FUNCIÓN PULMONAR MEDICIÓN CONTINUA DE LA SATURACIÓN DE PULSO ARTERIAL DE OXÍGENO: PROPUESTA PARA INTERPRETACIÓN

CONTINUOUS MEASUREMENT OF OXYGEN ARTERIAL PULSE SATURATION: AN INTERPRETATION PROPOSAL

Dra. Trinidad Sánchez¹, Dr. Ignacio Oyarzún¹, Dra. Solange Caussade¹

1.- Pediatra. Especialista en Enfermedades Respiratorias. Departamento Cardiología y Enfermedades Respiratorias Pediátricas. Pontificia Universidad Católica de Chile.

INTRODUCCIÓN

En la década de 1980 se introdujeron los monitores de saturación de pulso arterial de oxígeno (SpO₂), siendo estos actualmente una forma no invasiva y ampliamente utilizada para estimar la saturación de oxígeno de la hemoglobina arterial (1-3).

El valor de la SpO₂ se obtiene mediante el método de espectrofotometría, basado en la relación que existe entre la absorción de luz roja e infrarroja por parte de la desoxihemoglobina y oxihemoglobina respectivamente (1-4).

En pediatría, las principales indicaciones para su medición en forma continua son el estudio de hipoxemia, la titulación del aporte de oxígeno suplementario en pacientes con enfermedad respiratoria crónica (principalmente displasia broncopulmonar), monitorización de apoyo ventilatorio y como un método de *screening* en el diagnóstico de apnea obstructiva del sueño (5-7).

Actualmente en muchos centros de nuestro país contamos con equipos con alto nivel de fiabilidad, los cuales permiten una gran precisión y validez para la interpretación de los resultados (8). Los objetivos de este artículo son describir brevemente los principios de la oximetría de pulso, especialmente cuando se usa tecnología de extracción de señal (SET: *signal extraction technology*) y proponer una secuencia para interpretar e informar los resultados.

CALIDAD DE SEÑAL Y ARTEFACTOS

Existen numerosos fabricantes de equipos para medir, grabar y analizar los datos de SpO₂ en forma continua (2,3,9). Estos se diferencian en la forma de detectar la concentración de hemoglobina saturada, en el tiempo que usan para guardar los valores registrados (cada 2 segundos, 2-4 segundos, hasta varios minutos los más antiguos) (6,10) y en la sensibilidad para detectar la señal del pulso arterial. Por otro lado existen *software* para analizar los datos obtenidos, los cuales son compatibles

RESUMEN

La medición continua de la saturación de pulso arterial de oxígeno (SpO₂) es un método no invasivo, confiable y seguro. El consolidado permite obtener valores promedio de SpO₂ y frecuencia cardíaca, gráficos y valores acumulados, rangos de valores de SpO₂, que permiten definir si existe o no alguna alteración. Los avances tecnológicos han dado paso a la fabricación de equipos con alta exactitud de las mediciones, mediante algoritmos matemáticos que filtran los artefactos debido a movimientos y/o hipoperfusión. La ventaja, es una mayor precisión para determinar estados de hipoxemia en distintas situaciones clínicas. Las principales indicaciones en pediatría son la determinación de hipoxemia y titulación de oxígeno en niños con enfermedades que comprometen el sistema respiratorio, especialmente displasia broncopulmonar. También se usa como *screening* para apneas obstructivas del sueño en rango moderado a severo en situaciones en que no es posible realizar poligrafía o polisomnografía, dado la facilidad con la que se puede realizar la medición continua de SpO₂ en domicilio u hospitalizado. En este artículo se describen características importantes del procedimiento, y se propone un esquema para ordenar su interpretación.

Palabras claves: Oximetría, monitorización, tecnología biomédica, pediátrica.

ABSTRACT

Continuous measurement of arterial oxygen saturation by pulse oximetry (SpO₂) is a non-invasive, reliable, and safe method. The consolidated allows obtaining average values of SpO₂ and heart rate, graphs and accumulated values, ranges of SpO₂ values, which allow defining whether or not there is any alteration. Technological advances have given way to the manufacture of equipment with high measurement accuracy, using mathematical algorithms that filter artifacts due to movements and/or hypoperfusion. The main indications are the diagnosis of hypoxemia and titration of oxygen requirements in patients with chronic lung damage and other diseases that compromise the respiratory system. Also, it is used as screening of moderate to severe obstructive apneas when other sleep studies, such as polysomnography or polygraphy, are not available. It can be done at home or hospitalized. This article describes important characteristics of the procedure, and a scheme is proposed to order its interpretation.

Keywords: Oximetry, monitoring, biomedical technology, pediatrics.

con algunos de estos equipos. En la Tabla 1 se mencionan los factores que alteran la medición de la SpO₂, siendo los movimientos y la baja perfusión los más frecuentes (9).

Los movimientos del paciente pueden originar varios errores al medir la SpO₂, incluyendo menor precisión, pérdida de la señal, falsas alarmas por desaturación y no registrar eventos reales de hipoxemia (8). A inicios de la década del 90 los fabricantes de oxímetros de pulso se dedicaron específicamente a inves-

tigar métodos para reducir los artefactos por movimientos. También existía la preocupación de detectar desaturaciones breves (6). Fue entonces como surgió la tecnología Masimo-SET cuyo mérito es que logra detectar exclusivamente la hemoglobina oxigenada circulante por la sangre arterial, distinguiendo los cambios en la absorción luminosa producidos por el volumen cambiante de la sangre venosa y tejidos debido al movimiento, de los provenientes del pulso arterial. La mayoría de los monitores no

Autor para correspondencia:

Dra. Solange Caussade

Depto Cardiología y Enfermedades Respiratorias Pediátricas Pontificia Universidad Católica de Chile.
Diagonal Paraguay 362 - Santiago - Chile.

Mail: solangecaussade@gmail.com

Tabla 1. Causas y mecanismos de mediciones no confiables de la SpO2 (9)

Causas y mecanismos
1. Inhabilidad del equipo para leer las caídas intermitentes de la SpO2 <ul style="list-style-type: none"> • Baja perfusión
2. SpO2 falsamente normal o aumentada <ul style="list-style-type: none"> • Inhalación monóxido de carbono
3. SpO2 falsamente disminuida <ul style="list-style-type: none"> • "Pulsaciones" venosas • Movimiento • Esmalte de uñas • Pigmentación de la piel • Mala ubicación o conexión del sensor • Temperatura ambiental baja (vasoconstricción) • Formas hereditarias de hemoglobina alterada

son capaces de eliminar la señal de absorción luminosa proveniente de sangre venosa y tejidos durante el movimiento y por lo tanto nos proporciona saturaciones bajas que no necesariamente son reales (artefactos). También existen otros que "enmascaran" las falsas alarmas cuando detecta movimientos o ruidos (3,8).

El método SET no está limitado solo a la relación en la absorción de luz roja e infrarroja. Está constituido por una serie de algoritmos, y diseños de *hardware*, que permiten una monitorización precisa de la SpO2 y de la frecuencia cardíaca durante los movimientos y la mala perfusión. Estos algoritmos se basan en cinco métodos alternativos para calcular la SpO2, según un modelo de señal determinado para cada uno. Un dispositivo mediador decide si todos, alguno o ninguno de estos métodos se activan para la determinación final de la SpO2. Durante los movimientos, la sangre venosa es el principal factor que contribuye al ruido, la tecnología SET aísla y anula el componente venoso (1-3). La señal IQ® (Índice de Calidad de la Señal) comprueba en forma permanente la calidad de la señal, se observa mientras está realizándose el registro. Resulta útil principalmente en situaciones de movimiento y con baja perfusión. Un valor >0,3 indica que hay buena señal (3).

La principal ventaja clínica de la tecnología señalada es la capacidad de identificar falsas y verdaderas alarmas al momento de realizar monitorización continua de SpO2. Con esto, se evita sobreestimar o subestimar eventos de hipoxemia. En escenarios clínicos como el periodo neonatal, en que se requiere mayor precisión para el uso de oxígeno, esto ha demostrado una gran utilidad (Figura 1). Por otro lado, el *screening* de apneas obstructivas considera caídas mantenidas en saturación ("en racimo" o *clusters*) para relacionarlos con

eventos obstructivos (5,7).

Otro tipo de oxímetros que también filtran los ruidos producidos por el movimiento son los equipos Philips, que usan el método FAST (*Fourier Artifact Suppression Technology*). Este método asume que el ruido de la señal proveniente del paciente no ocurre al mismo tiempo que el pulso arterial, y tiene una amplitud y frecuencia diferentes a este, y al reconocerlo lo separa. La desventaja de este equipo es que no siempre logra separar estas señales, en esas situaciones no lee la SpO2, por lo tanto no registra la SpO2 (*dropout*), pero tampoco emite valores erróneos (11).

¿QUÉ PASOS SEGUIMOS PARA ORDENAR LA INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS?

1. Conocer antecedentes del paciente

- Edad (en prematuros edad corregida y cronológica).
- Identificar diagnóstico(s) relacionado(s) con el estudio, relacionar el diagnóstico con los resultados esperados.
- Indicación del estudio:
 - o Objetivar hipoxemia.
 - o Titulación de aporte de O₂ suplementario: inicio, suspensión, modificación.
 - o Monitorización de oxigenación en usuario de ventilación crónica.
 - o Monitorización de oxigenación en usuario de traqueostomía.
 - o Screening de apnea obstructiva del sueño.

2. Conocer apoyo respiratorio recibido durante el estudio

- Dispositivos usados durante el estudio: válvula de fonación, filtro a traqueostomía, máscara de ventilación no invasiva (VNI) facial/nasal, naricera,

cánula nasal de alto flujo.

- Cantidad de aporte de oxígeno.
- Modalidad y parámetros de apoyo ventilatorio.
- Uso de "modalidad dividida" (Split night).

3. Revisar hoja de registro enfermería o cuidador(a)

- Hora de inicio y término: duración del examen.
- Cambios en aporte de oxígeno o parámetros ventilatorios, uso de "modalidad dividida".
- Problemas con el sensor.
- Eventos de desaturación.
- Atenciones kinésicas, aspiraciones.
- Alimentación.
- Atenciones de enfermería: control signos vitales.
- Cambios de posición, mudas.
- Ronquido.

4. Revisar condiciones de registro

- Intervalo de registro: idealmente se debe programar el más breve, entre 2-4 segundos. Se ha visto que mientras menor es este intervalo aumenta la detección de eventos breves y de mayor severidad (10).
- Tiempo total de grabación, hora de inicio y de término.
- Si se hizo el estudio en modalidad dividida debe fraccionarse el total en 2 estudios para analizar en forma separada. Para esto se debe saber la hora exacta a la cual se cambiaron las condiciones de ventilación, aporte de O₂ u otro. Se sugiere que cada fragmento sea de al menos 4 horas.
- Comprobar que el reloj del equipo coincida con el horario existente.

Figura 1. Reconocimiento de artefacto de SpO2 en el monitor con tecnología de extracción de señal (SET) en un registro simultáneo de saturación. A: con monitor neonatal sin tecnología SET, se identifica un evento de caída significativa de la SpO2 (flecha roja). B: con monitor con tecnología SET se registra el mismo evento, reconocido como artefacto (flecha roja).

5. Edición de resultados

Según el equipo para grabar la SpO2 continua y el *software* utilizado para analizar los datos, una vez bajados los datos, la gráfica del registro debe revisarse en detalle para relacionar caídas en los valores con eventos registrados en la hoja de enfermería. Si el programa lo permite se deben eliminar zonas con mala señal. El programa Profox (*software* de edición más utilizado con equipos Masimo con tecnología SET en nuestro medio), permite ver en la pantalla completa períodos de tiempo desde minutos (5 min), hasta días. Para revisar y editar el registro se sugiere usar periodos de 30 minutos. El registro de buena calidad (señal índice de calidad IQ>0,3) se visualiza de color verde, el de mala calidad en rojo (Figura. 2).

6. Descripción de los resultados

- Registrar la duración del examen y tiempo libre de artefactos (o tiempo válido para interpretar), este último debe ser de un mínimo de 6 horas sin interrupción (12).
- Revisar datos consolidados: SpO2 promedio y desviación standard (DS), frecuencia cardiaca (FC) promedio y DS, tiempo bajo 90%, tiempo bajo 80%, índice de caída de saturación en 3 puntos (ID3) o 4 puntos (ID4), índice de desaturación bajo 80% (ID 80).
- Revisar registro en pantalla en detalle para:
 - o Relacionar eventos de desaturación, pérdida de señal y desconexiones con registro de enfermería. En pacientes con displasia broncopulmonar buscar periodos de caída en la SpO2 durante la alimentación.
 - o Buscar presencia de *clusters*: caídas en saturación en 4 o más puntos, por 5 o más veces en un periodo de 10-30 minutos (5). Los clusters solo se deben referir en situaciones de sospecha o diagnóstico de apneas obstructivas del sueño (Figura. 3).
 - o En estudios con modalidad dividida interpretar resultados por separado, y compararlos.
- Índices cardiorespiratorios: frecuencia cardiaca (FC) (ver Tabla 2):
 - o Promedio y DS.
 - o Revisar si los sectores con aumento de la FC corresponden a disminución en la SpO2.
 - o Aumento significativo (15%)
 - o Oscilaciones de la FC.

Figura 2. Calidad de la señal (Equipo Masimo/ Software Profox). Registro de 30 min de SpO2 con periodos sin señal, breves periodos con buena señal (verde) y caídas falsas por mala señal (rojo).

Figura 3. Consolidado de registro de 8 horas que muestra clusters (flechas rojas) de caída de la SpO2.

Tabla 2. Frecuencia cardiaca normal según edad en vigilia y durante el sueño (14).

Edad en años (rango)	FC media en vigilia	FC media durante el sueño
1,4 (1,1-1,9)	125,3 (111,5-142,1)	104,4 (95,6-128,4)
3,0 (2,2-3,5)	107 (92,8-117,1)	89,5 (77,0-987,9)
5,0 (4,3-5,8)	96,5 (86,2-110,2)	79,3 (67,6-92,4)
8,0 (6,3-10,1)	85,2 (77,7-96,5)	71,9 (62,7-82,4)
11,5 (9,7-13,2)	82,1 (69,9-91,5)	70,3 (59,3-77,6)
12,5 (11,4-15,2)	76,3 (63,8-87,5)	66,6 (54,9-78,7)
15,2 (13,4-17,2)	77,4 (66,6-92,5)	66,9 (56,1-92,5)
16,9 (15,8-17,9)	74,6 (62,3-84,6)	63,0 (49,4-74,4)

- Índices de saturación (SpO2, ver Tabla 3, datos según edad y oxímetro):
 - o Promedio y DS.
 - o Tiempo bajo 90%, Tiempo bajo 80%.
- o ID3/ID4.
- o ID80 en menores de 3 meses (se debe calcular) (13).

Tabla 3. Frecuencia cardíaca normal según edad en vigilia y durante el sueño (14).

Índice / edad	Prematuro (15)	RN término (16)	Lactantes 1 mes Nonin (13), Masimo (17)	Lactantes 3 meses (13,17)	Lactantes 12 meses (18)	Preescolar y escolares (19)	Escolares y adolescentes (20)
Equipo SpO2	Masimo	Masimo	Masimo	Masimo	Nonin	Nellcor	Masimo
SpO2 promedio (rango)	96,9 (93,3 - 99,3)	97,3 (±1,4 DS)	97,05 (96,59 - 97,52)	97,65 (97,19 - 98,12)	97,1 (95,5 - 98)	97,7 (93,6 - 99,9)	97,9 (94 - 100)
% tiempo ≤ 90% (rango)	2 (0 - 10,6)	(-)	0,39 (0,26 - 0,55)	0,11 (0,06 - 0,2)	0,1 (0 - 0,6) *	0,04 (0 - 2)	2,3 (0 - 54) s
% tiempo ≤ 80% (rango)	0,1 (0 - 1,3)	(-)	(-)	(-)	(-)	0	0
ID 80 (eventos/h promedio (rango))	0,58 (0 - 10,8)	0 (0,4 - 1,7)	0 (0-0,7) ¹³	0,9 (0 - 1) ¹³	(-)	(-)	(-)
ID 3 (eventos/h promedio (rango))	(-)	(-)	25,41 (22-28,82) ¹⁷ 8,2 (2,2-24,9) ¹³	13,92 (11,38 - 16,47) ¹⁷ 7,5 (2,2 - 27,3) ¹³	6,7 (1,4 - 15,8)	(-)	(-)
ID 4 (eventos/h promedio (rango))	45,2 (5,2 - 115)	(-)	16,16 (13,72-18,59)	8,12 (6,46 - 9,77)	(-)	0,4 (0 - 7,4)	1,2 (0 - 6,1)

*% tiempo ≤ 92%, ID3/ID4: índice de desaturación en 3 o 4 puntos, se consideran caídas en 3, 4 o más puntos con duración ≥ 10 segundos, ID 80: índice de desaturación bajo 80%, (-): no hay estudios, RN: recién nacido.

CALIDAD DE SEÑAL Y ARTEFACTOS

El informe debe incluir:

1. Tiempo interpretable, aporte de oxígeno y su modalidad, detalles de apoyo ventilatorio.

2. Promedio de SpO2 y DS del consolidado, porcentaje de tiempo bajo 90% y según edad o patología tiempo bajo 80%, ID3/ID4 (Tabla 3). En base a esta tabla sugerimos considerar como normal un promedio de SpO2 sobre 95% a toda edad, 3% del tiempo bajo 90% en menores de 1 año, y 2% en mayores de 1 año. Siempre considerando el rango de normalidad según el contexto clínico.

3. Eventos relacionados con desaturaciones, clusters.

4. Si el examen se solicitó para buscar apneas del sueño y su resultado no es sugerente se debe explicitar que estas no se pueden descartar (5,7). Se sugiere informar como examen positivo para apneas obstructivas la definición de Brouillette (5): 3 o más clusters y al menos 3 desaturaciones bajo 90%.

5. Si se hizo con modalidad dividida describir diferencias en condiciones y resultados de ambas etapas.

CONCLUSIONES

Los oxímetros de nueva generación permiten determinar con mayor precisión los va-

lores de saturación de hemoglobina arterial, discriminando entre verdaderos y falsos eventos de desaturación. En muchos centros hospitalarios de nuestro país se cuenta con estos equipos. Es importante que al interpretar este examen se conozca el equipo, su tecnología, el software de interpretación, además sus limitaciones y sus ventajas. Proponemos un análisis sistemático para una correcta interpretación de los estudios de SpO2. En pacientes pediátricos es importante considerar el motivo de estudio, correlacionar con antecedentes clínicos de cada paciente, sin olvidar los cambios en los valores normales de oximetría de pulso durante distintas etapas del desarrollo.

Los autores declaran no presentar conflicto de intereses.

REFERENCIAS

- Mejía Salas H, Mejía Suárez M. Oximetría de pulso. Rev Soc Boliv Pediatr. 2012;51(2):149-55.
- Jubran A. Pulse oximetry. Crit Care 2015;19(1):272. DOI:10.1186/s13054-015-0984-8
- Sola A, Chow L, Rogido M. Oximetría de pulso en la asistencia neonatal en 2005. Revisión de los conocimientos actuales. An Pediatr 2005;62(3):266-81. DOI:10.1157/13071843
- Perillan JA. Oximetría de pulso: ¿cuál es el equipo ideal? Neumol Pediatr. 2016;11(2):81-4.
- Brouillette RT, Morielli A, Leimanis A, Waters KA, Luciano R, Ducharme FM. Nocturnal pulse oximetry as an abbreviated testing modality for pediatric obstructive sleep apnea. Pediatr. 2000;105(2):405-12. DOI:10.1542/peds.105.2.405
- Trang H, Bouregghda S, Leske V. Sleep desaturation: Comparison of two oximeters. Pediatr Pulmonol 2004;37(1):76-80. DOI:10.1002/ppul.10411
- Kaditis A, Kheirandish-Gozal L, Gozal D. Pediatric OSAS: Oximetry can provide answers when polysomnography is not available. Sleep Med Rev 2015;27:96-105. DOI:10.1016/j.smrv.2015.05.008
- Barker SJ. "Motion-Resistant" Pulse Oximetry: A Comparison of New and Old Models. Anesth Analg 2002;95(4):967-72. DOI:10.1097/0000539-200210000-00033
- Chan ED, Chan MM, Chan MM. Pulse oximetry: Understanding its basic principles facilitates appreciation of its limitations. Respir Med. 2013;107(6):789-99. DOI:10.1016/j.rmed.2013.02.004
- Ahmed SJM, Rich W, Finer NN. The Effect of Averaging Time on Oximetry Values in the Premature Infant. Pediatrics 2010;125(1):e115-21. DOI:10.1542/peds.2008-1749
- Workie FA, Rais-Bahrami K, Short BL. Clinical Use of New-Generation Pulse Oximeters in the Neonatal Intensive Care Unit. Am J Perinatol 2005; 22(7):357-60.

- DOI:10.1055/s-2005-872704
12. Rhein L, Simoneau T, Davis J, Correia C, Ferrari D, Monuteaux M, et al. Reference values of nocturnal oxygenation for use in outpatient oxygen weaning protocols in premature infants. *Pediatr Pulmonol* 2012;47(5):453-9. DOI:10.1002/ppul.21562
 13. Brockmann PE, Poets A, Poets CF. Reference values for respiratory events in overnight polygraphy from infants aged 1 and 3 months. *Sleep Med* 2013;14(12):1323-7. DOI:10.1016/j.sleep.2013.07.016
 14. Scholle S, Water A, Scholle HC. Normative values of polysomnographic parameters in childhood and adolescence: Cardiorespiratory parameters. *Sleep Med* 2011;12(10):988-96. DOI:10.1016/j.sleep.2011.05.006
 15. Oyarzun I, Zamorano A, Diaz M, Toso P, Montes S, Lindemann C, et al. Reference Values for Pulse Oximetry in Extremely Preterm Infants, Asymptomatic at 34-36 Weeks Post Menstrual Age. Poster presentado en American Thoracic Society International Conference, 15-20 may2020, Philadelphia, USA.
 16. Brockmann PE, Poets A, Urschitz MS, Sokollik C, Poets CF. Reference values for pulse oximetry recordings in healthy term neonates during their first 5 days of life. *Arch Dis Child Fetal Neonatal* 2011;96(5):1-5. DOI:10.1136/adc.2010.196758
 17. Evans HJ, Karunatileke AS, Grantham-Hill S, Gavlak JC. A cohort study reporting normal oximetry values in healthy infants under 4 months of age using Masimo technology. *Arch Dis Child*. 2018;103(9):868-72. DOI:10.1136/archdischild-2017-314361
 18. Vézina K, Mariasine J, Young R, Reyna M, Lu Z, Subbarao P, et al. Cardiorespiratory Monitoring Data during Sleep in Healthy Canadian Infants. *Ann Am Thorac Soc* 2020;17(10):1238-46. DOI:10.1513/AnnalsATS.201909-703OC
 19. Montgomery-Downs HE, O'Brien LM, Gulliver TE, Gozal D. Polysomnographic characteristics in normal preschool and early school-aged children. *Pediatr*. 2006;117(3):741-53. DOI:10.1542/peds.2005-1067
 20. Urschitz MS, Wolff J, von Einem V, Urschitz-Duprat PM, Schlaud M, Poets CF. Reference Values for Nocturnal Home Pulse Oximetry During Sleep in Primary School Children. *Chest* 2003 ;123(1):96-101. DOI:10.1378/chest.123.1.96