

ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE EL FUNCIONAMIENTO Y BUEN USO DE LOS PULSIOXIMETROS.

Dr. Miguel Borrueal

La hipoxia ha sido siempre reconocida como una condición grave en la práctica médica, y siempre hubo esfuerzos dirigidos a descubrir su existencia precoz.

La determinación automática de la saturometría de oxígeno en sangre arterial (SpO₂) ha sido incluido como el quinto signo vital fundamental para el monitoreo permanente de los pacientes con riesgo: presión arterial, frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria, temperatura y oximetría.

Desde la década de los 80 en que se incorporan los primeros equipos automáticos de monitoreo de SpO₂, el uso y requerimiento de los oxímetros en la práctica médica ha crecido en forma exponencial, a tal punto, que hoy se puede suspender un acto quirúrgico en el caso de no disponerse de un monitor de saturometría. Tal es el grado de dependencia de su uso, y tan grande su beneficio, que posiblemente el profesional médico tiene más credibilidad a sus lecturas que recuerdos de sus limitaciones.

El oxímetro de pulso funciona en base a principios físicos teóricos, y en la práctica se resuelven algunos puntos conflictivos mediante algoritmos matemáticos, que facilitan los resultados pero introducen también algunas imprecisiones.

Los márgenes de error de las mediciones de los oxímetros caen dentro de rangos muy aceptables en la práctica clínica, pero es muy importante conocer las múltiples causas que justifican estos errores y otras que los amplifican y resultan peligrosas si no son tenidas en cuenta.

1. El primer principio básico para la medición de saturometría de oxígeno por parte de la hemoglobina se basa en las características de absorción de la luz que produce una cantidad de sustancia (solute) disuelta en agua y contenida en una probeta o recipiente transparente a la luz. La absorción será directamente proporcional a su concentración.
En el caso del oxímetro, se mide (o se pretende medir) el grado de absorción de una luz conocida cuando atraviesa la hemoglobina cargada de oxígeno que circula por los capilares. Como vemos, en este caso el soluto es una sustancia (la hemoglobina) que mantiene fija su concentración (gramos de hemoglobina en sangre) pero que varía en su porcentaje del contenido de oxígeno (oxihemoglobina) respecto al porcentaje de hemoglobina reducida. Por otra parte, la probeta de medición no es transparente, sino que la luz debe atravesar piel, tejidos y capilares.
2. La cantidad de hemoglobina circulante en sangre dijimos que no varía, pero sí cambia una parte de ella que está cargada de oxígeno (capilar arterial), respecto a la que no contiene oxígeno o que lo contiene en menor concentración (venoso). Para medir las proporciones entre ambas fracciones se hace necesario utilizar dos longitudes de ondas distintas en las luces que atraviesan la mezcla, tratando de

encontrar una longitud de onda muy sensible para su absorción por la oxihemoglobina y otra longitud de onda sensible para la absorción de la hemoglobina reducida.

3. Para distinguir mejor las variaciones de medición producidas por la mezcla de hemoglobinas, el pulsioxímetro se basa también en asumir que la onda de pulso producida en los tejidos se debe a la llegada de sangre oxigenada correspondiente a cada latido cardíaco. De ser así, correspondería medir la concentración de oxihemoglobina justamente en el momento de máxima deflexión del pulso y de esa manera se lograría separar físicamente la oxihemoglobina de la mezcla de hemoglobina oxidada/reducida.
4. Se debe recordar que la cantidad total de hemoglobina circulante en la sangre, no se encuentra solamente bajo dos únicos estados (oxidada/reducida) sino que también hay fracciones de hemoglobina combinadas con otros elementos, como la metahemoglobina y la carboxihemoglobina por ejemplo. Por lo tanto, hay que considerar que para detectar la proporción de cada una de estas fracciones se necesitarían otras tantas longitudes de onda lumínicas específicas.
En la década de los 70, Hewlett-Packard registró el primer oxímetro no invasivo y autocalibrable que empleaba ocho longitudes de onda lumínicas simultáneas, y además empleaba un calentador local para producir vasodilatación en la piel con el fin de amplificar el pulso (arterialización de los capilares). Estos equipos dieron las primeras bases para su empleo en medicina experimental y fisiología respiratoria, pero su tamaño, complejidad y precio no lo hacían apto para el uso clínico rutinario.
5. Como comentamos, los equipos que intentaban separar las distintas fracciones de la hemoglobina por medición directa de su absorbancia, requerían múltiples emisores y receptores específicos de luces de frecuencias calibradas. Los desarrollos siguientes comenzaron a reducir los requerimientos de fuentes de luz, y terminaron utilizando solamente DOS frecuencias lumínicas, las más específicas para detectar la oxihemoglobina (luz roja visible de 660 nanómetros) y luz específica para detectar la hemoglobina reducida (luz infrarroja de 940 nanómetros).
Para descartar las otras fracciones de hemoglobina, se consideró que en los individuos normales las concentraciones de metahemoglobina y carboxihemoglobina eran bastante fijas y en base a ello se toman para los cálculos valores predeterminados, pero recordemos que no son medidos.
En casos de aumento de la carboxihemoglobina por condiciones clínicas como intoxicación por monóxido de carbono, el pulsioxímetro medirá la carboxihemoglobina como si fuese oxihemoglobina mostrando valores normales, cuando en realidad, el oxígeno de la hemoglobina a sido fuertemente desplazado por el monóxido de carbono, para el cual, la afinidad de la hemoglobina es muchísimo mayor.
En los oxímetros comercialmente disponibles, la presencia de carboxihemoglobina y metahemoglobina serán consideradas como “normales” y

contribuirán falsamente en la medición de oxihemoglobina en los casos en que dichas concentraciones sean distintas a las preestablecidas para el cálculo.

6. Los sensores utilizados por los oxímetros de pulso contienen diodos electroluminosos que emiten una onda en 660 nm (rojo) y 940 nm (infrarrojo). Estas frecuencias lumínicas son las más aptas para la medición (clínicamente aceptable) de la saturación de la hemoglobina con el oxígeno. Pero no todos los fabricantes utilizan las mismas frecuencias y las adaptan a sus propios diseños electrónicos, de manera que ya surge una advertencia de que los sensores de oximetría son específicos en cada marca o modelo de equipo, y su intercambio mediante adaptadores, puede producir significativos errores en las mediciones. Por eso resulta sumamente importante conocer la compatibilidad que tiene cada sensor, original o genérico, con las marcas y modelos con los cuales es compatible.
Por otra parte, existen fabricantes que introducen modificaciones electrónicas para que los equipos sean usados únicamente con sus propios elementos descartables, asegurando el rédito económico por la dependencia de los elementos.
7. La luz emitida por los fotodiodos es medida por sensores electrónicos colocados a cierta distancia. La luz emitida por los fotodiodos debe atravesar tejido vivo (lóbulo de oreja, dedo, etc) antes de ser medida por el receptor. La luz al atravesar los tejidos sufre absorción por los elementos que atraviesa, entre otros la sangre venosa, tejido graso, piel. Usando dispositivos electrónicos se trata de compensar las emisiones lumínicas y calcular la interferencia de los tejidos para obtener una relación de luces rojo-infrarrojo donde la mayor participación sea dada por la propia presencia de la oxihemoglobina. Para esto es fundamental que exista pulso, pues de lo contrario el equipo no puede establecer las diferencias de absorción lumínica.
Estos datos nos permiten reconocer otras fuentes de error en las mediciones o limitaciones del uso. Se requiere que el haz lumínico atraviese una parte del cuerpo que sea lo suficientemente grueso como para establecer las diferencias y lo suficientemente delgado como para permitir la transparencia lumínica.
Además, ese tejido debe tener un componente de pulso lo suficientemente amplio como para detectar las variaciones plestimográficas.
La pigmentación de la piel en cada individuo puede introducir un error en la medición. En personas de piel oscura existe mayor error de medición y se intenta medir en el pulpejo del dedo por ser una zona donde está menos concentrada la melanina.
8. Si el sensor se llega a colocar en un dedo de la mano que corresponde al brazo donde se instala un manguito insuflable para la medición de la presión arterial, cada vez que se produzca interrupción del pulso arterial, el oxímetro acusará errores en su medición y si dispone, activará la alarma.
9. Las mediciones de absorción de luz se hacen a una alta velocidad, de aproximadamente 600 veces por segundo y el aparato realiza promedios a fin de

mostrar valores más estables, pues siempre existe variabilidad en las mediciones y entre otras cosas por “ruidos” electrónicos, producidos en especial por los movimientos del sensor y la piel o el tejido utilizado para la medición. Estos valores promedios sirven para mantener más estables los valores mostrados en pantalla. Cuando existen movimientos propios del paciente, o de los cables u otras causas como la ventilación mecánica, con producción de elevaciones transitorias de la presión venosa, etc, los valores medidos pueden llegar a ser tan inestables que producen un grosero cambio de valores en las cifras de pantalla, haciendo imposible una determinación de los valores correctos.

En la actualidad se han desarrollado algunos diseños de equipos que tratan de ser más estables ante los movimientos (por ejemplo en niños) pero tienen costos más altos en recompensa a la innovación.

10. Los pulsioxímetros son dispositivos electrónicos, que para su desarrollo y calibración debieron ser utilizados en individuos voluntarios humanos, a fin de establecer su confiabilidad. Para esto se emplearon personas supuestamente sanas, a los que se les hizo mediciones de los valores de pulsioximetría a la vez que se los hacía respirar distintas mezclas conocidas de gases conteniendo oxígeno y nitrógeno. Pero los valores más bajos de oxígeno utilizados, nunca alcanzaron, por razones de seguridad, una saturación de oxígeno menor de 80%. Por eso, para valores de saturación inferiores a 80%, los equipos realizan extrapolación de valores por cálculos. En la práctica, cuando se los calibra en un laboratorio se utilizan dispositivos electrónicos como patrones que imitan absorciones de luz que llegan hasta valores de saturación de un 70% y se trata de establecer que los sensores y los equipos repondan a esas exigencias. Pero nadie puede asegurar que un pulsioxímetro sea un elemento creíble para mediciones en individuos cuyas condiciones los llevan a hipoxemias más acentuadas (por ejemplo en niños con cardiopatías congénitas donde los valores de insaturación arterial son muy elevados).
11. Respecto a los daños producidos por el oxígeno en los niños prematuros, con posibilidades de desarrollar una retinopatía, hay que recordar que el uso del pulsioxímetro no resuelve totalmente el problema, pues aceptando que el margen de error de estos dispositivo es de un $\pm 3\%$, ese valor puede resultar muy elevado para detectar una hiperoxia. Hay que recordar que el oxímetro es un dispositivo muy útil para detectar hipoxemias, pero no es adecuado para medir los valores sensibles de hiperoxia.
12. Entre las causas más frecuentes de errores de medición se pueden citar:
 - La luz ambiente
 - La baja perfusión del sitio elegido para medir
 - Los movimientos o “ruidos eléctricos”.Respecto a la luz del ambiente es necesario recordar que el sensor puede afectarse en su medición cuando recibe luz ambiente intensa. Por eso los sensores lumínicos se protegen de la luz con materiales opacos. A veces en determinadas circunstancias o con las luces intensas del quirófano puede ser necesario proteger

al sensor de la luz.

El movimiento del cuerpo del paciente produce artefactos difíciles de controlar. Esto no ocurre durante un acto quirúrgico por la inmovilidad del paciente pero pueden producirse tironeamientos o movimientos del cable del sensor.

13. Como que los oxímetros de uso clínico actual emplean solamente dos longitudes de onda lumínica, hay que recordar que son incapaces de detectar intoxicaciones por monóxido de carbono o intoxicaciones con producción de metahemoglobina. También los valores de lectura tienen error cuando en la sangre circulan algunos pigmentos que suelen utilizarse en algunos test diagnósticos, tales como azul de metileno, verde de indocianina, etc.
14. La sangre de los recién nacidos contiene hemoglobina fetal cuya molécula difiere de la hemoglobina del adulto y puede producir un error de medición, pero en diversos trabajos se da como aceptada esta condición y se considera que el error es de muy bajo valor y que no invalida las lecturas producidas por el oxímetro, a los fines clínicos.
15. El pulsioxímetro requiere para su funcionamiento una circulación capilar de tipo pulsante. El oxímetro deja de medir cuando la circulación sanguínea se hace con flujo continuo, como es el caso del tipo de circulación producido por las bombas de circulación extracorpórea en las cirugías directas del corazón.
16. La hipotermia puede producir errores de medición por doble condición. Primero porque con hipotermia puede reducirse la perfusión y la amplitud del pulso capilar. Y en segundo lugar porque la absorción de la luz por la hemoglobina puede modificarse con temperaturas menores a 36 grados. Existen algunos trabajos que sostienen que los datos son confiables hasta temperaturas cercanas a los 30 grados.
17. La anemia y la caída de los valores de hemoglobina en sangre pueden producir errores en la medición. Con valores menores a 8 gramos de hemoglobina no debería confiarse en las mediciones de saturometría. Independientemente del porcentaje de saturación de la hemoglobina, en la anemia severa existe hipoxemia tisular en forma independiente y ligada a la baja capacidad de transporte del oxígeno.
18. Se han relatado quemaduras de piel en las zonas donde se aplicó el sensor de SpO₂ y eso puede ocurrir con mayor frecuencia en la delicada piel de los niños muy pequeños. Se recomienda cambiar el sitio de aplicación con frecuencia y vigilar atentamente la posibilidad de lesiones.
No se deben dejar colocados los sensores en los pacientes que son introducidos a las salas de Resonancia Magnética.
También debe vigilarse la compresión del dedo por parte del dedal utilizado o de las bandas elásticas que sostienen los sensores.

19. La exactitud de los pulsioxímetros usados en la asistencia clínica acepta como errores de medición valores de más-menos 3% en los rangos de saturación de 70 a 100%. Como que cada fabricante suele tener sus diseños electrónicos específicos, suelen recomendar que cada modelo de oxímetro sea utilizado con un sensor de determinadas características y de su propia marca. Un mismo sensor puede acusar variaciones de medición cuando se lo emplea en distintos oxímetros, y lo mismo, un mismo oxímetro puede acusar variaciones de lectura cuando se lo utiliza con distintos sensores, aun en los mismos pacientes.

En pacientes con valores normales de saturación, se debe aceptar un rango de error de más-menos y 3%.

En mediciones de valores de saturación menores a 80% la exactitud disminuye notoriamente y cualquier equipo y sensor puede fallar en mediciones en más-menos 10%.

Nota: El presente artículo no puede ser reproducido total ni parcialmente sin autorización del autor.