



Factores que afectan la oximetría de pulso

Dr. Eduardo Martín Rojas-Pérez*

* Anestesiólogo Cardiovascular. Instituto Nacional de Cardiología "Dr. Ignacio Chávez" México, D.F.

INTRODUCCIÓN

En el pasado la guía para el anestesiólogo era la coloración de la piel, el color de la sangre del campo quirúrgico y el anestesiólogo se percataba de un episodio de hipoxemia cuando el paciente cambiaba al color cianótico o la sangre oscura del campo quirúrgico alertaba al cirujano, y si ninguno se percataba de estos datos, entonces el paciente sufría en la mayoría de los casos un paro cardíaco fatal. Cuando el anestesiólogo tuvo a disposición con la oximetría de pulso para el monitoreo de la oxigenación y muchas muertes se evitaron porque se detecta de forma precoz la hipoxemia.

Después de dos décadas de encontrar en la oximetría de pulso una herramienta para vigilar a los pacientes durante un procedimiento anestésico, aún se discute si la oximetría de pulso en realidad garantiza la seguridad de los pacientes. Para algún lector sería punto de discusión si yo afirmara totalmente que sí. Pocas investigaciones afirman que la oximetría de pulso puede cambiar el tratamiento pero no cambia la mortalidad⁽¹⁾. Sin embargo, las demandas en anestesia indican que la oximetría de pulso hubiera impedido o evitado los resultados insatisfactorios. Las demandas de casos cerrados contra anestesiólogos en los Estados Unidos (ASA closed Claims Projet), son con mucho las de más frecuencia las que se derivan del sistema respiratorio, más frecuentes en ASA I-II, en cirugía lectiva. Aún se encuentran reportes de demandas por la falta de monitoreo durante la sedación. En la sedación para endoscopia en 508 pacientes adultos se observaron 102 sucesos hipoxémicos que representó un 20%, de estos casos el 7% tuvo eventos mayores que incluyeron hipoxemia y apnea. En niños a quienes se le hizo una resonancia magnética nuclear bajo sedación, los ASA I-II el 3% presentó hipoxemia y los ASA III-IV tuvieron hipoxemia el 7%. Otros factores incluidos en la demandas fueron la falta de atención

al monitoreo, pérdida de la vía aérea por no estar preparado para la inducción y problemas con el monitoreo. El 67% de las demandas fueron en la inducción de la anestesia general, el 15% durante la cirugía, 12% en la extubación y 5% en la recuperación. El 85% de las demandas incluían daño cerebral severo por ventilación inadecuada 38%, intubación esofágica 18%, intubación traqueal difícil 17%. A pesar de ello, la mortalidad por vía aérea difícil disminuyó durante la inducción de la anestesia de 62 a 37%, y es posible que los equipos nuevos de vía aérea y el monitoreo de la oxigenación tengan influencia en estos resultados. En realidad actualmente la oximetría de pulso es una herramienta de monitoreo indispensable, ha sido adaptada y exigida por las sociedades de Anestesiología más importantes a nivel mundial como el ASA y también es parte de la norma oficial mexicana 170.

La pregunta que nos planteamos es la siguiente, ¿cuáles son los factores que afectan y que no hacen posible que el oxímetro de pulso no garantice totalmente la seguridad de los pacientes en anestesia?

DISCUSIÓN

Factores que afectan la liberación de oxígeno a las células.

Cantidad de hemoglobina

Para detectar clínicamente cianosis se necesitan 5 mg de desoxihemoglobina por decilitro, en pacientes son hemoglobina normal ello corresponde a la saturación de oxígeno arterial de 80% aproximadamente⁽²⁾. En un procedimiento anestésico cuando se reconoce este dato puede ser muy tarde y el anestesiólogo tendrá que reanimar enérgicamente a su paciente. En la práctica diaria la oximetría de pulso ha permitido detectar la desaturación antes que el propio anestesiólogo lo advierta⁽³⁾. Es por esto que la lectura del oxímetro

tro de pulso se acompañe de otros medios de monitoreo y no cometer el error de dejar todo el monitoreo de la oxigenación al oxímetro de pulso. En una intubación endotraqueal antes del oxímetro de pulso está el uso correcto del estetoscopio para la auscultación de campos pulmonares, después de marcar 80% de SpO₂ proceder a escuchar los campos pulmonares es sólo prolongar el tiempo de daño. Observar el patrón respiratorio, la frecuencia respiratoria, sentir en la bolsa de reservorio resistencia u obstrucción de la vía aérea y auscultación de campos pulmonares, todo acompañado de la oximetría de pulso son las partes que aseguran al paciente y no sólo dejar la seguridad de la oxigenación del paciente al oxímetro de pulso.

Anemia

El oxímetro de pulso aporta una estimación no invasiva de la SpO₂ de la hemoglobina, variable que está directamente relacionada con el contenido de oxígeno en sangre arterial. La anemia en un paciente con hemoglobina de 5 g/dl es un estado de gasto cardíaco alto y el contenido arterial de oxígeno puede ser de 8 Vol. % y su saturación de oxígeno de la hemoglobina puede ser de 97%, esto representa una sobreestimación de la oxigenación por parte de la oximetría de pulso.

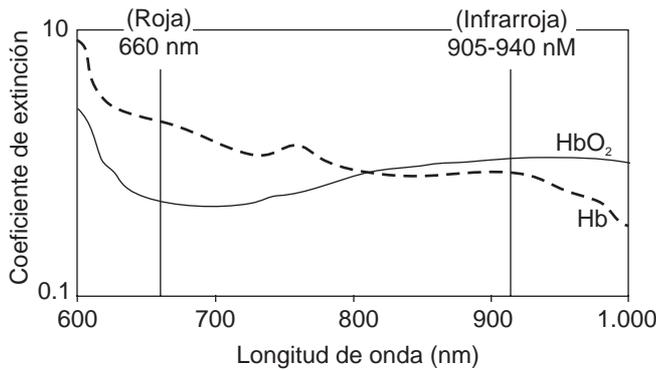
Perfusión tisular

• Hipoperfusión

Una de las acciones que se han perdido en la práctica de la anestesia es la palpación del pulso, verificar la frecuencia y el carácter del pulso es muy importante. Los oxímetros miden la SpO₂ al pasar la luz en un lecho tisular pulsátil, y por ello los factores que modifican la naturaleza pulsátil de la corriente sanguínea por las arteriolas, como la presión de riego sanguíneo y vasoconstricción pueden modificar la señal. Los oxímetros son fiables incluso en dedos que tienen presión arterial de 30 mmHg en presencia de vasodilatación y el umbral se eleva a 60 mmHg en vasoconstricción⁽⁴⁾. La depleción del 5% del volumen sanguíneo se acompaña de pérdida de pulsos periféricos y puede ser un índice más sensible del estado volumétrico que la misma frecuencia cardíaca o la presión arterial. Las manifestaciones más sutiles de pérdida de presión son registradas en el pulso, y es la oximetría la que depende precisamente de la intensidad de un pulso, sino no se registra la suficiente presión en la arteria distal del dedo, las condiciones de monitoreo de la oximetría de pulso cambian, es posible que el equipo marque que la señal que registra el oxímetro de pulso es baja porque en realidad la presión de perfusión periférica ha disminuido. Una vez que se presenta un evento de hipoperfusión

la oximetría de pulso es descartada como método de monitoreo. Sin embargo, los cambios más rápidos de un evento de hipoperfusión se dan en el pulso, por lo tanto, en vez de descartarla debería ser tomada como un dato de hipoperfusión de una manera temprana. El análisis de la morfología de la curva de pletismografía no solamente representa un dígito para ver la oximetría de pulso, también representa cambios en su morfología porque una curva que disminuye de tamaño puede indicar que la contractilidad ha disminuido, la curva acostada indica vasodilatación periférica, o una curva irregular puede que no sea un artefacto de movimiento y sea una arritmia cardíaca. La baja en la perfusión sanguínea se manifiesta con un descenso del pulso y como consecuencia se manifiesta en un descenso de la curva y dígito de la oximetría de pulso. La pérdida de la señal de oximetría de pulso se da cuando las condiciones hemodinámicas son extremas y las resistencias vasculares sistémicas se han abolido y quizá se haya perdido tiempo en determinar que la oximetría de pulso ya no tiene valor a anticiparse al manejo mediante una mejor interpretación de la curva. Uno de los eventos que demuestran que la presión adecuada es la que determina la presión y la señal del pulso es la reanimación cardiopulmonar, cuando el masaje cardíaco directo o externo es efectivo o el paciente retorna a la presión, se observa una curva en ascenso de oximetría de pulso. Por lo tanto, el pulso es reflejo del gasto cardíaco y su estudio debe acompañar a la oximetría de pulso para determinar si la señal baja es correlacionada con la disminución de la presión del pulso. En cuanto a los equipos de oxímetros de pulso, trabajos recientes evalúan la capacidad de los oxímetros de pulso en presencia de hipoperfusión, hipotermia y movimientos. Nishiyama⁽⁵⁾, comparó tres oxímetros de pulso bajo condiciones de hipoperfusión alterada y de hipotermia. Midió el tiempo en se perdía y se recuperaba la señal después de aplicar y liberar respectivamente una presión de 250 mmHg en el brazo. La mano izquierda también se enfrió a 17° C, y la sala de operaciones se enfrió a 19° C, y se registró en qué temperatura se perdió la onda de pulso. Los resultados indicaron con el oxímetro de pulso Nellcor N-595 fue más lento en detectar la onda de pulso y la SpO₂. El oxímetro Masimo SET versión 4.2 mostró la onda de pulso y la SpO₂ en más tiempo que el Nellcor y que el Dolphin 2100 cuando se produjo la isquemia con el torniquete. Concluyeron que el oxímetro Masimo SET es el más lento a la respuesta en los cambios de hipoperfusión.

Un oxímetro por sí solo puede sobreestimar la SpO₂ en períodos de hipoxia, se han comparado hasta 14 oxímetros y con distintos sensores. Para valores de SaO₂ de 55%, las diferencias entre SpO₂ y la SaO₂ oscilaban entre -15.1% y + 5.5%.



Ley de Beer-Lambert:

- 1 roja, $ir = 1ce^{-Ecx}$
- E = coeficiente de extinción
- c = concentración
- x = Longitud de la vía óptica

Figura 1. Relación entre el coeficiente de extinción y la longitud de onda, en nanómetros (nm), con detección de la luz roja e infrarroja, a 600 nm y 905-940 nm.

FACTORES QUE AFECTAN EL MONITOREO CON OXIMETRÍA DE PULSO

Movimiento

Las crisis de desaturación de SpO_2 menor de 85% durante más de 30 segundos son más frecuentes en lactantes y neonatos con clasificación ASA 3 y 4. Cualquier movimiento en estos niños, son causa frecuente de lecturas inadecuadas. Masimo, INC ha desarrollado nueva tecnología de oxímetros para evitar que los movimientos alteren la absorbancia de la luz. Aumentar la fiabilidad y veracidad de los oxímetros durante el movimiento e hipoperfusión mejorará la calidad en los cuidados y la necesidad de gases arteriales. Esta variable de movimiento en el traslado de los pacientes en vehículos terrestres, aéreos e incluso dentro del hospital puede cambiar la SpO_2 en pacientes críticos que tienen cifras limítrofes de oxigenación. En el traslado intra-hospitalario de los pacientes, el 90% se desaturan y la cianosis sólo se manifiesta en la mitad de los pacientes.

Sitio de colocación del sensor

El tiempo en detectar la SpO_2 es diferente, en la oreja puede ser de 10 segundos, en un dedo de la mano puede ser de 30 segundos y posiblemente más tardado en los dedos de los pies. Esto cobra importancia en el tiempo de intubación difícil si se produjo desaturación, debido a que si se logra la intubación la SpO_2 puede seguir bajando o tardar en aumentar debido al tiempo que toma el gasto cardíaco en pre-

fundir nuevamente los tejidos, y es aquí donde se sugiere el apoyo de otro equipo de monitoreo que apoye a la oximetría de pulso como la capnografía, estetoscopio y el monitoreo clínico. Los sitios de colocación particularmente en niños pueden ser de dificultad por la adaptación del sensor a la superficie anatómica del niño. También se ha utilizado la lengua, carrillos y otros. Se ha observado que hay un tiempo más corto de recuperación de la SpO_2 cuando el sensor está colocado en el pabellón auricular, aproximadamente en 24 ± 7.3 segundos.

Interferencias

Casi todos los oxímetros tienen una exactitud de $\pm 3\%$ cuando la SpO_2 supera el 70%. Por lo tanto, los oxímetros pueden sobreestimar la SpO_2 , es decir, cifras de lectura mayores a las reales, y puede ocurrir el caso contrario subestimar la SpO_2 , es decir cifras inferiores a las reales. La exactitud del oxímetro de pulso disminuye por factores de la enfermedad, como en las cardiopatías congénitas cianógenas. Es común que el anestesiólogo se guíe por la SpO_2 , sin embargo puede ser diferente a los valores de los gases en sangre. En niños con cardiopatía congénita los oxímetros Nellcor N-100 y Biox III tuvieron un margen de error de 4.1 y 3.2%, aunque el error aumentó cuando la SpO_2 fue menor de 80%. El color de las mucosas ayudará a comprender si en realidad se correlaciona la hipoxemia con la SpO_2 baja o por el contrario un paciente con presión de perfusión adecuada es posible no creer que tenga una SpO_2 baja. Por lo tanto, los gases arteriales ayudaran a correlacionar estos datos.

Ictericia

La bilirrubina no altera la exactitud de la SpO_2 ⁽⁶⁾.

Otras hemoglobinas

Carboxihemoglobina. En pacientes quemados puede elevar su nivel en sangre, lo mismo sucede en los que sufren intoxicación por monóxido de carbono. La carboxihemoglobina tiene casi la misma absorbancia que la oxihemoglobina en 660 nm, y puede sobreestimar las lecturas mayores a las reales de la SpO_2 .

Methemoglobina. Es una fracción no funcional de la hemoglobina que le da a la sangre color chocolate. Su absorbancia es de 660 a 940 nm, por lo que puede interferir en el rojo e infrarrojo. La acción de este tipo de hemoglobina se da en los pacientes como una forma hereditaria, por acción de fármacos que producen methemoglobinemia como la nitroglicerina, óxido nítrico, prilocaína y benzocaína. La SpO_2 disminuye a menos de 85%.

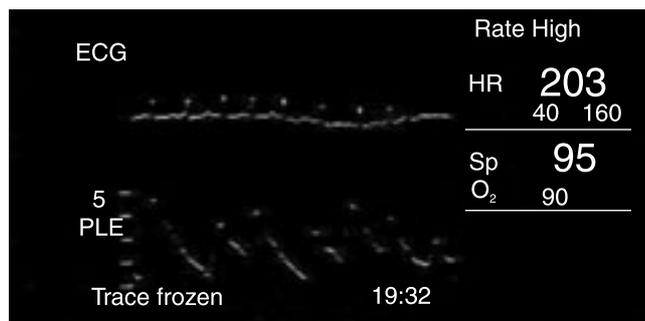


Figura 2.

Colorantes

El azul de metileno y verde de indocianina que se utiliza en cirugía urológica, disminuyen la SpO_2 porque tienen la misma absorbancia que la oxihemoglobina, sin embargo, el tiempo de recuperación de la SpO_2 es rápida, se da hasta después de dos minutos después de la inyección del colorante.

Esmalte de uñas

El color rojo, negro y verde, pueden causar errores en la lectura de la SpO_2 , debido a que alteran la absorbancia lumínica e interfieren con las dos longitudes de onda. Las micosis también pueden interferir con la lectura de la SpO_2 .

Pigmentación de la piel

Con un oxímetro Nellcor N595, Oximax-A probe y un Nonin onix, en 11 sujetos con pigmento Dark/K, bajo medición computarizada y con espectrofotometría de masas, midieron la relación SpO_2 y SaO_2 durante la hipoxia, y los tres oxímetros sobreestimaron la SPO_2 y la SaO_2 en los períodos de hipoxia⁽⁸⁾. En pacientes de piel negra y de piel blanca no se han encontrado diferencias en la SpO_2 , aunque se ha reportado un margen de error de +3 a +5% en pacientes negros.

Otros factores de interferencia

Los factores extrínsecos pueden interferir con las lecturas de la SpO_2 , las dividimos en dos, las que provienen del exceso de ruido, luz ambiental, ruidos cinéticos y electrocauterio. Los que ocasionan una señal baja como estados de hipoperfusión y colocación inadecuada del sensor. El exceso de luz, la luz fluorescente como la de xenón y las lámparas radiantes de las cunas térmicas, pueden hacer que se observe la SpO_2 normal y por lo tanto sobreestimar la oxigenación.

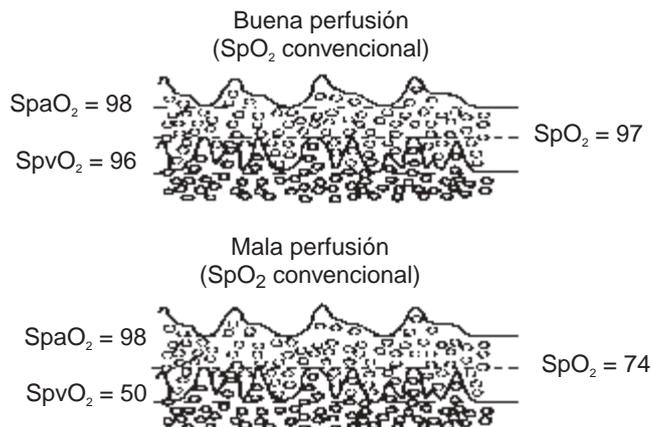


Figura 3. Influencia de la perfusión sobre la exactitud de la oximetría de pulso convencional durante el movimiento. La lectura será falsamente baja cuando la saturación venosa sea también baja.

Arritmia cardíaca

La arritmia cardíaca puede detectarse con el oxímetro de pulso, si partimos que la oximetría de pulso es un reflejo de la actividad cardíaca, entonces las alteraciones de la actividad eléctrica pueden ser observadas en la oximetría de pulso. Los siguientes trazos muestran como la morfología de la curva de pletismografía cambia si hay una arritmia cardíaca, podremos no saber qué arritmia en específico tiene pero sí podemos saber que se encuentra el paciente en arritmia cardíaca y hasta cierto punto inferir qué arritmia cardíaca pudiera presentar el paciente.

La anestesia residual

Los tranquilizantes mayores, relajantes musculares, la parálisis farmacológica residual o mala anatomía de la vía aérea pueden aparecer con datos clínicos de hipoxemia sutil. El paciente con relajación muscular residual por relajantes musculares, no muestra temblor postanestésico, por lo tanto en estos pacientes el movimiento no interfiere con la oximetría de pulso, esto justifica que el oxímetro de pulso deba ser utilizado en todos los pacientes en la sala de recuperación postanestésica. La anestesia residual profunda ocasiona obstrucción parcial de la vía respiratoria, hipoventilación, volúmenes respiratorios bajos, tos ausente, todo esto altera la V/Q y promueve la atelectasia con hipoxemia.

Hipoxemia postoperatoria

Los pacientes con función pulmonar normal bajo anestesia general para cirugía abdominal, el 50% mostraron atelecta-

sia pulmonar por tomografía y la CVF/FEV1, PaO₂ y la SO₂ disminuyeron. La hipoxemia postoperatoria, se trata en un inicio con permeabilizar la vía aérea, oxígeno suplementario y observación cercana. La hipoxemia no reconocida no se trata y por lo tanto ocurren los eventos trágicos. Con el advenimiento de la oximetría de pulso aumentó notablemente el reconocimiento de la hipoxemia perioperatoria. Un 14% de los pacientes en la unidad de cuidados postoperatorios tiene episodios de desaturación a menos de 90% detectado por oximetría de pulso.

Tipo de anestesia

La hipoxemia se ha presentado con todos los tipos de anestesia, no hay diferencias en si un tipo de anestesia interfiere con la oximetría de pulso, al contrario la oximetría de pulso no ha mostrado diferencias entre un tipo de anestesia y otro. La anestesia regional mejora la comodidad del paciente pero no la seguridad. Hay anestesia regional que estaría contraindicada en los neumópatas, por ejemplo los bloqueos cervicales e interescalénicos, porque interfieren en la movilidad del diafragma.

AVANCES DE LA OXIMETRÍA DE PULSO

La oximetría de pulso ha sido aceptada en otras áreas como en la obstétrica, cerebral, pulmonar y la unidad de cuidados intensivos.

- Oximetría de pulso fetal
Vigilancia de la oxigenación fetal en sala de labor y parto. Permite detectar tempranamente hipoxia fetal. El sensor fetal está intrauterino, sus valores normales son de 35 a 70%, en promedio 47%, se utiliza solamente después de la ruptura de membranas, está contraindicado en hemorragia, parto rápido o infección. Las desventajas son el vermix y pelo fetal excesivo, vasoespasmo, edema, meconio, contracciones uterinas, y bradicardia fetal. Las contraindicaciones son el electrocauterio, nacimientos bajo el agua, herpes genital activo, HIV, hepatitis. Este método ayuda a definir una apropiada intervención cesárea o parto vaginal para aquellos fetos que estaban efectivamente deprimidos y acidóticos⁽¹³⁾.
- Oximetría cerebral
La saturación de oxígeno del lecho venoso cerebral oscila entre el 70 al 80%, y ahora se utiliza la saturación regional de oxígeno cerebral.
- Oximetría de pulso esofágica
- Oximetría de pulso visceral
Utilizada en las laparotomías exploradoras y en cirugía de intestino.
- Oximetría de pulso transanal intracolónica
Se utiliza en la reconstrucción de aneurisma de aorta.
- Oximetría de pulso retiniana

La SaO₂ en el fondo de la retina a través de una densidad óptica se utiliza para medir la SaO₂ relativa después de la cirugía o en retinopatía diabética.

- Oximetría de pulso nasofaringea
Aplicable a quemados, monitoreo de la faringe posterior, paladar blando y mucosa nasal.
- Asma
A pesar de la sensibilidad del oxímetro de pulso se utiliza como una herramienta para vigilar la evolución, gravedad y pronóstico para el asma, tiene valor significativo y se correlaciona con la severidad de la enfermedad⁽¹²⁾. Los niños asmáticos cursan con un estado de hipoxemia crónica a diferencia de los sanos.

PACIENTES EN RIESGO DE HIPOXEMIA

- Enfermos sin hipoxemia preoperatoria son propensos de hipoxemia después de la cirugía abdominal mayor.
- Sedación: hipoxemia leve por fármacos, obstrucción de vías aéreas, efecto residual postoperatorio de anestésicos.
- Enfermos de edad de 80 años que llegan a tener un período de desaturación por más de 5 minutos, las posibilidades de isquemia silenciosa del miocardio son elevadas.
- Neumópatas con bronquitis crónica o enfisema pulmonar.
- Neumonía.
- Atelectasia.
- Broncoaspiración.
- Obstrucción de las vías aéreas superiores.
- Intubación inadecuada.
- Anestesia residual.
- Relajación muscular residual.
- Opioides potentes para manejo del dolor y tranquilizantes mayores.
- Obesidad.
- Insuficiencia cardíaca.
- Falta de reflejos protectores de la vía aérea.
- Edema pulmonar.
- Embolia pulmonar
- Septicemia.
- Sobrecarga de líquidos.
- Cirugía torácica y de abdomen alto.
- Tiempo quirúrgico mayor a dos horas.
- Índice tabáquito mayor a 8.
- Urgencia
- Enfermedades neuromusculares.
- Enfermedad hepática.
- Enfermedad renal.

ENTRENAMIENTO

Es necesario el conocimiento de cómo funcionan los oxímetros de pulso, se ha reportado que el 80% de los que

manejan el oxímetro de pulso son capaces de interpretar lo que mide el oxímetro de pulso, el 40 a 45% sabe cómo funciona y sólo un 10 a 15% sabe de la curva de disociación de la hemoglobina⁽¹¹⁾.

Futuro: Los oxímetros de pulso se mejoran para evitar la interferencia de movimiento, luz, pigmentos y otros artefactos; mejoran su señal aún en estados de hipoperfusión y

vasoconstricción. En el Japón se ha propuesto un equipo de oximetría de pulso que no solamente detecte la curva de pletismografía, el dígito de la SPO₂, sino también la hemoglobina, a este equipo se le ha llamado hemoglobinómetro. Estos equipos serán particularmente valiosos en pacientes como los neonatos donde se dificulta la extracción de muestras de sangre para analizar la hemoglobina^(11,12).

REFERENCIAS

1. Moller JT, Pedersen T, Rasmussen LS. Randomized evaluate of pulse oximetry in 20,208 patients. I. Desing, demography, pulse oximetry failure rate, and overall complication rate. *Anesthesiology* 1993;78:436-444.
2. Comroe JH, Bothelio S. The unreliability of cyanosis in the recognition of arterial anoxemia. *Am J Med Sci* 1947;214:1-6.
3. Cote CJ, Goldstein EA. A single-blind study of pulse oximetry in children. *Anesthesiology* 1988;68:184-188.
4. Severinghaus JW, Spellman MJ. Pulse oximeter failure thresholds in hypotension and vasoconstriction. *Anesthesiology* 1990;73: 532-537.
5. Nishiyama T. Pulse oximeters desnstrate different responses during hypothermia and changes in perfusion: (Les sphygmoxymetres affichent des responses differentes pendant l'hypothermie et les changements of perfusion). *Can J Anaesth* 2006;53:136-8.
6. Veyckemans F, Baele P, Guillaume JE. Hyperbilirubinemia does not interfere with hemoglobins saturation measured by pulse oximetry. *Anesthesiology* 1989;760:118-122.
7. López H. Oximetría de pulso. *Rev Med Hosp Gen Mex* 2003;66:160-169.
8. Bickler P, Feiner J, Severinghaus J. Effects of skin pigmentation on pulse oximeter accuracy at low saturation. *Anesthesiology* 2005;102:715-9.
9. Peterson G. Management of difficult airway A closed claims analysis. *Anesthesiology* 2005;103:33-9.
10. Sola A, Chow I, Rogido M. Oximetría de pulso en la asistencia neonatal en 2005. Revisión de los conocimientos actuales. *An Pediatr (Barc)* 2005;62:266-81.
11. Reséndiz FG, Gómez VJ, Orea SM. Oximetría de pulso en el diagnóstico de asma en el niño. *Rev Alergia Mex* 2004;51:102-106.
12. Del Rio HBE, Briceño PC, Sierra MJL, Prieto UL, Predes NC, Carrillo H. Utilidad clínica de la oximetría de pulso en niños asmáticos. *Rev Alergia Mex* 1994;110-114.
13. Garite TJ, Dildy GA, McNamara H, Nageotte MP, Bohem FH, Dellinger EH. Oximetría de pulso en el manejo intraparto de patrones cardíacos fetales dudosos. *Am J of Obstet and Gynecol* 2000;183:1049-1058.

