



## Estado actual del NIRS en cirugía cardíaca

Dr. Raúl Guillén Rojas

\* Anestesiólogo cardiovascular, adscrito al Servicio de Anestesiología del Instituto Nacional de Cardiología «Ignacio Chávez».

### INTRODUCCIÓN

A pesar de los adelantos en la tecnología, la morbilidad del sistema nervioso central en cirugía cardíaca continúa siendo un tema preocupante<sup>(1)</sup>; estas complicaciones, que involucran el cerebro, son de gran importancia debido a las graves consecuencias que producen y al impacto de las mismas.

El espectro del daño es muy amplio y va desde un déficit transitorio y en ocasiones imperceptible más que con test cognitivos especiales, hasta el daño severo y permanente.

El accidente cerebrovascular (ACV) ocurre hasta en el 6% de los casos y los déficit cognitivos leves pueden presentarse hasta en más del 50% de los pacientes<sup>(1)</sup>.

La presencia de complicaciones neurológicas lleva a un incremento en la mortalidad (> 21%) en pacientes con déficits focales neurológicos graves<sup>(2)</sup>.

En niños sometidos a cirugía cardíaca por cardiopatías congénitas también son frecuentes las complicaciones neurológicas, en menor número las graves como ACV y las convulsiones y en mayor frecuencia los déficits a largo plazo como desempeño disminuido en la escuela, dificultad en el aprendizaje, coeficiente intelectual por debajo de lo esperado (aunque dentro de lo normal), problemas en la atención, hiperactividad, dificultad del control motor fino y grueso, todo esto puede llevar a alteraciones de la interacción social, devaluación y baja en la autoestima.

Anteriormente existía poco entusiasmo por la neuromonitorización durante la cirugía cardíaca ya que se atribuía a los macroémbolos la etiología principal del daño neurológico; viéndolo como una complicación inevitable, con la introducción de la cirugía sin bomba, el pinzamiento aórtico y la reducción en la manipulación aórtica se disminuyó la incidencia de lesiones neurológicas; sin embargo, éstas siguen presentándose frecuentemente y se atribuyen a la hipoperfusión y desoxigenación las causas principales<sup>(1,2)</sup>; debido a

que estas causas son altamente detectables y prevenibles la neuromonitorización ha cobrado importancia.

La introducción de nuevos dispositivos más simples y compactos que nos permiten documentar la actividad eléctrica, el flujo sanguíneo cerebral y la oxigenación nos permiten integrar esta información en el manejo anestésico.

Existen diversas técnicas de monitoreo cerebral como son el electroencefalograma, los potenciales evocados, el Doppler transcraneal, la saturación del bulbo de la yugular, la espectrometría cercana al infrarrojo (NIRS), entre otros; cada uno con sus respectivas limitaciones como la oximetría venosa yugular que da una idea global de la oxigenación cerebral y puede perder los eventos de isquemia regional<sup>(3)</sup>.

Existe la necesidad de tener un monitoreo de función cerebral no invasivo y práctico que pueda darnos información en tiempo real de varias regiones del cerebro.

El NIRS es una técnica no invasiva que ofrece la ventaja de monitorizar la oxigenación cerebral, dándonos un panorama del estado metabólico y hemodinámico de múltiples regiones de interés, sin embargo existe poco uso de este instrumento a pesar de que ya pasaron más de tres décadas de su primera descripción<sup>(4)</sup>.

El primer reporte fue realizado en 1977 por el profesor Franz Jöbsis de la Universidad de Duke quien en una cena casualmente observó que la luz cercana al infrarrojo (700-950 nm) puede atravesar los tejidos vivos. Además observó que ciertas moléculas denominadas cromóforas tienen distintos espectros de absorción a la NIRS y describió que el alto grado de transparencia de los tejidos miocárdico y cerebral a la luz en el espectro cercano al infrarrojo (NIR) permitía medir en tiempo real la saturación de los tejidos mediante la espectroscopía (NIRS)<sup>(4)</sup>.

En 1985 Ferrari y cols. reportaron las primeras mediciones de oximetría cerebral en humanos usando espectroscopía cercana al infrarrojo (NIRS).

Este artículo puede ser consultado en versión completa en <http://www.medigraphic.com/rma>

Todos los espectómetros consisten de los mismos componentes: emisor de luz (que libera una luz a una intensidad y longitud de onda conocidas), de un receptor (que mide la intensidad de luz absorbida en los tejidos) y un ordenador que convierte los cambios de luz en información clínicamente útil.

El primer equipo comercial aprobado por la FDA en mayo de 1993 fue el INVOS 3100, posteriormente la FDA aprobó otros equipos a otras compañías.

## PRINCIPIOS

Consiste en un origen de luz infrarroja (parche adhesivo) que se adhiere a la piel del cráneo; este parche transmite fotones de luz a través de los tejidos del cráneo y consta también de dos sensores receptores que discriminan la luz reflejada por la piel, músculo y duramadre de la reflejada por el tejido cerebral. Se colocan dos parches adhesivos en la frente con un emisor que emite dos ondas de luz infrarroja (730 nm y 810 nm) y los dos diodos receptores. Se colocan dos parches adhesivos en la frente, con un emisor que emite dos ondas de luz infrarroja (730 nm y 810 nm) y los dos diodos receptores (Figura 1).

El NIRS mide el contenido total de hemoglobina (pulsátil, no pulsátil, oxigenada, no oxigenada) en los lechos microvasculares (vasos de menos de 1 mm de diámetro).

En el rango cercano al infrarrojo (700-1300 nm) la luz penetra los tejidos varios centímetros y a este espectro las moléculas que primeramente absorben la luz son la hemoglobina, la bilirrubina y los citocromos. El espectro de absor-

ción de la desoxihemoglobina (dHb) es de 600-1000 nm; la oxihemoglobina (HbO<sub>2</sub>) tiene su pico de absorción entre 700 y 1,150 nm y la citocromo oxidasa aa3 (Caa3) tiene el suyo entre 820-840 nm. Las longitudes de onda usadas en los dispositivos son entre 700-850 nm donde el espectro de absorción de la dHb y la HbO es mayor y está mínimamente sobrepuerto al del H<sub>2</sub>O. El espectro de isoabsorción entre la dHb y la HbO, es decir, donde tienen la misma absorción es de 810 nm, por lo que este espectro de isoabsorción puede utilizarse para medir la concentración total de hemoglobina, midiéndonos la diferencia entre Hb O<sub>2</sub> y dHbO, dándonos un valor en porcentaje de la saturación cerebral regional (rSO<sub>2</sub>).

La medición de la oxigenación cerebral y el contenido de hemoglobina son determinados por la diferencia entre la intensidad de la luz transmitida y la recibida a longitudes de onda específicas. La disminución en la intensidad de la luz transmitida es equivalente a la cantidad de substancia (cromóforos) por la cantidad constante de luz absorbida por la substancia (coeficiente de extracción  $\epsilon$ ).

La absorción de la luz en los tejidos está determinada por la ley de Beer-Lambert, la cual relaciona la longitud de onda con la concentración y con el espectro de absorción de los cromóforos:

$$C = \Delta A / L \times \epsilon$$

Donde C es la concentración del cromóforo (Hb oxigenada y no oxigenada SO<sub>2</sub>),  $\Delta A$  es la atenuación en la luz, L es la longitud de onda y  $\epsilon$  es el coeficiente de extracción del cromóforo.

La transmisión de la luz a una determinada longitud de onda a través de un tejido depende de una combinación de transmisión, dispersión y absorción.

La mayoría de los dispositivos comercializados usan dos diodos receptores que están colocados ipsilateralmente al transmisor y parte del hecho de que los fotones transmitidos viajan a través de una esfera con una trayectoria elíptica (Figura 2).

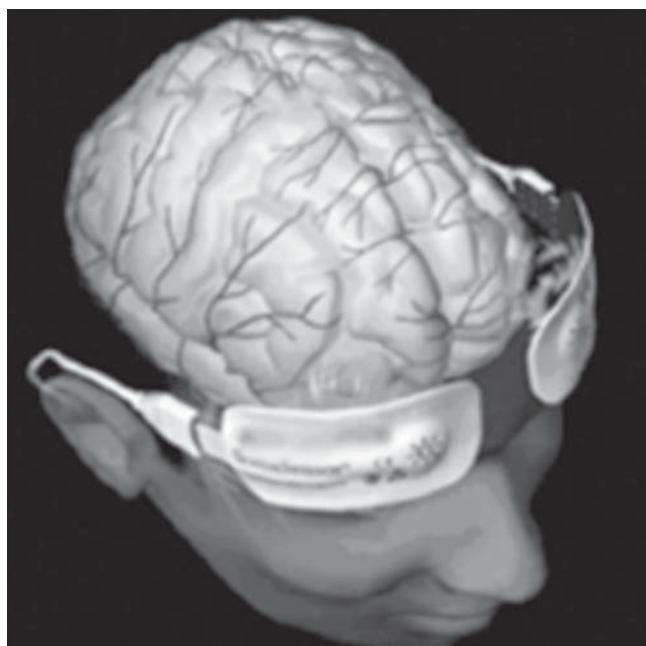


Figura 1. Parches del NIRS.



Figura 2. Emisión de luz infrarroja por los sensores del NIRS y trayectoria elíptica de las ondas de luz.

Los fotones del NIRS cerebral deben penetrar varios tejidos: la piel, el cráneo, la dura, y el tejido cerebral, los cuales contienen diversas concentraciones de sangre y cromóforos.

Los modelos experimentales han demostrado que una distribución elíptica de los fotones se da mediante la separación de los receptores, por lo que incrementando la distancia entre el receptor/transmisor aumentamos la penetración del tejido y minimizamos el efecto del tejido extracerebral, una separación de 5 cm parece ser la adecuada, dándonos una profundidad de 1.7 cm (Figura 3).

Se han validado los valores de  $rSO_2$  con mediciones de oxigenación arterial y venosa del bulbo de la yugular, así como con mediciones de microsensores de presión parcial de oxígeno en el tejido cerebral<sup>(5)</sup>.

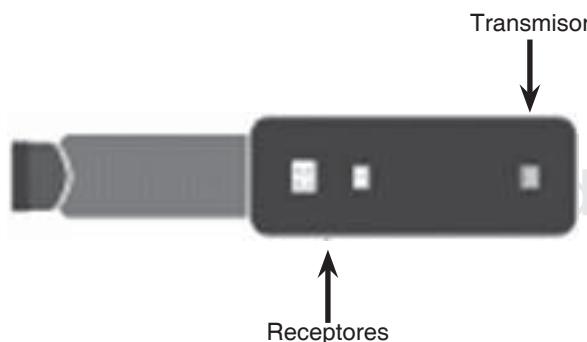
### UTILIDAD E INTERPRETACIÓN EN LA CIRUGÍA CARDÍACA

Existen numerosos estudios de oximetría en cirugía cardíaca que han demostrado mejorar los resultados con monitoreo neurológico.

Como la mayoría de los monitores, en anestesia y en medicina gran parte de la utilidad de éstos recae en una adecuada interpretación y en una correcta aplicación de los valores que de ellos obtenemos.

La utilidad del NIRS reside en poder modificar el aporte y consumo de oxígeno cerebral, como parámetros de aporte tenemos el gasto cardíaco, la presión arterial, el contenido arterial de oxígeno, la presión parcial de  $CO_2$  y como determinantes de la demanda tenemos el consumo metabólico del cerebro, la temperatura, la profundidad anestésica.

Los valores normales de la oxigenación han sido determinados en varios estudios. Kishi y cols. examinaron las influencias demográficas en la  $rSO_2$  y encontraron una correlación negativa de los valores de  $rSO_2$  con la edad y la hemoglobina, y cómo la colocación de los sensores afecta los valores; la edad, el peso y el género no modifican los valores



**Figura 3.** Transductor con un transmisor de dos ondas de luz infrarroja y dos receptores.

(19). Edmon Jr determinó en pacientes sometidos a cirugía cardíaca un valor preprocedimiento de  $67 \pm 10^{(6)}$ , en otros estudios 70% ha sido reportado en voluntarios sanos como un valor de oximetría de 70%, así mismo una diferencia de más de 10% entre ambos lados por lo que se considera dentro de la normalidad valores basales dentro de 50-80% y una variación entre ambos lados menor de 10%<sup>(7)</sup>.

Primero se tiene que determinar un valor basal y preinducción; el objetivo es establecer un valor basal de referencia, el cual debe ser normalmente mayor de 50% y menor de 80% con una diferencia entre ambos lados no mayor de 10%; se pueden presentar valores anormalmente bajos como en la insuficiencia cardíaca, o en enfermedad vascular intracranal silente<sup>(8)</sup>. En estos casos se debe considerar que es un paciente con prácticamente nula tolerancia a la hipoperfusión, por lo que se debe mantener este valor durante toda la cirugía; un valor elevado nos puede significar infartos previos, ya que el daño o muerte neuronal conlleva a poco consumo de oxígeno; una asimetría en valores de oxigenación ( $> 10\%$ ) puede deberse a una enfermedad carotídea o intracranal silente, una masa ocupativa, un infarto antiguo, un origen extracranal como hemangiomas o deberse a artefactos, por lo que en todo momento se debe valorar la adecuada colocación de los parches.

Denault y cols.<sup>(9)</sup> desarrollaron un algoritmo para el uso intraoperatorio del NIRS en cuanto a qué variables modificar en la cirugía cardíaca y es el modelo interpretativo que siguen la mayoría de los centros que utilizan esta tecnología.

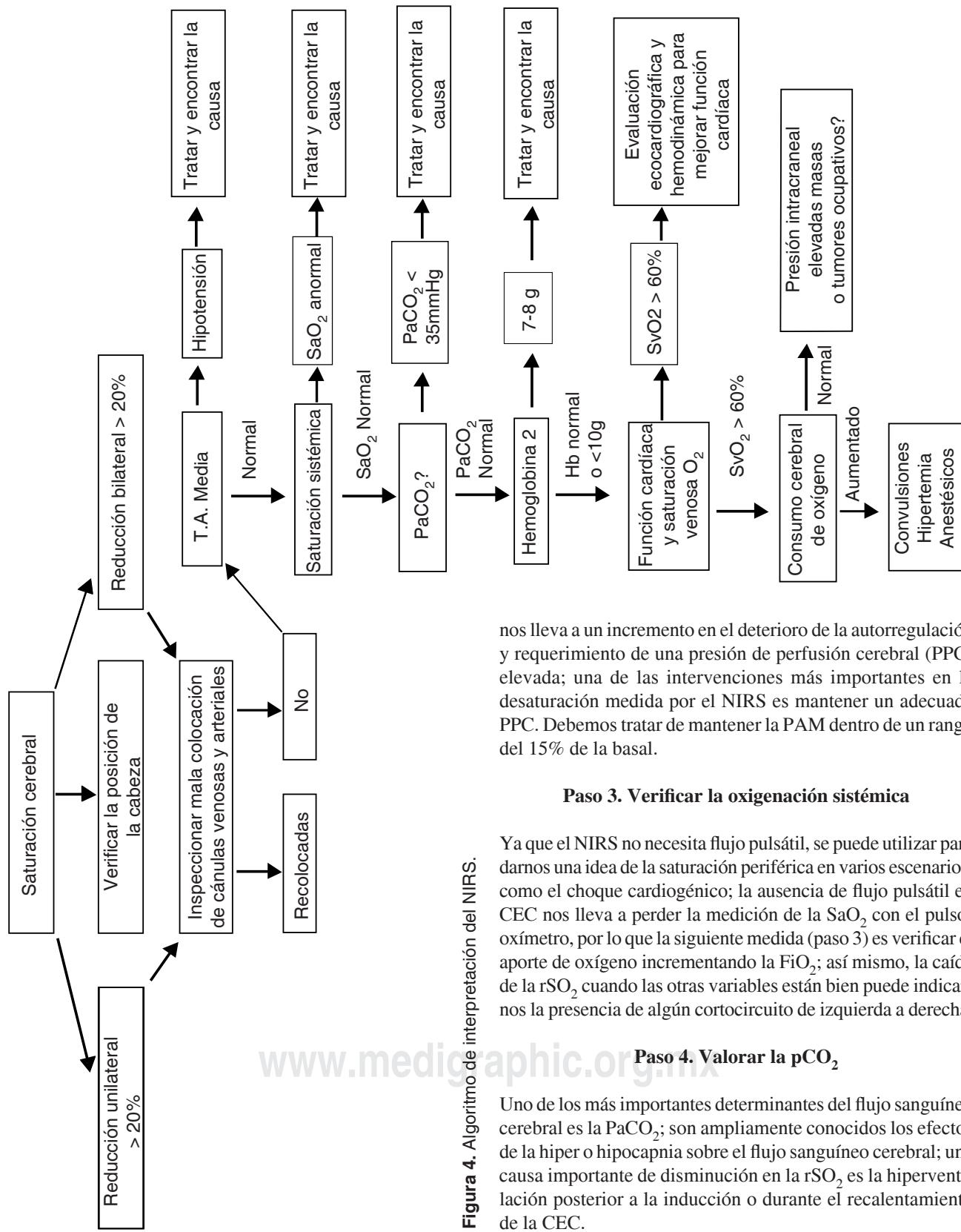
Definiremos como alteraciones a un descenso mayor de 20% del NIRS basal, o un valor por debajo de 50% o un valor mayor del 10% entre ambos lados. Si se obtiene un valor bajo o alterado debemos seguir una serie de pasos que se detallan a continuación (Figura 4).

#### Paso 1. Verificar la colocación de la cánula aórtica

Si el valor del NIRS cae súbitamente ya sea bilateral o unilateralmente debemos verificar primero alguna obstrucción al flujo cerebral; por ejemplo, alguna malrotación de la cánula aórtica que ocasiona perfusión directamente en la arteria inominada; esto ocurre más frecuentemente en niños, por lo que su uso es mayor en cirugía pediátrica de congénitos. En adultos, la malaperfusión puede deberse a una disección aórtica con oclusión del lumen de la carótida, o una obstrucción del flujo para la perfusión cerebral selectiva; otra causa de desaturación unilateral puede ser la obstrucción de la vena cava superior por las cánulas venosas o por una malposición de la cabeza que impida el retorno venoso.

#### Paso 2. Incrementar la presión arterial media

La incidencia de enfermedad cerebrovascular en la población de cirugía cardíaca ha sido estimada en más del 50%, lo que



nos lleva a un incremento en el deterioro de la autorregulación y requerimiento de una presión de perfusión cerebral (PPC) elevada; una de las intervenciones más importantes en la desaturación medida por el NIRS es mantener un adecuada PPC. Debemos tratar de mantener la PAM dentro de un rango del 15% de la basal.

### Paso 3. Verificar la oxigenación sistémica

Ya que el NIRS no necesita flujo pulsátil, se puede utilizar para darnos una idea de la saturación periférica en varios escenarios, como el choque cardiogénico; la ausencia de flujo pulsátil en CEC nos lleva a perder la medición de la SaO<sub>2</sub> con el pulso-oxímetro, por lo que la siguiente medida (paso 3) es verificar el aporte de oxígeno incrementando la FiO<sub>2</sub>; así mismo, la caída de la rSO<sub>2</sub> cuando las otras variables están bien puede indicarnos la presencia de algún cortocircuito de izquierda a derecha.

### Paso 4. Valorar la pCO<sub>2</sub>

Uno de los más importantes determinantes del flujo sanguíneo cerebral es la PaCO<sub>2</sub>; son ampliamente conocidos los efectos de la hiper o hipocapnia sobre el flujo sanguíneo cerebral; una causa importante de disminución en la rSO<sub>2</sub> es la hiperventilación posterior a la inducción o durante el recalentamiento de la CEC.

### Paso 5. Optimizar la hemoglobina

La hemoglobina es un elemento clave en el transporte de oxígeno a los tejidos y su diminución se correlaciona directamente con reducción en los valores de rSO<sub>2</sub>. El NIRS se ha descrito como monitoreo de pérdida sanguínea, en cirugía cardíaca la hemodilución al inicio de la CEC combinada con el descenso en la PAM secundaria a la disminución de la viscosidad sanguínea se refleja en descensos en los valores de rSO<sub>2</sub>, por lo que valores bajos de la rSO<sub>2</sub> deben utilizarse como indicadores de transfusión cuando las otras intervenciones han sido inefectivas.

### Paso 6. Función cardíaca

Durante la CEC, incrementar el flujo es la técnica más eficaz para corregir las desaturaciones cerebrales. Así mismo se ha observado la correlación de la función cardíaca con los valores de rSO<sub>2</sub> por lo que en CEC nuestra siguiente maniobra debe ser mejorar el flujo.

### Paso 7. Disminuir el consumo metabólico de oxígeno

Si una reducción en la rSO<sub>2</sub> sigue presente a pesar de las maniobras descritas se debe pensar entonces en un incremento en el CMRO<sub>2</sub> como hipertermia, lo cual puede suceder durante el recalentamiento; también puede deberse a inadecuada profundidad anestésica, por lo que un enfriamiento temporal, un recalentamiento más lento o incrementar la dosis de anestésicos son opciones.

### Paso 8. Otros:

Si persiste una rSO<sub>2</sub> baja y si particularmente es unilateralmente debemos pensar en alguna patología intracranal y considera la realización de estudios de imagen postoperatorios.

## OTRAS APPLICACIONES

El uso de la oximetría cerebral se está extendiendo a más ámbitos que la cirugía cardíaca y también a medición de la oximetría periférica, como monitor de la perfusión periférica<sup>(10)</sup>.

## LIMITACIONES

Existen varias limitaciones; como en cualquier monitor, los falsos positivos pueden ocurrir; es importante verificar la adecuada colocación de los electrodos, ya que una malposición de los mismos puede llevar a mediciones erróneas. Otra limitación es que sólo se monitoriza la circulación anterior, por lo que la perfusión del territorio de la cerebral posterior no se mide; la otra limitación es que el análisis del NIRS asume un índice de sangre venosa /arterial fijo, lo cual puede estar alterado en ciertas situaciones. Y como cualquier monitor su utilidad depende de la persona que lo interprete, así como de las medidas de intervención que se empleen, por lo que queda a interpretación y a decisiones individuales.

En el contexto de la cirugía cardíaca es fundamental que todo el equipo esté familiarizado con su uso, utilidad e interpretación para maximizar sus beneficios.

## REFERENCIAS

1. Newman MF, Mathew JP, Grocott HP, et al. Central nervous system injury associated with cardiac surgery. Lancet 2006;368:694-703.
2. Lombard Frederick W and Mathew Joseph P. Neurocognitive dysfunction following cardiac surgery. Semin Cardiothorac Vasc Anesth. 2010;14:102.
3. Edmonds HL Jr, Rodriguez RA, Audenaert SM, et al. The role of neuromonitoring in cardiovascular surgery. J Cardiothorac Vasc Anesth. 1996;10:15.
4. Ferari M, Mottola L, Quaresima V. Principles, techniques and limitations of near-infrared spectroscopy. Can J Appl Physiol. 2004;29:463.
5. Daubene PE, Pilkington SN, Janke E. Cerebral oxygenation measured by near-infrared spectroscopy: Comparison with jugular bulb oximetry. Ann Thorac Surg. 1996;61:930.
6. Edmonds HL Jr, Ganzel BL, Austin EH 3rd. Cerebral oximetry for cardiac and vascular surgery. Semin Cardiothorac Vasc Anesth. 2004;8:147.
7. MacLeod DB, Ideda K, Vacchiano C. Simultaneous comparison of FORE-SIGHT & INVOS cerebral oximeters to jugular bulb and arterial co-oximetry measures in healthy volunteers. Anesth Analg. 2009;108:SCA56.
8. Nakamura Y, Kawachi K, Imagawa H, et al. The prevalence and severity of cerebrovascular disease in patients undergoing cardiovascular surgery. Ann Thorac Cardiovasc Surg. 2004;10:81.
9. Denault A, Deschamps A, Murkin JM. A proposed algorithm for the intraoperative use of cerebral near-infrared spectroscopy. Semin Cardiothorac Vasc Anesth. 2007;11:274.
10. Torella F, McCollum CN. Regional haemoglobin oxygen saturation during surgical haemorrhage. Minerva Med. 2004;95:461-467.