95(4):302-311
www.archivoscardiologia.com

1405-9940 / © 2025 Instituto Nacional de Cardiología Ignacio Chávez. Publicado por Permanyer. Este es un artículo open access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

of comparisons were studied. The mean difference (bias) with and without mechanical ventilation: SaO₂ monitor 0.0 (6.3, -6.3) vs. 0.1 (6.3, -6.2); SaO₂ Nonin 1.2 (7.7, -5.3) vs. 1.4 (7.2, -4.4); SpO₂ Nonin - SpO₂ monitor 1.2 (6.6, -4.2) vs. 1.3 (5.8, -3.2). The heart rate: auscultation monitor -0.5 (3.6, -4.5) vs. -0.1 (3, -3.3); auscultation Nonin -1.1 (7.4, -9.7) vs. -0.8 (4.2, -5.7); monitor - Nonin -0.6 (3, -4.3) vs. -0.6 (3, -4.3). **Conclusions:** Mechanical ventilation does not increase heart rate or partial oxygen saturation variability in critically ill subject's post-cardiac surgery.

Keywords: Critical care. Pulse oximetry. Cardiac surgical procedures. Vital signs. Observer variation.

Introducción

La oximetría de pulso (OP) es un método no invasivo que da información confiable en tiempo real de la saturación parcial de oxígeno (SpO₂) y de la frecuencia del pulso (FECAR); estos son parámetros vitales que se pueden determinar en sujetos en condición ambulatoria, hospitalaria, en urgencias o en cuidados críticos, y estiman el estado de la oxigenación y la frecuencia cardíaca¹.

Para que los equipos de OP se consideren confiables, la estimación de la SpO₂ debe tener una variabilidad < 3% (desviación estándar [DE] de la diferencia) para unos valores de saturación arterial de oxígeno (SaO₂) del 70-100%². En el metaanálisis de Jensen et al.³, que incluyó 169 trabajos de diferentes áreas y condiciones clínicas, se calculó una variabilidad del 2% con ± 1 DE o del 5% con ± 2 DE. Torre-Bouscoulet et al.⁴. Informaron, en sujetos estables sin ventilación mecánica (VM), una variación de la SpO₂ del 2.5% con SaO₂ > 90% y del 4% con < 90%. En sujetos en estado crítico, la variabilidad puede ser > 4%⁵.

Como origen de la variabilidad de la SpO₂ se han informado diversas causas y contextos clínicos: aspectos técnicos⁶, interferencias con la luz del medio ambiente, esmalte de uñas⁷, tono oscuro de la piel^{8,9}, alteraciones de la macrocirculación y de la microcirculación con hipoperfusión periférica e hipoxemia de grado variable¹⁰, efectos posoperatorios como la inestabilidad hemodinámica¹¹, uso de fármacos con actividad inotrópica y vasoactiva¹², y anemia e hipotermia¹³. Estas condiciones pueden ocurrir en sujetos en condiciones críticas de índole diversa, como aquellos en posoperatorio de cirugía cardíaca. Del comportamiento de la FECAR obtenida por OP poco se conoce de su variabilidad¹⁴, aunque es un parámetro ofrecido por los equipos de OP.

La variabilidad de la SpO₂ frente a la SaO₂ en sujetos en estado crítico se ha reportado mayor que en los sujetos sin alteraciones críticas sin VM, aduciendo diversas condiciones que acompañan a la enfermedad crítica y al efecto de la VM¹⁵⁻²¹. Sin embargo, en el

mejor de nuestro conocimiento, por la misma condición crítica de los sujetos no se ha podido evaluar la contribución real de la VM como causa de la variabilidad de la OP.

Los pacientes en posoperatorio de cirugía cardíaca pueden ser un buen modelo para valorar el efecto de la VM en la variabilidad, dado que usualmente evolucionan muy rápido de estar con VM a estar sin VM. Por ello, en este trabajo el objetivo principal fue describir si la VM participa en la variabilidad en sujetos en estado crítico, así como describir la variabilidad de la FECAR en esta población de sujetos en posoperatorio de cirugía cardíaca en estado crítico, y valorar si un equipo personal «de bolsillo» de OP podría ser de utilidad en estos pacientes en estado crítico. Su importancia reside en su posible utilidad en economías emergentes con hospitales que no cuenten con sistemas de monitoreo clínico en cuidados críticos.

Método

El estudio se realizó en el Departamento de Hipertensión Pulmonar y Corazón Derecho y en el Departamento de Terapia Intensiva Posoperatoria Cardiovascular (TPQx) de la Unidad Médica de Alta Especialidad del Hospital de Cardiología del Centro Médico Nacional Siglo XXI, del Instituto Mexicano del Seguro Social, en Ciudad de México.

Mediante un diseño transversal y analítico se estudiaron pacientes en posoperatorio de cirugía cardiovascular consecutivos. Se incluyeron pacientes de ambos sexos, mayores de 20 años, con y sin VM durante las primeras 24 horas de su estancia en la TPQx. Se descartaron las muestras de sangre con tiempos de procesamiento > 3 minutos.

Muestras arteriales

Se adquirieron con jeringas desechables DL para insulina de 1 ml de capacidad, estando los pacientes

en posición de decúbito supino, con o sin VM, respirando a diferentes fracciones inspiradas de oxígeno. Todos los pacientes tuvieron una línea arterial radial de donde se obtuvieron las muestras sanguíneas por los mismos observadores (MGE, JELN). Al mismo tiempo se adquirieron las de la SpO_2 .

Analizador de gases sanguíneos

Las muestras arteriales fueron procesadas en un equipo para gasometrías arteriales RAPIDPoint 500 System (Siemens Healthcare Diagnostics Inc., USA), con calibrado diario previo al procesamiento de las muestras.

Oxímetros de pulso

La SpO_2 se obtuvo con dos oxímetros de pulso en forma simultánea: uno personal «de bolsillo» previamente validado⁶ (Onyx II modelo 9550, fabricado por Nonin Medical Inc., Plymouth, Minnesota, EE.UU.) y otro acoplado a un equipo de monitoreo Philips IntelliVue MP60 de cada paciente. Cada oxímetro se colocó en cada dedo índice de ambas manos por 30 segundos hasta que se estabilizó la señal, sin exponerse a la luz ambiente y sin movimientos de las extremidades. Los mismos observadores (MGE, JELN) obtuvieron la SpO_2 .

Los tres pares de comparaciones fueron: 1) SaO_2 frente a SpO_2 del oxímetro del monitor Philips; 2) SaO_2 frente a SpO_2 del oxímetro personal Nonin; y 3) SpO_2 del oxímetro del monitor Philips frente a SpO_2 del oxímetro personal Nonin.

La FECAR se obtuvo por auscultación del área cardíaca en forma directa, de la lectura del oxímetro Nonin y de la señal electrocardiográfica del monitor. Las comparaciones de la FECAR fueron: 1) FECAR auscultación frente a FECAR monitor; 2) FECAR auscultación frente a FECAR oxímetro Nonin; y 3) FECAR monitor frente a FECAR oxímetro Nonin.

Análisis estadístico

Los datos se presentan con promedios y DE para las variables numéricas, y con frecuencias y porcentajes para las variables nominales. Se estableció la normalidad de los datos mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov.

Las diferencias entre las diversas variables según si tuvieron o no VM se analizaron con la prueba t para grupos independientes. Se consideró significativo un valor $p < 0.05$. El análisis de la variabilidad se definió

a través de la diferencia media (sesgo, límites de acuerdo) del estadístico descriptivo de Bland y Altman²²; la magnitud del acuerdo se obtuvo con el coeficiente de correlación intraclase (CCI) y su respectivo intervalo de confianza del 95% (IC 95%)²³ para el grupo total y para cada comparación. El grado de acuerdo se categorizó en casi perfecto con CCI de 0.81-1.0, sustancial con CCI de 0.61-0.80, moderado con CCI de 0.41-0.6, regular con CCI de 0.21-0.4, leve con CCI de 0.1-0.2 y pobre con CCI de 0.0²⁴.

Se determinó la variabilidad (diferencias medias; sesgos, límites de acuerdo) entre el estándar de referencia, la SaO_2 (de la gasometría arterial) y la SpO_2 (del oxímetro de pulso del monitor Phillips); de la $SaO_2 - SpO_2$ del oxímetro personal Nonin y de la $SpO_2 - SpO_2$ de ambos oxímetros; además de la FECAR obtenida de la comparación del oxímetro personal Nonin, el monitor Philips y la auscultación.

Tamaño muestral

De acuerdo con el trabajo de Harskamp et al.¹⁸, para alfa de 0.05 y beta de 0.20, diferencia media de -4.8 , desviación estándar de la diferencia 5.9 y máxima diferencia permitida entre métodos de 20, el número mínimo de pares requerido es de 66, mismo que se decidió incrementar por las comparaciones a realizar.

Cuestiones éticas

Previo a la cirugía, los sujetos aceptaron participar en el estudio y firmaron la carta de consentimiento informado. El protocolo fue registrado y autorizado por el Comité Local de Investigación y el Comité de Ética en Investigación del Hospital de Cardiología del Centro Médico Nacional Siglo XXI, del Instituto Mexicano del Seguro Social, con número R-2017-3604-35.

Resultados

Se estudiaron 260 sujetos en posoperatorio de cirugía cardiovascular a quienes se realizaron 780 comparaciones de la saturación de oxígeno y de la FECAR. Del total de los pacientes, 177 (68%) fueron de sexo masculino y 83 (32%) de sexo femenino, con una edad de 60 ± 14 años, peso de 71 ± 11 kg, talla de 1.6 ± 0.1 m, superficie corporal de 1.7 ± 0.18 m², índice de masa corporal de 26 ± 3.6 kg/m² y temperatura corporal de 36.6 ± 0.4 °C. El promedio de retiro de la VM del grupo fue de 8 ± 3.6 h. El tiempo de adquisición de las gasometrías en los sujetos con VM ($n = 130$) fue a $3 \pm$

1.1 h del ingreso a TPQx, y posterior al retiro de la VM, ya sin VM (n = 130), fue a 3 ± 1.9 h ($p < 0.439$).

Los promedios de las variables relacionadas con la gasometría arterial y la OP se muestran en la **tabla 1**. Las intervenciones fueron por cardiopatía valvular en 121 pacientes (46.6%): cambio valvular mitral en 37 (30.6%), aórtico en 50 (41.3%), tricúspide en 11 (9.1%), mitral y aórtico en 12 (9.9%), y mitral y tricúspide en 11 (9.1%); revascularización miocárdica (RVM) con dos, tres y cuatro puentes vasculares en 108 pacientes (41.5%); cardiopatía congénita (comunicación interauricular) en 17 pacientes (6.5%); y RVM y valvular combinada (RVM con dos, tres y cuatro puentes vasculares más cambio valvular aórtico y mitral) en 14 pacientes (5.4%). El riesgo para mortalidad fue intermedio: 7 ± 1 de acuerdo con la escala de riesgo EUROSCORE II (*European System for Cardiac Operative Risk Evaluation II*).

Al momento de la captura de datos, 19 pacientes (13.7%) recibían fármacos con actividad inotrópica, 17 (15.3%) vasopresores y 17 (15.3%) combinados (inotrópico más vasopresor); el resto no tuvo fármacos con alguna de estas propiedades.

Los 260 sujetos se agruparon en VM-sí (n = 130) y VM-no (n = 130). Se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la fracción inspirada de oxígeno (VM-sí $55.3 \pm 13\%$ frente a VM-no $38.4 \pm 11.5\%$; $p = 0.001$) y en la presión arterial (PA) sistólica (VM-sí 108.7 ± 23.3 mmHg vs. VM-no 114.7 ± 18 mmHg; $p = 0.021$) (**Tabla 1**).

Se obtuvo la variabilidad del grupo total de los dos oxímetros, mismos que tuvieron variabilidad especificada $< 3\%$ ^{1,2} y en el sujeto en estado crítico $< 4\text{-}5\%$ ^{3,5,15}. La variabilidad total de acuerdo a ± 2 DE de la diferencia media fue: SaO₂ monitor 3.12%, SaO₂ oxímetro Nonin 3.2% y monitor - oxímetro Nonin 2.6%. Se muestra que los dos oxímetros cumplieron la menor variabilidad que se exigen por norma.

El comportamiento de la SaO₂ - SpO₂ y de la SpO₂ - SpO₂ de las comparaciones del grupo total de acuerdo a VM-sí y VM-no se muestran en la **tabla 2**. El grupo total se dividió en dos subgrupos: valvulares (n = 121) y RVM (n = 108), para conocer la variabilidad de cada uno y su contribución a la variabilidad total (**Tabla 3**).

Grupo total (Tabla 2)

Para la relación SaO₂ - SpO₂ monitor en el grupo VM-sí, la variabilidad fue 0.0 (6.3, -6.3) frente al grupo VM-no 0.1 (6.3, -6.2), con magnitud del acuerdo por

CCI respectivo de 0.892 (0.847, 0.924) frente a 0.870 (0.816, 0.908); el grado de acuerdo de ambos se clasificó como casi perfecto.

Subgrupo de pacientes de cirugía cardíaca valvular (Tabla 3)

En cuanto a la SaO₂ - SpO₂ monitor, en el grupo con VM-sí la variabilidad fue 0.1 (6.1, -5.9) frente al grupo VM-no 0.6 (3.8, -4.9), con magnitud del CCI respectivo de 0.849 (0.757, 0.906) frente a 0.936 (0.888, 0.963); el grado de acuerdo de ambos fue casi perfecto.

Subgrupo de pacientes con RVM (Tabla 3)

Para la SaO₂ - SpO₂ monitor en el grupo con VM-sí la variabilidad fue 0.0 (7.0, -7.0) frente al grupo VM-no 0.7 (8.0, -6.6), con magnitud de ambos por CCI respectivo de 0.838 (0.691, 0.915) frente a 0.827 (0.720, 0.893); el grado de acuerdo de ambos fue casi perfecto. La variabilidad de la SpO₂ es similar en ambos subgrupos de sujetos con RVM con y sin VM.

No hay diferencias en la variabilidad entre los grupos de VM-sí y VM-no para los grupos total y los subgrupos valvulares y de RVM. Esto hace que el oxímetro del monitor sea confiable para sustituir la SaO₂. No obstante estos resultados, hay una pequeña mayor variabilidad en el grupo valvular con VM-sí.

Grupo total de la comparación de la SaO₂ - SpO₂ oxímetro Nonin

En el grupo VM-sí, la variabilidad fue 1.2 (7.7, -5.3) frente al grupo VM-no 1.4 (7.2, -4.4), con una magnitud respectiva de 0.882 (0.833, 0.917) frente a 0.878 (0.828, 0.914); el grado de acuerdo fue casi perfecto para ambos. Como se muestra en la **tabla 3** y la **figura 1**, la variabilidad total es similar a la de los dos subgrupos cuando se utiliza el oxímetro Nonin. Por tanto, utilizar el oxímetro personal Nonin es confiable para sustituir la SaO₂.

Grupo total con ambos oxímetros (SpO₂ monitor - SpO₂ Nonin)

En el grupo de VM-sí la variabilidad fue 1.2 (6.6, -4.2) frente al grupo de VM-no 1.3 (5.8, -3.2), con una magnitud del acuerdo por CCI respectivo de 0.941 (0.917, 0.948) frente a 0.934 (0.907, 0.953); el grado de acuerdo fue casi perfecto para ambos oxímetros. Los dos oxímetros utilizados muestran una

Tabla 1. Variables relacionadas con la gasometría arterial y la oximetría de pulso en sujetos en posoperatorio de cirugía cardíaca con y sin ventilación mecánica

Variable	Total (n = 260) X ± DE	VM-sí (n = 130) X ± DE	VM-no (n = 130) X ± DE	p
FiO ₂ , %	46.8 ± 15	55.3 ± 13	38.4 ± 11.5	0.001
FC auscultada, lat/min	87.8 ± 17	88.3 ± 18	87.3 ± 16.7	0.491
FC monitor, lat/min	88 ± 17	88.8 ± 17.8	87.3 ± 16.7	0.600
FC oxímetro, lat/min	88.7 ± 17.9	89.5 ± 18.8	88 ± 17	0.498
PA sistólica, mmHg	111.7 ± 21	108.7 ± 23.3	114.7 ± 18	0.021
PA media, mmHg	75.3 ± 13.2	74.8 ± 14.2	75.8 ± 12.1	0.514
PA diastólica, mmHg	59.5 ± 13.5	59.8 ± 14.8	59.3 ± 12.2	0.815
pH	7.41 ± 0.07	7.41 ± 0.08	7.40 ± 0.07	0.562
PaCO ₂ , mmHg	34.8 ± 8.08	35.7 ± 9.6	33.9 ± 6	0.063
PaO ₂ , mmHg	90.9 ± 23.9	93.2 ± 23.3	88.6 ± 24.2	0.118
HCO ₃ , mmol/l	22.3 ± 11.1	21.4 ± 6.5	23.2 ± 14.3	0.198
EB, mmol/l	5.51 ± 2.3	5.4 ± -2.2	5.7 ± -2.4	0.808
Lactato, mmol/l	3.1 ± 2.8	3 ± 2.7	3.2 ± 2.9	0.727
Hemoglobina, g/dl	10.5 ± 9.1	10.9 ± 3.7	10.1 ± 4.5	0.470
Hematocrito, %	30 ± 6.1	30.4 ± 6.1	29.6 ± 6.2	0.270
SaO ₂ , %	95.7 ± 4.5	96 ± 4.7	95.5 ± 5	0.380
SpO ₂ monitor, %	95.6 ± 5.3	95.9 ± 6	95.4 ± 5	0.414
SpO ₂ oxímetro, %	94.4 ± 5.1	94.7 ± 5.5	94 ± 4.7	0.308

DE: desviación estándar; EB: exceso de base; FC: frecuencia cardíaca; FiO₂: fracción inspirada de oxígeno; HCO₃: bicarbonato; PA: presión arterial; PaCO₂: presión arterial de dióxido de carbono; PaO₂: presión arterial de oxígeno; SaO₂: saturación arterial de oxígeno; SpO₂: saturación parcial de oxígeno; VM: ventilación mecánica; X: media.

Tabla 2. Diferencias medias, sesgos, coeficientes de correlación intraclase y sus respectivos intervalos de confianza del 95%, de las comparaciones de la saturación arterial y parcial de oxígeno en sujetos en posoperatorio de cirugía cardíaca

Variable	Diferencia media	Límites de acuerdo (sesgo)	CCI	IC 95%
Total				
SaO ₂ vs. SpO ₂ monitor	0.0	6.3 a -6.2	0.882	0.850, 0.908
SaO ₂ vs. SpO ₂ oxímetro	1.3	7.5 a -4.8	0.881	0.848, 0.907
SpO ₂ monitor vs. oxímetro	1.3	6.2 a -3.7	0.937	0.920, 0.951
Con VM				
SaO ₂ vs. SpO ₂ monitor	0.0	6.3 a -6.3	0.892	0.847, 0.924
SaO ₂ vs. SpO ₂ oxímetro	1.2	7.7 a -5.3	0.882	0.833, 0.917
SpO ₂ monitor - oxímetro	1.2	6.6 a -4.2	0.941	0.917, 0.948
Sin VM				
SaO ₂ vs. SpO ₂ monitor	0.1	6.3 a -6.2	0.870	0.816, 0.908
SaO ₂ vs. SpO ₂ oxímetro	1.4	7.2 a -4.4	0.878	0.828, 0.914
SpO ₂ monitor - oxímetro	1.3	5.8 a -3.2	0.934	0.907, 0.953

CCI: coeficiente de correlación intraclase; IC 95%: intervalo de confianza del 95%; SaO₂: saturación arterial de oxígeno; SpO₂: saturación parcial de oxígeno; VM: ventilación mecánica.

Tabla 3. Diferencias medias, sesgos, coeficientes de correlación intraclase y sus respectivos intervalos de confianza al 95%, de las comparaciones de la saturación arterial y parcial de oxígeno en sujetos en posoperatorio de cirugía de cambio valvular o de revascularización miocárdica, con y sin ventilación mecánica

Variable	Diferencia media	Límites de acuerdo (sesgo)	CCI	IC 95%
Grupo cirugía valvular con VM				
SaO ₂ vs. SpO ₂ monitor	0.1	6.1 a -5.9	0.849	0.757, 0.906
SaO ₂ vs. SpO ₂ oxímetro	1.7	8.7 a -6.3	0.791	0.648, 0.864
SpO ₂ monitor - oxímetro	1.6	6.5 a -3.2	0.934	0.893, 0.959
Grupo cirugía valvular sin VM				
SaO ₂ vs. SpO ₂ monitor	-0.6	3.8 a -4.9	0.936	0.888, 0.963
SaO ₂ vs. SpO ₂ oxímetro	0.5	4.4 a -3.3	0.949	0.911, 0.971
SpO ₂ monitor - oxímetro	1.1	4.8 a -2.6	0.955	0.921, 0.974
Grupo RVM con VM				
SaO ₂ vs. SpO ₂ monitor	0.0	7.0 a -7.0	0.838	0.691, 0.915
SaO ₂ vs. SpO ₂ oxímetro	0.7	3.8 a -2.5	0.953	0.910, 0.975
SpO ₂ monitor - oxímetro	0.7	7.7 a -6.4	0.825	0.667, 0.908
Grupo RVM sin VM				
SaO ₂ vs. SpO ₂ monitor	0.7	8.0 a -6.6	0.827	0.720, 0.893
SaO ₂ vs. SpO ₂ oxímetro	1.9	8.7 a -4.9	0.819	0.708, 0.888
SpO ₂ monitor - oxímetro	1.2	5.7 a -3.4	0.946	0.913, 0.966

CCI: coeficiente de correlación intraclase; IC 95%: intervalo de confianza del 95%; RVM: revascularización miocárdica; SaO₂: saturación arterial de oxígeno; SpO₂: saturación parcial de oxígeno; VM: ventilación mecánica.

variabilidad similar para estimar la SpO₂ de acuerdo con la condición de tener VM o no. Como en el grupo total, los subgrupos de cirugía valvular y de RVM (Tabla 3) tienen un comportamiento similar de la variabilidad de la SpO₂ en ambas condiciones de VM.

Frecuencia cardíaca del grupo total (Tabla 4)

Las FECAR en sus diferentes comparaciones (n = 780) se detallan en la tabla 4. En cuanto a la FECAR auscultada - monitor, con VM-sí la variabilidad fue -0.5 (3.6, -4.5) y con VM-no -0.1 (3, -3.3), con magnitud por CCI respectivo de 0.993 (0.991, 0.995) frente a 0.995 (0.993, 0.997); el grado de acuerdo en ambos fue casi perfecto. La FECAR obtenida del monitor es similar a la obtenida por auscultación. En la FECAR auscultada - oxímetro personal (Tabla 4), con VM-sí la variabilidad fue -1.0 (6, -7.9) frente a VM-no -0.8 (4.2, -5.7), con magnitud por CCI respectivo 0.972 (0.960, 0.980) frente a 0.989 (0.984, 0.992); el grado de acuerdo fue casi perfecto. La FECAR obtenida del oxímetro Nonin es similar a la obtenida por auscultación (Fig. 1), y por ende es confiable.

En la FECAR obtenida de ambos oxímetros (Tabla 4) monitor - oxímetro personal, con VM-sí la variabilidad fue -0.7 (6.5, -7.8) frente a VM-no -0.6 (3, -4.3), con magnitud por CCI respectivo 0.980 (0.972, 0.986) frente

a 0.994 (0.991, 0.996); el grado de acuerdo fue casi perfecto. La FECAR obtenida por ambos oxímetros fue similar, lo que demuestra que se puede utilizar tanto el oxímetro del monitor como el oxímetro Nonin para estimar la FECAR.

FECAR en el subgrupo de pacientes de cirugía cardíaca valvular (Tabla 5)

Para la FECAR auscultada - monitor, la variabilidad en VM-sí fue -0.3 (2.5, -3.2) y la magnitud del acuerdo por CCI 0.998 (0.997, 0.999), frente a una variabilidad en VM-no de 0.1 (4.5, -4.3) y una magnitud del acuerdo por CCI 0.994 (0.990, 0.997); el grado de acuerdo fue casi perfecto. La FECAR obtenida del monitor es confiable en el subgrupo de pacientes de cirugía valvular.

Para la FECAR en el subgrupo de RVM (Tabla 5), la variabilidad en VM-sí fue -0.8 (5.4, -6.9) y la magnitud del acuerdo por CCI 0.993 (0.987, 0.996), frente a una variabilidad en VM-no de -0.25 (1.64, -2.13) y una magnitud del acuerdo por CCI 0.998 (0.997, 0.999); el grado de acuerdo fue casi perfecto. En este grupo hubo una menor variabilidad en los sujetos VM-no, lo que sigue mostrando que la VM no tiene un papel preponderante en el origen de la variabilidad. Ambas mediciones son confiables para estimar la FECAR y

Tabla 4. Diferencias medias, sesgos, coeficientes de correlación intraclase y sus respectivos intervalos de confianza del 95%, de las comparaciones de la frecuencia cardíaca en sujetos en posoperatorio de cirugía cardíaca

Variable	Diferencia media	Límites de acuerdo (sesgo)	CCI	IC 95%
Total				
FC auscultada vs. monitor	-0.3	3.3 a -3.9	0.994	0.993, 0.996
FC auscultada vs. oxímetro	-1	6 a -7.9	0.980	0.974, 0.984
FC monitor vs. oxímetro	-0.6	5 a -6.3	0.986	0.983, 0.989
Con VM				
FC auscultada vs. monitor	-0.5	3.6 a -4.5	0.993	0.991, 0.995
FC auscultada vs. oxímetro	-1.1	7.4 a -7.7	0.972	0.960, 0.980
FC monitor vs. oxímetro	-0.7	6.5 a -7.8	0.980	0.972, 0.986
Sin VM				
FC auscultada vs. monitor	-0.1	3 a -3.3	0.995	0.993, 0.997
FC auscultada vs. oxímetro	-0.8	4.2 a -5.7	0.989	0.984, 0.992
FC monitor vs. oxímetro	-0.6	3 a -4.3	0.994	0.991, 0.996

CCI: coeficiente de correlación intraclase; FC: frecuencia cardíaca; IC 95%: intervalo de confianza del 95%; VM: ventilación mecánica.

Tabla 5. Diferencias medias, sesgos, coeficientes de correlación intraclase y sus respectivos intervalos de confianza del 95%, de las comparaciones de la frecuencia cardíaca en sujetos en posoperatorio de cirugía de cambio valvular o de revascularización miocárdica, con y sin ventilación mecánica

Variable	Diferencia media	Límites de acuerdo (Sesgo)	CCI	IC-95%
Grupo cirugía valvular con VM				
FC auscultada vs. monitor	-0.3	2.5 a -3.2	0.998	0.997, 0.999
FC auscultada vs. oxímetro	0.7	8.1 a -9.4	0.983	0.972, 0.989
FC monitor vs. oxímetro	-0.3	6.9 a -7.6	0.988	0.981, 0.993
Grupo cirugía valvular sin VM				
FC auscultada vs. monitor	0.1	4.5 a -4.3	0.994	0.990, 0.997
FC auscultada vs. oxímetro	-0.2	5.9 a -6.3	0.989	0.981, 0.994
FC monitor vs. oxímetro	-0.3	3.8 a -4.3	0.995	0.991, 0.997
Grupo RVM con VM				
FC auscultada vs. monitor	-0.8	5.4 a -6.9	0.993	0.987, 0.996
FC auscultada vs. oxímetro	-2.3	7.3 a -9.0	0.984	0.970, 0.992
FC monitor vs. oxímetro	-1.5	6.5 a -9.6	0.989	0.979, 0.994
Grupo RVM sin VM				
FC auscultada vs. monitor	-0.25	1.64 a -2.13	0.998	0.997, 0.999
FC auscultada vs. oxímetro	-1	2.7 a -4.8	0.997	0.996, 0.998
FC monitor vs. oxímetro	-0.8	2.6 a -4.2	0.998	0.996, 0.999

CCI: coeficiente de correlación intraclase; FC: frecuencia cardíaca; IC 95%: intervalo de confianza del 95%; RVM: revascularización miocárdica.

ambas pueden ser utilizadas en forma indistinta, pues el acuerdo fue casi perfecto.

Al dividir el grupo total en subgrupos de cirugía valvular y de RVM se puede apreciar que la estimación de la FECAR es confiable, de acuerdo al instrumento utilizado, tanto en el grupo total como en los subgrupos de cirugía valvular y de RVM (Tabla 5).

En esta población de sujetos en posoperatorio de cirugía cardíaca, aunque muestran una variabilidad similar de acuerdo a VM-sí y VM-no, la variabilidad

observada no se explicó solo por el efecto conocido de la OP⁵. En estos pacientes, la variabilidad de la SaO₂ - SpO₂ estuvo relacionada a las alteraciones de la PA. Cuando la PA media fue ≥ 60 mmHg, la variabilidad (diferencia media, sesgo) fue 0.0 (5.9, -5.8) y su magnitud de acuerdo al CCI 0.838 (0.795, 0.872); con una PA media < 59 mmHg, la variabilidad fue 2.3 (14.9, -10.3) y su magnitud respectiva por CCI 0.528 (0.157, 0.768). El grado de acuerdo pasó de ser de casi perfecto a moderado, lo que señala a la

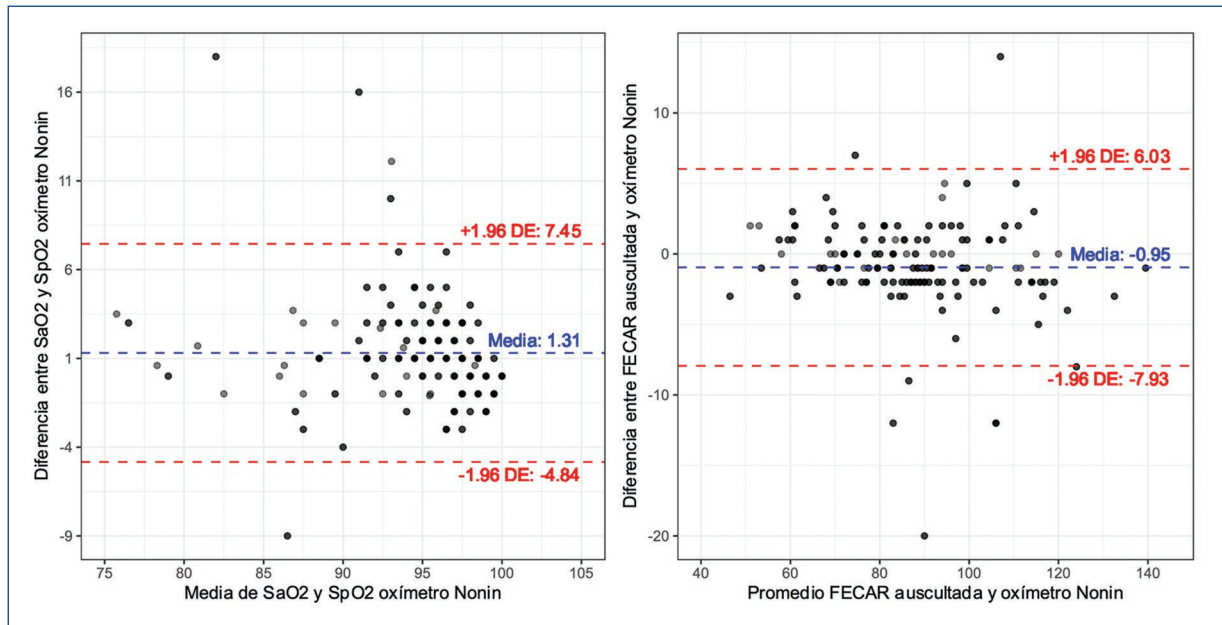


Figura 1. Estadístico de Bland-Altman para la saturación arterial y parcial de oxígeno del grupo con oxímetro Nonin (izquierda). Estadístico de Bland-Altman para la frecuencia cardíaca auscultada y con oxímetro Nonin (derecha), en sujetos posoperados de cirugía cardiovascular con y sin ventilación mecánica. Media: diferencia media; SaO₂: saturación arterial de oxígeno; SpO₂: saturación parcial de oxígeno; FECAR: frecuencia cardíaca por oximetría de pulso.

PA < 59 mmHg como uno de los orígenes de la variabilidad en la población total estudiada.

La variación de la SaO₂ fue otra de las causas de la variabilidad de la SpO₂ encontradas. Con SaO₂ > 91% la variabilidad fue 0.2 (6.2, -5.7) con CCI 0.780 (0.573, 0.893), y con SaO₂ < 90% la variabilidad fue -1.5 (6.3, -9.3) y su magnitud calculada con el CCI 0.540 (0.442, 0.625); el grado de acuerdo pasó de ser sustancial a moderado.

En esta población, las alteraciones de la PA media < 59 mmHg y de la SaO₂ ≤ 90% fueron las que contribuyeron al incremento de la variabilidad de la OP en los pacientes en posoperatorio de cirugía cardíaca en condición crítica con y sin VM.

Discusión

En este trabajo con sujetos en condición crítica se demostró que la variabilidad de la SpO₂ con respecto a su estándar de referencia, la SaO₂, de acuerdo a estar en VM o no, fue similar, con lo que se aceptó que la VM no tiene una participación preponderante en la variabilidad de la SpO₂ en sujetos en estado crítico en posoperatorio de cirugía cardíaca. Nuestros hallazgos validan los estudios realizados que ha informado de la variabilidad en sujetos con VM¹⁵⁻²¹.

Los trabajos sobre OP en sujetos en estado crítico con VM en la unidad de cuidados intensivos han mostrado resultados diversos en cuanto a la variabilidad.

Kumar-Sing et al.¹⁶, en sujetos críticos en general, utilizaron dos oxímetros (Nonin y Phillips) y la variabilidad de ambos fue 1.44 (6.62, -3.72), del Nonin 0.456 (3.4, -2.81) y del Phillips 2.44 (6.62, 2.44). El oxímetro Phillips tuvo mayor variabilidad en comparación con los resultados obtenidos con el Nonin; hubo diferencia con los datos obtenidos con el Nonin de este trabajo. También se documentó que la variabilidad (sesgo) aumentó con la disminución de la SaO₂ < 90%, como ocurrió en nuestro trabajo.

Blanchet et al.¹⁷ tuvieron resultados opuestos en la variabilidad de la SpO₂ en sujetos en cuidados críticos generales, incluyendo pacientes en posoperatorio de cirugía cardíaca. Estudiaron cuatro oxímetros: Nonin, Phillips, Massimo y Nellcor. El oxímetro Nonin subestimó la SaO₂ en el 91.3% y el Phillips la sobreestimó en el 55.2%; la exactitud fue moderada, y se demostró que no todos los oxímetros son iguales. Con SaO₂ < 90%, la variabilidad aumenta. Con estas discrepancias se pueden tomar decisiones clínicas inadecuadas durante el ajuste del tratamiento con oxígeno.

Ebmeier et al.¹⁵, en dos unidades de cuidados críticos y utilizando monitores Marquette RAC-4A y Philips IntelliVue MP70, informaron una variabilidad del 0.15% (0.36-0.07), con DE de la diferencia del 2.2% y un límite de acuerdo de $\pm 4.4\%$. El efecto en la variabilidad fue asociado también a la desaturación media de oxígeno por debajo de 89% de SaO₂. Este efecto se explica porque la SaO₂ y la SpO₂ se hacen similares hasta valores > 90%, y por debajo estos valores se subestiman, y aumentan la variabilidad debido a su posición en la meseta de la curva de disociación de la oxihemoglobina¹⁹. Pilcher et al.²⁰ mostraron que la variabilidad de la OP en una unidad de cuidados intensivos de Australia y dos de Nueva Zelanda fue un método exacto para definir la SaO₂, pues la variabilidad fue -1.2% (2, -4.4%); sin embargo, también la posibilidad de hipoxemia oculta se observó con SpO₂ < 90% y se descartó con SaO₂ > 92%.

El sitio de medición de la SpO₂ puede ser una causa de variabilidad. Seifi et al.²¹, en una población de sujetos en posoperatorio de RVM, definieron que el mejor lugar para obtener la SpO₂ fue el lóbulo de la oreja (en comparación con la frente, el dedo de la mano y el dedo del pie), con una diferencia media de 0.14, DE ± 0.86 y acuerdo con IC 95% entre 0.67 y 0.87, pero los datos del dedo de la mano no fueron tan diferentes: 0.53 ± 0.79 , con IC 95% entre 0.57 y 0.80. En el presente trabajo, aunque las mediciones fueron realizadas en el dedo índice de ambas manos, los resultados no son mayores que los reportados por Seifi et al.²¹ en su estudio.

Por lo tanto, la variabilidad observada en la SaO₂ - SpO₂ no estuvo relacionada con la presencia de VM ni con diferencias en los subgrupos estudiados (cirugía valvular frente a RVM). La variabilidad se observó con PA media < 59 mmHg y con SaO₂ < 90%. Al igual que otros estudios¹⁵⁻¹⁷, este trabajo señala las alteraciones de la presión arterial y la hipoxemia como causas principales del incremento de la variabilidad.

De nuestros resultados podemos decir que las comparaciones fueron casi perfectas en la SaO₂ - SpO₂ con cada oxímetro, y que la comparación entre ambos oxímetros (SpO₂ - SpO₂) fue mejor que la observada para SaO₂ - SpO₂. Los dos oxímetros fueron confiables para estimar la SpO₂ en sujetos críticos con y sin VM en el posoperatorio de cirugía cardíaca, a diferencia de las discrepancias mostradas por otros^{17,21} según el oxímetro utilizado y el sitio de colocación.

En cuanto a la frecuencia cardíaca (Tablas 4 y 5), la diferencia media fue muy pequeña, de -0.3 a 1.1 ; la diferencia con el valor real es de un solo latido, pero

el sesgo (límite de acuerdo) más alto fue en la FECAR auscultada (6, -7.9) frente a la FECAR por oxímetro (7.4, -9.7), que sobreestimó el valor de la diferencia media en 6-7 latidos e infraestimó en 8-10 latidos. El CCI para VM-sí 0.980 y VM-no 0.972 indica un grado de acuerdo casi perfecto.

A diferencia de la SaO₂ - SpO₂ obtenida en nuestro trabajo, la magnitud del acuerdo de la FECAR según el CCI fue mejor en todas las comparaciones (> 0.95) (Tabla 4). Marinari et al.¹⁴, con un oxímetro Nellcor, encontraron una variabilidad de la FECAR de 0.25 (7.7, -7.1), sin disminución de la variabilidad cuando la SpO₂ fue < 90%, lo cual está en concordancia con nuestros resultados. Por lo tanto, aun con el sesgo mostrado, el uso de un oxímetro personal de bolsillo es confiable para estimar la FECAR en sujetos en posoperatorio de cirugía cardíaca con o sin VM.

Limitaciones

Este trabajo es un estudio monocéntrico, realizado en una ciudad con altitud moderada que puede haber incrementado la variabilidad. Los sujetos en posoperatorio de cirugía cardíaca estuvieron en estado crítico, con diversas variables que también pudieron haber participado en los hallazgos, como uso de fármacos presores y alteraciones de la perfusión; por ser un número pequeño de pacientes con estos fármacos, no se realizó el análisis.

Conclusiones

- La variabilidad de la SpO₂ y de la frecuencia cardíaca es similar en los sujetos en condiciones críticas en el posoperatorio de cirugía cardíaca con y sin VM.
- Un oxímetro de bolsillo puede ser un sustituto confiable para la SpO₂ y la frecuencia cardíaca en sujetos en estado crítico con y sin VM.
- La variación de la SpO₂ se relacionó con alteraciones de la SaO₂ y de la presión arterial sistémica.

Financiamiento

La presente investigación no ha recibido ninguna beca específica de agencias de los sectores públicos, comercial o con ánimo de lucro.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Consideraciones éticas

Protección de personas y animales. Los autores declaran que para esta investigación no se han realizado experimentos en seres humanos ni en animales.

Confidencialidad, consentimiento informado y aprobación ética. Los autores han seguido los protocolos de confidencialidad de su institución, han obtenido el consentimiento informado de los pacientes, y cuentan con la aprobación del Comité de Ética. Se han seguido las recomendaciones de las guías SAGER, según la naturaleza del estudio.

Declaración sobre el uso de inteligencia artificial. Los autores declaran que no utilizaron algún tipo de inteligencia artificial generativa para la redacción de este manuscrito.

Referencias

- Martínez-Sedas GD. El oxímetro de pulso: más información de lo que pensamos. *Rev Mex Anestesiol.* 2024;47:30-4.
- Tusman G, Bohm SH, Suárez-Sipmann F. Advances uses of pulse oximetry for monitoring mechanically ventilated patients. *Anesth Analg.* 2017;124:62-71.
- Jensen LA, Onyskiw JE, Prasad NG. Meta-analysis of arterial oxygen saturation monitoring by pulse oximetry in adults. *Heart Lung.* 1998;27:387-408.
- Torre-Bouscoulet L, Chávez-Plascencia E, Vázquez-García JC, Pérez-Padilla R. Precisión y exactitud de un oxímetro de pulso "de bolsillo" en la Ciudad de México. *Rev Invest Clin.* 2006;58:28-33.
- Wick KD, Matthay MA, Ware LB. Pulse oximetry for the diagnosis and management of acute respiratory distress syndrome. *Lancet Respir Med.* 2022;10:1086-98.
- Santos-Martínez LE, Ureña-Plascencia MV, Quevedo-Paredes J, Colín-Chávez NI, Durán-Vidauri JP, Soto-Márquez P. Diferencias en la saturación parcial de oxígeno obtenido de 3 oxímetros de pulso. *Rev Med Inst Mex Seguro Soc.* 2020;58:385-93.
- Rackley CR. Monitoring during mechanical ventilation. *Respir Care.* 2020;65:832-46.
- Bickler PE, Feiner JR, Severinghaus JW. Effects of skin pigmentation on pulse oximeter accuracy at low saturation. *Anesthesiology.* 2005;102:715-9.
- Hao S, Dempsey K, Matos J, Cox CE, Rotemberg V, Gichoya JW, et al. Utility of skin tone on pulse oximetry in critically ill patients: a prospective cohort study. *Crit Care Explor.* 2024;6:e1133-45.
- De Cuyper H, Poelaert J. Microcirculatory alterations in cardiac surgery: a comprehensive guide. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2024;38:829-38.
- Poorzargar K, Pham C, Ariaratnam J, Lee K, Parotto M, Englesakis M, et al. Accuracy of pulse oximeters in measuring oxygen saturation in patients with poor peripheral perfusion: a systematic review. *J Clin Monit Comput.* 2022;36:961-73.
- Van de Louw A, Cracco C, Cerf C, Harf H, Duvaldestin P, Lemaire F, et al. Accuracy of pulse oximetry in the intensive care unit. *Intensive Care Med.* 2001;27:1606-13.
- Seitz KP, Wang L, Casey JD, Markus SA, Jackson KE, Qian ET, et al. Pulse oximetry and race in critically ill adults. *Crit Care Explor.* 2022;4:1-5.
- Marinari S, Volpe P, Simoni M, Avenaggiato M, De Benedetto F, Nardini S, et al. Accuracy of a new pulse oximetry in detection of arterial oxygen saturation and heart rate measurements: the SOMBRERO study. *Sensors (Basel).* 2022;22:5031-40.
- Ebmeier SJ, Barker M, Bacon M, Beasley RC, Bellomo R, Chong CK, et al. A two-centre observational study of simultaneous pulse oximetry and arterial oxygen saturation recordings in intensive care unit patients. *Anaesth Intensive Care.* 2018;46:297-303.
- Kumar-Singh A, Singh-Sahi MS, Mahawar B, Rajpurohit S. Comparative evaluation of accuracy of pulse oximeters and factors affecting their performance in a tertiary intensive care unit. *J Clin Diagn Res.* 2017;11:OC05-8.
- Blanchet MA, Mercier G, Delobel A, Nayet E, Bouchard PA, Simard S, et al. Accuracy of multiple pulse oximeters in stable critically ill patients. *Respir Care.* 2023;68:565-74.
- Harskamp RE, Bekker L, Himmelreich JCL, De Clercq L, Karregat EPM, Sleswijk ME, et al. Performance of popular pulse oximeters compared with simultaneous arterial oxygen saturation or clinical-grade pulse oximetry: a cross-sectional validation study in intensive care patients. *BMJ Open Resp Res.* 2021;8:e000939-46.
- Rauniyar NK, Pujari S, Shrestha P. Study of oxygen saturation by pulse oximetry and arterial blood gas in ICU patients: a descriptive cross-sectional study. *J Nepal Med Assoc.* 2020;58:789-93.
- Pilcher J, Ploen L, McKinstry S, Bardsley G, Chien J, Howard L, et al. A multicentre prospective observational study comparing arterial blood gas values to those obtained by pulse oximeters used in adult patients attending Australian and New Zealand hospitals. *BMC Pulm Med.* 2020;20:7-18.
- Seifi S, Khatony A, Moradi G, Abdi A, Najafi F. Accuracy of pulse oximetry in detection of oxygen saturation in patients admitted to the intensive care unit of heart surgery: comparison of finger, toe, forehead and ear-lobe probes. *BMC Nurs.* 2018;17:15-23.
- Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet.* 1986;1:307-10.
- Kramer MS, Feinstein AR. Clinical biostatistics LIV. The biostatistics of concordance. *Clin Pharmacol Ther.* 1981;29:111-23.
- Casado A, Prieta L, Lamarca R. La evaluación de la fiabilidad en las observaciones clínicas: el coeficiente de correlación intra-clase. *Med Clin (Barc).* 1998;110:145-55.