Universidad Nacional de Rosario
Facultad de Ciencias Médicas
Carrera de Posgrado de Especialización en Anestesiología

Asociación entre el índice de perfusión y la espectroscopía infrarroja cercana con la aparición de coagulopatía posterior a la circulación extracorpórea en cirugía cardíaca

Alumno: Berron, Amanda[1]

Tutora: Andreani, Cecilia Soledad[2]

Cotutor: Pérez, Eduardo[3]

CENTRO FORMADOR: Hospital Provincial del Centenario

AÑO 2026

[1] Médica. Alumna de la Carrera de Posgrado de Especialización en Anestesiología, Facultad de Ciencias Médicas, Universidad Nacional de Rosario.
[2] Especialista en Anestesiología. Docente Estable de la Carrera de Posgrado de Especialización en Anestesiología de la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad Nacional de Rosario.
[3] Especialista en Anestesiología. Jefe de Servicio Anestesiología, Hospital Provincial del Centenario. Vice director de la Carrera de Posgrado de Especialización en Anestesiología de la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad Nacional de Rosario.

RESUMEN

La circulación extracorpórea utilizada durante la cirugía cardíaca produce modificaciones de la perfusión tisular y puede asociarse con alteraciones de la hemostasia. Sin embargo, la relación entre estos fenómenos no se encuentra completamente establecida. El objetivo del presente estudio fue evaluar la asociación entre las alteraciones intraoperatorias del índice de perfusión y/o la espectroscopía cercana al infrarrojo con la aparición de coagulopatía posterior a la CEC, determinada mediante tromboelastometría rotacional. Se realizó un estudio observacional, prospectivo y unicéntrico que incluyó 40 pacientes adultos sometidos a cirugía cardiovascular programada con CEC. Se registraron el IP y la saturación regional de oxígeno cerebral y periférica mediante NIRS en cinco momentos perioperatorios: basal, posterior a la inducción anestésica, durante la CEC, posterior a la salida de CEC y previo a la salida de quirófano. La coagulopatía post-CEC fue evaluada mediante ROTEM luego de la reversión de la heparina con protamina y se consideró presente ante el cumplimiento de al menos uno de los criterios establecidos. De los 40 pacientes evaluados, 17 (42,5%) presentaron coagulopatía post-CEC. Predominaron la prolongación de los tiempos de coagulación y los hallazgos compatibles con efecto residual de heparina. El IP no presentó diferencias estadísticamente significativas entre los pacientes con y sin coagulopatía en ninguno de los momentos evaluados. En el NIRS periférico se observaron valores promedio inferiores en los pacientes con coagulopatía durante el procedimiento, aunque la diferencia alcanzó significación estadística únicamente durante la CEC (p=0,0159). El NIRS cerebral también presentó diferencias significativas entre ambos grupos exclusivamente durante este período (p=0,0412), sin diferencias significativas en los momentos restantes. Si bien se observaron diferencias significativas en el NIRS periférico y cerebral durante la CEC entre los pacientes con y sin coagulopatía, estas no se mantuvieron en los restantes momentos evaluados. Por lo tanto, los resultados no permiten establecer una asociación entre las variaciones intraoperatorias del IP y/o NIRS y la aparición de coagulopatía post-CEC, ni determinar su utilidad como marcadores para la identificación temprana de esta complicación.

PALABRAS CLAVE

ÍNDICE DE PERFUSIÓN- COAGULOPATÍA- ESPECTROSCOPIA INFRARROJA CERCANA

PERFUSION INDEX- COAGULOPATHY- NEAR-INFRARED SPECTROSCOPY

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN……..4

OBJETIVO…….....6

MATERIAL Y MÉTODOS…….……...6

RESULTADOS……...11

DISCUSIÓN……..14

CONCLUSIÓN…….16

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS……..18

INTRODUCCIÓN

La cirugía cardíaca con circulación extracorpórea (CEC) es un procedimiento comúnmente utilizado en todo el mundo, que ha permitido el tratamiento efectivo de múltiples patologías cardiovasculares, la misma permite mantener el soporte circulatorio y la oxigenación durante períodos en los que resulta necesario interrumpir de manera controlada la actividad cardíaca. Sin embargo, su utilización se asocia con diversas alteraciones fisiológicas, entre las que se encuentra la coagulopatía posterior a la CEC, una complicación clínicamente relevante por su asociación con sangrado perioperatorio, mayor utilización de productos hemoderivados, incremento de la morbimortalidad y prolongación de la estancia hospitalaria [1].

La coagulopatía asociada a la CEC es de origen multifactorial. El contacto de la sangre con las superficies artificiales del circuito, la hemodilución y la hipotermia producen alteraciones de los diferentes componentes de la hemostasia, entre ellas activación de la respuesta inflamatoria y de los sistemas de coagulación y fibrinólisis, consumo de factores y disfunción plaquetaria. A su vez, durante la CEC pueden producirse alteraciones del flujo microvascular y una distribución heterogénea de la perfusión, aun cuando los parámetros macrocirculatorios se mantengan dentro de rangos adecuados. La hipoperfusión tisular resultante puede favorecer la hipoxia, la disfunción endotelial y la liberación de mediadores inflamatorios y vasoactivos, mecanismos que podrían contribuir a las alteraciones hemostáticas observadas después de la CEC [2-4].

La evaluación de la coagulopatía requiere herramientas capaces de identificarlos diferentes mecanismos involucrados. La tromboelastometría rotacional (ROTEM, por sus siglas en inglés, *Rotational Thromboelastometry*), es una prueba viscoelástica que permite evaluar de manera dinámica el proceso de coagulación, desde el inicio y la formación del coágulo hasta su firmeza y posterior lisis. A diferencia de las pruebas convencionales de coagulación, proporciona información sobre distintos componentes de la hemostasia mediante ensayos específicos [5].

Entre los principales ensayos se encuentran EXTEM, que evalúa la coagulación activada por factor tisular; INTEM, que evalúa la coagulación activada por la vía de contacto; FIBTEM, que permite valorar la contribución del fibrinógeno a la firmeza del coágulo al inhibir la participación plaquetaria; y HEPTEM, que incorpora heparinasa y permite

evaluar la presencia de efecto residual de heparina mediante su comparación con INTEM. En el Cuadro 1 se detallan los principales ensayos de ROTEM utilizados en el estudio.

La interpretación de estos ensayos se realiza a partir de diferentes parámetros. El tiempo de coagulación (CT) representa el intervalo desde el inicio de la prueba hasta el comienzo de la formación del coágulo. La amplitud a los 10 minutos (A10) refleja la firmeza alcanzada por el coágulo en ese momento, mientras que la firmeza máxima del coágulo (MCF) representa su máxima resistencia. Los parámetros de lisis, como el índice de lisis a los 30 minutos (LI30) y la lisis máxima (ML), permiten evaluar la estabilidad y posterior lisis del coágulo [6].

Cuadro 1

Ensayo	Principal aspecto evaluado
EXTEM	Coagulación activada por factor tisular; formación, firmeza y lisis del coágulo
INTEM	Coagulación activada por vía de contacto
HEPTEM	Evaluación del efecto residual de heparina mediante heparinasa
FIBTEM	Contribución del fibrinógeno a la firmeza del coágulo

En este contexto, la evaluación de la perfusión periférica y de la oxigenación tisular podrían aportar información complementaria sobre los cambios fisiológicos que se producen durante la CEC. El índice de perfusión (IP), obtenido mediante fotopletismografía a partir de la señal de la oximetría de pulso, es un parámetro no invasivo y continuo que refleja cambios en la perfusión periférica [7-9]. Su valor depende de la relación entre los componentes pulsátil y no pulsátil de la señal y está influido, entre otros factores, por el tono vascular, el gasto cardíaco y las condiciones de la circulación periférica [10-12]. Por estas características, ha sido estudiado como indicador indirecto de perfusión tisular en diferentes escenarios clínicos [13-15].

La espectroscopía cercana al infrarrojo (NIRS, por sus siglas en inglés, *near-infrared spectroscopy*) constituye otra herramienta no invasiva que permite estimar la saturación regional de oxígeno (rSO_2) mediante la absorción diferencial de la luz infrarroja por la hemoglobina oxigenada y desoxigenada [16-19]. Su utilización se ha extendido a la evaluación de tejidos periféricos, aportando información sobre la oxigenación regional y el estado de la microcirculación [20-22]. En cirugía cardíaca, el NIRS también ha sido

ampliamente utilizado para la monitorización de la oxigenación cerebral y para el estudio de cambios en la oxigenación tisular durante el período perioperatorio [23-25].

La mayoría de los estudios sobre IP y NIRS se han centrado en su relación con la perfusión tisular, la disfunción orgánica y diferentes complicaciones postoperatorias [2,8,17,24]. Sin embargo, su posible relación con las alteraciones de la coagulación posteriores a la CEC ha sido menos estudiada. Por lo tanto, no está establecido si las variaciones intraoperatorias de la perfusión periférica y de la oxigenación tisular evaluadas mediante estos métodos se asocian con la aparición posterior de coagulopatía determinada mediante ROTEM. Estudiar esta posible asociación podría aportar información sobre la relación entre los cambios de la perfusión tisular y las alteraciones hemostáticas durante la cirugía cardíaca y contribuir a definir el potencial valor del IP y del NIRS como herramientas complementarias de monitorización.

OBJETIVO

Evaluar si existe asociación entre la alteración intraoperatoria de IP y/o NIRS con la aparición de coagulopatía posterior a la CEC detectada mediante ROTEM durante la cirugía cardíaca.

MATERIAL Y MÉTODOS

Luego de la aprobación del proyecto por parte del Comité de Ética del Hospital Provincial del Centenario de la ciudad de Rosario, se llevó adelante en dicho hospital el siguiente estudio de carácter observacional, prospectivo y unicéntrico. El mismo se realizó durante el período comprendido entre septiembre 2025 y julio 2026.

Previa firma del correspondiente consentimiento informado, se reclutaron 40 pacientes sometidos a cirugía cardiovascular programada con requerimiento de CEC de acuerdo a los siguientes criterios.

Criterios de inclusión:

- Mayores de 18 años

- Haber discontinuado el uso de anticoagulantes de acuerdo a las Guías 2024 EACTS (*European Association for Cardio-Thoracic Surgery*) sobre medicación perioperatoria en cirugía cardíaca en adultos[26].
- Recibir antiagregantes plaquetarios o terapias antiplaquetarias que hayan seguido el protocolo de manejo perioperatorio recomendado por las mismas guías.

Criterios de exclusión:

- Alteración demostrada del coagulograma previo a la cirugía (léase prolongación del tiempo de protrombina, tiempo de tromboplastina parcial activada o reducción en la tasa de protrombina), hipofibrinogenemia y/o plaquetopenia.
- Insuficiencia renal crónica en hemodiálisis o diálisis peritoneal.
- Presencia de trastorno hereditario de la coagulación (por ejemplo, hemofilia A, B, Enfermedad de Von Willebrand, deficiencias de factores de coagulación).
- Diagnóstico previo de plaquetopenia inducida por heparina.
- Haber recibido transfusión de hemoderivados previo al procedimiento quirúrgico.
- Presencia de anemia previa (Hb< 13 g/dL o Hto< 37% para hombres, y Hb< 12 g/dL o Hto< 36% para mujeres).
- Presencia de endocarditis infecciosa.
- Requerimiento de drogas vasoactivas (noradrenalina, dopamina, dobutamina) previo al procedimiento quirúrgico.
- Enfermedad vascular periférica severa.
- Alergia a anestésicos empleados.

Protocolo pre-anestésico

Todos los pacientes fueron evaluados el día previo a la cirugía registrándose datos demográficos (edad, sexo, peso, talla, IMC –índice de masa corporal-), clasificación de ASA (por sus siglas en inglés, *American Society of Anesthesiologists*), antecedente previo de hipertensión arterial y/o diabetes mellitus tipo 2, y uso de antiagregantes y/o anticoagulantes orales. La medicación de base de cada paciente se administró hasta el momento de ingreso a cirugía según Guías EACTS 2024.

Protocolo anestésico

Al ingresar a quirófano se colocaron dos accesos venosos periféricos calibre nº 14-18 y un acceso arterial radial calibre nº 18 bajo anestesia local, mientras se preoxigenó al paciente con mascarilla facial. Concomitantemente se infundió profilaxis antibiótica con cefalotina 25 mg/kg y profilaxis antitrombótica con ácido tranexámico 10 mg/kg.

Fueron monitorizados con monitor multiparamétrico Drägger Vista 120S® registrando frecuencia cardíaca (FC), electrocardiograma de cinco derivaciones, presión arterial media (PAM), sensor nasofaríngeo de temperatura y pulsioximetría. Además, se evaluó IP con cooxímetro de pulso Massimo Rainbow SET®. El monitoreo electroencefalográfico se realizó con índice biespectral (BIS®) y se evaluó la oximetría regional O3 (NIRS) de Massimo en la plataforma Root® colocándose un sensor a nivel frontal derecho en combinación con otro en región del tercio medio distal de cara anterior de antebrazo izquierdo. El monitor mostró un valor de rSO_2 por sensor. En este mismo momento se definió la línea de base que es el valor de referencia inicial que se registra antes de que ocurran intervenciones o cambios fisiológicos significativos. Sirve como punto de comparación para detectar variaciones durante el monitoreo clínico.

Se realizó la inducción anestésica endovenosa con midazolam (0,1 mg/kg), fentanilo (5-10 µg/kg) y la relajación muscular con vecuronio (0,1 mg/kg). Una vez efectuada la intubación orotraqueal (tubo endotraqueal 7,5 a 9) se colocó sonda vesical y un catéter venoso central calibre 8 Fr (Arrow® International Inc, USA).

El mantenimiento de la anestesia hasta el ingreso a CEC, se realizó con sevofluorano (CAM 0,4 a 0,6%, según BIS de 40-60) con O2 al 40% con flujo de gases frescos de 1 litro/minuto y remifentanilo EV a 0,3 - 0,5 µg/kg/minuto a través de bomba de infusión volumétrica (sistema de infusión Plum 360® de ICU Medical). Se ventiló mecánicamente a los pacientes en modo volumen control con un volumen corriente de 6 ml/kg de peso ideal, 12 a 18 ventilaciones por minuto, con una presión positiva de fin de espiración de 6 cmH2O, relación inspiración-espiración 1:2 para mantener capnometría entre 35 y 40 mmHg (máquina de anestesia DragërAtlan® A300, Dragër Medical GmbH-Lubeck-Alemania).

Protocolo de CEC

La determinación del valor de referencia de tiempo de coagulación activado (TCA) se obtuvo inmediatamente posterior a la colocación del catéter venoso central. Previo a la

canulación arterial y venosa se administró heparina sódica en dosis de 3 mg/kg para alcanzar un valor de TCA mínimo de 480 segundos. En el caso de no lograr este valor se corrigió con dosis extra, según tabla de Bull[27].

Se utilizó una bomba de CEC no pulsátil (Cote®-Lakewood, USA), flujo arterial filtrado, drenaje venoso por gravedad y oxigenador de membrana recubierto (Maquet® modelo Quadrox-i®, Alemania) administrando una mezcla de oxígeno/aire del 50-70%. Se empleó solución fisiológica para el cebado del circuito de CEC. Las cirugías se realizaron con hipotermia leve (32-34ºC) y se administró solución cardiopléjica sanguínea por vías anterógrada y/o retrógrada.

Al ingreso a CEC, los pacientes recibieron una dosis extra de midazolam (0,1 mg/kg), fentanilo (1 mcg/kg), vecuronio (0,025 mg/kg) y dosis de mantenimiento de ácido tranexámico 1 mg/kg/hs el tiempo que dure la CEC. Inmediatamente, se inició la administración de sevoflurano (0,3-1%) en el oxigenador, ajustándose el vaporizador para mantener valores de BIS® entre 40 y 60 hasta la salida completa de CEC. La infusión de remifentanilo permaneció a los mismos valores pre-CEC por vía periférica.

El flujo de bomba se inició a 2 litros/minuto/m2 superficie corporal siendo el objetivo mantener una PAM entre 50 y 60 mmHg.

Previo a discontinuar la CEC, se procedió al recalentamiento a 37°C del paciente. Se reinició la ventilación pulmonar empleando oxígeno al 100% hasta lograr estabilidad hemodinámica.

Con el objetivo de revertir la heparina, se realizó una infusión de protamina a dosis ajustada según tabla de Bull. Diez minutos después de finalizada la misma se obtuvo dos muestras de sangre del lúmen proximal del CVC, una de ellas para medir un nuevo valor de TCA y la otra se remitió en un tubo citratado para realizar el ROTEM evaluando los parámetros de INTEM, EXTEM, HEPTEM Y FIBTEM [5-7].

Los parámetros analizados incluyeron el CT, A10, MCF, LI30 y ML.

Se consideró la presencia de coagulopatía post-CEC cuando el ROTEM cumplió al menos uno de los siguientes criterios:

- Prolongación del tiempo de coagulación (CT) en los canales EXTEM (>100 s) o INTEM (>240 s) o una relación HEPTEM CT/ INTEM CT < 0.9.

- Disminución de la firmeza del coágulo evidenciada por un FIBTEM A10 < 10mm y EXTEM A10 <40 mm, indicativa de hipofibrinogenemia.
- Hipofibrinogenemia evidenciada por valores bajos de MCF (<9mm) en FIBTEM.
- Fibrinólisis aumentada, definida por LI30 <95% a los 30 minutos o ML >7% en EXTEM.

Asimismo, se solicitó un laboratorio donde se evaluaron las condiciones básicas para el correcto funcionamiento de la hemostasia, tales como hemoglobina, calcio iónico y pH.

Se mantuvo la infusión de remifentanilo y la administración de sevoflurano según hemodinamia y valores de BIS®. Se evaluó la necesidad de un soporte vasoactivo (dopamina, dobutamina, noradrenalina y/o adrenalina).

Todos los pacientes se trasladaron a la unidad de recuperación cardiovascular sedados y ventilados.

Se realizaron mediciones de las variables en cinco momentos perioperatorios. En cada momento se registraron el IP, la rSO_2 cerebral y periférica mediante NIRS, Δbase y AUC (por sus siglas en inglés *Area Under the Curve)* del NIRS, el índice de variabilidad pletismográfica (PVi), FC y la saturación periférica de oxígeno (SpO_2).

T1: 5 minutos antes de la intubación orotraqueal.

T2: 10 minutos después de la inducción anestésica.

T3: durante la CEC.

T4: 10 minutos después de la salida de CEC.

T5: previo a la salida de quirófano.

Luego se dió por finalizado el estudio.

Todos los datos fueron recolectados en una planilla de recolección de datos diseñada para tal fin.

Análisis estadístico

Se presenta el promedio acompañado del desvío estándar (± DE) para describir las variables continuas y las frecuencias junto con los porcentajes para las variables categóricas. En la comparación de las variables continuas se utilizó el Test U de Mann-

Whitney. Los resultados con una probabilidad asociada menor que 0,05 se consideraron estadísticamente significativos. Para el procesamiento se utilizó R Core Team (2026) [28]

RESULTADOS

Se analizaron los datos de 40 pacientes en donde la edad promedio fue de 53,1 ± 10,37 años, con un rango de 23 a 66 años. La mayoría de los participantes (75,0%) fueron de sexo masculino. El IMC promedio fue de 28,7 ± 4,61. En relación con la clasificación ASA, 7 pacientes (17,5%) correspondieron a ASA II, 32 (80,0%) a ASA III y 1 (2,5%) a ASA IV. Se observó en 26 (65,0%) pacientes antecedentes de hipertensión arterial, en 10 (25,0%) diabetes mellitus tipo II y en 23 (57,5%) uso de ácido acetilsalicílico.

Coagulopatía posterior a la CEC

De los 40 pacientes evaluados, 17 (42,5%) presentaron coagulopatía post-CEC al cumplir al menos uno de los criterios establecidos mediante ROTEM, mientras que 23 (57,5%) no presentaron coagulopatía. Las alteraciones observadas estuvieron principalmente relacionadas con la prolongación del tiempo de coagulación y la presencia de efecto residual de heparina. No se observaron casos de fibrinólisis aumentada según los criterios establecidos (LI30<95% a los 30 minutos o ML en EXTEM >7%). Algunos pacientes presentaron más de una alteración simultáneamente (Tabla 1).

Tabla 1. Criterios de coagulopatía post-CEC identificados mediante ROTEM

Criterio de coagulopatía	n	%
Prolongación del tiempo de coagulación (CT) en los canales EXTEM (>100 s) o INTEM (>240 s) o una relación HEPTEM CT/ INTEM CT < 0.9.	27	67,5
Disminución de la firmeza del coágulo evidenciada por un FIBTEM A10 < 10mm y EXTEM A10 <40 mm, indicativa de hipofibrinogenemia.	1	2,5
Hipofibrinogenemia evidenciada por valores bajos de MCF (<9mm) en FIBTEM.	2	5,0

Comportamiento del IP

En términos generales, el IP presentó una disminución marcada durante la CEC (T3), momento en el que se registraron los valores promedio más bajos, seguida de un aumento

posterior a la salida de CEC (T4), que se mantuvo hasta el momento previo a la salida de quirófano (T5). Este comportamiento se observó en ambos grupos.

Al comparar los pacientes con y sin coagulopatía post-CEC, los valores promedio fueron menores en el grupo con coagulopatía durante los primeros momentos de evaluación, mientras que luego de la CEC fueron ligeramente superiores. Sin embargo, no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre ambos grupos en ninguno de los cinco momentos evaluados (p>0,05) (Figura 1).

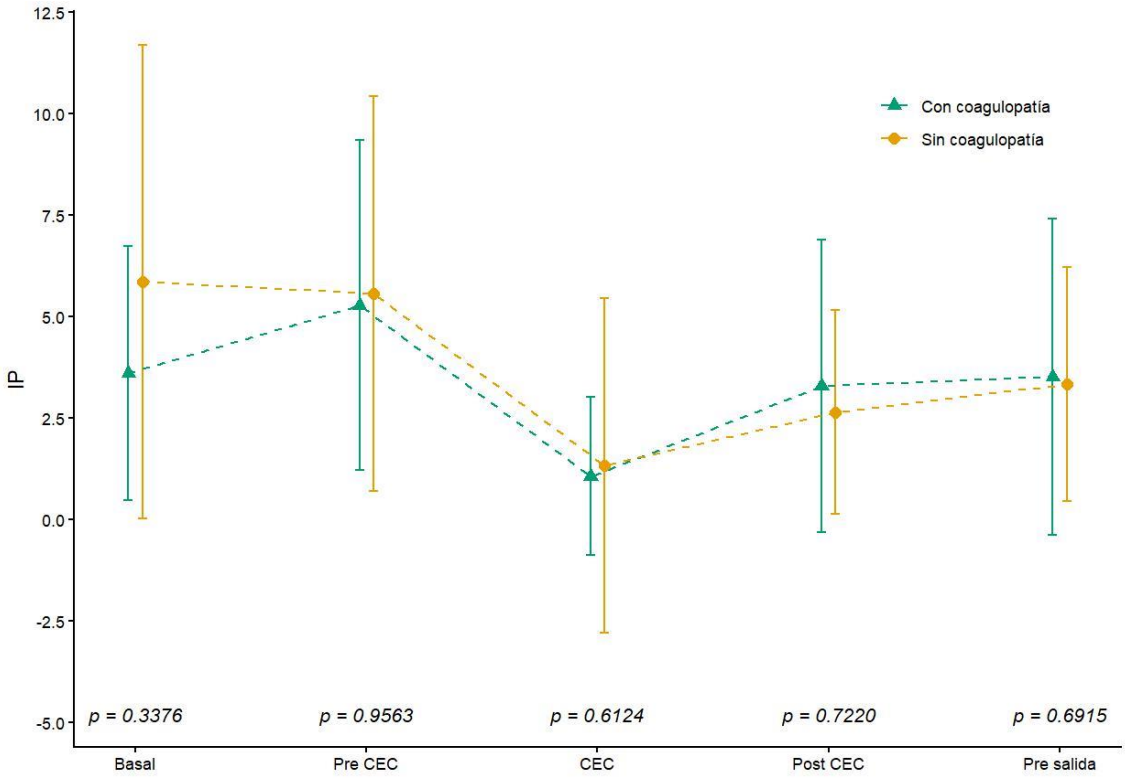

Figura 1. IP según resultado en los distintos momentos de evaluación.
Los datos se expresan como media ± DE. p: probabilidad asociada al test U de Mann-Whitney

Comportamiento del NIRS

El NIRS presentó valores relativamente estables a lo largo del procedimiento, con una leve disminución durante la CEC (T3) y un aumento posterior a la salida de CEC (T4 y T5). Este comportamiento se observó en ambos grupos.

Al comparar los pacientes con y sin coagulopatía post-CEC, se observaron valores promedio menores en el grupo con coagulopatía en los cinco momentos evaluados. Sin embargo, la diferencia entre ambos grupos alcanzó significación estadística únicamente

durante la CEC (T3; p=0,0159). En los restantes momentos no se observaron diferencias estadísticamente significativas (p>0,05) (Figura 2).

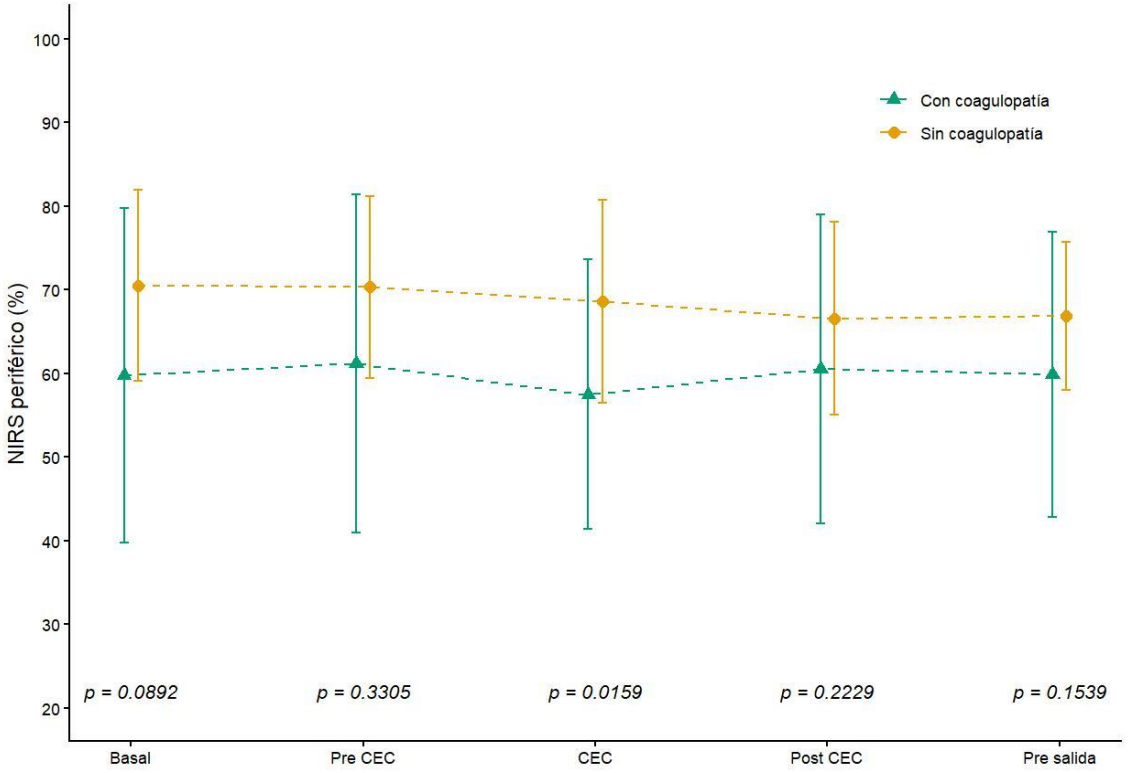

Figura 2. NIRS periférico según resultado en los distintos momentos de evaluación.
Los datos se expresan como media ± DE. p: probabilidad asociada al test U de Mann-Whitney

El NIRS central presentó valores relativamente estables a lo largo de los cinco momentos evaluados, con variaciones leves durante el procedimiento. Al comparar ambos grupos, los pacientes con coagulopatía presentaron valores promedio menores durante el período basal, pre-CEC y durante la CEC. La diferencia entre ambos grupos alcanzó significación estadística únicamente durante la CEC (p=0,0412). No se observaron diferencias en el resto de los momentos evaluados (p>0,05) (Figura 3).

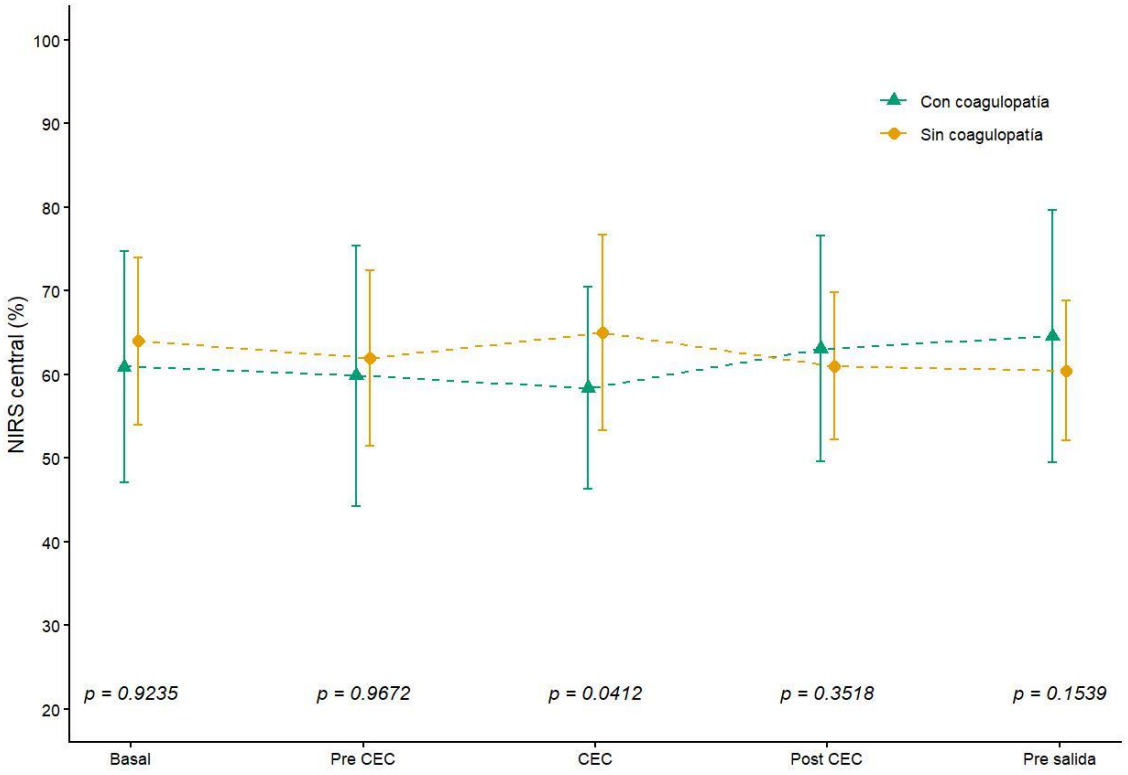

Figura 3. NIRS central según resultado en los distintos momentos de evaluación.
Los datos se expresan como media ± DE. p: probabilidad asociada al test U de Mann-Whitney

DISCUSIÓN

En el presente estudio, la relación entre los parámetros de perfusión y oxigenación tisular y la aparición de coagulopatía post-CEC se evaluó comparando los valores de IP y NIRS entre los pacientes que presentaron coagulopatía y aquellos que no, en cada uno de los momentos perioperatorios estudiados. El IP no mostró diferencias estadísticamente significativas entre ambos grupos en ninguno de los momentos evaluados. En cambio, durante la CEC se observaron diferencias significativas en los valores de NIRS periférico y cerebral entre los pacientes que posteriormente presentaron coagulopatía y aquellos que no, diferencias que no se mantuvieron en los restantes momentos de evaluación.

Si bien las diferencias observadas en el NIRS durante la CEC constituyen un hallazgo relevante, su presencia exclusiva en este período limita su posible aplicación clínica. A partir de estos resultados, no es posible establecer al NIRS como un marcador de coagulopatía post-CEC ni determinar valores que permitan orientar intervenciones terapéuticas tempranas.

La hemodilución, el flujo no pulsátil, los cambios de temperatura y la respuesta inflamatoria asociada al circuito extracorpóreo pueden alterar la distribución del flujo microvascular y el aporte de oxígeno a los tejidos, aun cuando los parámetros hemodinámicos globales se mantengan dentro de valores adecuados. En este contexto, las variaciones detectadas mediante NIRS podrían reflejar cambios en la oxigenación tisular relacionados con las modificaciones microcirculatorias propias de la CEC [3,4].

Estudios previos también han demostrado modificaciones de la oxigenación tisular y de la respuesta microvascular durante la cirugía cardíaca con CEC. Savluk y colaboradores evaluaron mediante NIRS y una prueba de oclusión vascular la microcirculación periférica en cinco momentos perioperatorios. Durante la CEC observaron los valores más bajos de rSO_2 y diferencias significativas en las pendientes de oclusión y reperfusión. En particular, la pendiente de reperfusión disminuyó progresivamente con la duración del bypass, indicando una recuperación más lenta de la oxigenación tisular tras restablecer el flujo y sugiriendo un deterioro de la reactividad microvascular. Estos resultados coinciden con el período en el que se observaron las principales diferencias en el presente estudio; sin embargo, existen diferencias metodológicas relevantes, principalmente por tratarse de una población pediátrica y por la utilización de una prueba de oclusión vascular [29].

En pacientes adultos, Antonitsis y colaboradores evaluaron simultáneamente la oxigenación cerebral y somática mediante NIRS en cirugía cardíaca con un sistema de circulación extracorpórea mínimamente invasiva. Los autores observaron diferencias en la evolución de la oxigenación cerebral y somática a lo largo del procedimiento. A su vez, la microcirculación evaluada mediante videomicroscopía sublingual mostró alteraciones luego de la inducción anestésica, pero se mantuvo estable durante la CEC. Estos resultados reflejan la variabilidad en el comportamiento de la oxigenación tisular y la microcirculación durante la cirugía cardíaca. Sin embargo, las diferencias en la modalidad de CEC, los métodos de evaluación y, principalmente, los desenlaces estudiados limitan la comparación directa con los resultados del presente estudio, ya que evaluaron eventos relacionados con la perfusión tisular y no con la aparición de coagulopatía [30].

A diferencia de lo observado con el NIRS, el IP presentó un comportamiento variable durante el procedimiento, sin diferencias significativas entre los pacientes con y sin coagulopatía en ninguno de los momentos evaluados. Este resultado podría estar relacionado, al menos parcialmente, con la influencia que ejercen sobre este parámetro factores como el tono vascular periférico, la temperatura, el gasto cardíaco y el uso de

fármacos vasoactivos, todos ellos susceptibles de modificarse durante este tipo de cirugía [8,9].

La utilidad del IP en cirugía cardíaca ha sido explorada recientemente en relación con otros desenlaces postoperatorios. En pacientes adultos sometidos a cirugía cardíaca con CEC, los valores intraoperatorios bajos, especialmente cuando se mantenían durante períodos más prolongados, se asociaron con un mayor riesgo de eventos renales adversos postoperatorios. En el estudio de Jacquet-Lagrèze y colaboradores, esta asociación se evaluó en relación con complicaciones renales, por lo que sus resultados no son directamente comparables con los del presente estudio. Además, dicho estudio utilizó un registro continuo del IP, a diferencia de las mediciones realizadas en momentos específicos en el presente trabajo [31].

Considerados en conjunto, los resultados muestran un comportamiento diferente entre ambos métodos de monitorización. Mientras que el NIRS permitió identificar diferencias en la oxigenación tisular durante la CEC entre los pacientes con y sin coagulopatía, el IP no presentó diferencias entre ambos grupos en ninguno de los momentos evaluados. Esto podría deberse a que ambas herramientas evalúan aspectos diferentes de la perfusión tisular y, por lo tanto, no necesariamente responden de la misma manera a los cambios fisiológicos que ocurren durante la cirugía cardíaca.

Entre las principales limitaciones del estudio se encuentra su realización en un único centro, por lo que los resultados pueden estar condicionados por las características de la población estudiada y las prácticas perioperatorias propias de la institución, limitando su generalización a otros contextos. Las mediciones realizadas en momentos específicos constituyen otra limitación, ya que podrían no reflejar variaciones transitorias del IP y del NIRS ocurridas entre los momentos evaluados. Futuros estudios multicéntricos y con monitorización continua podrían contribuir a ampliar estos hallazgos y determinar su posible utilidad clínica.

CONCLUSIÓN

En el presente estudio, el IP no mostró relación con la aparición de coagulopatía post-CEC. En cambio, el NIRS periférico y cerebral presentó diferencias significativas durante la CEC entre los pacientes que posteriormente desarrollaron coagulopatía y aquellos que no, hallazgo que no se observó en los demás momentos evaluados. En conjunto, estos

resultados no permiten establecer una asociación consistente entre los parámetros estudiados y la aparición de coagulopatía post-CEC.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1) Gil-Gómez R, Blasco-Alonso J, González-Correa JA, de la Cruz JP, Reyes JJ, et al. Estudio de la agregación plaquetaria en el postoperatorio de cirugía cardiovascular mediante circulación extracorpórea en edad pediátrica. An Pediatr (Barc). 2014;81(5):280–6.
2) Li B, Dai Y, Cai W, Sun M, Sun J. Monitoring of perioperative tissue perfusion and impact on patient outcomes. J Cardiothorac Surg. 2025;20(1):100.
3) Kant S, Banerjee D, Sabe SA, Sellke FW, Feng J. Microvascular dysfunction following cardiopulmonary bypass plays a central role in postoperative organ dysfunction. Front Med (Lausanne). 2023;10:1110532.
4) Despotis GJ, Avidan MS, Hogue CW Jr. Mechanisms and attenuation of hemostatic activation during extracorporeal circulation. Ann Thorac Surg. 2001;72(5 Suppl):S1821–31.
5) Ortmann E, Rubino A, Altemimi B, Collier T, Besser MW, et al. Validation of viscoelastic coagulation tests during cardiopulmonary bypass. J Thromb Haemost. 2015;13(7):1207–16.
6) Drotarova M, Zolkova J, Belakova KM, Brunclikova M, Skornova I, et al. Basic principles of rotational thromboelastometry (ROTEM®) and the role of ROTEM-guided fibrinogen replacement therapy in the management of coagulopathies. Diagnostics (Basel). 2023;13(20):3219.
7) Raphael J, Mazer CD, Subramani S, Schroeder A, Abdalla M, et al. Society of Cardiovascular Anesthesiologists Clinical Practice Improvement Advisory for management of perioperative bleeding and hemostasis in cardiac surgery patients. Anesth Analg. 2019;129(5):1209–21.
8) Sun X, He H, Xu M, Long Y. Peripheral perfusion index of pulse oximetry in adult patients: a narrative review. Eur J Med Res. 2024;29:457.
9) Elshal MM, Hasanin AM, Mostafa M, Gamal RM. Plethysmographic peripheral perfusion index: Could it be a new vital sign? Front Med (Lausanne). 2021;8:651909.
10) Grigorasi GR, Corlade-Andrei M, Ciumanghel I, Sova I, Blaga T, et al. Monitoring perfusion index in patients presenting to the emergency department due to drug use. J Pers Med. 2023;13(2):372.

11) Schneider L, Clark A, Bailey M. Predictive value of perfusion index (PI) on the discrepancy between oxygen saturation measurement via pulse oximetry and blood gas analysis. J Emerg Crit Care Med. 2024;8:21.
12) He HW, Long Y, Liu DW, Ince C. Resuscitation incoherence and dynamic circulation-perfusion coupling in circulatory shock. Chin Med J (Engl). 2019;132(10):1218–27.
13) He H, Long Y, Zhou X, Wang X, Zhang H, et al. Oxygen-flow-pressure targets for resuscitation in critical hemodynamic therapy. Shock. 2018;49(1):15–23.
14) Cannesson M, Desebbe O, Rosamel P, Delannoy B, Robin J, et al. Pleth variability index to monitor the respiratory variations in the pulse oximeter plethysmographic waveform amplitude and predict fluid responsiveness in the operating theatre. Br J Anaesth. 2008;101(2):200–6.
15) van Genderen ME, Paauwe J, de Jonge J, van der Valk RJP, Lima A, et al. Clinical assessment of peripheral perfusion to predict postoperative complications after major abdominal surgery early: a prospective observational study in adults. Crit Care. 2014;18(3):R114.
16) Yang S, Tan B, Lin J, Wang X, Fu C, et al. Monitoring of perioperative microcirculation dysfunction by near-infrared spectroscopy for neurological deterioration and prognosis of aneurysmal subarachnoid hemorrhage: an observational, longitudinal cohort study. Neurol Ther. 2024;13(2):475–95.
17) Javaherforooshzadeh F, Bhandori H, Jarirahmadi S, Bakhtiari N. Investigating the effect of near infra-red spectroscopy (NIRS) on early diagnosis of cardiac surgery-associated acute kidney injury. Anesth Pain Med. 2020;10(6):e109863.
18) Ferrari M, Mottola L, Quaresima V. Principles, techniques, and limitations of near infrared spectroscopy. Can J Appl Physiol. 2004;29(4):463–87.
19) Zweifel C, Castellani G, Czosnyka M, Helmy A, Manktelow A, et al. Noninvasive monitoring of cerebrovascular reactivity with near infrared spectroscopy in head-injured patients. J Neurotrauma. 2010;27(11):1951–8.
20) Lima A, Bakker J. Noninvasive monitoring of peripheral perfusion. Intensive Care Med. 2005;31(10):1316–26.
21) Lima A, van Bommel J, Sikorska K, van Genderen M, Klijn E, et al. The relation of near-infrared spectroscopy with changes in peripheral circulation in critically ill patients. Crit Care Med. 2011;39(7):1649–54.
22) Bezemer R, Lima A, Myers D, Klijn E, Heger M, et al. Assessment of tissue

oxygen saturation during a vascular occlusion test using near-infrared spectroscopy: the role of probe spacing and measurement site studied in healthy volunteers. Crit Care. 2009;13 Suppl 5:S4.

23) McQuillen PS, Nishimoto MS, Bottrell CL, Fineman LD, Hamrick SE, et al. Regional and central venous oxygen saturation monitoring following pediatric cardiac surgery: concordance and association with clinical variables. Pediatr Crit Care Med. 2007;8(2):154–60.

24) Monthé-Sagan K, Fischer MO, Saplacan V, Gerard JL, Hanouz JL, et al. Near-infrared spectroscopy to assess microvascular dysfunction: a prospective pilot study in cardiac surgery patients. J Crit Care. 2016;31(1):264–8.

25) Murkin JM, Adams SJ, Novick RJ, Quantz M, Bainbridge D, et al. Monitoring brain oxygen saturation during coronary bypass surgery: a randomized, prospective study. Anesth Analg. 2007;104(1):51–8.

26) Jeppsson A, Rocca B, Hansson EC, Gudbjartsson T, James S, et al. 2024 EACTS Guidelines on perioperative medication in adult cardiac surgery. Eur J Cardiothorac Surg. 2024;67(1):ezae355.

27) Bull BS, Huse WM, Brauer FS, Korpman RA. Heparin therapy during extracorporeal circulation. II. The use of a dose-response curve to individualize heparin and protamine dosage. J Thorac Cardiovasc Surg. 1975;69(5):685–9.

28) R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing; 2026.

29) Savluk OF, Yilmaz AA, Yavuz Y, Arisut S, Isildak FU, et al. Assessment of microcirculatory alteration by a vascular occlusion test using near-infrared spectroscopy in pediatric cardiac surgery: effect of cardiopulmonary bypass. Expert Rev Med Devices. 2024;21(3):249–55.

30) Antonitsis P, Argiriadou H, Gkiouliava A, Deliopoulos A, Mimikos S, et al. The value of cerebral and somatic near-infrared spectroscopy within an integrated tissue perfusion monitoring strategy in cardiac surgery: a prospective pilot study. Perfusion. 2026;41(1):69–79.

31) Jacquet-Lagrèze M, Larue M, Ruste M, Schweizer R, Chesnel D, et al. Hypoperfusion and cardiac surgery-associated major adverse kidney events: a single-center retrospective cohort study. Anaesth Crit Care Pain Med. 2026;45(3):101782.