

• Introducción.

Para empezar definiremos un pulsioxímetro como un espectrofotómetro que mide la absorción de luz de longitudes de onda específicas, al pasar por un lecho vascular arterial pulsátil.

El oxímetro de pulso es, probablemente, uno de los mejores monitores que hayan sido desarrollados en los últimos años y brinda información no solo de la saturación de la Hemoglobina, sino también de la frecuencia y ritmo del pulso periférico

La medida de la saturación de la hemoglobina (Hb) con el uso del pulsioxímetro se ha convertido en una práctica común en muchas áreas de la medicina clínica, incluyendo la anestesia, de la terapia respiratoria, del cuidado intensivo y de la investigación de pacientes con problemas cardiopulmonares.

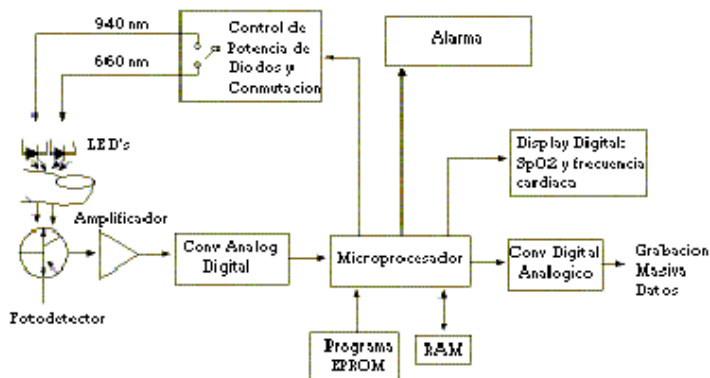
El pulso oximétrico a menudo se considera la quinta muestra vital, después del ritmo cardíaco, la presión arterial, temperatura y frecuencia respiratoria. Sirve como herramienta importante para el asistente sanitario proporcionando control continuo de la saturación arterial del oxígeno del paciente críticamente enfermo (SaO₂), calculando una estimación del SaO₂ (conocido como SpO₂; a lo largo del documento nos remitiremos a esta estimación como SpO₂ o SP indistintamente) mediante un algoritmo y visualizando una lectura de esta valoración.

Como se apuntó anteriormente, los principios de la oximetría están basados en la absorción espectro-fotométrica de longitudes de onda específicas de la luz por la sangre.

A mediados de los años 70, T. Aoyagi observó que la variación del volumen arterial de la sangre del tejido fino con cada pulso se podría utilizar para obtener una señal dependiente sólo de las características de la sangre arterial.

• Diagrama de bloques electrónico.

A continuación se presenta un diagrama de bloques general del pulsioxímetro.



Para entender su funcionamiento consulte el apartado 4. Funcionamiento del pulsioxímetro.

• Modelo matemático.

El modelo matemático para el pulsioxímetro se basa en medir el tiempo en que la intensidad de la luz pasa a través del tejido fino como por ejemplo a través de la extremidad del dedo. El proceso de la señal se basa en

este modelo simple y la ley de la Beer–Lambert:

donde la intensidad I_0 y λ es la longitud de onda de la luz incidente, cHb () es la concentración y sHb () es el coeficiente de absorción de la longitud de onda dependiendo de cada derivado de Hb, z describe el espesor variable de las. El tejido fino se considera capas donde son, una capa constante de sangre venosa y arterial no pulsátil (del hueso etc.) y una capa pulsátil constante en espesor (sangre arterial solamente). Por tanto, la absorción del tejido fino viene determinado por la ley de Beer–Lambert.

• **Funcionamiento del pulsioxímetro.**

Se utilizan diodos electroluminosos (LED) en dos longitudes de onda: 660 nm (rojo) y 940 nm (cerca de infrarrojo). Estas longitudes de onda son las adecuadas, pues son valores en los cuales la separación es la más alta entre la hemoglobina y los espectros de absorción de la oxihemoglobina. Mientras que la luz emitida pasa a través del dedo o del lóbulo de la oreja, algo de la energía es absorbida por la sangre arterial y venosa, el tejido fino y las pulsaciones variables de la sangre arterial. Usando circuitos electrónicos, se igualan las señales en las longitudes de onda infrarrojas y rojas y se calcula la relación de transformación de la luz de roja–infrarroja, que se relaciona directamente con el SpO_2 mediante el pulso oximétrico. Cada segundo, se realizan aproximadamente 600 medidas individuales y mediante un algoritmo implementado en el interior del microprocesador, se compara con valores obtenidos anteriormente y después se usan fórmulas específicas a cada fabricante. El valor visualizado se obtiene realizando un promedio entre los 3–6 valores anteriores y actualizado cada (0,5 – 1,0) sg. El promedio se utiliza pues tiende a reducir los efectos de los instrumentos y de señales erróneas.

• **Precauciones.**

Los pulsioxímetros no son fáciles de calibrar y se calibran generalmente utilizando voluntarios humanos normales y utilizando un catéter radial en la arteria, obtenemos estimaciones de la saturación arterial del oxígeno (SaO_2) y SO_2 mientras que los voluntarios respiran las mezclas de gases que contienen combinaciones de oxígeno y nitrógeno. Puesto que los voluntarios no deben ser expuestos a un nivel de concentración de SaO_2 por debajo 80%, la calibración por debajo de estos niveles se realiza por extrapolación.

Como alternativa a esta calibración en vivo, una empresa estadounidense produce una especie de emuladores físicos de un dedo. Este dispositivo simula la absorción ligera y el flujo arterial de la sangre del dedo humano.

La exactitud del sistema del oxímetro se puede evaluar en (97 – 90)% y de SO_2 80%. Aunque estos dispositivos se han desarrollado específicamente para los pulsioxímetros de una empresa en particular, pueden utilizarse con otros fabricantes.

La medida de la saturación arterial de la hemoglobina está comprometida, sobre todo, por dos problemas técnicos:

- El diseño de dos longitudes de onda en la mayoría de los pulsioxímetros asume solamente dos fracciones absorbentes de la hemoglobina (O_2Hb y HHb) que no consideran la presencia de Metahemoglobina ($MetHb$) y de Carboxihemoglobina ($COHb$).
- Además, cuando se sabe la hemoglobina total, la saturación fraccionaria computada SaO_2 de la hemoglobina sólo proporciona una pobre información sobre el transporte del oxígeno. Si la $MetHb$ o $COHb$ está presente, contribuye a la señal de absorción y será interpretado como HHb , O_2Hb o cierta combinación de las dos.

Por lo tanto, los pacientes que tienen riesgo de niveles crecientes de $COHb$ o de $MetHb$ necesitarán otro tipo de análisis.

- **La exactitud.**

La exactitud de los pulsioxímetros comerciales es generalmente (2 – 3)% de fallo en el rango de (70 –100)% de la SO_2 . Por debajo, la exactitud se obtiene por extrapolación y, por tanto, la exactitud se resiente.

Además, la exactitud para distintos fabricantes puede ser muy diferente a pesar de usar componentes similares. Probablemente, las diferencias se deben a los algoritmos. En los casos en los cuales la SO_2 es normal, los pulsioxímetros tienen una exactitud del $\sim \pm 2\%$ uniforme en los pacientes críticamente enfermos o en los pacientes que están sometidos a un diagnóstico respiratorio. En concentraciones de SO_2 menores de 80%, la exactitud deteriorarse sensiblemente hasta llegar a $\pm 10\%$.

- **Sobre las sondas.**

La mayoría de los pulsioxímetros se compran con una sonda reutilizable estándar de dedo-clip, aunque también están disponibles sondas desechables. Se utilizan menos a menudo las sondas del lóbulo de la oreja, de la punta de la nariz y de la frente. Las sondas también están disponibles para los recién nacidos, los niños y los adultos.

La exactitud de estas sondas varía con el tipo y la localización de esta. En general, las sondas del dedo parecen ser más exactas que las otras.

- **Limitaciones del pulsioxímetro.**

Hay un número importante de limitaciones a considerar al usar los pulsioxímetros:

- **Movimiento:**

Ésta es una fuente de error potencial y puede reducir perceptiblemente la exactitud de SP y de las lecturas de O_2 . El excesivo movimiento del artefacto puede conducir al abandono del uso del pulsioxímetro. Se han observado errores de hasta el 20% en los estudios simulados del artefacto bajo movimiento. Los pulsioxímetros pueden utilizar diversos algoritmos para detectar y eliminar el movimiento del artefacto. Hay que tener en cuenta, por tanto, la necesidad de reducir el movimiento del artefacto tanto como sea posible.

Recientemente existe una técnica innovadora, una tecnología de extracción de señal, que ha introducido una mejora en la extracción de la señal verdadera del artefacto, obteniendo niveles de ruido y perfusión bajos. Los nuevos algoritmos para procesar las señales rojas e infrarrojas permiten conocer el ruido común a ambas señales y eliminarlo.

- **Mala posición:**

Si la sonda del pulsioxímetro se coloca incorrectamente sobre el dedo o el lóbulo del oído, éstos pueden obtener lecturas erróneas en concentraciones de SO_2 bajas.

- **Dependencia del pulso y perfusión del sitio:**

Por su misma naturaleza, los pulsioxímetros son pulso-dependientes y requieren un pulso de ritmo regular y un lugar con la perfusión adecuada. Así el volumen cardiaco, una vasoconstricción o una hipotermia baja pueden hacer muy difícil distinguir la señal verdadera del ruido de fondo.

- **¿Qué tipo de sondas?:**

La opción de la sonda depende claramente de la aplicación, y las sondas son fabricadas para su uso en el oído,

el dedo, la nariz o la frente. Comparado los datos de varios tipos de pulsioxímetro, las sondas en el dedo son, dentro de (0,2 – 1,7)%, más exactas que valores obtenidos usando las sondas en el oído, la nariz o la frente. En niños, parece que el tipo de sonda no tiene ningún efecto significativo en la exactitud.

- **Interferencia de sustancias:**

Existen sustancias que interfieren con la absorción de la luz en los 660 y 940 nm:

- El azul de metileno, el carmín de añil o el verde del indocianina causan una gran inexactitud ya que absorben, de manera significativa, energía a los 660 nm.
- Los pigmentos de la piel pueden afectar a la exactitud y cualquier efecto puede depender del lugar donde se coloque la sonda. Los problemas, tales como SP bajo, lecturas de O₂, parecen ocurrir, con más frecuencia, en pacientes con pigmentación oscura de la piel que en pacientes con pigmentación ligera.
- De manera similar, en pacientes críticamente enfermos, se registran mayores inexactitudes en SP y lecturas de O₂ en pacientes de color con respecto a los pacientes blancos. Las razones por las que la pigmentación de la piel causan un SP y lecturas de O₂ menos exactas no se comprenden.

- **Luz ambiente**

La luz ambiente normal no afecta a SP, ni a las lecturas de O₂, ya que los leds se ajustan para la luz ambiente. Las luces quirúrgicas fluorescentes y del xenón del arco, así como luz brillante del sol, se ha comprobado que causan falsos niveles de SP bajo, así como falsas lecturas de O₂. Este problema se resuelve envolviendo la sonda con un blindaje opaco.

Los pulsioxímetros están calibrados para la hemoglobina del adulto (la hemoglobina A) y asume que la carboxihemoglobina y la metahemoglobina se encuentran en pequeñas cantidades. Si los niveles de carboxihemoglobina son altos, se puede observar un efecto peligroso, que consiste en que, tanto los niveles de SP, como de O₂ son la suma de los niveles de Sa, del O₂ y de la carboxihemoglobina (como porcentaje). Ya que los pulsioxímetros miden la carboxihemoglobina como la hemoglobina completamente oxigenada, éstas dan lugar a la sobrestimación del Sa verdadero y del O₂. La metahemoglobina interfiere de manera similar en la exactitud de la medida de la oxigenación de la hemoglobina, conduciendo a la sobrestimación del SP y del O₂.

- **Complicaciones**

Hay algunos informes sobre problemas con los pulsioxímetros cuando se utilizan conjuntamente con otros equipos o con tratamientos médicos. Se han observado lecturas bajas de la saturación cuando un estimulador periférico de los nervios se utilizó en el mismo brazo en el cual estaba el pulsioxímetro. Una de las complicaciones más serias del pulsioxímetro es que puede mostrar un falso sentido de seguridad, ya que hay situaciones en las que el pulsioxímetro no es el problema sino que viene determinado por quién los utilizan.

- **Alarma**

Las falsas alarmas pueden ser muy comunes en la configuración de cuidado intensivo. Los pulsioxímetros se programan generalmente con un nivel de SP por debajo del valor por defecto y la alarma sobre O₂ fijada en ~90%.

- **Conclusiones.**

El pulsioxímetro proporciona una técnica no invasora, fácil de utilizar, muy simple, para evaluar la función de intercambio del gas. Dentro de sus muchas limitaciones, se puede obtener rápidamente una estimación del grado de oxigenación de la sangre con un grado aceptable de exactitud para la práctica clínica. Es esencial que

el personal médico entienda el uso y las limitaciones del pulsioxímetro y que se le haya dado a todos el personal médico la formación apropiada para una correcta aplicación del pulsioxímetro en la práctica.

Los actuales resultados de las simulaciones y de las medidas clínicas indican que para que este método no invasor mida las concentraciones de la oxihemoglobina (O₂ Hb), de la hemoglobina reducida (HHb), del methamoglobina (MetHb), y del carboxihemoglobina (COHb) hace falta utilizar al menos nueve longitudes de onda en el rango a partir del 600 nm a 940 nm. Así se consigue una exactitud cercana 1%.

• Comparativa de mercado.

En este apartado se hace una comparativa de algunos de los productos que existen en el mercado en función de los parámetros siguientes:

- Nombre empresa.
- Nombre producto.
- Portabilidad.
- Capacidad para usar baterías.
- Capacidad para usar red eléctrica.
- Capacidad de alarma.
- Capacidad de impresión o conexión a impresora.
- Capacidad de conexión a PC.
- Iluminación de la pantalla.
- Ajuste de iluminación de la pantalla.

Existen otros muchos parámetros que podríamos considerar pero los que citamos arriba son los suministrados por los fabricantes.

Para consultar la comparativa puede hacerlo en el ANEXO 1: TABLA COMPARATIVA DE ALGUNOS PRODUCTOS DEL MERCADO.

• Bibliografía.

- Design of pulse oximeters.
- http://www.healthcare.agilent.com/medical_supplies/product_information/pulse_oximeter/index.html
- <http://www-inst.eecs.berkeley.edu/~timt/school/477/implementation.htm#top>
- <http://www.optik.uni-erlangen.de/mikos/Projects/Poxi/Poxi.htm>
- <http://www.personal.u-net.com/~ersj/Buyers%20Guide%20for%20the%20Internet/kendrick15-24.html.htm>
- <http://www.rtmagazine.com/Articles.ASP?articleid=R0010A09#Top>
- <http://www.geocities.com/HotSprings/7783/clases/oximetria/oximetria.html>
- <http://www.drscope.com/privados/pac/anestesia/a1/p55.htm>
- <http://www.diemersl.com/Pulsioximetros.htm>
- <http://www.carbueros.com/medica/pulsioximetria.htm>
- <http://personales.com/espana/cadiz/enfermeria/monitorizacion.htm>
- <http://www.grupoeucon.com/Pulsioximetria.htm>
- <http://www.personal.u-net.com/~ersj/Buyers%20Guide%20for%20the%20Internet/kendrick15-24.html.htm>

Consideraciones sobre pulsioxímetros Bioingeniería

Diagrama de bloques de un pulsioxímetro.

ANEXO 1: TABLA COMPARATIVA DE ALGUNOS PRODUCTOS DEL MERCADO.