

Oximetría de pulso

Pulse oximetry

Dr. Héctor Mejía Salas*, Srta. Mayra Mejía Suárez**

Introducción

La oximetría de pulso es un método no invasivo que permite la estimación de la saturación de oxígeno de la hemoglobina arterial y también vigila la frecuencia cardíaca y la amplitud del pulso.

La presión parcial de oxígeno disuelto en la sangre arterial se denomina PaO₂. El porcentaje de saturación de oxígeno unido a la hemoglobina en la sangre arterial se denomina SaO₂ y cuando se mide por un oxímetro de pulso, este valor se denomina SpO₂.

Los primeros avances en el concepto de la oximetría fueron realizados en el año 1918 durante la primera Guerra Mundial cuando Krogh en Copenhague intento medir la oxigenación de pilotos. En 1930 Millikan y Wood desarrollaron un oxímetro de pabellón auricular de dos longitudes de onda y en 1949 Wood y Geraci pudieron medir la saturación absoluta de oxígeno a través de determinación fotoeléctrica en lóbulo de la oreja. En 1974, el ingeniero Takuo Aoyagi de la Nihon Kohden, basado en que las pulsaciones arteriales cambian el color de la sangre y pueden ser leídas usando el radio de la absorción de luz roja e infrarroja, desarrolló el primer oxímetro de pulso. En 1977 Minolta comercializa el "Oximet" añadiendo dos sensores de fibras ópticas. Posteriormente se reali-

zan ensayos clínicos en la Universidad de Stanford y en 1981 "Biox y Nellcor" añaden los sensores de luz y la señal pulsátil que actualmente se usan en la práctica clínica.

La oximetría de pulso se ha convertido en un instrumento indispensable en la atención de pacientes. Incorporada en nuestro medio pero sin un proceso de capacitación paralelo y al parecer existen vacíos en el conocimiento del mecanismo de funcionamiento, sus limitaciones y aplicaciones en pediatría; situaciones que abordamos más adelante.

¿Cómo opera un oxímetro de pulso?

Para la determinación de la saturación de hemoglobina arterial con oxígeno (SpO₂), el oxímetro de pulso o pulsioxímetro usa la espectrofotometría basada en que la oxihemoglobina u hemoglobina oxigenada (HbO₂) y la desoxihemoglobina o hemoglobina reducida (Hb) absorben y transmiten determinadas longitudes de onda del espectro luminoso para la luz roja (640-660nm) y la luz infrarroja (910-940nm). La HbO₂ absorbe más la luz infrarroja y permite el paso de la luz roja; por el contrario, la Hb absorbe más la luz roja (R) y permite el paso de la luz infrarroja (IR). El radio

* Pediatra. Magister en Epidemiología Clínica: Hospital del Niño "Dr. Ovidio Aliaga Uría". La Paz

** Interna de Medicina. Facultad de Medicina. Universidad mayor de San Andrés. La Paz

Correspondencia: Dr. Héctor Mejía Salas: hmejia44@hotmail.com

Conflicto de intereses: Ninguno que declarar

de la absorción de la luz R e IR mide el grado de oxigenación de la hemoglobina.

Los oxímetros de pulso tienen dos sensores o sondas con diodos emisores de luz (DEL), uno para luz IR y otro para la R, además, de un fotodiodo detector. Para medir el oxígeno los DEL y el fotodiodo detector deben ponerse en puntos opuestos dejando en medio el tejido translucido (pulpejo del dedo, pabellón auricular, etc). El mecanismo que permite la lectura de la oxigenación es que en cada pulsación de la sangre arterial se transmiten valores lumínicos, detectando al mismo tiempo la frecuencia cardiaca. Asumiendo que solo la sangre arterial pulsa a esto se denomina componente arterial pulsátil (CA). La cantidad de luz absorbida cambia de acuerdo a la cantidad de sangre en el lecho tisular y la presencia de HbO₂/Hb. Por otro lado existe un componente estático (CE) que está formado por los tejidos, huesos, piel y la sangre venosa. La siguiente fórmula muestra como del cociente de la luz R e IR se obtiene la SpO₂:

$$\frac{(CA \text{ luz R} / CE \text{ luz R})}{(CA \text{ luz IR} / CE \text{ luz IR})} = SpO_2$$

El resultado de la anterior fórmula es llevado a algoritmos calibrados que están almacenados en el microprocesador del aparato. Los algoritmos derivan de mediciones en voluntarios sanos sometidos a diferentes concentraciones mezcladas y decrecientes de oxígeno que generalmente son únicas para cada fabricante. Los actuales oxímetros además de la SpO₂ y la frecuencia cardiaca, muestran una onda pletismográfica de la absorción de luz. La SpO₂ mostrada en la pantalla representa la media de la medición de los últimos 3 a 6 segundos, los datos se actualizan cada 0.5 a 1 segundo.

La precisión y exactitud dependen de las diferentes marcas y estudios realizados que van de desde más o menos 10% a menos de 2%, pero en sujetos con saturaciones de oxígeno por encima de 70%; por esto se ha visto que el funcionamiento de los oxímetros disminuyen su precisión grandemente cuando

las SpO₂ están por debajo de 70% (esto se debe a que se tiene un número limitado de sujetos para calibrar a bajos niveles de saturación), lo cual llevaría a serias dudas de su interpretación en pacientes muy hipoxémicos sobre todo en grandes alturas; como menciona un autor, el oxímetro puede fallar “cuando más se lo necesita”. La Food and Drug Administration (FDA) considera que las mediciones de cada nuevo oxímetro y sensor deben ser comparados con muestras medidas en sangre arterial con un co-oxímetro en un rango de 70 a 100%.

Los sitios del cuerpo que generalmente se usan para medir la SpO₂ son los dedos de la mano, dedo gordo del pie y lóbulo de la oreja. En neonatos y lactantes menores se usan las palmas y plantas. Otros lugares menos frecuentes son la lengua, alas de la nariz y las mejillas.

La SatO₂ representa los gramos de hemoglobina (Hb) que son portadores de oxígeno. Por ejemplo si la SpO₂ es del 85 % y la concentración de (Hb) es de 15 g/dl, entonces 12,75 g/dl de Hb están portando O₂, lo que no ocurre con el 2,25 g/dl restante. El aporte y la entrega de O₂ a los tejidos dependen de varios factores, no sólo del porcentaje de SatO₂. Entre ellos se encuentra el contenido de oxígeno disuelto en la sangre PaO₂.

Por otro lado, es importante recordar que los oxímetros de pulso funcionan normalmente en pacientes anémicos, que tienen reducida la cantidad de glóbulos rojos. Hay que considerar que en pacientes muy anémicos, la saturación de oxígeno puede ser normal, pero hay insuficiente hemoglobina para transportar una cantidad adecuada de oxígeno a los tejidos.

¿Cómo se afecta la exactitud de las mediciones en los oxímetros de pulso?

La validez (medir lo que quiere medir) y confiabilidad de las mediciones (reproducibilidad de la medición) de los oxímetros de pulso convencionales, puede verse afectada por diversas circunstancias:

- **El movimiento**, esta es la más común, sobre todo en niños muy pequeños o recién nacidos. La premisa clave de la oximetría de pulso convencional era que el único componente pulsátil en movimiento era la sangre arterial. Esta premisa es errónea, especialmente cuando hay movimiento. Durante el movimiento o “ruido”, la longitud de la óptica se modifica y supera la señal real; por lo tanto, el movimiento constituye una limitación física para la oximetría de pulso. Esto se debe que el movimiento de la sangre venosa, que el oxímetro de pulso detecta como si fuera sangre arterial pulsátil; durante el movimiento, existe una especie de “chapoteo o movimiento de vaivén” de la sangre venosa a baja presión. En estas situaciones, el CA es variable debido principalmente al movimiento de la sangre venosa.

Dado que la oximetría de pulso convencional mide los componentes pulsátiles arteriales y los no arteriales, el movimiento de la sangre venosa “confunde” al monitor, que ofrecerá niveles de saturación falsamente bajos. Los sensores con adhesivos son una potencial solución a este problema.

- **Baja perfusión**: la perfusión del lecho vascular entre el diodo emisor de luz (DEL) y el sensor de la sonda del monitor determina la magnitud de la señal disponible para el oxímetro de pulso. Al disminuir la perfusión, también lo hace la magnitud de la señal, como la pulsación arterial es necesaria para la medición, los estados de baja perfusión como el choque, gasto cardiaco bajo y la hipotermia puede alterar las lecturas. Cuando la perfusión desciende hasta niveles demasiado bajos, la magnitud de la señal se aproxima al nivel de ruido básico del sistema en la electrónica del SpO_2 , lo que permite que el ruido supere a la señal fisiológica. Esta situación puede darse en los niños que recibieron un gran volumen de transfusiones y tienen elevada la presión venosa. La dopamina puede ocasionar

lo mismo por vasoconstricción que se asocia a pulsación venosa inversa. Estas situaciones que producen alteraciones de la lectura de SpO_2 , serían salvadas actualmente por los oxímetros de última generación.

- **Pigmentación de la piel y pintura de uñas**: la piel oscura potencialmente tendría errores con lecturas de SpO_2 menores de 80% y el esmalte de uñas, absorbe la luz a 660 nm o 940 nm pueden interferir con la capacidad del oxímetro de pulso para interpretar la SpO_2 .
- **Interferencia electromagnética**: la energía electromagnética externa como la proveniente de tomógrafos, electrocauterios, celulares u otros pueden ocasionar interferencia de la correcta lectura del oxímetro y además producir un sobrecalentamiento del sensor, lo cual lleva a lecturas bajas de SpO_2 y falsas alarmas.
- **Interferencia de la luz ambiental**, la luz intensa blanca (fototerapia, luces de quirófanos, etc.) o roja pueden interferir con la lectura de los oxímetros porque alteran la función de los fotodetectores. Esta dificultad puede evitarse cubriendo el sensor con un material no transparente.
- **Variantes de Hemoglobinas**, existen 2 situaciones en las que se puede afectar la lectura de los oxímetros:

Carboxihemoglobina (COHb), la mayor presencia de esta molécula en la sangre sobreestima los valores de oxigenación arterial porque la COHb absorbe la luz roja en un grado similar al de la HbO_2 (oxihemoglobina), por lo cual incrementaría 1% de la SO_2 por cada 1% de COHb circulante. Esto tendría sobre todo implicancia en las intoxicaciones por CO (frecuentes en pediatría por el sahumerio aplicado a los niños en nuestro medio) donde los valores de saturación debe corroborarse por un co-oxímetro (aparato para determinar COHb y Metahemoglobina) o determinación de gases en sangre arterial. Este problema también puede presentarse en pacientes fumadores.

Metahemoglobina, su presencia es normalmente menor al 1% y no da problemas, pero en intoxicaciones por sulfonamidas, uso de anestésicos, óxido nítrico y hemoderivados artificiales puede elevarse causando alteración de la lectura porque la metahemoglobina absorbe la luz en forma similar a la HbO₂, lo cual no puede ser discriminado por el microprocesador del oxímetro. Ante la sospecha de esta alteración también debe usarse un co-oxímetro.

La policitemia, la Hb fetal, la anemia con Hb > a 5g/dl con función cardiovascular preservada no parecen interferir la lectura de los oxímetros. En niños con enfermedad de células falciformes las lecturas pueden ser poco confiables.

Las múltiples causas de errores en la lectura de las SPO₂ hacen que casi el 86% de las alarmas sean falsas cuando un oxímetro es regulado a umbrales normales de saturación, por lo cual se postula que el monitoreo continuo con oxímetro de pulso no tiene valor en pacientes relativamente estables.

Oximetría de pulso en la altura

La SpO₂ media a nivel del mar es 97-99%, con límites inferiores de 94%. La SpO₂ tiene relación con la tensión arterial de oxígeno (PaO₂), es decir que pequeños cambios en la SpO₂ reflejan grandes cambios en la PaO₂; porque la curva de disociación oxígeno/hemoglobina es relativamente plana para PaO₂ mayores a 60mmHg y con SpO₂ menores de 90% la curva es más pronunciada, por lo cual pequeñas caídas de PaO₂ se manifestaran en grandes caídas de SpO₂. Por esto, se recomienda que a nivel del mar se use oxígeno en pacientes con SpO₂ menor a 90% y no menor a 94%.

El nivel de SpO₂ también depende de adaptaciones fisiológicas o patológicas como ocurre en niños que viven en la altura, sobre todo mayor a 2500 metros sobre el nivel del mar (msnm), donde existe una menor presión de oxígeno. Esto también sucede en niños con cardiopatías congénitas cianóticas que se

adaptan a hipoxia crónica.

Una revisión sistemática de la literatura sobre hipoxemia en la altura y otra acerca de la epidemiología de la hipoxemia en niños con infección respiratoria; reportan como valores normales a SpO₂ por encima de 85% en niños que residen a más de 2500 msnm.

En una encuesta realizada en la ciudad del El Alto, a niños sanos entre 0 y 60 meses, se encontró un promedio de SpO₂ del 87%. En la ciudad de La Paz (estudio aun no publicado) se encontró una SpO₂ del 85 a 87% en niños sanos de 2 meses a 59 meses. Por lo anterior, se deduce: a niños que residen a más de 2500 msnm, se les debe indicar oxígeno suplementario cuando la saturación de oxígeno sea del 85% o menos.

Aplicaciones de la oximetría de pulso en pediatría

Cuidados neonatales: está demostrado que la hiperoxia en prematuros puede ocasionar retinopatía e incrementa el riesgo de displasia broncopulmonar y por otro lado los periodos de hipoxemia asociados a bajo gasto cardiaco pueden producir daño cerebral, renal y enterocolitis necrosante. Por lo tanto, la oximetría de pulso se convierte en una forma no invasiva de monitorear la cantidad de oxígeno a administrarse, actualmente se recomienda mantener SpO₂ entre 90% a 93%.

Reanimación neonatal: se ha demostrado que las SpO₂ se incrementan progresivamente después del nacimiento y durante los 10 primeros minutos de vida, por aumento del flujo pulmonar, cierre del ductus y una mejora de la ventilación/perfusión. Este hecho ha llevado a recomendar, el monitoreo de la SpO₂ en: todos los neonatos en los que se anticipe reanimación, cuando se proporcione ventilación a presión positiva, cuando exista cianosis persistente y cuando se administre oxígeno suplementario. La última versión del manual de reanimación neonatal de la Academia

Americana de Pediatría presenta una tabla de valores justos de saturación en función del tiempo de nacimiento, desde el primer minuto a los 10 minutos. Además recomienda que el sensor sea colocado en la muñeca o palma del miembro superior derecho (localización pre-ductal) y conectar el sensor antes de encender el oxímetro para conseguir una señal más rápida.

Cribado de cardiopatías congénitas: la demora en el diagnóstico de cardiopatías congénitas complejas puede incrementar el riesgo de muerte o lesión en recién nacidos; el descarte de estas malformaciones solo mediante el examen físico puede obviar muchas de estas lesiones. En Gran Bretaña se calculó que el 25% de las cardiopatías congénitas graves no fueron diagnosticadas hasta después del alta de las maternidades.

Hasta el momento existe suficiente evidencia para recomendar el tamizaje con oximetría de pulso a las 24 a 48 horas del nacimiento, recomendación avalada por el Comité Asesor de Enfermedades Hereditarias de los E.E.U.U.; su meta son principalmente siete lesiones específicas: síndrome de hipoplasia de corazón izquierdo, atresia pulmonar, tetralogía de Fallot, retorno venoso pulmonar anómalo, transposición de grandes vasos, atresia tricuspídea y tronco arterioso. En enero de 2012 la AAP publica la aprobación de la Secretaria de Salud de los E.E.U.U. a realizar la oximetría de pulso para el descarte de cardiopatías congénitas, siguiendo las siguientes recomendaciones:

- Realizarse en todos los recién nacido sanos, en el segundo día de vida o antes del alta de la maternidad.
- El tamizaje debe realizarse preferentemente con oxímetros que no se alteren con los movimientos de las extremidades; es decir los de última generación.
- El sensor debe ser colocado en la mano derecha y pie derecho.
- Interpretación:

SpO₂ mayor o igual a 95% o con una diferencia mayor o igual a 3% entre mano y pie; se considera prueba negativa.

SpO₂ entre 90 y menos de 95% o una diferencia entre mano y pie mayor a 3% repetida en 2 oportunidades, con lapsos de una hora; se consideran prueba positiva.

SpO₂ < a 90% en mano derecha o pie, son consideradas pruebas positivas.

En los casos de prueba positiva: se deben excluir otras causas de hipoxemia y luego realizar una ecocardiografía.

Es importante comentar que hoy en día, no existen puntos de corte para recién nacidos en la altura, por lo cual este tema abre nuevas prioridades en investigación en nuestro país.

Este método tiene gran especificidad y valor predictivo negativo (probabilidad de no tener la enfermedad con una prueba negativa), es decir los recién nacido que muestren valores altos de SpO₂ es poco probable que tengan cardiopatía congénita. Por otro lado la sensibilidad y la tasa de falsos positivos es alta, es decir que cuando un neonato satura bajo no existe mucha certeza de que realmente tenga cardiopatía, por lo cual deben realizarse exámenes complementarios de gabinete.

Tamizaje de hipoxemia en servicios de emergencia: la oximetría debe ser usada en pacientes seleccionados, en quienes la hipoxemia es más probable; es decir niños con probable neumonía, bronquiolitis, dificultad respiratoria, cianosis, choque, coma, convulsiones o deshidratación grave. El riesgo de aplicar mediciones rutinarias a todos los pacientes (incluso a niños de bajo riesgo de hipoxemia) es que se tendrán falsos positivos debido a artefactos por el movimiento o el sonido que pueden afectar las lecturas.

Monitoreo en el perioperatorio: actualmente existe una iniciativa mundial (Global Oximetry Project) para incrementar el uso de la oximetría como una

práctica estándar durante la anestesia en países con bajos recursos. Una revisión muestra, que existen 1:133 a 1:1900 paros cardiacos en cirugías en países subdesarrollados, mientras que estos eventos se estiman 1:122.000 a 1:200.000 en los E.E.U.U. Por lo anterior la OMS está promoviendo una lista de verificación para una cirugía segura (antes de la inducción de la anestesia, antes de la incisión y antes de que el paciente salga de quirófano); dentro de las preguntas figura como un requisito indispensable si se colocó el oxímetro de pulso y si funciona.

Enfermedades respiratorias: la oximetría de pulso facilita la selección de pacientes que deben ser internados debido a hipoxemia como es el caso de pacientes con neumonía, asma, bronquiolitis; donde la ventilación/perfusión está alterada. Del mismo modo cuando los pacientes son internados y reciben tratamiento, la oximetría permite evaluar la respuesta al mismo como es el caso particular de la neumonía, Fu y cols, demostraron que la SpO₂ tomada a las 24 horas de tratamiento antimicrobiano con amoxicilina oral en niños con neumonía grave; puede predecir la respuesta al tratamiento, es decir los pacientes que mejoraran su saturación respecto al ingreso responden mejor al tratamiento y no requieren cambio de antimicrobiano. La AAP recomienda usar oxígeno cuando la SpO₂ es menor a 90% a nivel dl mar. En pacientes que residen a alturas mayores a 2500 msnm, se debe usar oxígeno cuando la SpO₂ es menor de 85%. No se recomienda el monitoreo continuo con oxímetro, sino más bien intermitente.

Por otro lado la SpO₂ no es un indicador confiable en enfermedades con obstrucción proximal como la laringitis, aspiración de cuerpo extraño y disfunción de cuerdas vocales, porque la hipoxemia en estos casos se debe a hipoventilación que incrementa la PaCO₂ (la oximetría no provee información de la concentración de dióxido de carbono en sangre). Cuando estos pacientes reciben oxígeno la SpO₂ se normaliza a pesar de la hipercarbnia, por esto es mejor controlar la frecuencia respiratoria, esfuerzo

respiratorio y estado de conciencia para monitorear la ventilación en los casos señalados anteriormente.

Conclusiones

La presente revisión, destaca que existen una gran variedad de artefactos y situaciones que pueden afectar la correcta lectura del aparato y por otro lado hay escenarios clínicos donde pierde utilidad, como ser: laringitis, intoxicación por CO, etc.; de lo cual deben estar conscientes los operadores.

Los avances en la tecnología sin embargo están eliminando estos probables factores de falla, pero es posible que en nuestro país no siempre se cuente con tecnología de última generación, por lo cual será importante considerar lo expresado en esta revisión que tiene la intensión de actualizar un tema útil en la práctica clínica diaria.

Referencias

1. Fouzas S, Priftis KN, Anthracopulos MS. Pulse oximetry in pediatrics practice. *Pediatrics* 2011;128:740-52.
2. Hay WW. History of pulse oximetry in neonatal medicine. *Neoreviews* 2005;6:e533-8.
3. Salyer JW. Neonatal and pediatric pulse oximetry. *Respir Care* 2003;48:386-96.
4. Schnapp LM, Cohen NH. Pulse oximetry. Uses and abuses. *Chest* 1990;98:1244-50.
5. Mower WR, Sachs C, Nicklin EL, Baraff LJ. Pulse oximetry as fifth pediatric vital sign. *Pediatrics* 1997;99:681-6.
6. Fouzas S, Politis P, Akylogianni E, Syriopoulou T, Priftis KN, Chatzimichael A, Anthracopulos MS. Knowledge on pulse oximetry among pediatric health care professionals: A multicenter survey. *Pediatrics* 2010;126:e657-e2.
7. Walker IA, Newton M, Bosenberg AT. Improving surgical safety globally: pulse oximetry and the WHO guidelines for safe surgery. *Pediatric Anesthesia* 2011;21:825-8.
8. Mahle WT, Martin GR, Beeckman RH, Morrow WR. Endorsement of health and human services recommendations for pulse oximetry screening for critical congenital heart disease. *Pediatrics* 2012;129:190-2.

9. Duke T, Subhi R, Peel D, Frey B. Pulse oximetry: technology to reduce child mortality in developing countries. *Ann Trop Paediatrics* 2009;29:165-75.
10. Kemper AR, Mahle WT, Martin GR, Cooley WG, Kumar P, Morrow WR, Kelm K, et al. Strategies for implementing screening for critical congenital heart disease. *Pediatrics* 2011;128:e1259-e67.
11. Mahle WT, Newburger JW, Matherne GP, Smith FC, Hoke TR, Koppel R, Gidding SS, et al. Role of pulse oximetry in examining newborns for congenital heart disease: a scientific statement from the AHA and AAP. *Pediatrics* 2009;124:823-36.
12. Kattwinkel J, Perlman J. The neonatal resuscitation program: the evidence evaluation process and anticipating edition 6. *Neoreviews* 2010;11:e673-e80.
13. Perlman J, Willye J, Kattwinkel J, Atkins DL, Chameides L, Goldsmith JP, Guinsburg L, et al. Neonatal resuscitation: 2010 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Pediatrics* 2010;126:e1319-e44.
14. Ortega R, Hansen CJ, Elterman K, Woo A. Pulse oximetry. *N Engl J Med* 2011;364:e33-e6.
15. Subhi R, Smith K, Duke T. When should oxygen be given to children at high altitude? A systematic review to define altitude-specific hypoxaemia. *Arch Dis Child* 2009;94:6-10.