



El oxímetro de pulso: más información de la que pensamos

The pulse oximeter: more information than we think

Dr. Gastón Daniel Martínez-Sedas*

Citar como: Martínez-Sedas GD. El oxímetro de pulso: más información de la que pensamos. Rev Mex Anesthesiol. 2024; 47 (1): 30-34. <https://dx.doi.org/10.35366/114094>

RESUMEN. El oxímetro de pulso, un dispositivo común en diferentes áreas hospitalarias, sobre todo en áreas críticas, es utilizado la mayoría de las ocasiones para evaluar el estado respiratorio del paciente; sin embargo, la evidencia actual muestra que este dispositivo nos puede brindar información valiosa del comportamiento hemodinámico, la respuesta del sistema nervioso autónomo y la terapéutica que se realiza al paciente crítico. Es por este motivo, que conocer los fundamentos de la oximetría, los valores más allá de la oxigenación como la forma de onda pletismográfica y el índice de perfusión resulta en una cantidad de información importante para la toma de decisiones y la respuesta a los tratamientos realizados.

ABSTRACT. *The pulse oximeter, a common device in different hospital areas, especially in critical areas, is used most of the time to assess the patient's respiratory status; however, current evidence shows that this device can provide us with valuable information on hemodynamic behavior, the response of the autonomic nervous system, and the therapy given to critically ill patients. It is for this reason that knowing the fundamentals of oximetry, values beyond oxygenation such as the plethysmographic waveform and the perfusion index results in an important amount of information for decision making and the response to the treatments performed.*

INTRODUCCIÓN

Es evidente la creciente necesidad de mejorar los métodos de monitorización en los pacientes hospitalizados en áreas críticas desde la sala de urgencias hasta aquellos con necesidad de tratamiento quirúrgico y aquellos que ingresan en la Unidad de Cuidados Intensivos (UCI). También es cierto que no en todos los centros hospitalarios del país cuentan con los equipos biomédicos de última generación para realizar el monitoreo de pacientes críticos. El oxímetro de pulso, dispositivo con el que se cuenta en la mayoría de los centros hospitalarios en áreas de urgencia, quirófano y unidades de cuidados intensivos, nos proporciona información de la oxemia, la respuesta a volumen, la respuesta a manejo analgésico y la perfusión, con lo que podemos obtener información más allá de lo habitual. Es por eso que se realiza una revisión de la literatura de 16 artículos en buscadores como PubMed, y bases de datos como ClinicalKey, ScienceDirect, UpToDate, SpringerLink, para conocer a fondo las utilidades que podemos dar al oxímetro de pulso y así optimizar un recurso, con

el que cuenta la gran mayoría de las áreas críticas, basado en la evidencia científica disponible.

PRINCIPIOS DE LA OXIMETRÍA DE PULSO

Es una técnica que mide la saturación de oxígeno arterial (SaO₂) mediante un monitoreo no invasivo y continuo, teniendo como objetivo principal detectar episodios de hipoxemia que no se pueden detectar por datos clínicos, recordando que la cianosis suele apreciarse hasta que se alcanza un nivel de SaO₂ ≤ 80%⁽¹⁾.

El oxímetro de pulso funciona a partir de la espectrofotometría para medir el porcentaje de saturación de la oxihemoglobina y la fotopletismografía para diferenciar la sangre arterial de la venosa. El oxímetro de pulso compara las características de la absorción de luz de dos longitudes de onda:

- Onda roja = 660 nanómetros
- Onda infrarroja = 940 nanómetros

Palabras clave:

oximetría, onda pletismográfica, índice de perfusión, paciente crítico.

Keywords:

oximetry, plethysmographic waveform, perfusion index, critical patient.

* Médico Anestesiólogo.

Médico Residente de Medicina Crítica. Centro Médico Nacional 20 de Noviembre, ISSSTE. Ciudad de México.

Correspondencia:

Dr. Gastón Daniel Martínez-Sedas

E-mail: daniel.rebel13@gmail.com

Recibido: 10-02-2023

Aceptado: 13-07-2023



La oxihemoglobina (HbO_2) absorbe menos luz roja que infrarroja y la hemoglobina reducida absorbe más luz roja; por lo tanto, el oxímetro de pulso mide el porcentaje de oxígeno unido a la hemoglobina.

El mecanismo de esta medición se explica por la ley de Beer,⁽²⁾ en la cual se relaciona la intensidad de la luz que atraviesa una solución con la concentración de solutos en dispersión en ella. El sensor del oxímetro de pulso consta de dos diodos emisores de luz y un fotodetector que se colocan en lados opuestos de un lecho tisular. La intensidad de luz que llega al fotodetector puede determinar la intensidad de luz absorbida por la hemoglobina; la absorción de cada longitud de onda varía cíclicamente con el pulso y estas variaciones son detectadas por el fotodetector con mayor o menor intensidad de luz. La variación entre la absorción durante la sístole y la diástole hace una estimación de la saturación arterial. Los valores de la intensidad de la luz son convertidos a valores de saturación periférica de oxígeno (SpO_2) mediante el procesamiento analógico y digital de la señal en el monitor.

PRECISIÓN DE LA OXIMETRÍA DE PULSO

La precisión de la oximetría de pulso es evaluada a partir de la diferencia entre la SpO_2 medida por el oxímetro de pulso y los valores medidos por cooximetría, es decir, la saturación arterial de oxígeno (SaO_2) el cual es el patrón de oro. En su gran mayoría, los fabricantes de oxímetros de pulso afirman una precisión de 2% que es la desviación estándar de las diferencias entre SpO_2 y SaO_2 . Con esto, la oximetría de pulso permite la detección de una caída de SpO_2 de 3 a 4% en pacientes durante la anestesia o en la UCI⁽³⁾. En 2022, en una revisión sistemática realizada por Poorzargar y colaboradores⁽⁴⁾ en la que incluyeron 22 estudios, refieren que 75% de los oxímetros se consideran precisos en pacientes con mala perfusión y que la colocación en el lóbulo de la oreja parece más sensible que en la punta de los dedos.

Las indicaciones para realizar el monitoreo de oximetría de pulso son⁽⁵⁾:

1. Enfermedades cardiorrespiratorias agudas o crónicas agudizadas: enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), asma, insuficiencia cardíaca.
2. Disminución del estado de conciencia: paciente sedado, traumatismo craneoencefálico, intoxicación.
3. Estado de choque.

Hasta el momento, se ha referido la información de la oximetría de pulso más conocida por los médicos de áreas críticas como los de la sala de urgencias, anestesiólogos o intensivistas; sin embargo, existen usos que pocas veces se revisan en la literatura general.

Tono vascular basado en curva de fotopletismografía

La curva de presión pletismográfica tiene un componente sistólico y otro diastólico similar a la presión de pulso y la forma de onda Doppler; de esta manera, los cambios en la elasticidad de la pared aórtica y el tono vascular impactan en la forma de la onda pletismográfica, por lo tanto, se puede correlacionar con el estado del sistema vascular de una manera simple y no invasiva. Esto resulta importante puesto que los pacientes con ventilación mecánica invasiva usan oxímetros de manera continua, pero la aplicación clínica de la onda de pletismografía se usa muy poco⁽⁶⁾.

La hipovolemia e hipervolemia, además de la hipotensión por vasodilatación, se asocian con alta mortalidad, por lo que es de gran relevancia clínica poder determinar el estado de volemia y el tono vascular para definir cuál es la estrategia de intervención adecuada para el paciente y la onda pletismográfica es una herramienta no invasiva a la cabecera del paciente. Las variaciones de dicha curva se observan en la *Figura 1*.

Respuesta a volumen

Se cree que, al ser modificado por el gasto cardíaco y el tono vasomotor, el índice de perfusión pletismográfica puede ser un indicador del gasto cardíaco. En 2020, Lian y colaboradores⁽⁷⁾ realizaron un estudio retrospectivo en el que incluyeron 55 pacientes con choque séptico y evaluaron la respuesta a volumen, comparando índice cardíaco con el índice de perfusión. El valor de corte óptimo del delta de índice de perfusión para el diagnóstico de respondedor a líquidos fue un aumento de 33.1%, lo que resultó en una sensibilidad de 75.9%, una especificidad de 73.3% y un valor predictivo negativo de 80.1% con un valor de $p < 0.001$.

En 2021, Beurton y asociados⁽⁸⁾ realizaron un estudio prospectivo en 72 pacientes cuyo objetivo fue probar si los cambios de índice de perfusión podrían detectar la respuesta a volumen en una prueba de elevación pasiva de extremidades. En este estudio se concluyó que un aumento del índice de perfusión $> 9\%$ podría diagnosticar una respuesta positiva, ya que se correlaciona con un incremento del índice cardíaco $> 10\%$ con una sensibilidad de 91%, una especificidad de 79%, un valor predictivo positivo de 80% y un valor predictivo negativo de 91%.

En el año 2021, Hasanin y su equipo⁽⁹⁾ realizaron un estudio observacional, prospectivo, en 57 pacientes del Hospital de Enseñanza del Cairo en el que su objetivo principal fue investigar la capacidad del índice de perfusión para detectar la respuesta a líquidos mediante un reto de 200 mL en pacientes con choque séptico con infusión de norepinefrina. En este estudio, se encontró que un incremento $\geq 5\%$ después de 200 mL de reto de líquidos tiene una sensibilidad de 76% y una

Estado vascular	Vasoconstricción		Normal	Vasodilatación		
Forma de onda						
Tono vascular	Severa	Moderada	Normal	Leve	Moderada	Severa
Amplitud	↓↓↓	↓↓	=	↑	↑↑	↑↑↑
Posición de onda dicrotica	↑↑↑	↑↑	=	↓	↓↓	↓↓↓
Índice de reflexión	↑↑↑	↑↑	=	↓	↓↓	↓↓↓
Índice de perfusión	↓↓↓	↓↓	=	↑	↑↑	↑↑↑
Índice de rigidez	↓↓↓	↓↓	=	↑	↑↑	↑↑↑

Figura 1: Variaciones de la onda de pletismografía. Adaptada de: Tusman G, et al⁽⁶⁾.

especificidad de 80% para detectar pacientes respondedores a volumen en choque séptico.

En 2019, De Courson y su grupo⁽¹⁰⁾ realizaron un estudio observacional, monocéntrico en Francia, que involucró 47 pacientes neuroquirúrgicos, principalmente por tumores cerebrales, en el que su objetivo fue evaluar la relación entre los cambios en el índice de perfusión y el volumen sistólico posterior a elevación pasiva de extremidades y reto de líquidos. De acuerdo con los resultados de este estudio, un incremento en el índice de perfusión > 9% detectó una respuesta positiva a la elevación pasiva de extremidades inferiores con una sensibilidad de 91% y una especificidad de 79%; además, se encontró que un aumento ≥ 26% durante la elevación pasiva de extremidades predijo una disminución del volumen sistólico > 30% con una sensibilidad de 83% y especificidad del 78%.

ANESTESIOLOGÍA E ÍNDICE DE PERFUSIÓN PERIFÉRICA

Además de las funciones mencionadas en otros apartados, para los anestesiólogos resulta fundamental aprovechar el mayor beneficio y eficacia de los dispositivos con los que contamos, por lo que aquí se describen algunos usos del índice de perfusión en el perioperatorio.

En el año 2007, Ginosar y colegas⁽¹¹⁾ realizaron un estudio prospectivo en el que incluyeron a 29 pacientes a los que se les realizó un bloqueo epidural. La hipótesis de este estudio fue que el aumento en el índice de perfusión (IP) en el dedo del pie puede proporcionar evidencia más temprana y clara de la vasodilatación provocada por la simpatectomía del bloqueo epidural en comparación con la temperatura cutá-

nea y la disminución de la presión arterial. Los resultados encontraron que, a los 20 minutos de realizado el bloqueo epidural, el IP aumentó 326%, en comparación con una disminución de 10% de la tensión arterial media y un aumento de 3% de la temperatura; concluyen que el IP es un indicador más temprano, más claro y más sensible del inicio de simpatectomía en el bloqueo epidural que la temperatura o la presión arterial media.

En 2017, Abdelnasser y colaboradores⁽¹²⁾ realizaron un estudio prospectivo, observacional en el que el objetivo fue evaluar el IP como predictor del éxito en el bloqueo del nervio supraclavicular en comparación con la evaluación neurológica; además de establecer el punto de corte del IP para detectar la eficacia del bloqueo. Este estudio incluyó 70 pacientes a los que se les realizó bloqueo del nervio supraclavicular ecoguiado, determinando un punto de corte > 3.3 en el IP para una sensibilidad y especificidad del 100% en la predicción de éxito de este bloqueo, reportando que ningún paciente a los que se determinó que era efectivo el bloqueo necesitó anestesia general.

En el año 2021, Agerskov y asociados⁽¹³⁾ demostraron que un IP intraoperatorio bajo se asociaba con complicaciones postoperatorias severas o muerte en cirugías de alto riesgo. Para esto realizaron un estudio retrospectivo observacional de cohortes multicéntrico en el que se incluyeron 1,338 pacientes, de los cuales, 456 tuvieron cirugía abdominal de alto riesgo y 882 fractura de cadera. Los pacientes con un IP < 0.5 tuvieron una mortalidad de 19% a los 30 días. En contraste con los pacientes con un IP > 0.5 intraoperatorio en los que la mortalidad a los 30 días fue de 10% con un valor de p = 0.003; además, la presión arterial media < 65 mmHg no se asoció significativamente con complicaciones graves o muerte.

EVALUACIÓN DE DOLOR MEDIANTE ÍNDICE DE PERFUSIÓN

Se ha descrito que los pacientes críticos padecen dolor dentro de la UCI. Como refiere Molina y su grupo,⁽¹⁴⁾ cerca de 50% de los pacientes críticos experimentan dolor. Esto es comprensible ya que resulta complicado interpretar los signos que el paciente manifiesta en respuesta al dolor cuando éste se encuentra en sedación profunda, bloqueo neuromuscular y/o apoyo mecánico ventilatorio.

Es por eso que una herramienta objetiva y que puede orientarnos a tratar el dolor también la encontramos en el índice de perfusión como mostraremos a continuación.

En 2012, Hamunen y colaboradores⁽¹⁵⁾ realizaron un ensayo clínico en 29 pacientes sanos en los que se aplicaron tres estímulos nociceptivos: calor a 43 y 48 °C y frío mediante inmersión en agua. Los parámetros a evaluar fueron el estado del sistema nervioso autónomo (ANSS), el índice ANSS (ANSSi), el índice pletismográfico quirúrgico (SPI), la amplitud de la curva de fotopleletismografía y la frecuencia cardíaca. Los tres estímulos aumentaron los valores de frecuencia cardíaca, ANSSi y SPI; disminuyeron significativamente los valores de la curva de fotopleletismografía y ANSS con un valor de $p < 0.001$ para todos. Se concluyó que los parámetros derivados del fotopleletismógrafo son adecuados para estudiar la activación del sistema nervioso autónomo.

En el año 2017, Hasanin y asociados⁽¹⁶⁾ realizaron un ensayo prospectivo, observacional, en 87 pacientes postquirúrgicos que fueron admitidos en la UCI con sedación, pero no intubados, cuyo objetivo fue investigar la utilidad del IP en la evaluación del dolor mediante la relación entre el IP y el *Behavioral Pain Scale-No intubated* (BPS-NI) después de la aplicación de un estímulo doloroso, en este caso, la movilización del paciente. El mejor parámetro para detectar un cambio de tres puntos en el BPS-NI fue el IP con un valor de corte de 0.7 con una sensibilidad de 69%

y especificidad de 85% y valor de $p < 0.001$. El IP no tuvo correlación con valores como la frecuencia cardíaca, la presión arterial sistólica o diastólica. Se concluye que existe una buena correlación en pacientes críticos no intubados en la disminución del IP (0.7) y la puntuación del BPS-NI al aplicar un estímulo doloroso.

CONCLUSIONES

En la actualidad es fundamental realizar un análisis de la situación clínica en la que se encuentra el paciente en estado crítico; sin embargo, muchas áreas hospitalarias no cuentan con monitoreo avanzado que refleje en tiempo real la situación clínica del mismo. Una de estas áreas, en la gran mayoría de centros hospitalarios de México, es el quirófano, en la que el anestesiólogo optimiza al máximo los recursos disponibles. Una herramienta tomada en cuenta en pocas ocasiones es el oxímetro de pulso y sus valores más allá de los valores correspondientes a la oxigenación.

Al tener conocimiento de los beneficios al evaluar el estado hemodinámico, la perfusión periférica, la respuesta simpática, entre otros, podemos ofrecer un manejo objetivo de las condiciones antes mencionadas.

Es fundamental que el paciente en estado crítico en cualquier área reciba un manejo óptimo y un dispositivo tan común como el oxímetro, utilizado de una manera juiciosa conjuntándolo con el análisis y exploración clínica del paciente, nos ayuda a monitorear de forma dinámica variables como el tono simpático a partir de la onda pletismográfica, la respuesta a manejo analgésico y la perfusión por el índice de perfusión, así como la respuesta a volumen otorgándole un valor mayor al monitoreo mediante este dispositivo. La evidencia actual respalda los usos ya comentados, comenzar a aplicarlos y realizar nuevos ensayos clínicos para optimizar estas variables es el siguiente paso para optimizar el manejo y monitoreo de pacientes en áreas críticas como lo es el quirófano.

REFERENCIAS

1. de la Quintana B. Monitorización en anestesia, cuidados críticos y medicina de urgencias. Madrid: Elsevier; 2004.
2. Aldrete JA. Texto de anestesiología teórico-práctico. México: Manual Moderno; 2004.
3. Nitzan M, Romem A, Koppel R. Pulse oximetry: fundamentals and technology update. *Med Devices (Auckl)*. 2014;7:231-239.
4. 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;36:961-973.
5. Jiménez Murillo L, Montero Pérez FJ. Medicina de urgencias y emergencias. 6a ed. España: Elsevier; 2018.
6. Tusman G, Bohm SH, Suarez-Sipmann F. Advanced uses of pulse oximetry for monitoring mechanically ventilated patients. *Anesth Analg*. 2017;124:62-71.
7. Lian H, Wang X, Zhang Q, Zhang H, Liu D. Changes in perfusion can detect changes in the cardiac index in patients with septic shock. *J Int Med Res*. 2020;48:300060520931675.
8. Beurton A, Gavelli F, Teboul JL, De Vita N, Monnet X. Changes in the plethysmographic perfusion index during an end-expiratory occlusion detect a positive passive leg raising test. *Crit Care Med*. 2020;49:e151-e160.
9. Hasanin A, Karam N, Mukhtar AM, Habib SF. The ability of pulse oximetry-derived peripheral perfusion index to detect fluid responsiveness in patients with septic shock. *J Anesth*. 2021;35:254-261.
10. de Courson H, Michard F, Chavignier C, Verchere E, Nouette-Gaulain K, Biais M. Do changes in perfusion index reflect changes in stroke volume during preload-modifying manoeuvres? *J Clin Monit Comput*. 2020;34:1193-1198.

11. Ginosar Y, Weiniger CF, Meroz Y, Kurz V, Bdolah-Abram T, Babchenko A et al. Pulse oximeter perfusion index as an early indicator of sympathectomy after epidural anesthesia. *Acta Anaesthesiol Scand.* 2009;53:1018-1026.
12. Abdelnasser A, Abdelhamid B, Elsonbaty A, Hasanin A, Rady A. Predicting successful supraclavicular brachial plexus block using pulse oximeter perfusion index. *Br J Anaesth.* 2017;119:276-280.
13. Agerkov M, Thusholdt ANW, Holm-Sorensen H, Wiberg S, Meyhoff CS, Hojlund J, et al. Association of the intraoperative peripheral perfusion index with postoperative morbidity and mortality in acute surgical patients: a retrospective observational multicentre cohort study. *Br J Anaesth.* 2021;127:396-404.
14. Molina-Galeote J, Patiño-Arreola G, Radillo-Santana ID, Deloya-Tomas E. Analgesia, sedation and neuromuscular blockade in critically ill patients: a practical approach for intensivists. *ICU Management & Practice.* 2022;3:124-134.
15. Hamunen K, Kontinen V, Hakala E, Talke P, Paloheimo M, Kalso E. Effect of pain on autonomic nervous system indices derived from photoplethysmography in healthy volunteers. *Br J Anaesth.* 2012;108:838-844.
16. Hasanin A, Mohamed SAR, El-Adawy A. Evaluation of perfusion index as a tool for pain assessment in critically ill patients. *J Clin Monit Comput.* 2017;31:961-965.