

Artículo original

Monitorización de oxigenación cerebral en pacientes sometidos a cirugía cardiovascular

Monitoring of cerebral oxygenation in patients undergoing cardiovascular surgery

¹Yépez-Jiménez Gerardo. ¹Médico Residente de la especialidad de Anestesia Cardiovascular. UMAE Hospital General “Dr. Gaudencio González Garza” del CMN “La Raza” IMSS. CDMX. ²Dosta-Herrera Juan José. ²Profesor Titular del Curso de Alta Especialidad en Anestesia Cardiovascular (UNAM). UMAE Hospital General “Dr. Gaudencio González Garza” del CMN “La Raza” IMSS. ³Gómez Leandro Isis Ixtacchiuatl. Médico Adscrito Anestesia Cardiovascular del Hospital General “Dr. Gaudencio González Garza” del CMN “La Raza” IMSS.

tutankamonhorus@hotmail.com

Fecha de recepción: julio 2019

Fecha de aceptación: septiembre 2019

Fecha de publicación: marzo 2020

Resumen

Objetivo. Aplicar la monitorización de oxigenación cerebral en pacientes sometidos a cirugía Cardiovascular.

Material y métodos: Se realizó un estudio observacional, prospectivo, longitudinal, no cegado en 50 pacientes sometidos a cirugía cardiovascular con bomba de circulación extracorpórea (BCE). Utilizamos la monitorización de oxigenación cerebral (NIRS) durante la cirugía, valorando el porcentaje de saturación en diferentes momentos basal, inducción, *esternotomía*, entrada y salida de BCE utilizando medidas de tendencia central y de dispersión a través del programa SPSS v. 20.

Resultados: hombres 37 (74%), mujeres 13 (26%), edad promedio de 60 años. Empuñadura aórtica y bomba de circulación extracorpórea (BCE) 75,3 minutos, mínimo 0 minutos y máximo 197. Cirugías realizadas: revascularización miocárdica 28 (54,9%), cambio de válvula aórtica (VAo) 9 (17,6%), revascularización miocárdica con VAo 5 (9,8%) cambio, trasplante de corazón 3 (5,9%), cambio de válvula mitral 2 (3,9%), otros procedimientos 3 (5,9%). Sangrado máximo / mínimo

3.000 / 200 ml. El promedio basal / inducción / esternotomía / saturación de oxígeno del BCE (NIRS), 65.76 / 69.5 / 69.50 / 71.92 / 69.22%, sin diferencias estadísticas significativas. **Conclusiones** La saturación regional de oxígeno cerebral ayudó a prevenir las lesiones por hipotensión sanguínea durante la cirugía, evitando la desaturación profunda del cerebro durante y después del procedimiento quirúrgico.

Palabras clave: Monitorización de oxigenación cerebral, cirugía cardiovascular, bomba de circulación extracorpórea.

Abstract

Objective. Apply brain oxygenation monitoring in patients undergoing cardiovascular surgery. **Material and methods:** An observational, prospective, longitudinal, non-blinded, observational study was conducted in 50 patients undergoing cardiovascular surgery with extracorporeal circulation pump (ECB). We use brain oxygenation monitoring (NIRS) during surgery, assessing the percentage of saturation at different basal



times, induction, sternotomy, ECB input and exit using central trend and dispersion measurements across the SPSS v. 20 program. **Results:** Men 37 (74%), women 13 (26%), average age of 60 years. Aortic grip and extracorporeal circulation pump (ECB) 75.3 minutes, minimum 0 minutes and maximum 197. Surgeries performed: Myocardial revascularization 28 (54.9%), aortic valve change (VAo) 9 (17.6%), myocardial revascularization with VAo 5 (9.8%) change, heart transplant 3 (5.9%), mitral valve change 2 (3.9%), other procedures 3(5.9%). Maximum/minimum bleeding 3,000/200 mL. The average basal/induction/sternotomy/ECB oxygen saturation (NIRS), 65.76/69.5/69.50/71.92/69.22%, without significant statistical differences. **Conclusions.** Regional brain oxygen saturation helped prevent blood hypotension injuries during surgery, preventing deep brain desaturation during and after the surgical procedure.

Keywords: Monitoring of cerebral oxygenation, cardiovascular surgery, cardiopulmonary bypass.

Introducción

La cirugía cardiovascular (CC) llegó a ser factible a finales de 1930 y principios de 1940 con el desarrollo de la bomba de circulación extracorpórea (BCE) por el Dr. Alexis Carrel y Charles Lindbergh, en sus inicios se realizaron cirugías como cierre de ducto persistente, reparación de coartación aortica, comisurotomía mitral y cierre de los defectos atrio septales con el uso de hipotermia. En el año 1953 John Gibbons Jr, fue el primero en realizar la cirugía cardíaca con *bypass cardiopulmonar* habilitado cuyo objetivo es mantener la perfusión del cerebro y de otros órganos, proporcionar un campo quirúrgico adecuado al cirujano, mantener la termorregulación de los órganos, proporcionar soporte de protección miocárdica y pulmonar durante la CC (1,2).

En CC con BCE existen efectos negativos como: *Respuesta inflamatoria sistémica* desencadenando una reacción sistémica y lesión de isquemia-reperfusión con liberación de endotoxinas que junto con las pérdidas sanguíneas y la hipotermia contribuyen de manera

directa afectando diferentes órganos y sistemas durante y después de la BCE como el *corazón* sufriendo arritmias, *cerebro* sufriendo daños por embolia cerebral por placas ateroscleróticas, aire, grasa, agregados plaquetarios presentando el paciente manifestaciones clínicas como desarrollo de déficits neurológicos focales, estupor o coma, deterioro de la función neurológica e intelectual (3,4). Los efectos cognitivos adversos se presentan en un 33-83% (3). A nivel *renal* el 30% de los pacientes desarrollan falla renal aguda. En el aparato respiratorio más del 20% de los pacientes después de cirugía cardíaca necesitará ventilación mecánica por 48 horas (3).

Las *complicaciones neurológicas* tras cirugía cardíaca tienen una incidencia entre el 3 y 6% (3). Constituyen una de las más graves y mayores índices de morbimortalidad postoperatoria. El período postoperatorio inmediato de cirugía cardíaca tiene una incidencia elevada de trastornos neurológicos. En pacientes coronarios se han dividido en *tipo I* (isquemia cerebral, estupor, coma) y *tipo II* (deterioro intelectual, pérdida de memoria, convulsiones sin evidencia de daño focal) (5). El neuromonitoreo es de suma importancia porque la condición del daño neurológico del paciente cambia constantemente teniendo resultados sobre su evolución. Los métodos que existen para medir y monitorear la función neurológica han evolucionado considerablemente en los años recientes y ahora juegan un papel importante en la evaluación y manejo de los pacientes con lesión cerebral (6-7).

El método no invasivo, que mide la saturación cerebral basado en la *reflectancia* de la oximetría y mide la luz reflejada desde los *cromóforos* en el cerebro (hemoglobina) para derivar la saturación de oxígeno regional (rSO_2), en sangre arterial y venosa (NIRS). También se conoce como oximetría cerebral por sus siglas en inglés de *nearinfraredspectroscopy*, espectroscopia en la cercanía del espectro infrarrojo. Sin embargo, la mayoría de las señales del NIRS son de origen venoso el cual contribuye a aproximadamente el 70% del volumen sanguíneo intracraneal, es decir que se basa en el hecho de que la hemoglobina oxigenada absorbe menos luz roja (600-750 nm) y más luz infrarroja (850-1000nm) (12), que la hemoglobina desoxigenada.

Los datos son recogidos cada 10 segundos. Es decir, recoge la saturación de la hemoglobina en todo el lecho tisular, incluyendo una mezcla de sangre arterial, venosa y tejido cerebral. Los valores obtenidos dependen de variables que influyen el equilibrio entre la oferta y la demanda de oxígeno cerebral. Como resultado la hemoglobina desoxigenada tiene un pico de absorción de 740 nm que la oxigenada no tiene. Entre los factores que pueden modificar la saturación de oxígeno regional cerebral destacan: la presión arterial media, la oxigenación sistémica, la capacidad de transporte de O₂ por la hemoglobina, la presión parcial de CO₂, factores mecánicos, factores que afectan al aporte y consumo de O₂, la temperatura, profundidad anestésica, y la presencia de actividad comicial. Los valores normales de rSO₂ son de 60-80 % y un valor límite para isquemia del 47% (7-11,13).

De esta manera se puede medir la fracción de hemoglobina oxigenada, empleando ambas longitudes de onda a nivel cerebral. Los valores obtenidos dependen de las variables que influyen el equilibrio entre la oferta y la demanda de oxígeno cerebral (8). Los datos son recogidos cada 10 segundos (8-9). La SrcO₂ mide tanto las señales pulsátiles como las no pulsátiles de forma continua. Es decir, recoge la saturación de la hemoglobina en todo el lecho tisular, incluyendo una mezcla de sangre arterial, venosa y tejido cerebral. La luz infrarroja penetra en todos los tejidos y es necesario diferenciar entre los valores obtenidos del tejido cerebral y los del hueso y partes blandas (8).

Los sensores se colocan en la frente del paciente, a ambos lados de la línea media, evitando el seno sagital superior, previa limpieza de la piel con una solución alcohólica. La zona que se monitoriza es la región profundida por las arterias cerebrales media y anterior. Como en el cerebro el ratio de sangre venosa y arterial es 85% a 15% (75%-25%), la saturación regional cerebral de oxígeno mide más bien la saturación cerebral venosa, reflejando el balance entre aporte y demanda cerebral (14,8). Respecto a los límites más frecuentemente usados en la literatura, un descenso del 15-20%, respecto al valor basal, parece ser el umbral con el que se puede indicar un evento isquémico cerebral (8). La saturación basal es el valor inicial de la saturación regional cerebral

de oxígeno y sobre él se comparan los siguientes valores. Dicho valor se obtiene con el paciente en decúbito supino, en reposo y antes de ser anestesiado. Es importante comprobar que no existe asimetría en los valores basales, para poder detectar inmediatamente cualquier causa que pueda provocarla. Se considera anormal una asimetría basal de más 10 puntos (8), hay algunos autores que prefieren no emplear un umbral relativo y han fijado el límite de la saturación regional cerebral de oxígeno con un número absoluto (por debajo del 50%) (15,8). Poco a poco sus indicaciones han ido ampliando en otros campos quirúrgicos, sobre todo con la idea de poder predecir isquemias cerebrales debidas a un desbalance entre aporte y demanda de oxígeno.

Los pacientes de edad avanzada con comorbilidades asociadas tienen mayor riesgo de eventos vasculares cerebrales y complicaciones perioperatorias (19). Así pues, la Diabetes Mellitus DM (2) y la edad avanzada son factores predictores para la desaturación cerebral de oxígeno prolongada (21) A la vez se han reportado estudios en los que se ha demostrado disminución del deterioro cognitivo después de la CC con la utilización de métodos no invasivos como el neuromonitoreo de la oxigenación cerebral el cual reporta mejores resultados en el manejo del paciente (22).

El objetivo de este estudio es aplicar la monitorización de la oxigenación cerebral en pacientes sometidos a CC con BCE, ya que el NIRS (siglas en inglés *Near Infrared Spectroscopy*) puede identificar períodos de desaturación cerebral en CC, que pueden estar relacionados con mal resultado en cuanto a lesión neurológica postoperatoria.

Material y métodos.

Previo autorización y aprobación por el comité local de Investigación y Bioética del Hospital General "Dr. Gaudencio González Garza" del Centro Médico Nacional "La Raza", y con el consentimiento informado de los pacientes, se realizó un estudio experimental, prospectivo, longitudinal, no cegado para evaluar la aplicación de la monitorización de oxigenación cerebral durante la cirugía cardiovascular. Los pacientes que ingresaron al estudio fueron: Pacientes ASA II - ASA IV. Programados de forma electiva sometidos a cirugía

cardiovascular con circulación extracorpórea. Pacientes entre 18-70 años, de ambos géneros. Se eliminaron aquellos pacientes con antecedentes de enfermedad del SNC previa al procedimiento quirúrgico. Se calculó el tamaño de la muestra conforme a el total de cirugía cardiaca con circulación extracorpórea realizada en el año 2015 en pacientes con criterios para este protocolo dándonos una (N=294). Se estimó que aproximadamente el tamaño muestral puede ser de 50 pacientes.

Previo elección de paciente mediante la captación en sesión médico quirúrgica, revisión de expediente, valoración anestésica se invitó a participar a los pacientes mayores de 18 años de edad que cumplieron con los criterios de elegibilidad de la presente investigación.

Se realizó monitoreo preoperatorio no invasivo: Presión arterial (PA) no Invasiva, electrocardiograma (ECG) continuo, pulso oximetría (PO). Signos vitales como tensión arterial, frecuencia cardiaca, presión arterial media, saturación de oxígeno al ingreso a quirófano. Se colocaron parches de sensores BIS para medir porcentaje basal y NIRS basal al inicio de la cirugía.

La técnica anestésica empleada fue con anestesia general. Se oxigenó con mascarilla facial por cinco minutos a litros por minuto. Sedación con midazolam 30 µg/kg de peso. Se procedió a canular arteria radial izquierda con técnica de *Seldinger* y aplicación de lidocaína local o en caso de tener dificultad arteria radial derecha para monitoreo invasivo inicial tomando la PA basal y así mismo el Inducción con *etomidato* 0.3 mg/kg., fentanilo dosis de 4 µg/kg de peso. Relajación vecuronio 110 µg/kg de peso y en caso de alteración renal *cisatracurio* a 120 µg/kg de peso. La maniobra de laringoscopia fue de acuerdo a técnica convencional y número de tubo endotraqueal fue de acuerdo a características del paciente. Una vez que el paciente se encontró bajo anestesia general se puso en posición para la colocación de catéter venoso central *Pre Sep Edwards No. 8.5* vía subclavia derecha y en caso de presentar dificultades técnicas se optó por otra vía como subclavio izquierdo o yugular interno derecho. Se tomó a la vez la saturación venosa continua (SVC_{O₂}) basal y en los diferentes momentos durante la cirugía. El mantenimiento fue de acuerdo con las características del

paciente utilizando Sevoflurane a 1 CAM, relajante muscular a dosis correspondiente, opioide a dosis de 5-15 µg/kg por hora en perfusión continua. Una vez iniciado el procedimiento se tomaron las basales iniciales de todo el tipo de monitoreo incluyendo el NIRS así como al momento de la inducción, al momento de la esternotomía, a la entrada a derivación cardiopulmonar, a la salida de derivación cardiopulmonar y misceláneos. Al momento de terminarse la cirugía se procedió a retirarse el monitoreo correspondiente se procedió a retiro de monitoreo que no sea necesario dándose por terminado el procedimiento y traslado del paciente a unidad de cuidados postquirúrgicos de cirugía de corazón.

Resultados

Se estudiaron un total de 50 pacientes. El promedio de edad fue de 60 años, con una edad máxima de 76 años y una mínima de 31 años. El peso promedio fue de 69,89 kg, con un máximo de 102 kg y un mínimo de 45 kg. En cuanto al sexo 13 (26%) fueron del sexo femenino y 37(74%) fueron del sexo masculino. ASA III 98% y ASA IV 2%. (Tabla 1).

Tabla 1: características demográficas

| | Edad | Talla | Peso |
|----------------------|--------|--------|--------|
| Variable | 50 | 50 | 50 |
| Media | 60,06 | 161,94 | 69,86 |
| Diastólica/sistólica | 10,029 | 8,679 | 13,595 |
| Mínima | 31 | 130 | 45 |
| Máxima | 76 | 177 | 102 |

En relación al tiempo de pinzamiento aórtico (pAo) obtuvimos una media/mínimo/máximo de 75,3/0/197 minutos. En el tiempo de derivación cardio-pulmonar (DCP) obtuvimos 126,36/45/255 minutos. En la cantidad de sangrado tuvimos 763,46/200/3,000 mL respectivamente. (Tabla 2).

Las cirugías realizadas: Revascularización miocárdica 28 (54.9%), cambio valvular aórtico 9(17.6%), revascularización miocárdica con cambio valvular aórtico 5(9.8%), trasplante cardiaco 3(5.9%), cambio valvular mitral 2(3.9%), otros procedimientos 3(5.9%). (Tabla 3).

| Tipo de cirugía | Número | % |
|--|--------|------|
| Revascularización | 28 | 54,9 |
| Otros | 3 | 5,9 |
| Cambio valvular aórtico | 9 | 17,6 |
| Cambio válvula mitral | 2 | 3,9 |
| Revascularización y cambio válvula aortica | 5 | 9,8 |
| Trasplante cardiaco | 3 | 5,9 |
| Total | 50 | 50 |

Los datos basales una media/mínimo/máximo para PAM de 100, 36/70/155 mm Hg. El IC de 2,65/1,4/5,3 l/min/m². La SO₂ con 94,44/80/100%. La SvO₂ con 79,50/60/94 %. El NIRS con 65.76/23/82%. El BIS con 93.44/80/100 % respectivamente. En los datos de inducción una media/mínimo/máximo para PAM de 79,04/41/135 mm Hg. El IC con 2,55/1,2/4,3 l/min/m². La SO₂ con 98,26/90/100%. La SvO₂ con 80,76/67/96%. El NIRS con 69,5/57/88%. El BIS con 47,30/39/90% respectivamente. Los datos a la esternotomía fueron con una media/mínimo/máximo para PAM 75,18/51/107mmHg. El IC con 2,73/1,3/4,60 L/min/m². La SO₂ de 98,36/95/100%. La SvO₂ de 82,40/70/96%. Los valores medios de NIRS fueron de 71.92%, con un mínimo de 56% y un máximo de 91%, Intervalo de confianza al 95, (56-91).

El BIS con 42,66 /31/56% respectivamente. Los datos encontrados a la entrada a DCP fueron de una media/mínimo/máximo para PAM con 55,66/28/100 mm Hg. SvO₂ de 86,08/67/97%.

Los datos a la salida de DCP con media/mínimo/máximo para PAM de 71,72/35/97 mm Hg. Para IC de 2,92/1,6/4,80 l/min/m². La SO₂ de 98,3/93/100 %. La SvO₂

Tabla 2: Pinzado aortico, Dcp y sangrado

| | Pinzado Aortico (min) | Dcp (min) | Sangrado (mL) |
|----------------------|-----------------------|-----------|---------------|
| Número | 50 | 50 | 50 |
| Media | 75,30 | 126,36 | 763,46 |
| Diastólica/sistólica | 36,675 | 46,954 | 512,952 |
| Mínimo | 0 | 45 | 200 |
| Maximo | 197 | 255 | 3000 |

Dcp = derivación cardiopulmonar.

de 82,86/68/96%. El NIRS de 69, 22/46/88 %. El BIS de 44,90/25/64 %.

En la comparación de la NIRS basal con la prueba de Chi cuadrada con los diferentes momentos, encontramos a la inducción con un valor 485,147 con una p= 0.220, la cual no fue estadísticamente significativo. A la estereotomía encontramos un valor de 496, 280 con una p= 0.613, sin significancia estadística. En la comparación de la NIRS basal con la entrada a DCP, encontramos un valor de Chi cuadrada de 594,742, con una p=0,091, aun sin significancia estadística. La comparación de NIRS basal con la NIRS de salida de DCP, encontramos un valor de 674, 425 y una p= 0.154, tampoco fue estadísticamente significativa.

Discusión

El NIRS es método utilizado para valorar la perfusión tisular de oxígeno en la corteza cerebral, representa un balance entre la oferta y la demanda de oxígeno cerebral. Si la saturación de oxígeno cerebral disminuye a cifras críticas, la función cognitiva se puede también ver afectada en el postoperatorio (15). La conciencia intraoperatoria con recuerdo, se refiere a los casos en donde existe inconsciencia, y recuerdo explícito postoperatorio de eventos operativos. Si bien es una complicación rara, puede ser potencialmente devastadora (15).

La oximetría cerebral durante la circulación extracorpórea en cirugía cardiaca, puede identificar periodos vulnerables, que los anestesiólogos deben percatarse. Se han identificados varios factores predictores de complicaciones cognitivas como: Diabetes Mellitus, severidad y duración de la cirugía cardiaca, historia de enfermedad neurológica previa (4).



Un ejemplo claro de la utilidad del NIRS es en pacientes sometidos a CC, especialmente en pacientes con cardiopatías en proceso de reparación quirúrgica, **(19)**. Las complicaciones relacionadas con afección del sistema nervioso central son las más importantes **(16)**. La observación de una desaturación con monitorización de NIRS en el transanestésico, han disminuido tanto los déficits cognitivos postoperatorios como la estancia hospitalaria, al permitir tomar acciones para su corrección oportuna en tiempo real **(16)**.

Los resultados de *Emily de Tournay-Jette et al (2011)*, mostraron, que un 80% de los pacientes presentaron déficits cognitivos a la semana de postoperatorio y un 38% más tardíos. Además, observaron que existía relación entre desaturación (saturación regional cerebral de oxígeno < 50%) y disminución del índice neurocognitivo a la semana siguiente. Concluyeron que una disminución del 30% de la saturación regional cerebral de oxígeno con respecto al valor basal, se asoció a déficit cognitivo severo al mes **(19)**.

En el reporte de Kennet Brady et al, en el **(2010)** demostraron que la monitorización de la oxigenación cerebral continua, en pacientes sometidos a CC con DCP puede prevenir lesiones por hipoxia e hipotensión severa durante el transanestésico **(23)**. La fisiopatología de estos cuadros clínicos no está del todo aceptada, sin embargo, la mayoría de los autores justifican estos hallazgos, en el contexto de isquemia cerebral por disminución del gasto cardiaco transanestésico, de la presión arterial media y de la presión de perfusión cerebral ocasionado probablemente al hecho de que los pacientes estén sometidos a una anestesia general, que conlleva a vasodilatación farmacológica y atenuación de la respuesta del sistema nervioso autónomo **(19)**. En el presente estudio no tuvimos complicaciones durante el transanestésico en ningún caso, por trastornos hipóxicos y de trastornos de comportamiento por déficit cognitivos postoperatorios.

Colak Z et al en el (2012) demostró que los pacientes sometidos a procedimientos de CC presentaron mayor posibilidad de desaturación prolongada de oxígeno, probablemente porque la hemodinamia en CC cambia repentinamente de acuerdo al momento quirúrgico,

compartiendo las causas con el procedimiento con la DCP. En el presente estudio tuvimos variaciones hemodinámicas en la tensión arterial media de 71.92% con un mínimo de 56% y un máximo de 91%, pero en ningún momento disminuyó a la tensión arterial a menos del 30% con respecto al valor inicial.

Kok WF et al **(2014)**, y *Colak Z. et al en el (2015)* demostraron que el neuromonitoreo con NIRS estuvo asociado con menor incidencia de déficit cognitivo. En un estudio de 60 pacientes sometidos a CC con y sin bomba. Encontraron tres meses después, que el 39% de los pacientes tuvieron disfunción neurocognitiva en aquellos sometidos a DCP y 14% en el grupo de pacientes que no recibieron DCP **(18)**.

Las maniobras realizadas al disminuir la saturación de oxígeno fueron incrementar la fracción inspirada de oxígeno (FiO₂), si la presión arterial media disminuyó por debajo del 20% con respecto a los valores de base utilizamos vasopresores. Las modificaciones de la presión parcial de CO₂ se corrigieron haciendo los ajustes correspondientes, ya que una hipocapnia disminuye el flujo sanguíneo cerebral y una hipercapnia aumenta el flujo sanguíneo cerebral y la saturación regional de oxígeno. Lo mismo ocurrió con la corrección del hematocrito, evitar la hipertermia porque que está relacionada con aumento del consumo de todos los fármacos y por ende disminución de la saturación regional de oxígeno. Los valores medios de saturación regional cerebral de oxígeno en el estudio actual fueron considerados como normales, lo cual garantizó una función cognitiva loable postquirúrgica **(22)**.

Sin embargo, una de las limitaciones del NIRS, es la dificultad para establecer un umbral universal debido a la gran variabilidad individual de patologías. Otro tipo de limitaciones es que, puede fallar a la hora de detectar zonas de isquemias alejadas al lugar de colocación de los sensores. Cuando los sensores se colocan por ejemplo en la zona frontal del paciente, el sensor no será capaz de demostrar la saturación regional cerebral de oxígeno en otras áreas del cerebro, como por ejemplo los lóbulos occipitales.



Conclusión

La medición continua y en tiempo real de la saturación regional cerebral de oxígeno, es una herramienta prometedora en la predicción de déficits neuropsicológicos en CC. Porque proporciona datos para tomar decisiones rápidas y oportunas cumpliendo con las metas y objetivos hemodinámicas correspondientes en tiempo real. Sin embargo, todavía la metodología de medición del NIRS presenta ciertas limitaciones, que debemos conocer para poder interpretar correctamente la información que nos provee.

Referencias

1. Stoney William S. Evolution of cardiopulmonary bypass. Historical perspectives in cardiology. *Circulation* 2009;119:2844-2853.
2. Gorav Ailawadi, Richard K Zacour. Circulación extracorpórea, oxigenación con membrana extracorpórea y derivación cardíaca izquierda: Indicaciones, técnicas y complicaciones. *Surg Clin N Am* 2009;89:781-796.
3. Steidl Shamon. The adverse effects of the cardiopulmonary bypass machine. *Liberty University* 2011;1-35.
4. Suárez-Gonzalo L, García de Lorenzo A. Suárez-Alvarez Jr. Neurological lesions during extracorporeal circulation: Physiopathology, monitoring and neurological protection. *Med Intensiva* 2002;26:292-303.
5. López-Álvarez A et al. Neurological disorders after cardiac surgery: Diagnosis of cerebral tumors in the postoperative period. *Rev Esp Anesthesiol Reanim* 2014;61(9):509-512.
6. Stocchetti Nino *et al.* Clinical Review: Neuromonitoring an update. *Critical Care* 2013;17:1-13.
7. Mahajan Charu, Prasad Rath Girija, and Kumar Bithal Parmod. Advances in neuro-monitoring. *Anesth Essays Res* 2013;7(3): 312–318.
8. Valencia-Sola L, Santana-Suárez RY, Navarro-Navarro R. Navarro-García R. Barahona D. Saturación regional cerebral de oxígeno. *Canarias Medica Quirurgica* 2011:56-60.
9. Fei Zheng et al. Cerebral near-infrared spectroscopy (NIRS) monitoring and neurologic outcomes in adult cardiac surgery patients and neurologic outcomes: A systematic review. *Anesth Analg.* 2013;116(3):1-22.
10. Diop M, Elliott TL, Ting-Yim L, Lawrence KST. Towards non-Invasive bedside monitoring of cerebral blood flow and oxygen metabolism in brain-Injured patients with near-infrared spectroscopy. *imaging division. ResearchGate* 2012;1-19.
11. Pellicer A, Bravo MC. Near-infrared spectroscopy: A Methodology-focused review. *Seminars in Fetal and Neonatal Medicine* 2011;16: 42-49.
12. Gersten A, Perle J, Raz Amir, Fried Robert. Probing brain oxygenation with near infrared spectroscopy. *Neuro Quantology* 2011;7(2):256-266.
13. Marimón Gilma A. Dockery W. Keith, Sheridan Michael J. ScD, Agarwal Swati. Near-infrared spectroscopy cerebral and somatic (Renal) oxygen saturation correlation to continuous venous oxygen saturation via intravenous oximetry catheter. *Journal of Critical Care* 2012;27: 314-317.
14. Frost Elizabeth AM. Cerebral oximetry emerging applications for an established technology. *Anesthesiology News* 2012;27-34.
15. Matthias Heringlake et al. Preoperative cerebral oxygen saturation and clinical outcomes in cardiac surgery. *Anesthesiology* 2011;114:58–69.
16. Guray Demir, Zafer Çukurova, Gülay Eren, Oya Hergünselet. Comparison of the effects of on pump and off-pump coronary artery bypass surgery on cerebral oxygen saturation using near-infrared spectroscopy. *Korean J of Anesthesiol* 2014;67(6):391-317.
17. Murkin JM. Near-infrared cerebral oxygenation monitoring. *Applied cardiopulmonary Pathophysiology* 2009;13: 152-154.
18. Kok WF. et al. A pilot study of cerebral tissue oxygenation and postoperative cognitive dysfunction among patients undergoing coronary artery bypass grafting randomised to surgery with or without cardiopulmonary bypass. *Anaesthesia* 2014;69(6):613-622.
19. Tournay-Jette. The relationship between cerebral oxygen saturation changes and postoperative cognitive dysfunction in elderly patients after coronary artery bypass graft surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2011;25(1):95-104.
20. Hariall Y. et al. The effect of optimising cerebral tissue oxygen saturation on markers of neurological injury during coronary artery bypass graft Surgery. *Heart Lung Circ* 2014;23(1):68-74.



21. Colak Z, et al. The relationship between prolonged cerebral oxygen desaturation and postoperative outcome in patients undergoing coronary artery bypass. *Coll Antropol* 2012;36(2): 381-388.
22. Colak Z. et al. Influence of intraoperative cerebral oximetry monitoring on neurocognitive function after coronary artery bypass surgery: A randomized, prospective study. *Eur J Cardiothorac Surg* 2015;47(3):447-454.
23. Kenneth Brady et al. Real-time continuous monitoring of cerebral blood flow autoregulation using near-infrared spectroscopy in patients undergoing cardiopulmonary bypass. *Stroke* 2010;41: 1951-1956.
24. Murkin JM. Monitoring brain oxygen saturation during coronary bypass surgery: A randomized, prospective study. *Anesthesia and Analgesia* 2007;104: 51-58.
25. Moré Duarte A. Postoperative neurological complications in patients undergoing cardiac surgery with cardiopulmonary bypass. *Cor Salud* 2015;7(1):28-34.

