



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

**FACULTAD DE MEDICINA**

**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

**T E S I S**

**ASOCIACIÓN DE LA VARIACIÓN DE LA OXIMETRÍA  
CEREBRAL CON COMPLICACIONES  
POSTOPERATORIAS EN PACIENTES  
PEDIÁTRICOS POST OPERADOS DE CIRUGÍA  
CARDIACA SOMETIDOS A CIRCULACIÓN  
EXTRACORPÓREA**

*Para obtener el título de  
Especialidad en Anestesiología*

**P R E S E N T A :**

**Dra. Alejandra Cristina Aleman Castro**  
Médico residente de tercer año, Anestesiología

**DIRECTORES DE TESIS:**

Dr. Salvador Hernández Bautista  
Dr. Edgard Efrén Lozada Hernández

Hospital Regional de Alta Especialidad del Bajío,  
León, Guanajuato, diciembre de 2022



HOSPITAL REGIONAL  
ALTA ESPECIALIDAD

B A J Í O



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

---

---

**TÍTULO:**  
ASOCIACIÓN DE LA VARIACIÓN DE LA OXIMETRÍA CEREBRAL CON  
COMPLICACIONES POSTOPERATORIAS EN PACIENTES PEDIÁTRICOS POST  
OPERADOS DE CIRUGÍA CARDIACA SOMETIDOS A CIRCULACIÓN  
EXTRACORPÓREA.

**Dra. María Antonieta Díaz Guadarrama**

*Jefe de Enseñanza*

Hospital Regional de Alta Especialidad del Bajío

**Dra. Alejandra Cristina Aleman Castro**

*Residente de tercer año Anestesiología*

Hospital Regional de Alta Especialidad del Bajío

**Dr. Salvador Hernández Bautista**

*Anestesia cardiovascular*

Hospital Regional de Alta Especialidad del Bajío

**Dr. Edgard Efrén Lozada Hernández**

*Investigador C en Ciencias Médicas*

Hospital Regional de Alta Especialidad del Bajío



## **AGRADECIMIENTOS**

Al Hospital Regional de Alta Especialidad del Bajío, que se convirtió en mi hogar durante estos 3 años y me abrió las puertas para continuar mi formación profesional.

A mis maestros, por su paciencia para enseñarme, por motivarme a ser mi mejor versión, y por todas las risas compartidas durante el proceso. Sus enseñanzas me las llevo como el regalo más grande.

A mi familia, que desde la distancia siempre estuvo presente, por su apoyo incondicional, por su amor, por acompañarme y ser mi motor; incluido Oscar, mi compañero de vida, con quien sigo creciendo y avanzando juntos.

A mis amigos, los viejos y los nuevos, porque me recuerdan a siempre darle un equilibrio a mi vida, porque me vuelven una mejor persona; en especial a Mayra Uribe, mi compañera de estudio desde el inicio, gracias por enseñarme a ser resiliente, por ser mi amuleto y motivación.

# INDICE

INDICE .....	4
RESUMEN.....	5
ANTECEDENTES .....	6
HIPÓTESIS .....	13
OBJETIVOS .....	13
MÉTODOS .....	14
ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	17
ASPECTOS ÉTICOS.....	18
FINANCIAMIENTO.....	18
RESULTADOS .....	19
Análisis de la oximetría cerebral y su asociación con las características demográficas .....	21
Análisis de la asociación del descenso con las propiedades quirúrgicas .....	22
Análisis de la asociación del descenso con las complicaciones post operatorias .....	23
Análisis de la asociación de las variables intraoperatorias con el riesgo de muerte .....	25
DISCUSIÓN.....	25
CONCLUSIONES.....	29
ANEXOS .....	30
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	32

## RESUMEN

**Objetivo:** Determinar si existe asociación de la variación de la oximetría cerebral con complicaciones postoperatorias en pacientes pediátricos post operados de cirugía cardiaca sometidos a circulación extracorpórea.

**Métodos:** Se revisaron todos los expedientes de cirugía cardiaca realizados en pacientes pediátricos en el período de junio del 2019-2022 en nuestra institución, se incluyeron aquellos que fueron sometidos a circulación extracorpórea y en los que se monitoreó mediante NIRS\* la SctO<sub>2</sub>, La SctO<sub>2</sub> basal se determinó antes del inicio de la cirugía. Se reviso el mínimo descenso registrado y se asoció con complicaciones postoperatorias. Entre ellas la duración de la estancia en la unidad de cuidados intensivos, duración de la intubación orotraqueal, y mortalidad a los 30 días.

**Resultados:** Se analizaron 56 expedientes de pacientes pediátricos sometidos a cirugía cardiaca, de los cuales 28 eran del sexo masculino y 28 del sexo femenino. El grupo de edad más frecuente fueron los de edad escolar. La cardiopatía congénita más común fue la enfermedad acianótica de flujo pulmonar aumentado, siendo la más común la comunicación interauricular. El descenso de SctO<sub>2</sub> se asoció significativamente con aumento en estancia en la UCI (IC 95%; P <0.001), con duración de IOT (IC 95 %; P<0.001) y con mortalidad a los 30 días (OR, 6.93 IC 1.68-28.6; P <0.004).

**Conclusión:** En pacientes pediátricos sometidos a cirugía cardiaca, los descensos de SctO<sub>2</sub> durante el periodo transoperatorio, se asocian con complicaciones postoperatorias, aumentando a la vez la mortalidad.

**Palabras clave:** NIRS\* (espectroscopía de infrarrojo cercano), saturación cerebral de oxígeno.

## ANTECEDENTES

En México, cada año nacen entre 12 mil y 16 mil bebés con alguna malformación cardiaca, y es el principal padecimiento congénito registrado en el país. Las principales cardiopatías identificadas en nuestro país son: las alteraciones de las paredes (comunicación interventricular o comunicación interatrial), conducto arterioso persistente y la tetralogía de Fallot. (1)

A pesar de que en los últimos años ha mejorado el desenlace de los niños que son operados para corregir cardiopatías congénitas, las complicaciones postoperatorias, el deterioro del desarrollo neurológico (2), así como la morbi-mortalidad (3–5) se han convertido en un enfoque principal en la evaluación de los resultados clínicos.

El manejo transquirúrgico de pacientes que requieren cirugía cardíaca es complejo, y el anestesiólogo se enfrenta con muchos problemas de manejo desafiantes. La institución de la circulación extracorpórea (CEC) induce múltiples alteraciones circulatorias complejas (cambios en presión, flujo, distribución) y altera profundamente el flujo de sangre a los órganos principales como el cerebro, corazón, pulmones, riñones, e hígado. (6)

El cerebro es el órgano metabólicamente más activo en el cuerpo humano, y uno de los principales sitios de riesgo para disfunción intra y postoperatoria después de procedimientos quirúrgicos. Aunque el sistema nervioso central es el punto final primario de la mayoría de los anestésicos generales, es el órgano menos monitoreado en anestesiología. (7)

Dentro de la fisiología del sistema nervioso central se conoce su capacidad de regular el flujo sanguíneo dentro de la “autorregulación cerebral”. Debido a que los límites de la autorregulación difieren entre individuos con diferentes enfermedades y edades, hay un interés de larga data en medir la oxigenación del tejido cerebral para detectar y

corregir perturbaciones en el suministro y demanda de oxígeno cerebral, que pueden conducir a lesión tisular o muerte. (8)

Existen diferentes modalidades mediante las cuales se puede realizar el monitoreo de la oximetría cerebral, en la práctica clínica, estos factores suelen medirse mediante indicadores indirectos como la presión arterial, oximetría de pulso y CO<sub>2</sub> al final de la espiración.(7,9) Sin embargo existen mejores métodos para monitorear la perfusión cerebral y la oxigenación, entre ellas: la oximetría del bulbo yugular, ecografía Doppler transcraneal, electroencefalografía, y la espectroscopía de infrarrojo cercano (NIRS). (10)

El NIRS se utiliza para estimar la saturación de oxígeno de la hemoglobina en el tejido cerebral (ScTO<sub>2</sub>), fue descrito por primera vez por Jobin, desarrollado a fines de la década de 1970(10) y se hizo comercial en 1989. Desde entonces, varios fabricantes se han sumado a los dispositivos disponibles, 6 de los cuales han obtenido la aprobación de la FDA (por sus siglas en inglés Food and Drug Administration) de los Estados Unidos, estos son: 1. INVOS 5100C (Medtronic, Minneapolis, MN), 2. FORE-SIGHT ELITE (CASMED, Branford, CT), 3. SenSmart X-100 (Nonin Medical Inc, Plymouth, MN), 4. O3 (Masimo Corporation, Irvine, CA), 5. CerOx Model 15FOP (Ornim Medical, Kefar Sava, Israel), y 6. NIRO-200NX (Hamamatsu Photonics KK, Shizuoka Prefecture, Japan). Cada sistema NIRS es único en su diseño con respecto a los emisores y sensores de luz, longitudes de onda, ponderación venosa/arterial y algoritmos patentados. Por lo tanto, la edad y el peso del paciente debe tenerse en cuenta al seleccionar un sensor. (8,10)

Es un método único y no invasivo, el cual tiene un papel establecido en el monitoreo perioperatorio de perfusión y oxigenación cerebral en procedimientos de cirugía cardíaca, ya que permite mediciones en tiempo real de la oximetría cerebral

durante paros circulatorios hipotérmicos profundos (DHCA) y durante la circulación extracorpórea (CEC). (11)

Uno de los principales beneficios que brinda es la oportunidad de medir la oxigenación cerebral en la población pediátrica, que de otro modo podría ser difícil de monitorear debido a que esta población cuenta con vasos pequeños e hipoplásicos. (12)

### Principios del NIRS

La espectroscopia que utiliza está basada en la ley de Beer-Lambert. (10) Las sondas NIRS se colocan en la frente y transmiten luz infrarroja (rango de longitud de onda 660-940 nm) que pasa a través de la piel y del hueso hacia el tejido. (Figura 1) Los detectores de luz dentro de la sonda miden la luz que se dispersa desde el tejido subyacente, al medir la absorción para oxi y desoxihemoglobina, se puede calcular la oxigenación tisular regional (rSo<sub>2</sub>). La atenuación de la luz resulta de 1. Absorción por cromóforos dependientes de oxígeno (oxihemoglobina [HbO<sub>2</sub>], desoxihemoglobina [HbR], citocromo coxidasa [CytOx], mioglobina) de concentraciones variables; 2. Cromóforos de concentraciones fijas (melanina, agua, colágeno, lípidos); y 3. Dispersión de luz. (10,12)

Debido a que los sensores se colocan en la piel, la profundidad de penetración en la corteza depende del grosor del tejido que necesita ser atravesado.

Tanto en adultos como en neonatos, la luz penetra 25-30 mm en la cabeza, medida desde la superficie del cuero cabelludo. Los recién nacidos tienen un cráneo y

una piel más delgada que los adultos y la penetración de la luz en la corteza es de 10 a 15 mm en los recién nacidos, mientras que en los adultos es de solo 3 a 5 mm. (10,12)

Los valores normales de saturación cerebral de oxígeno varían entre individuos, sin embargo, se ha descrito que en el cerebro de infantes pueden oscilar entre el 55 % y el 85 %. El volumen de la vasculatura cerebral es aproximadamente 75% venoso y 25% arterial, y la medición NIRS por lo tanto refleja una mayor proporción de saturación venosa. Estos valores pueden verse influenciados por la colocación de la almohadilla del sensor, la edad del paciente, pigmentación de la piel y el tipo de dispositivo NIRS utilizado. Además, se ha demostrado que el aumento de las concentraciones de bilirrubina conjugada reduce los valores absolutos de NIRS en neonatos y adultos. (12) Se debe considerar que, en la mayoría de los niños con cardiopatías congénitas, la SctO<sub>2</sub> es menor que la que se encuentra en niños sanos y puede explicarse por factores anatómicos y fisiológicos. (10,13)

La determinación de lo que constituye un valor bajo crítico de SctO<sub>2</sub> depende en la identificación de un umbral hipóxico-isquémico (H-I), más allá de la cual la hipoxia y/o la isquemia continua conducen a deterioro neurofisiológico, falla metabólica cerebral y daño morfológico irreversible. A diferencia de los adultos, no hay datos pediátricos humanos para apoyar el establecimiento de umbrales H-I. Un enfoque práctico, como lo describe Dean Kurth, es considerar que el deterioro funcional comienza con una SctO<sub>2</sub> de alrededor del 45%. (20).

Sin embargo, actualmente está ampliamente aceptado, según la descripción de Gómez y Poves; así como Heringlake, que una disminución intraoperatoria del 20% o más del valor de la SctO<sub>2</sub> es perjudicial y está relacionado con diferentes complicaciones posoperatoria. (7,11,14)

En pacientes que serán sometidos a procedimientos quirúrgicos, los cambios en SctO<sub>2</sub> en relación con las mediciones iniciales (es decir, antes de la inducción de la anestesia) pueden ofrecer más información clínica que las mediciones absolutas. Por ello, La sociedad estadounidense para la mejora de la recuperación y la calidad perioperatoria recomienda interpretar las mediciones de oximetría cerebral perioperatoria en el contexto de un valor de referencia previo a la inducción. (8,10)

En cirugía cardíaca correctiva, las condiciones de la circulación extracorpórea, especialmente temperatura, velocidad de flujo y hematocrito, influirán en los cambios en SctO<sub>2</sub>. (10,15)

#### Efectos adversos encontrados

Intraoperatoriamente, una puntuación de desaturación elevada, o por debajo del 50% se ha asociado con mayor tiempo de estancia hospitalaria y mayor tiempo de intubación, los valores de saturación bajos también se han correlacionado con distintos efectos adversos, entre ellos delirium, cambios de comportamiento postoperatorios negativos (NPOBC) y neurodesarrollo reducido en niños. (3,7,16) La ventilación mecánica prolongada después de la circulación extracorpórea se asocia con

hospitalización más prolongada, mayor morbilidad, mortalidad, mayores costos, neumonía asociada al ventilador y disfagia significativa. (2,11,17,18)

Sin embargo, aún no está claro si el tratamiento dirigido a aumentar la oxigenación del tejido cerebral durante el procedimiento quirúrgico tendría algún beneficio sobre estos resultados.

Se han creado diversos algoritmos para mejorar la SctO<sub>2</sub>, sin embargo, es importante resaltar que las intervenciones no siempre están asociadas con un cambio significativo, y el beneficio percibido de una intervención debe sopesarse frente a los riesgos conocidos y los cambios fisiopatológicos que pueden generar. (10,12,19,20) hasta la fecha no hay datos suficientes en pacientes pediátricos para proporcionar un algoritmo intervencionista.

### Limitantes del NIRS

Al ser colocado en la frente, el NIRS monitorea los lóbulos frontales inervados por las ramas superficiales de arterias cerebrales anterior y media. Por lo tanto, es posible que haya hipoxia/isquemia en los territorios irrigados por las ramas más profundas del cerebro o el sistema vertebrobasilar sin ningún cambio en la SctO<sub>2</sub> frontal medida, además no hay un Gold estándar de SctO<sub>2</sub> definido. ningún estudio ha validado la correlación de valores bajos en la lectura del NIRS con datos de bajo gasto cardiaco. Las mediciones bajas de oxigenación cerebral regional no necesariamente indican un estado de bajo gasto cardíaco o perfusión cerebral alterada. (10,11)

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

¿Existe asociación entre la variación de la oximetría cerebral y las complicaciones postoperatorias en pacientes pediátricos post operados de cirugía cardiaca sometidos a circulación extracorpórea?

## **JUSTIFICACIÓN**

En el hospital Regional de Alta especialidad del Bajío, se han realizado desde junio del 2019 hasta junio del 2022, 185 cirugías cardiacas en pacientes pediátricos con cardiopatías congénitas. A pesar de que ha mejorado la sobrevida de estos pacientes, aún se cursa con múltiples limitantes y complicaciones postoperatorias que disminuyen la calidad de vida de los pacientes. La etiología de estas complicaciones es multifactorial y poco conocida, por lo tanto, los pacientes necesitan ser monitorizados y vigilados de la manera más amplia y completa posible.

La sociedad estadounidense para la mejora de la recuperación y la calidad perioperatoria (ERAS por sus siglas en inglés) de cardiología, recomienda el monitoreo de la oximetría cerebral intraoperatoria indexada al valor inicial previo a la inducción anestésica para identificar a los pacientes con mayor riesgo de resultados adversos después de la cirugía cardiaca.

El HRAEB es de los pocos hospitales a nivel nacional que cuentan con el NIRS, desde junio del 2019, equipo necesario para el monitoreo anestésico avanzado de la oximetría cerebral de manera no invasiva.

Se ha encontrado que los valores bajos de oximetría cerebral se correlacionan con un aumento en la mortalidad y morbilidad postoperatoria, incluida la estancia prolongada en cuidados intensivos, la ventilación mecánica prolongada y la necesidad de oxigenación por membrana extracorpórea; Aumentando los costes sanitarios en un 40% de estos pacientes.

En consecuencia, el uso de NIRS cerebral nos permite el reconocimiento temprano de los niños en riesgo, para desarrollar estrategias y estructurar un plan de

manejo terapéutico para la prevención de lesiones neurológicas y evitar la morbilidad, entre otras complicaciones.

## **HIPÓTESIS**

Hipótesis nula:

No existe asociación de la variación de la oximetría cerebral con complicaciones postoperatorias en pacientes pediátricos post operados de cirugía cardiaca sometidos a circulación extracorpórea.

Hipótesis alterna:

Si existe asociación de la variación de la oximetría cerebral con complicaciones postoperatorias en pacientes pediátricos post operados de cirugía cardiaca sometidos a circulación extracorpórea.

## **OBJETIVOS**

General: Determinar si existe asociación de la variación de la oximetría cerebral con complicaciones postoperatorias en pacientes pediátricos post operados de cirugía cardiaca sometidos a circulación extracorpórea.

Específicos:

1. Identificar a los pacientes pediátricos post operados de cirugía cardiaca sometidos a circulación extracorpórea desde junio del 2019 a junio del 2022.
2. Revisar el expediente y dentro del registro anestésico determinar el nivel de oximetría cerebral reportado de manera basal y sus variaciones transoperatorias.
3. Clasificar a los pacientes como baja saturación cerebral a aquellos en los que Hubo descenso igual o más del 20% del reporte basal.

4. Revisar en el expediente electrónico los días de estancia en la unidad de cuidados intensivos pediátricos, el tiempo de intubación y reportar a los pacientes que fallecieron durante el procedimiento o los primeros 30 días posteriores al procedimiento quirúrgico.

5. Comparar ambos grupos y determinar si se relacionan con aumento de la mortalidad, aumento de los días en cuidados intensivos y mayor tiempo de intubación endotraqueal.

## MÉTODOS

Universo de estudio:

Pacientes pediátricos post operados de cirugía cardíaca sometidos a circulación extracorpórea, desde el 01 de junio del 2019 hasta el 30 de junio del 2022.

Tamaño de muestra:

Se tiene una base de datos de 105 pacientes susceptibles de ser estudiados, en ellos se analizarán todos los expedientes.

El tamaño de la muestra se calculó basado en los resultados de Matthias Heringlake (14), en el cual se encontró que una diferencia de aproximadamente 20% en la saturación de oximetría cerebral refleja la gravedad de la disfunción cardiopulmonar, está asociada con la mortalidad y morbilidad a corto y largo plazo, y pueden aumentar la estratificación del riesgo preoperatorio en pacientes sometidos a cirugía cardíaca.

$$n = \frac{N \cdot Z_{\alpha}^2 \cdot p \cdot (1-p)}{e^2 \cdot (N-1) + Z_{\alpha}^2 \cdot p \cdot (1-p)}$$

n= Tamaño de muestra calculado

N= Tamaño de la población a estudiar

Z= parámetro estadístico que depende el nivel de confianza= (5%)

e= error estadístico máximo aceptado (3%)

p=probabilidad de que ocurra el evento (78%)

q= probabilidad de que no ocurra (58%)

Obteniendo un total de 79 pacientes que serán suficientes para encontrar esta diferencia.

aleatorización y cegamiento:

No aplica

Muestreo:

Por conveniencia y disponibilidad, según se cuente con expediente completo para calcular la variación en la saturación.

### **Criterios de selección**

Criterios de inclusión:

- Todo paciente de entre 0 y 18 años, programados de manera electiva para cirugía cardiaca con circulación extracorpórea.
- Pacientes ASA I – IV.
- Expediente completo que permita evaluar los cambios en la saturación de la oximetría cerebral.
- Expediente completo para analizar las complicaciones asociadas.

Criterios de exclusión:

- Pacientes que se encuentren previamente intubados.
- .
- Pacientes que cursen con patologías agregadas como malformaciones renales, neurológicas, hepáticas, etc.
- Pacientes mayores a los 18 años.

- Pacientes ASA V- VI.
- Pacientes que no tengan datos completos en el expediente físico o electrónico.
- Pacientes en los que no se haya medido la saturación de la oximetría cerebral mediante el NIRS.
- Cirugías de reintervención.

**Variables:**

Variable	tipo	Escala de medición	Definición conceptual	Definición operacional
Muerte	Dependiente	Nominal cualitativa	Cese irreversible de todas las funciones corporales, se manifiesta por ausencia de respiración espontánea y pérdida total de las funciones cardiovascular y cerebral.	Si/No
Días de estancia en UCIP	Dependiente	Cuantitativa	Periodo de tiempo que comprende desde el día de ingreso a la unidad de cuidados intensivos pediátricos, hasta el egreso de la unidad.	Días
Tiempo de intubación	Dependiente	Cuantitativa	Periodo que comprende desde el día de intubación hasta el día de extubación.	Horas
Saturación de oxígeno cerebral	Independiente	Nominal cualitativa  <20%  >20%	Es la variación en relación con la saturación basal y transoperatoria de la oximetría cerebral, medida mediante NIRS.	% de saturación se considerará variable si es mayor al 20%

## **Descripción del proceso:**

Estudio retrospectivo de pacientes pediátricos sometidos a cirugía cardiaca con circulación extracorpórea en el Hospital Regional de Alta Especialidad del Bajío de 01 junio del 2019 hasta el 30 de junio del 2022.

Todos los casos electivos serán incluidos para su análisis cuando el procedimiento quirúrgico involucró la corrección de un problema cardíaco congénito que fue sometido a circulación extracorpórea, y SctO<sub>2</sub> fue monitoreado continuamente en el período intraoperatorio.

### **Manejo Anestésico**

Dado el carácter histórico del presente estudio, la inducción y mantenimiento de la anestesia, y el manejo hemodinámico intraoperatorio en respuesta a las reducciones de SctO<sub>2</sub> quedaron a discreción de los anestesiólogos. La saturación cerebral de oxígeno se midió por NIRS (monitor de oximetría cerebral INVOS 5100C; Medtronic.). Figura 2. Un sensor pediátrico se colocó a uno o ambos lados de la frente, dependiendo de la preferencia del anestesiólogo tratante y del tamaño del niño.

Se revisarán los expedientes incluyendo solo los que estén completos para el análisis, se dividirán en dos grupos de acuerdo con la variación de la oxigenación, igual o mayor al 20%, se compararán ambos grupos y se determinará si hay asociación entre el nivel de oxigenación y la presencia de complicaciones.

## **ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Con ayuda del programa estadístico JAMOV de acceso libre se realizará estadística descriptiva las variables cualitativas se reportarán como frecuencia y porcentaje, las variables cuantitativas se someterán a la prueba de normalidad de kolmogorov-smirnov, de cumplir los supuestos se reportarán como media desviación estándar de no cumplir con los supuestos se reportarán como mediana y percentil 25-75%. Se formarán dos grupos de acuerdo con la variación en la oxigenación cerebral, si es mayor o no al 20% relacionada con la basal. Se realizará análisis de las variables demográficas y

transoperatorias, la comparación entre grupos se realizará con una prueba de  $\chi^2$  o exacta de Fisher según sea el caso para las variables cualitativas. Las variables cuantitativas se compararán con la prueba de t de student si cumplen con los criterios de normalidad o U mann de Whitney en caso contrario. Se reportarán las complicaciones asociadas y se evaluará su asociación con el nivel de saturación cerebral calculando la razón de momios y su intervalo de confianza al 95%, si este intervalo no contiene a la unidad se considerará estadísticamente significativo. Todo valor de  $p < 0.05\%$  se considerará estadísticamente significativo.

## **ASPECTOS ÉTICOS**

El presente estudio está promovido por investigadores que declaran no tener conflictos de interés. Los datos que proporcione no tienen un interés comercial directo y su objetivo es avanzar en el conocimiento y tratamiento de las enfermedades cardíacas congénitas.

La realización del estudio se llevará a cabo siguiendo las recomendaciones éticas de la Declaración de Helsinki (versión 2013) y el código de Buenas Prácticas Clínicas, que evitan exponer a ningún riesgo innecesario a los sujetos participantes. Por ser un estudio donde no se realiza una intervención terapéutica se considera con un riesgo menor al mínimo.

Se realizará una carta de confidencialidad para prevenir el mal uso de los datos. (Anexo 3).

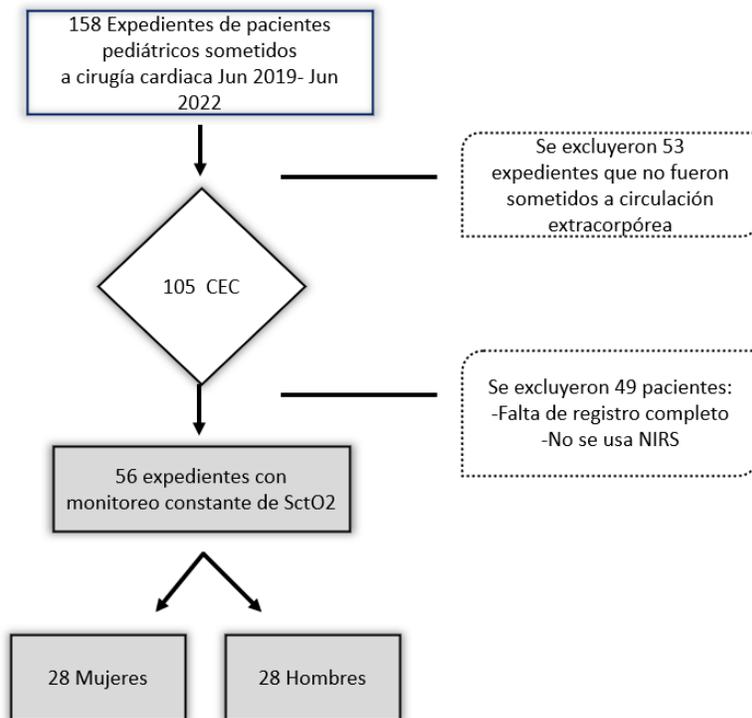
## **FINANCIAMIENTO**

No aplica.

# RESULTADOS

## Datos demográficos

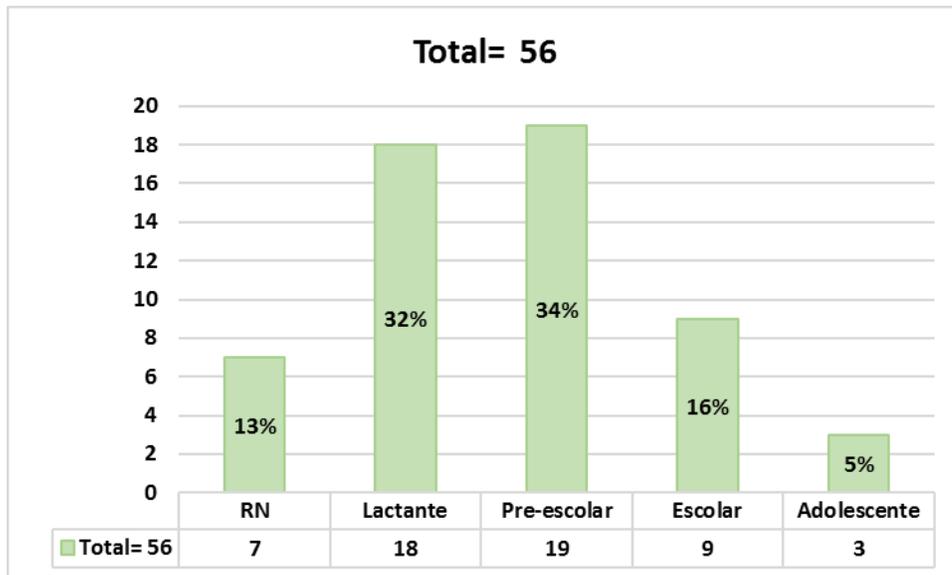
Se analizaron 158 expedientes de pacientes pediátricos sometidos a cirugía cardíaca en el periodo del 01 de junio del 2019 al 30 de junio del 2022, de los cuales se excluyeron los casos que no fueron sometidos a circulación extracorpórea, teniendo un total de 105 casos. De estos, se excluyeron 49 expedientes (46.6%) en los que no se utilizó el NIRS para el monitoreo de la oximetría cerebral, así como aquellos expedientes que no contaban con la información completa; Como resultado final se analizaron 56 expedientes, de los cuales 28 eran del sexo masculino y 28 del sexo femenino (Figura 1.)



**Figura 1. Flujograma de expedientes.**

Se clasificó a los pacientes por grupos de edad, donde se consideraron recién nacidos (RN) a los pacientes menores de 28 días, lactantes de los 29 días a los 2 años, preescolares de los 2 a los 6 años, escolares de 6 a los 11 años, y adolescentes a los mayores de 11 años, pero menores a los 18 años.

El grupo de mayor número de pacientes fue de la edad preescolar, con un total de 19 expedientes completos (34%), seguido con 18 lactantes (32%), 9 escolares (16%), 7 recién nacidos (13%) y 3 adolescentes (5%), los cuales se muestran en la figura 2.



**Figura 2. Número de pacientes por grupo.**

Las cirugías se clasificaron según el diagnóstico (tabla 1), dividiéndolas en dos grupos principales: Enfermedades congénitas del corazón (95%), y no congénitas (5%). Las enfermedades congénitas a su vez se dividieron en 4 grupos, según sus propiedades, en cianóticas o acianóticas, y en la distribución del flujo pulmonar, ya sea aumentado (A), bajo (B), o normal (N). Predominando con 20 pacientes (36%) la

enfermedad acianótica de flujo pulmonar aumentado, siendo la más común la comunicación interauricular con un total de 8 pacientes.

<i>Enfermedad</i>		<i>Total (n=56)</i>
<b>Cianótica (34%)</b>	<i>Flujo Pulmonar A</i>	12(20%)
	<i>Flujo Pulmonar B</i>	8(14%)
<b>Acianótica (61%)</b>	<i>Flujo Pulmonar A</i>	20(36%)
	<i>Flujo Pulmonar N-B</i>	14(25%)
<b>No congénita (5%)</b>		2(5%)

**tabla 1. Número de pacientes por enfermedad.**

De los 56 pacientes, se registraron 15 muertes en total (27%) y el descenso de la oximetría cerebral registrado igual o mayor al 20% fue en 27 pacientes (48%).

### **Análisis de la oximetría cerebral y su asociación con las características demográficas**

La media de saturación cerebral inicial obtenida mediante el NIRS fue de 71.3% con una desviación estándar de  $\pm 9.58$ , la media de la saturación cerebral más baja registrada fue de 53.8% con una desviación estándar de  $\pm 17.8$ , y la media del porcentaje de descenso fue de 25.5 con una desviación estándar de  $\pm 19.9$  (tabla 2).

	<i>Media</i>	<i>Desv. Est</i>
SctO2 Inicial	71.3	$\pm 9.58$
SctO2 Descenso	53.8	$\pm 17.8$
% Total Descenso	25.5	$\pm 19.9$

**tabla 2. Medias de saturación cerebral.**

En el análisis de las características demográficas (tabla 3) se tomaron como variables el género, grupo de edad, y diagnóstico (enfermedad), se vio su asociación con la desaturación cerebral mayor o igual al 20% y globalmente no muestran diferencia estadística significativa.

<b>Grupos</b>		<b>Descenso</b>		<b>Valor de P</b>
		<b>Sí (n=27)</b>	<b>No (n=29)</b>	
<b>Genero</b>	<i>M</i>	14(52%)	14(48%)	<b>0.789</b>
	<i>F</i>	13(48%)	15(52%)	
<b>Edad</b>	<i>RN</i>	5(19%)	2(7%)	<b>0.122</b>
	<i>Lactante</i>	10(37%)	8(28%)	
	<i>Pre-escolar</i>	9(33%)	10(34%)	
	<i>Escolar</i>	1(4%)	8(28%)	
	<i>Adolescente</i>	2(7%)	1(3%)	
<b>Enfermedad</b>	<i>Cia flujo Pul B</i>	4(14%)	4(14%)	<b>0.266</b>
	<i>Cia Flujo Pul A</i>	8(30%)	4(14%)	
	<i>Acia Flujo Pul A</i>	8(30%)	12(41%)	
	<i>Acia Flujo Pul N-B</i>	5(19%)	9(31%)	
	<i>No congénita</i>	2(7%)	0	

\*Variable cualitativa se reporta como frecuencia (porcentaje) comparación entre grupos  $\chi^2$

**tabla 3. Variables demográficas y su descenso en la saturación cerebral.**

### **Análisis de la asociación del descenso con las propiedades quirúrgicas**

Se comparó si el tiempo de pinzamiento (tabla 4), así como el tiempo de circulación extracorpórea (CEC) medidos en minutos, fueron determinantes en el descenso de la oximetría cerebral. Hubo diferencia estadísticamente significativa relacionada con el mayor tiempo de pinzamiento, con una media de 59.2( $\pm$ 35.2) minutos

con un valor de  $P < 0.001$  (IC 95%), el cual, representa casi el doble del tiempo de los pacientes que no presentaron descenso.

<b>Grupos</b>	<b>Descenso</b>		<b>Valor de P</b>
	<b>Sí (n=27)</b>	<b>No (n=29)</b>	
<b>Pinzamiento</b>	59.2(±35.2)	31(±15.2)	<b>0.001</b>
<b>CEC</b>	137(±222)	58.6(±35)	<b>0.068</b>

\*\*Variable cuantitativa se reporta como media (desviación estándar) comparación entre grupos t de student para grupos independientes.

**tabla 4. Variables quirúrgicas y su descenso en la saturación cerebral.**

### **Análisis de la asociación del descenso con las complicaciones post operatorias**

Se realizó la asociación de la desaturación cerebral con complicaciones post operatorias, dentro de las variables se midió en días el tiempo de estancia en los cuidados intensivos pediátricos (UTI), el tiempo de intubación en horas, y si hubo defunción en los primeros 30 días post operatorios (tabla 5).

El tiempo de intubación fue definida desde la intubación al inicio del procedimiento hasta la primera extubación (ya sea al final del procedimiento o en el área de unidad de cuidados intensivos pediátricos), no se registraron las re-intubaciones; Tampoco se registraron los reingresos a la terapia intensiva.

Los datos obtenidos en el análisis fueron estadísticamente significativos en todos los escenarios, con un menor tiempo de intubación, menor tiempo en cuidados intensivos y menor riesgo de muerte en los pacientes que no presentaron descenso mayor o igual al 20%.

<i>Grupos</i>	<i>Descenso</i>		<i>Valor de P</i>
	<i>Sí</i>	<i>No</i>	
<b>UTI</b>	9.27(±6.56)	3.69(±2.46)	<b>0.001</b>
<b>Intubación</b>	119(±68)	25.9(±38.6)	<b>0.001</b>
<b>Muerte (15)</b>	12	3	<b>0.004</b>

**tabla 5. Complicaciones postoperatorias y su descenso en la saturación cerebral.**

### **Mortalidad**

Se obtuvo el OR de muerte en 6.93 (IC 1.68-28.6) en los pacientes con descenso mayor al 20%, con un valor de P <0.004.

El grupo diagnóstico tuvo relevancia estadística, encontrando con mayor mortalidad la cardiopatía cianógena de flujo pulmonar aumentado, con un total de 7 casos (47%), dentro de ellas identificándose como principal causa la transposición de grandes vasos, teniendo un valor de P <0.025.

## **Análisis de la asociación de las variables intraoperatorias con el riesgo de muerte**

Se realizó la asociación de las medias de porcentaje de la saturación cerebral inicial, el descenso mínimo registrado, el porcentaje de descenso, el tiempo de pinzamiento expresado en minutos y el tiempo de circulación extracorpórea, con el riesgo de muerte (tabla 6). Obteniendo que la única variable que no es estadísticamente significativa para la asociación con muerte es el tiempo de circulación extracorpórea con una P mayor a 0.05. Teniendo todas las demás variables como factores pronósticos.

<b>Grupos</b>	<b>Muerte</b>		<b>Valor de P</b>
	<b>No</b>	<b>Sí</b>	
<b>ScTo2 inicial</b>	73.2(9.97)	66(9.47)	<b>0.001</b>
<b>scTo2 minima</b>	59.5(15.2)	38.2(14.6)	<b>0.001</b>
<b>% total descenso</b>	19.6(16.4)	41.7(20)	<b>0.001</b>
<b>pinzamiento</b>	34.9(18)	71(39)	<b>0.001</b>
<b>CEC</b>	86.3(64)	123(48.7)	<b>0.449</b>

**tabla 6. descenso en la saturación cerebral y su asociación con mortalidad.**

## **DISCUSIÓN**

Hasta la fecha, según la asociación americana para la recuperación temprana (ERAS) y el consenso conjunto de la Iniciativa de calidad perioperatoria (POQI), sobre el papel de la neuro monitorización en el periodo perioperatorio, no hay evidencia suficiente para recomendar el uso de oximetría cerebral intraoperatoria para reducir la mortalidad o la morbilidad después de cirugía cardíaca; y tampoco hay evidencia suficiente para mejorar los resultados después de la cirugía (5). Sin embargo, se sigue recomendando como una buena práctica.

El Hospital Regional de Alta especialidad del Bajío es de los pocos hospitales a nivel nacional que cuenta con el NIRS, además cuenta con una gran población de pacientes pediátricos candidatos a cirugía cardiovascular, por lo que se estudió de manera retrospectiva el desenlace de nuestros pacientes. La hipótesis principal de este estudio se comprobó al ver que sí existe asociación de la variación de la oximetría cerebral con complicaciones postoperatorias en pacientes pediátricos post operados de cirugía cardíaca sometidos a circulación extracorpórea.

El descenso mayor o igual al 20% comprometió al paciente a un mayor tiempo de intubación, con una media de 119 horas (5 días) en comparación a 25 horas (1 día) de los pacientes que no tienen descenso. Además, en el mismo orden, represento mayor tiempo en cuidados intensivos pediátricos, teniendo como promedio 9 días vs 3 días. Esto genera un mayor coste hospitalario tanto para los pacientes como para la institución, y es considerado como factor de riesgo para desarrollar más complicaciones asociadas a los servicios de salud, entre ellas: infecciones nosocomiales, lesiones que pueden condicionar a trastornos graves o incapacidades, cambios en el estado de ánimo (estrés, ansiedad), entre otras, disminuyendo y empeorando la calidad de vida del paciente.

Pero aún más importante se vio como un factor pronóstico de mortalidad, condicionado así al paciente con descenso a un riesgo de muerte de 6.9 veces mayor versus los pacientes que no tienen descenso en la oximetría cerebral.

Dentro de las variables, obtuvimos que el único factor con relevancia estadísticamente significativa que influyó en el descenso de la oximetría cerebral es un tiempo de pinzamiento extenso (definido con una media de 59 minutos). El tiempo de CEC, así como las variables demográficas (sexo, edad, diagnóstico) no influyeron en el descenso.

El tiempo de pinzamiento no solo se asoció a un mayor riesgo de descenso sino también a un mayor riesgo de muerte, teniendo como media 71 minutos, en los pacientes que fallecieron los primeros 30 días después de la cirugía. También el diagnóstico representa un riesgo para mayor mortalidad, teniendo la cardiopatía cianógena de flujo pulmonar aumentado, identificándose como principal causa la transposición de grandes vasos.

La saturación cerebral monitorizada desde el inicio del procedimiento es indispensable, ya que también se puede tomar como un indicador de mal pronóstico, en nuestros expedientes revisados, el promedio de la saturación cerebral de los pacientes que no presentaron complicaciones fue del 73%, en cambio los pacientes que tuvieron un peor desenlace ingresaron un basal del 66%. Asimismo, los pacientes que descendieron en general por debajo de 45%.

Por lo tanto, como afirma Gómez Pezquera (7), el cerebro podría ser un "órgano índice", que refleja la gravedad de compromiso multiorgánico en el paciente. Las observaciones sobre la SctO<sub>2</sub> basal en nuestro estudio confirman que esta afirmación podría aplicarse a pacientes pediátricos sometidos a CEC.

La fortaleza principal de nuestro estudio es que fue el primero realizado en población mexicana, y que abre una nueva brecha a investigaciones futuras.

### *Limitaciones*

Dentro de nuestras principales limitaciones encontramos que se trata de un estudio retrospectivo no aleatorizado, por lo que no provee el nivel de evidencia suficiente para establecer una recomendación, aunque observamos diferencias en relación con el porcentaje de complicaciones postoperatorias.

A pesar de contar con una muestra amplia de expedientes que se sometieron a circulación extracorpórea, en aproximadamente el 50% de los pacientes no se utilizó o no se registró el monitoreo de la oximetría cerebral con NIRS, por lo que se tuvieron que excluir la mitad de los expedientes, teniendo una N menor para los resultados. Además, no se distinguió en que hemisferio se utilizó el NIRS, o si en algún escenario se utilizó de manera bilateral.

Otra limitación importante es que todos los expedientes provinieron del mismo hospital, un estudio multicéntrico en México nos hablaría de una muestra con menor oportunidad de sesgos.

Dentro de las áreas de oportunidad de nuestro estudio podemos encontrar el desarrollar un algoritmo institucional guiado a intervenir en cuanto se detecte el descenso de la saturación cerebral, con el objetivo de mejorar el pronóstico de nuestros pacientes.

Además, se puede crear un estudio prospectivo aleatorizado con una mayor población para definir de manera más confiable los riesgos y beneficios del monitoreo continuo de la oximetría cerebral.

## CONCLUSIONES

La oximetría cerebral monitorizada mediante el NIRS es una tecnología prometedora que puede dar al médico información sobre la oxigenación de los vasos arteriales, capilares y sangre venosa en una región específica del cerebro, de manera no invasiva.

Aunque aún falta evidencia, recomendamos el uso del NIRS intraoperatorio debido a su capacidad demostrada para detectar eventos potencialmente catastróficos asociados a la mala perfusión cerebral.

En pacientes pediátricos sometidos a cirugía cardíaca, los descensos de SctO<sub>2</sub> durante el periodo transoperatorio, se asocian con complicaciones postoperatorias, aumentando a la vez la mortalidad.

El descubrimiento de una complicación asociada a la desaturación de la oximetría cerebral durante el periodo perioperatorio puede estar fuera de la ventana de tratamiento, lo que hace que la prevención sea un enfoque importante.

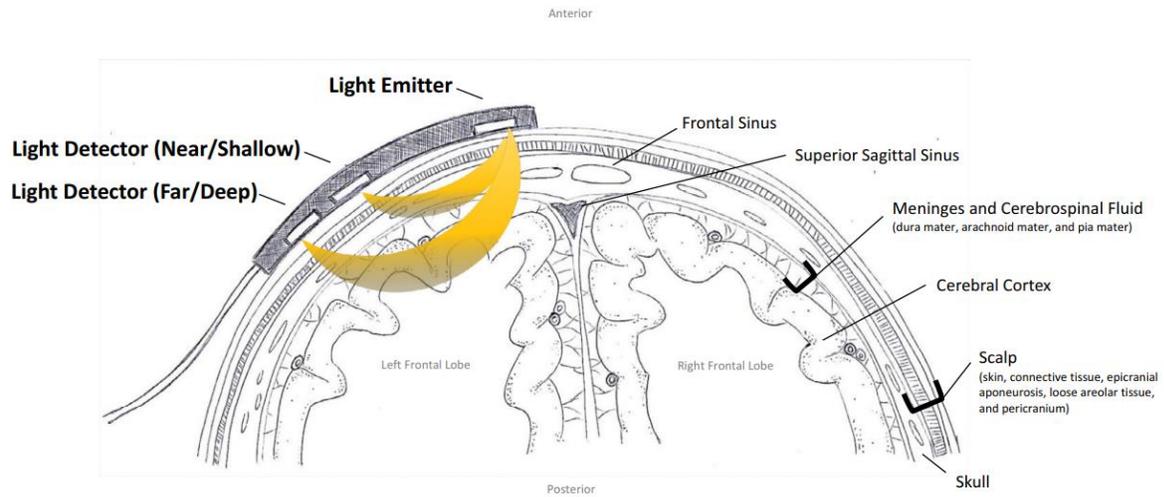
Es necesario crear de manera institucional un algoritmo intervencionista guiado por oximetría cerebral para identificar y guiar el manejo de mala perfusión cerebral, con el objetivo de reducir el riesgo de complicaciones postoperatorias.

El propósito del presente estudio es abrir una brecha en el conocimiento y dejar un precedente para la publicación de estudios similares.

# ANEXOS

2

K.L. Zaleski and B.D. Kussman / Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia 00 (2019) 1–12



**Anexo 1. Emisión de espectroscopia con NIRS.**



**Anexo 2. monitor de oximetría cerebral INVOS 5100C; Medtronic.**

## CARTA DE CONFIDENCIALIDAD

León, Guanajuato a 22 de Julio de 2022

Yo Alejandra Cristina Alemán Castro médico residente del curso de Anestesiología del Hospital Regional de Alta Especialidad del Bajío, hago constar, en relación al proyecto de investigación titulado: "Asociación de la variación de la oximetría cerebral con complicaciones postoperatorias en pacientes pediátricos post operados de cirugía cardiaca sometidos a circulación extracorpórea." me comprometo a resguardar, mantener la confidencialidad y no hacer mal uso de los documentos, expedientes, reportes, estudios, actas, resoluciones, oficios, correspondencia, acuerdos, contratos, convenios, archivos físicos y/o electrónicos de información recabada, estadísticas o bien, cualquier otro registro o información relacionada con el estudio mencionado a mi cargo, así como a no difundir, distribuir o comercializar con los datos personales contenidos en los sistemas de información, desarrollados en la ejecución del mismo. Estando en conocimiento de que en caso de no dar cumplimiento se procederá acorde a las sanciones civiles, penales o administrativas que procedan de conformidad con lo dispuesto en la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública Gubernamental, la Ley Federal de Protección de Datos Personales en Posesión de los Particulares y el Código Penal del Distrito Federal, y sus correlativas en las entidades federativas, a la Ley Federal de Protección de Datos Personales en Posesión de los Particulares, y demás disposiciones aplicables en la materia.

Atentamente

Dra. Alejandra Cristina Alemán Castro Médico Residente del Curso de Anestesiología/ Autor del proyecto.

Dr. Salvador Hernández Bautista  
Asesor de tesis

Dr. Edgard Lozada Hernández  
Asesor de tesis

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Secretaría de Salud México. Al año nacen en México entre 12 mil y 16 mil infantes con afecciones cardíacas. Comunicado de secretaria de Salud. 2022 Feb 14;1–2.
2. Simons J, Sood ED, Derby CD, Pizarro C. Predictive value of near-infrared spectroscopy on neurodevelopmental outcome after surgery for congenital heart disease in infancy. *Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*. 2012 Jan;143(1):118–25.
3. Flechet M, Güiza F, Vlasselaers D, Desmet L, Lamote S, Delrue H, et al. Near-infrared cerebral oximetry to predict outcome after pediatric cardiac surgery: A prospective observational study. *Pediatric Critical Care Medicine*. 2018 May 1;19(5):433–41.
4. Spector LG, Menk JS, Knight JH, McCracken C, Thomas AS, Vinocur JM, et al. Trends in Long-Term Mortality After Congenital Heart Surgery. *J Am Coll Cardiol*. 2018 May 29;71(21):2434–46.
5. Noss C, Prusinkiewicz C, Nelson G, Patel PA, Augoustides JG, Gregory AJ. Enhanced Recovery for Cardiac Surgery. Vol. 32, *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*. W.B. Saunders; 2018. p. 2760–70.
6. Barry AE, Chaney MA, London MJ. Anesthetic Management during Cardiopulmonary Bypass: A Systematic Review. Vol. 120, *Anesthesia and Analgesia*. Lippincott Williams and Wilkins; 2015. p. 749–69.
7. Gómez-Pesquera E, Poves-Alvarez R, Martínez-Rafael B, Liu P, Alvarez J, Lorenzo-López M, et al. Cerebral Oxygen Saturation and Negative Postoperative Behavioral Changes in Pediatric Surgery: A Prospective Observational Study. *Journal of Pediatrics*. 2019 May 1;208:207-213.e1.
8. Thiele RH, Shaw AD, Bartels K, Brown CH, Grocott H, Heringlake M, et al. American society for enhanced recovery and perioperative quality initiative joint consensus statement on the role of neuromonitoring in perioperative outcomes: Cerebral near-infrared spectroscopy. Vol. 131, *Anesthesia and Analgesia*. Lippincott Williams and Wilkins; 2020. p. 1444–55.
9. Checketts MR, Alladi R, Ferguson K, Gemmell L, Handy JM, Klein AA, et al. Recommendations for standards of monitoring during anaesthesia and recovery 2015: Association of Anaesthetists of Great Britain and Ireland. Vol. 71, *Anaesthesia*. Blackwell Publishing Ltd; 2016. p. 85–93.
10. Zaleski KL, Kussman BD. Near-Infrared Spectroscopy in Pediatric Congenital Heart Disease. Vol. 34, *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*. W.B. Saunders; 2020. p. 489–500.
11. Desmond FA, Namachivayam S. Does near-infrared spectroscopy play a role in paediatric intensive care? *BJA Education*. 2016 Aug 1;16(8):281–5.
12. Rao A, Gourkanti B, van Helmond N. Near-Infrared Spectroscopy Monitoring in Pediatric Anesthesiology: A Pro-Con Discussion. *Cureus*. 2021 Mar 14;
13. Kussman BD, Laussen PC, Benni PB, McGowan FX, McElhinney DB. Cerebral oxygen saturation in children with congenital heart disease and chronic hypoxemia. *Anesthesia and Analgesia*. 2017 Jul 1;125(1):234–40.

14. Heringlake M, Garbers C, Med C, Kä JH, Anderson I, Heinze H, et al. Preoperative Cerebral Oxygen Saturation and Clinical Outcomes in Cardiac Surgery [Internet]. 2010. Available from: <http://pubs.asahq.org/anesthesiology/article-pdf/114/1/58/252305/0000542-201101000-00020.pdf>
15. Curle I, Gibson F, Hyde J, Shipolini A, Smith D, van Besouw JP, et al. Recommendations for Standards of Monitoring and Safety during Cardiopulmonary Bypass (CPB) Membership of the working party (2007) [Internet]. Available from: [www.scps.org.uk](http://www.scps.org.uk)
16. Wong JJM, Chen CK, Moorakonda RB, Wijeweera O, Shuen Tan TY, Nakao M, et al. Changes in near-infrared spectroscopy after congenital cyanotic heart surgery. *Frontiers in Pediatrics*. 2018;6.
17. Ortega-Loubon C, Herrera-Gómez F, Bernuy-Guevara C, Jorge-Monjas P, Ochoa-Sangrador C, Bustamante-Munguira J, et al. Near-infrared spectroscopy monitoring in cardiac and noncardiac surgery: Pairwise and network meta-analyses. *Journal of Clinical Medicine*. 2019 Dec 1;8(12).
18. Engelman DT, ben Ali W, Williams JB, Perrault LP, Reddy VS, Arora RC, et al. Guidelines for Perioperative Care in Cardiac Surgery: Enhanced Recovery after Surgery Society Recommendations. Vol. 154, *JAMA Surgery*. American Medical Association; 2019. p. 755–66.
19. Durandy Y, Rubatti M, Couturier R. Near Infrared Spectroscopy during pediatric cardiac surgery: Errors and pitfalls. *Perfusion*. 2011 Sep;26(5):441–6.
20. Flechet M, Güiza F, Scharlaeken I, Vlasselaers D, Desmet L, van den Berghe G, et al. Near-Infrared–Based Cerebral Oximetry for Prediction of Severe Acute Kidney Injury in Critically Ill Children After Cardiac Surgery. *Critical Care Explorations*. 2019 Dec;1(12):e0063.
21. Kurth CD, Levy WJ, McCann J. Near-infrared spectroscopy cerebral oxygen saturation thresholds for hypoxia-ischemia in piglets. *J Cereb Blood Flow Metab* 2002;22:335–41.