

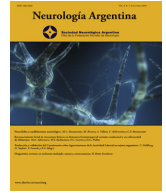


Sociedad Neurológica Argentina
Filial de la Federación Mundial
de Neurología

Contents lists available at ScienceDirect

Neurología Argentina

journal homepage: www.elsevier.es/neurolarg



Artículo original

Ultrasonografía cerebral en cirugía valvular aórtica: una herramienta no invasiva para la vigilancia hemodinámica y neurológica postoperatoria

Cerebral ultrasonography in aortic valve surgery: a noninvasive tool for postoperative hemodynamic and neurological monitoring

Daniel Gaspar Riveros-Nina^a, Rodrigo Gopar-Nieto^b, Gustavo Rojas-Velasco^c y Daniel Manzur-Sandoval^{c,*}

^a Departamento de Terapia Intensiva, Hospital Obrero N° 1, La Paz, Bolivia

^b Unidad de Cuidados Coronarios, Instituto Nacional de Cardiología Ignacio Chávez, Ciudad de México, México

^c Unidad de Terapia Intensiva Cardiovascular, Instituto Nacional de Cardiología Ignacio Chávez, Ciudad de México, México

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Palabras clave:

Prótesis valvular cardíaca
Circulación cerebrovascular
Delirio postoperatorio

Keywords:

Heart valve prosthesis
Cerebrovascular circulation
Postoperative delirium

RESUMEN

Introducción: Las complicaciones neurológicas continúan siendo un reto en la cirugía valvular aórtica. La presión de perfusión cerebral (PPC), estimada por Doppler transcraneal (DTC), permite una evaluación no invasiva de la autorregulación cerebral en el postoperatorio inmediato.

Métodos: Estudio prospectivo y descriptivo realizado en 66 pacientes sometidos a cambio valvular aórtico en el Instituto Nacional de Cardiología «Ignacio Chávez». Se registró gasto cardíaco por ecocardiografía y PPC mediante DTC preoperatorio, al ingreso a cuidados intensivos, y a las 24 y 48 horas. Se evaluaron complicaciones neurológicas (delirio, EVC, crisis convulsivas) y sistémicas.

Resultados: La PPC disminuyó significativamente al ingreso (55-56 mmHg) y se normalizó a las 48 horas (≈ 59 mmHg; $p < 0,005$). El delirio fue la complicación neurológica más frecuente (13,6%), seguido de EVC (3%) y crisis convulsiva (1,5%). Una PPC derecha < 55 mmHg se asoció con mayor delirio (23,3% vs 5,6%), neumonía, síndrome vasopléjico y estancia hospitalaria prolongada ($p \leq 0,03$).

Conclusiones: La PPC estimada por DTC es una herramienta factible y útil para monitorización neurológica tras cirugía valvular. Valores < 55 mmHg se asocian con mayor riesgo de complicaciones, lo que subraya su valor pronóstico y potencial para guiar intervenciones individualizadas.

ABSTRACT

Introduction: Neurological complications continue to be a challenge in aortic valve surgery. Cerebral perfusion pressure (CPP), estimated by transcranial Doppler (TCD), allows for noninvasive assessment of cerebral autoregulation in the immediate postoperative period.

Methods: A prospective, descriptive study was conducted in 66 patients undergoing aortic valve replacement at the Ignacio Chávez National Institute of Cardiology. Cardiac output was recorded by echocardiography and CPP by TCD preoperatively, upon admission to intensive care, and at 24 and 48 hours. Neurological (delirium, stroke, seizures) and systemic complications were evaluated.

Results: CPP decreased significantly upon admission (55-56 mmHg) and normalized at 48 hours (≈ 59 mmHg; $P < .005$). Delirium was the most frequent neurological complication (13.6%), followed by CVA (3%) and seizures (1.5%). A right CPP < 55 mmHg was associated with increased delirium (23.3% vs. 5.6%), pneumonia, vasoplegic syndrome, and prolonged hospital stay ($P \leq .03$).

Conclusions: CPP estimated by TCD is a feasible and useful tool for neurological monitoring after valve surgery. Values < 55 mmHg are associated with a higher risk of complications, underscoring its prognostic value and potential to guide individualized interventions.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: drdanielmanzur@gmail.com (D. Manzur-Sandoval).

<https://doi.org/10.1016/j.neuarg.2026.100707>

Recibido el 5 de julio de 2025; Aceptado el 16 de diciembre de 2025

Disponible en Internet el xxx

1853-0028/© 2026 Sociedad Neurológica Argentina. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Se reservan todos los derechos, incluidos los de minería de texto y datos, entrenamiento de IA y tecnologías similares.

Cómo citar este artículo: D.G. Riveros-Nina, R. Gopar-Nieto, G. Rojas-Velasco et al., Ultrasonografía cerebral en cirugía valvular aórtica: una herramienta no invasiva para la vigilancia hemodinámica y neurológica postoperatoria, Neurología Argentina, <https://doi.org/10.1016/j.neuarg.2026.100707>

Introducción

Antecedentes

La cirugía cardíaca ha experimentado un crecimiento significativo en las últimas décadas, acompañado de una disminución progresiva de la mortalidad perioperatoria gracias a los avances en técnicas quirúrgicas, en anestesia y en la implementación de tecnologías de soporte vital [1,2]. No obstante, estas mejoras han evidenciado la aparición de nuevas complicaciones, particularmente de origen neurológico. Entre ellas destacan el evento vascular cerebral (EVC), las crisis convulsivas, el síndrome confusional agudo (delirio) y otras entidades menos frecuentes, como deterioro cognitivo, migraña o lesiones por compresión de plexos nerviosos.

El EVC constituye la complicación neurológica más devastadora en este contexto, con una incidencia reportada del 2,16%, asociándose a un aumento significativo de mortalidad (14,93% vs. 2,15%, $p < 0,001$), menor supervivencia (54,72% vs. 75%, $p = 0,002$) y prolongación de la estancia hospitalaria. Entre los factores de riesgo identificados figuran la edad avanzada, el sexo femenino, la diabetes mellitus tipo 2, la cirugía en contexto de urgencia y la insuficiencia cardíaca avanzada [3].

Las crisis convulsivas, con una incidencia menor (0,8-3%), también se asocian a complicaciones severas, pudiendo originarse por hipoperfusión cerebral, alteraciones metabólicas, efectos adversos farmacológicos o abstinencia alcohólica [4]. Por su parte, el delirio posoperatorio afecta a más del 50% de los casos, con importantes implicaciones clínicas, como retraso en la recuperación funcional y prolongación de la estancia en cuidados intensivos [5].

La fisiopatogenia de estas complicaciones es multifactorial e involucra mecanismos como embolización (ateromatosis, burbujas o detritos), hipoperfusión cerebral (inducida por hipotensión, anemia o estenosis carotídea), procesos inflamatorios sistémicos (mediados por citocinas, activación del complemento y aumento de la permeabilidad capilar) y trastornos metabólicos (hiperglucemia, hipertermia, acidosis) [6].

Relevancia del problema

El impacto clínico de las complicaciones neurológicas en el perioperatorio de la cirugía cardíaca ha impulsado el desarrollo de estrategias diagnósticas y preventivas para su detección temprana y manejo oportuno. En este contexto, se han implementado diversas herramientas de neuromonitoreo, como el electroencefalograma (EEG), el índice bispectral (BIS), los potenciales evocados somatosensoriales (PESS) y la espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS), con aplicaciones en la monitorización del estado de conciencia y la valoración de la perfusión cerebral [7–14].

Entre estas, la ultrasonografía cerebral destaca por ser un método no invasivo, accesible a pie de cama y de bajo costo. Mediante el Doppler transcraneal (DTC) y la técnica descrita por Schmidt, es posible estimar la presión de perfusión cerebral (PPC) en tiempo real [15–18]. Esta herramienta ha sido utilizada con éxito en el ámbito neurocrítico y, más recientemente, en pacientes sometidos a cirugía cardíaca, con el fin de evaluar la autorregulación cerebral, detectar episodios de hipoperfusión y monitorear la respuesta a intervenciones terapéuticas intraoperatorias.

El conocimiento de los cambios hemodinámicos cerebrales inducidos por la circulación extracorpórea y el comportamiento de la PPC en el postoperatorio inmediato permitiría implementar medidas neuroprotectoras más precisas en pacientes sometidos a procedimientos de alto riesgo, como el cambio valvular aórtico.

Objetivos de la investigación

El presente estudio tiene como objetivo principal determinar la PPC mediante ultrasonografía en pacientes postoperados de cambio valvular aórtico.

Los objetivos secundarios son:

- Determinar los valores de la hemodinamia cerebral en pacientes intervenidos con reemplazo valvular aórtico.
- Describir las complicaciones neurológicas observadas en el periodo postoperatorio.
- Evaluar la correlación entre el índice cardíaco y la PPC determinada por ultrasonografía en pacientes postoperatorios de cirugía cardíaca.

Este trabajo busca aportar evidencia sobre el papel de la ultrasonografía como herramienta complementaria para la vigilancia neurológica no invasiva, contribuyendo a mejorar el pronóstico y reducir la morbi-mortalidad neurológica en este grupo de pacientes.

Métodos

Se realizó un estudio prospectivo, descriptivo y longitudinal en el Instituto Nacional de Cardiología «Ignacio Chávez», aprobado por el Comité de Ética e Investigación institucional. Al tratarse de una investigación observacional sin procedimientos adicionales a la práctica asistencial habitual, se empleó el consentimiento general firmado por los pacientes al ingreso, sin requerir documentación adicional.

Población y criterios de selección

Fueron elegibles todos los sujetos mayores de 18 años programados para reemplazo valvular aórtico, entre el 1 de junio y el 31 de diciembre del 2022, independientemente de que el abordaje incluyera cirugía de revascularización miocárdica o sustitución de arco aórtico. Se incluyeron pacientes con estenosis aórtica severa sintomática (área valvular $< 1 \text{ cm}^2$ o AVAi $< 0,6 \text{ cm}^2/\text{m}^2$, velocidad máxima $> 4 \text{ m/s}$ o gradiente medio $> 40 \text{ mmHg}$), insuficiencia aórtica severa sintomática (vena contracta $> 0,6 \text{ cm}$, volumen regurgitante $> 60 \text{ ml/latido}$ o fracción de regurgitación $> 50\%$) y lesiones mixtas, así como aquellos con raíz aórtica dilatada ($> 45 \text{ mm}$ en síndrome de Marfan o $> 50 \text{ mm}$ en otras patologías) cuando existió indicación clínica y ecocardiográfica de cambio valvular.

Se excluyeron pacientes con arritmias crónicas demostradas en ECG o Holter de 24 horas, nuevas arritmias en las primeras 24 horas postoperatorias, tratamiento antiagregante en las 24 horas previas a la intervención o antecedentes de enfermedad neurológica estructural o funcional. La muestra fue de conveniencia, reclutando consecutivamente a cada paciente que cumplió los criterios y presentó ventana transtemporal adecuada para DTC.

Este estudio corresponde a una cohorte observacional retrospectiva de 66 pacientes consecutivos. No se realizó cálculo de tamaño muestral prospectivo, dado el carácter observacional y el periodo fijo de inclusión. Considerando el número reducido de eventos clínicos (delirium $n = 9$; accidente vascular cerebral $n = 2$; convulsiones $n = 1$), el análisis se planteó con un enfoque exploratorio.

Recursos materiales

Las mediciones ecocardiográficas se efectuaron con un equipo GE Vivid E9; los estudios de DTC se realizaron con el mismo equipo o con un SonoScape S2, ambos con sonda de 2 MHz para ventana transtemporal.

Procedimiento clínico y neuromonitoreación

En las 24 horas previas a la cirugía se registró el gasto cardíaco por ecocardiografía transtorácica, repitiéndose esta medición en el postoperatorio inmediato, a las 24 y a las 48 horas; cuando fue necesario, se corroboró mediante catéter de flotación pulmonar.

El DTC se realizó un día antes de la intervención, dentro de las primeras 6 horas posteriores al ingreso en la unidad de cuidados intensivos, y nuevamente a las 24 y 48 horas. Se midieron velocidades sistólica, diastólica y media en la arteria cerebral media (ACM), calculando el índice

Tabla 1
Variables de hemodinamia cerebral por ultrasonografía

Variable	Fórmula de cálculo	Unidad de medición
Pico sistólico (PS)	—	cm/s
Fin diastólico (ED)	—	cm/s
Velocidad media (VM)	$(PS + 2 \times ED) / 3$	cm/s
Índice de pulsatilidad (IP)	$(PS - ED) / VM$	unidades
Presión de perfusión cerebral (PPC)	$(TAM \times (ED / VM)) + 14$	mmHg

de pulsatilidad y estimando la PPC mediante la fórmula de Czosnyka ($PPC = TAM \times V_d/V_m + 14$).

Dado que las alteraciones en la autorregulación ocurren fundamentalmente durante la circulación extracorpórea, no se efectuó neuromonitorización intraoperatoria; el interés fue documentar la repercusión hemodinámica en el postoperatorio inmediato.

Las mediciones fueron realizadas por dos operadores entrenados en cuidados críticos y neurosonología, siguiendo protocolos estandarizados. Cada operador aplicó la técnica de manera consistente, aunque las mediciones no se realizaron con cegamiento estricto respecto al estado clínico de los pacientes (tabla 1).

Vigilancia neurológica y desenlaces

Durante la estancia en cuidados intensivos se evaluó sistemáticamente el estado de alerta y la línea de base cognitiva en las primeras horas mediante RASS, complementado posteriormente con las escalas Glasgow y FOUR. Se registraron antecedentes de déficit cognitivo previo para contextualizar la función neurológica basal. El desenlace neurológico primario fue la aparición de delirio, identificado por fluctuaciones en el nivel de conciencia y confirmado mediante la escala CAM-ICU. Además, se monitoreó la ocurrencia de EVC, definido como déficit neurológico focal agudo corroborado clínicamente y mediante tomografía computarizada simple, cuantificado con NIHSS, así como la presencia de crisis convulsivas. En casos de diagnóstico dudoso o déficit inexplicado, se solicitó resonancia magnética, siempre que no existieran contraindicaciones. Esta estrategia asegura una evaluación sistemática y estandarizada de la línea de base cognitiva y de los desenlaces neurológicos (fig. 1).

Gestión y análisis de datos

Los parámetros hemodinámicos y neurológicos se almacenaron en dispositivos de ultrasonido vinculados al identificador institucional de cada paciente; las imágenes DICOM se resguardaron en medios externos y las variables clínicas se extrajeron del expediente electrónico.

La base de datos se elaboró en Microsoft Excel y se exportó a STATA SE versión 12 para análisis estadístico. La normalidad de variables cuantitativas se verificó con Shapiro-Wilk. Variables con distribución normal se expresaron como media ± desviación estándar y se compararon con prueba t de Student; las no normales, como mediana y rango intercuartílico, con prueba de Mann-Whitney. Variables cualitativas se expresaron en frecuencias y porcentajes, comparándose con χ^2 o prueba exacta de Fisher según corresponda. Se consideró $p < 0,05$ como estadísticamente significativo. Las gráficas se elaboraron con GraphPad Prism versión 9.5.

Se realizó un análisis de curvas ROC para evaluar la capacidad discriminativa de la PPC en relación con los desenlaces. Se calcularon el área bajo la curva (AUC) con su intervalo de confianza al 95% (IC 95%), la sensibilidad, la especificidad y el punto de corte óptimo mediante el índice de Youden.

El valor de 55 mmHg de PPC se consideró como umbral analítico, ya que corresponde al rango intercuartílico inferior (RIC: 25) de la me-

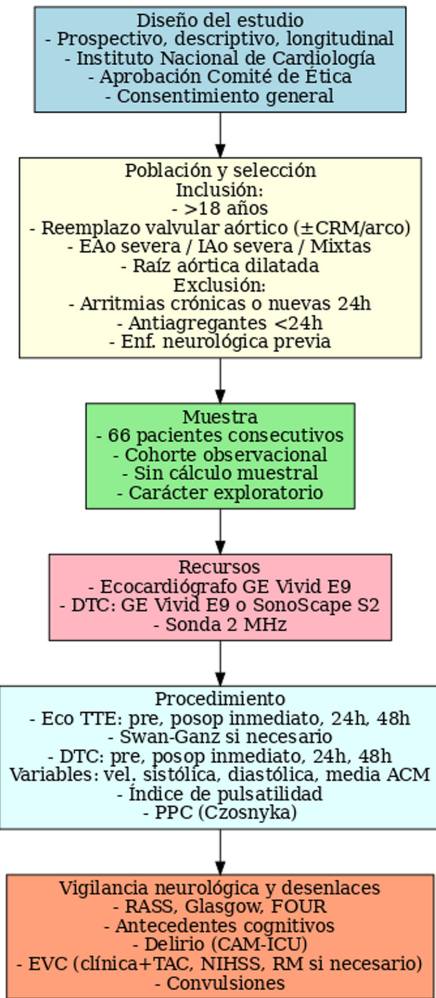


Figura 1. Diagrama de flujo que muestra el proceso de selección de pacientes y las intervenciones efectuadas durante el estudio.

ACM: arteria cerebral media; CRM: cirugía de revascularización miocárdica; DTC: Doppler transcraneal; EAo: estenosis aórtica; EVC: evento vascular cerebral; FOUR: Full Outline of UnResponsiveness; IAo: insuficiencia aórtica; NIHSS: National Institutes of Health Stroke Scale; PPC: presión de perfusión cerebral; RASS: Richmond Agitation-Sedation Scale; RM: resonancia magnética; TAC: tomografía axial computarizada; TTE: ecocardiografía transtorácica.

diana de la PPC observada en la cohorte. Este punto de corte no fue preespecificado, sino derivado *post hoc* a partir de la distribución de los datos. Su elección se fundamenta además en su relevancia fisiopatológica, dado que valores cercanos a 55 mmHg se han asociado con pérdida de la autorregulación cerebral en estudios previos.

Los análisis longitudinales de las mediciones hemodinámicas y del DTC se repitieron mediante modelos de efectos mixtos con intercepción aleatoria por paciente, con el objetivo de considerar la variabilidad intraindividual y confirmar la robustez de los hallazgos obtenidos mediante pruebas de medidas repetidas.

Consideraciones éticas y financieras

Al no introducir intervenciones adicionales, el estudio se clasificó como de riesgo mínimo. Los datos se codificaron para preservar confidencialidad, conforme a la Declaración de Helsinki. No se recibieron apoyos financieros externos; los equipos GE Vivid E9 y SonoScape S2 forman parte del inventario institucional, sin costos adicionales.

Tabla 2

Características basales

Variable	n (%)
Mujeres	23 (34,8)
Hombres	43 (65,2)
Hipertensión arterial sistémica	28 (42,4)
Diabetes mellitus tipo 2	15 (22,7)
Cirugía cardíaca previa	5 (7,6)
Hipotiroidismo	12 (18,2)
Infarto de miocardio previo	2 (3)
Enfermedad renal crónica	2 (3)
Insuficiencia cardíaca previa	18 (27,3)
Clase funcional NYHA	
I	9 (13,6)
II	31 (47)
III	22 (33,3)
IV	4 (6,1)
	Mediana (RIC)
Edad (años)	57 (45-66)
Peso (kg)	69 (61-79)
Talla (m)	1,60 (1,53-1,66)
Índice de masa corporal (kg/m ²)	26,7 (23,9-29,4)

NYHA: New York Heart Association; RIC: rango intercuartílico.

Tabla 3

Características quirúrgicas

Variable	n (%)
Cambio valvular aórtico	38 (57,6)
Cambio valvular aórtico + mitral	10 (15,2)
Cambio valvular aórtico + revascularización	9 (13,6)
Cirugía de Bentall y Bono	9 (13,6)
Hemorragia mediastinal	4 (6,1)
Bajo gasto postcardiotomía	5 (7,6)
Síndrome vasopléjico	7 (10,6)
Hipovolemia	20 (30,3)
	Mediana (RIC)
Tiempo de pinzamiento aórtico (min)	108 (83-132)
Tiempo de circulación extracorpórea (min)	158,5 (122-190)
EUROSCORE	1,75 (0,86-3,49)

RIC: rango intercuartílico.

Resultados

Se reclutaron 66 pacientes que cumplían los criterios de inclusión y exclusión. La mediana de edad fue 57 años (RIC: 45-66) y predominó el sexo masculino (65,2%, n = 43). La hipertensión arterial sistémica fue la comorbilidad más frecuente (42,4%), seguida de diabetes mellitus tipo 2 (22,7%). La mayoría presentaba insuficiencia cardíaca clase funcional NYHA II (47%) o III (33,3%). El índice de masa corporal mediano fue 26,7 kg/m², correspondiente a sobrepeso (tabla 2). No se observaron diferencias significativas en las características basales entre los grupos con PPC izquierda o derecha mayor y menor a 55 mmHg (tabla suplementaria 1).

En cuanto a las características quirúrgicas (tabla 3), el procedimiento más frecuente fue el cambio valvular aórtico aislado (57,6%). Las intervenciones combinadas incluyeron reemplazo valvular aórtico más plastia o reemplazo mitral (15,2%), revascularización miocárdica (13,6%) y cirugía de Bentall-de Bono (13,6%). Los tiempos de pinzamiento aórtico y circulación extracorpórea mostraron medianas de 108 min (RIC: 83-132) y 158,5 min (RIC: 122-190), respectivamente. Las complicaciones intraoperatorias o inmediatas más frecuentes fueron hipovolemia (30,3%) y síndrome vasopléjico (10,6%).

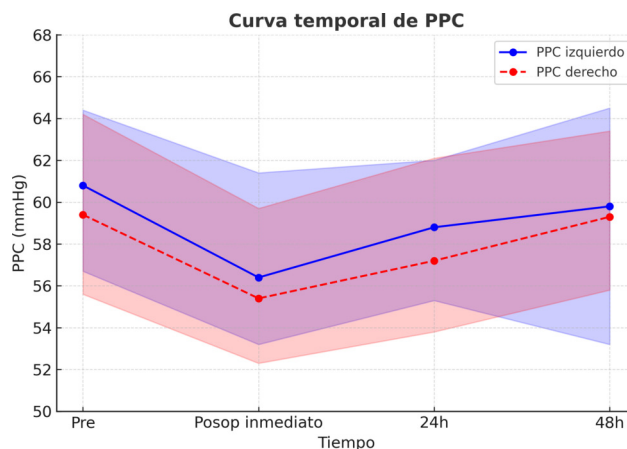


Figura 2. Curva temporal de la presión de perfusión cerebral durante el periodo postoperatorio.

IQR: rango intercuartílico; PPC: presión de perfusión cerebral.

Evolución hemodinámica sistémica

Tras la cirugía, la presión arterial media descendió inicialmente a 70 mmHg (RIC: 66-75), con recuperación progresiva hasta 75 mmHg (RIC: 72-80) a las 48 horas ($p < 0,0001$). El índice cardíaco disminuyó de 2,5 l/min/m² al ingreso posoperatorio a 2,3 l/min/m² a las 24 horas, normalizándose a 2,5 l/min/m² a las 48 horas ($p = 0,006$). Las resistencias vasculares sistémicas aumentaron de forma no significativa a las 24 horas ($p = 0,061$). La saturación venosa central de oxígeno cayó del 75% al 68,9% ($p < 0,0001$) y el lactato sérico descendió de 2,5 a 2,3 mmol/l ($p = 0,021$). El uso de noradrenalina fue alto en el postoperatorio inmediato (77,3%), reduciéndose al 12,1% a las 24 horas; situación similar ocurrió con vasopresina (25,8% a 10,6%). Dobutamina fue el inotrópico más empleado (53% a 7,6%).

Hemodinámica cerebral

El Doppler transcraneal mostró un patrón bifásico. En ambos hemisferios hubo una disminución significativa de las velocidades en la arteria cerebral media al ingreso postoperatorio, seguida de un ascenso por encima de valores basales a las 24-48 horas ($p < 0,0001$ para velocidades sistólica, diastólica y media bilaterales; tabla 4).

La PPC disminuyó inicialmente (56,4 mmHg izquierda y 55,4 mmHg derecha) y se normalizó a las 48 horas (59,8 mmHg izquierda, 59,3 mmHg derecha; $p = 0,003$ y $0,001$, respectivamente) (fig. 2). Ni la presión intracraneal estimada ni el índice de pulsatilidad mostraron cambios significativos.

El modelo de efectos mixtos confirmó los cambios significativos en las velocidades sistólica, diastólica y media de la arteria cerebral media, así como en la PPC, observados en los análisis iniciales por medidas repetidas ($p < 0,05$ en todos los casos). Los índices de resistencia y la presión intracraneal se mantuvieron estables a lo largo del seguimiento. Estos resultados reafirman la consistencia temporal de la respuesta hemodinámica cerebral en el periodo agudo.

Complicaciones y desenlaces

Las complicaciones sistémicas más frecuentes fueron lesión renal aguda (39,4%) y la hipovolemia (30,3%). Entre las neurológicas, el delirio fue la más común (13,6%), seguida de EVC (3%) y crisis convulsiva (1,5%). No se registró mortalidad intrahospitalaria. La mediana de estancia en cuidados intensivos fue 3 días (RIC: 2-4) y la hospitalaria total, 9 días (RIC: 8-18) (tabla 5).

Tabla 4
Variables hemodinámicas y fármacos vasoactivos al ingreso y a las 24 horas

Variable	Ingreso, mediana (RIC)	24 horas, mediana (RIC)	p
Presión arterial media (mmHg)	70 (66-75)	72 (68-76)	< 0,0001
Gasto cardiaco (l/min)	4,3 (3,5-5,5)	3,9 (3,2-4,7)	< 0,0001
Índice cardíaco (l/min/m ²)	2,5 (2-3,2)	2,3 (2-2,7)	0,006
Presión venosa central (mmHg)	8,5 (6-12)	10 (9-12)	0,004
IRVS (din s cm ⁻⁵ m ²)	2.020 (1.528-2.731)	2.300 (1.841-3.110)	0,061
SvO ₂ (%)	75 (70-83)	68,9 (63,1-75)	< 0,0001
REO ₂ (%)	22,5 (17-30)	30 (23-36)	< 0,0001
DAVCO ₂ (mmHg)	6 (4-8)	6 (4-8)	0,727
DAVCO ₂ /DAVO ₂	1,64 (1,2-2,5)	1,6 (1,1-2,1)	0,206
Lactato (mmol/l)	2,5 (1,9-4,2)	2,3 (1,5-3,2)	0,021
	Ingreso, n (%)	24 horas, n (%)	p
Medicamento / soporte			
Norepinefrina	51 (77,3%)	8 (12,1%)	0,10
Dobutamina	35 (53%)	5 (7,6%)	0,20
Vasopresina	17 (25,8%)	7 (10,6%)	0,04
Levosimendán	8 (12,1%)	5 (7,6%)	0,00
Milrinona	—	1 (1,5%)	—
Azul de metileno	1 (1,5%)	1 (1,5%)	0,90
Esteroides	2 (3%)	1 (1,5%)	0,85

DAVCO₂: diferencia arteriovenosa de dióxido de carbono; DAVCO₂/DAVO₂: relación entre la diferencia arteriovenosa de dióxido de carbono y de oxígeno; IRVS: índice de resistencias vasculares sistémicas; REO₂: relación de extracción de oxígeno; RIC: rango intercuartílico; SvO₂: saturación venosa mixta de oxígeno.

Tabla 5
Hemodinamia cerebral por ultrasonografía

Variable	Basal, mediana (RIC)	Ingreso, mediana (RIC)	24 horas, mediana (RIC)	48 horas, mediana (RIC)	p
PSACM izquierdo (cm/s)	66,5 (59,6-77,1)	58,5 (49,7-72,1)	68,3 (61,2-79,5)	74,3 (66,2-86,5)	< 0,0001
EDACM izquierdo (cm/s)	24 (20,9-27,9)	19,7 (16,4-26,1)	24,1 (19,8-27,6)	27,1 (22,5-31)	< 0,0001
VMACM izquierdo (cm/s)	38,3 (34,8-43,1)	33,2 (27,9-39,6)	39,6 (33,9-44,2)	42,1 (37,8-50,5)	< 0,0001
IP izquierdo	1,1 (1-1,2)	1,2 (1-1,3)	1,2 (1,1-1,3)	1,2 (1,1-1,3)	0,266
PIC izquierdo (mmHg)	11,2 (9,5-12,2)	11,9 (10,1-13,1)	11,6 (10,4-12,7)	11,8 (10,4-12,9)	0,255
PPC izquierdo (mmHg)	60,8 (56,7-64,4)	56,4 (53,2-61,4)	58,8 (55,3-62)	59,8 (53,2-64,5)	0,003
PSACM derecho (cm/s)	64,9 (59,1-75,6)	59,1 (53,4-72,1)	71,3 (62,5-79,8)	72,9 (65-84,7)	< 0,0001
EDACM derecho (cm/s)	24,5 (20,1-26,4)	19,6 (16,5-24,1)	23,2 (20,6-28,5)	26,4 (21,5-29,7)	< 0,0001
VMACM derecho (cm/s)	38,4 (34,2-42,4)	33 (29,7-39,5)	38,8 (34,6-46)	41,7 (37,8-47,7)	< 0,0001
IP derecho	1,2 (1-1,3)	1,3 (1,1-1,4)	1,2 (1,1-1,3)	1,2 (1,1-1,3)	0,102
PIC derecho (mmHg)	11,5 (9,8-12,7)	12,5 (10,5-14)	12 (10,5-13,3)	11,7 (10,4-12,9)	0,106
PPC derecho (mmHg)	59,4 (55,6-64,2)	55,4 (52,3-59,7)	57,2 (53,8-62,1)	59,3 (55,8-63,4)	0,001

EDACM derecho (cm/s): velocidad al final de la diástole en la arteria cerebral media derecha; EDACM izquierdo (cm/s): velocidad al final de la diástole en la arteria cerebral media izquierda; IP derecho: índice de pulsatilidad en la ACM derecha; IP izquierdo: índice de pulsatilidad en la ACM izquierda, calculado como (PS-ED)/VM; PIC derecho (mmHg): presión intracraneal estimada en el hemisferio derecho; PIC izquierdo (mmHg): presión intracraneal estimada en el hemisferio izquierdo; PPC derecho (mmHg): presión de perfusión cerebral derecha, estimada con la fórmula de Czosnyka: PPC = TAM × (ED / VM) + 14; PPC izquierdo (mmHg): presión de perfusión cerebral izquierda, estimada con la fórmula de Czosnyka; PSACM derecho (cm/s): velocidad pico sistólica en la arteria cerebral media derecha; PSACM izquierdo (cm/s): velocidad pico sistólica en la arteria cerebral media izquierda; RIC: rango intercuartílico; VMACM derecho (cm/s): velocidad media en la arteria cerebral media derecha; VMACM izquierdo (cm/s): velocidad media en la arteria cerebral media izquierda.

Análisis estratificado por PPC

Para evaluar la autorregulación cerebral, los pacientes se dividieron según PPC inicial < 55 mmHg o ≥ 55 mmHg. En el análisis ROC, la PPC mostró una capacidad discriminativa moderada para la predicción de delirio postoperatorio, con un AUC de 0,72 (IC 95%: 0,58-0,86). El punto de corte óptimo de 55 mmHg presentó una sensibilidad del 70% y una especificidad del 65% para la detección de delirio. Este umbral se correspondió con el RIC 25 de la mediana de la PPC (fig. 3).

Una PPC derecha < 55 mmHg se asoció con mayor incidencia de delirio (23,3% vs 5,6%; p = 0,03), neumonía (20% vs 2,8%; p = 0,02) y síndrome vasopléjico (20% vs 2,8%; p = 0,02), así como con estancia hospitalaria más prolongada (mediana 12,5 vs 8 días; p = 0,03).

De manera similar, pacientes con PPC izquierda < 55 mmHg mostraron tendencia a mayor delirio y síndrome vasopléjico, aunque sin

significancia estadística. No se observaron diferencias en incidencia de lesión renal aguda, fallo hepático ni mortalidad.

Debido al número limitado de eventos, las comparaciones presentadas deben interpretarse con cautela. Todas las proporciones se reportan con su IC 95% (tabla 6). El cálculo de potencia *post hoc* mostró potencias de aproximadamente el 22% y el 54% para las comparaciones de PPC izquierda y derecha, respectivamente, lo que refleja una precisión limitada.

Discusión

Este estudio evidenció el comportamiento de la hemodinamia cerebral mediante Doppler transcraneal en la arteria cerebral media derecha e izquierda, una herramienta útil para analizar la repercusión cerebral de la cirugía cardíaca sobre la autorregulación. Sultan et al. (2020) señalaron que la cirugía valvular aórtica es uno de los principales factores

Tabla 6
Presión de perfusión cerebral izquierda y derecha al ingreso y desenlaces

Variable	Total n = 66	PPC izquierda > 55 mmHg n = 38	PPC izquierda < 55 mmHg n = 28	P	PPC derecha > 55 mmHg n = 36	PPC derecha < 55 mmHg n = 30	P
Delirium, n (%)	9 (13,6%; IC 95%: 6,4-24,3)	3 (7,9%; IC 95%: 1,7-21,4)	5 (17,9%; IC 95%: 6,1-36,9)	0,39	2 (5,6%; IC 95%: 0,7-18,7)	7 (23,3%; IC 95%: 9,9-42,3)	0,03
Evento vascular cerebral, n (%)	2 (3,0%; IC 95%: 0,4-10,5)	1 (2,6%; IC 95%: 0,1-13,8)	1 (3,6%; IC 95%: 0,1-18,3)	0,82	0 (0,0%; IC 95%: 0,0-9,7)	2 (6,7%; IC 95%: 0,8-22,1)	0,11
Crisis convulsivas, n (%)	1 (1,5%; IC 95%: 0,0-8,2)	1 (2,6%; IC 95%: 0,1-13,8)	0 (0,0%; IC 95%: 0,0-12,3)	0,38	1 (2,8%; IC 95%: 0,0-9,7)	1 (3,3%; IC 95%: 0,1-17,2)	0,27
Neumonía, n (%)	7 (10,6%; IC 95%: 4,4-20,6)	2 (5,3%; IC 95%: 0,6-17,7)	5 (17,9%; IC 95%: 6,1-36,9)	0,10	1 (2,8%; IC 95%: 0,1-14,5)	6 (20,0%; IC 95%: 7,7-38,6)	0,02
Mediastinitis, n (%)	2 (3,0%; IC 95%: 0,4-10,5)	1 (2,6%; IC 95%: 0,1-13,8)	1 (3,6%; IC 95%: 0,1-18,3)	0,82	0 (0,0%; IC 95%: 0,0-9,7)	2 (6,7%; IC 95%: 0,8-22,1)	0,11
Transfusión, n (%)	31 (47,0%; IC 95%: 34,6-59,7)	16 (42,1%; IC 95%: 26,3-59,2)	15 (53,6%; IC 95%: 33,9-72,5)	0,35	17 (47,2%; IC 95%: 30,4-64,5)	14 (46,7%; IC 95%: 28,3-65,7)	0,96
Lesión renal aguda, n (%)	26 (39,4%; IC 95%: 27,6-52,2)	16 (42,1%; IC 95%: 26,3-59,2)	10 (35,7%; IC 95%: 18,6-55,9)	0,59	14 (38,9%; IC 95%: 23,1-56,5)	12 (40,0%; IC 95%: 22,7-59,4)	0,92
Terapia de reemplazo renal, n (%)	2 (3,0%; IC 95%: 0,4-10,5)	0 (0,0%; IC 95%: 0,0-9,3)	2 (7,1%; IC 95%: 0,9-23,5)	0,09	1 (2,8%; IC 95%: 0,1-14,5)	1 (3,3%; IC 95%: 0,1-17,2)	0,89
Falla hepática, n (%)	16 (24,2%; IC 95%: 14,5-36,4)	8 (21,1%; IC 95%: 9,6-37,3)	8 (28,6%; IC 95%: 13,2-48,7)	0,48	8 (22,2%; IC 95%: 10,1-39,2)	8 (26,7%; IC 95%: 12,3-45,9)	0,67
Hemorragia mediastinal, n (%)	4 (6,1%; IC 95%: 1,7-14,8)	2 (5,3%; IC 95%: 0,6-17,7)	2 (7,1%; IC 95%: 0,9-23,5)	0,75	1 (2,8%; IC 95%: 0,1-14,5)	3 (10,0%; IC 95%: 2,1-26,5)	0,22
Bajo gasto poscardiotomía, n (%)	5 (7,6%; IC 95%: 2,5-16,8)	3 (7,9%; IC 95%: 1,7-21,4)	2 (7,1%; IC 95%: 0,9-23,5)	0,90	2 (5,6%; IC 95%: 0,7-18,7)	3 (10,0%; IC 95%: 2,1-26,5)	0,49
Síndrome vasopléjico, n (%)	7 (10,6%; IC 95%: 4,4-20,6)	2 (5,3%; IC 95%: 0,6-17,7)	5 (17,9%; IC 95%: 6,1-36,9)	0,10	1 (2,8%; IC 95%: 0,1-14,5)	6 (20,0%; IC 95%: 7,7-38,6)	0,02
Hipovolemia, n (%)	20 (30,3%; IC 95%: 19,6-42,9)	12 (31,6%; IC 95%: 17,5-48,7)	8 (28,6%; IC 95%: 13,2-48,7)	0,79	13 (36,1%; IC 95%: 20,8-53,8)	7 (23,3%; IC 95%: 9,9-42,3)	0,26
Mortalidad, n (%)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	1	0 (0)	0 (0)	1
Días en terapia intensiva, mediana (RIC)	3 (2-4)	3 (2-3)	3 (3-5)	0,08	3 (2-3)	3 (2-4)	0,16
Días con ventilación mecánica, mediana (RIC)	1 (1-1)	1 (1-1)	1 (1-2)	0,09	1 (1-1)	1 (1-2)	0,05
Días de hospitalización, mediana (RIC)	9 (8-18)	9 (7-15)	10 (8-21)	0,25	8 (6-14)	12,5 (9-24)	0,03
SOFA a las 24 horas, mediana (RIC)	4 (3-6)	4 (3-6)	4 (3-5)	0,70	4 (3-6)	4 (3-5)	0,92

PPC: presión de perfusión cerebral; RIC: rango intercuartilar.

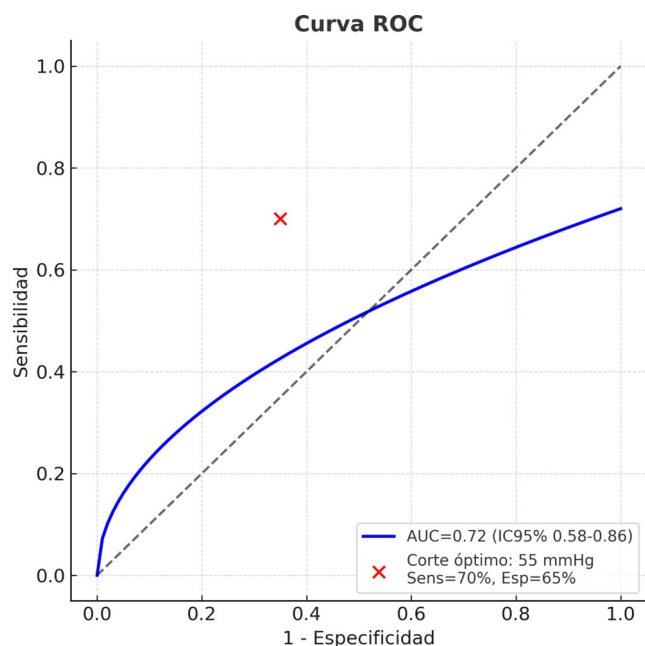


Figura 3. Análisis ROC para evaluar la capacidad discriminativa de la presión de perfusión cerebral.

que precipitan repercusiones cerebrales [3]. Reportaron una incidencia de ictus postoperatorio del 2,16% en 221 pacientes, similar a la observada en nuestro estudio (3%).

Las distribuciones por sexo, edad, índice de masa corporal y clase funcional NYHA fueron comparables entre grupos, al igual que la prevalencia de comorbilidades como hipertensión arterial sistémica, diabetes mellitus tipo 2, insuficiencia cardíaca previa e hipotiroidismo. Estos hallazgos sugieren que las variaciones en la PPC no se asociaron con diferencias demográficas o clínicas iniciales, lo que indica que las posibles diferencias en los desenlaces neurológicos o hemodinámicos podrían depender de factores intraoperatorios o postoperatorios más que de las condiciones basales de los pacientes.

Guarracino (2008) destacó la disminución de la velocidad en la arteria cerebral media como factor asociado al daño cerebral [9]. En nuestro análisis, se observó una reducción significativa de velocidades en ACM derecha (33 cm/s; RIC: 29,7-39,5) e izquierda (33,2 cm/s; RIC: 27,9-39,6) en el postoperatorio inicial ($p < 0,0001$), indicando el momento crítico de afectación de la homeostasis cerebral.

Eventos de hipoperfusión como el síndrome vasopléjico e hipovolemia tuvieron diferente correlación con la PPC. El síndrome vasopléjico mostró asociación con PPC < 55 mmHg (20% derecha y 17,9% izquierda vs 2,8% y 5,3%, respectivamente), mientras que la hipovolemia no presentó asociación significativa ($p = 0,79$ y $0,26$ para ACM izquierda y derecha).

Thudium et al. (2019) demostraron la asociación entre velocidad media cerebral y delirium postoperatorio, observando que un descenso de la velocidad media se relacionó con mayor frecuencia de delirio (32,4 cm/s vs 46,1 cm/s; $p = 0,002$) [19]. En nuestro estudio, utilizamos la PPC como parámetro y evidenciamos que valores < 55 mmHg en ambos hemisferios se relacionaron con mayor incidencia de delirium derecho (23,3% vs 5,6%, $p = 0,03$) e izquierdo (17,9% vs 10,5%, $p = 0,39$).

A diferencia del análisis basado en velocidades, la PPC es un método con mejor punto de corte, ya que esta última integra velocidades sistólica y diastólica, reflejando de manera más precisa la perfusión cerebral.

Lewis et al. (2018) señalaron que una PPC dentro de rangos normales se asocia a mejores resultados y menor mortalidad [13]. Nuestro estudio mostró que una PPC < 55 mmHg se relacionó con mayor duración

de hospitalización (12,5 y 10 días vs 8 y 9 días para Doppler derecho e izquierdo).

La dinámica de la autorregulación cerebral tiene importancia clínica y se correlaciona con eventos adversos. Aunque el grado de disminución de PPC < 55 mmHg no estuvo presente en todos los pacientes, evidenciamos asociación con síndrome vasopléjico y delirio, condiciones que incrementan la estancia hospitalaria y el riesgo de complicaciones como neumonía intrahospitalaria.

Dado que la función neurológica es difícil de valorar bajo sedación residual, disponer de un parámetro objetivo accesible a pie de cama podría guiar el manejo hemodinámico postoperatorio individualizado para mejorar los resultados.

Finalmente, se sugiere la combinación de la ultrasonografía con otras herramientas diagnósticas para validar el punto de corte de PPC y optimizar la sensibilidad y la especificidad de la monitorización neurológica.

Limitaciones

Nuestro estudio cuenta con un tamaño muestral limitado ($n = 66$) y un número reducido de eventos clínicos relevantes (delirium $n = 9$; accidente vascular cerebral $n = 2$; convulsiones $n = 1$). Esta baja frecuencia de eventos reduce la potencia estadística y la precisión de las estimaciones, e impide la aplicación de modelos multivariados convencionales, de acuerdo con la regla práctica de aproximadamente 10 eventos por variable. En consecuencia, no se realizaron análisis ajustados, y las asociaciones descritas deben interpretarse como hipótesis generadoras, susceptibles de ser confirmadas en estudios con mayor tamaño muestral.

No se evaluó formalmente la reproducibilidad intra e interobservador ni se aplicó cegamiento completo de los operadores. La inclusión de datos de reproducibilidad (ICC o coeficiente de variación) habría fortalecido el rigor metodológico y representa una recomendación para estudios futuros.

Conclusiones

La PPC estimada por ultrasonografía en pacientes postoperados de cirugía valvular aórtica es factible, segura y realizable a pie de cama. Se observó una disminución inicial de la PPC al ingreso posquirúrgico, con recuperación a las 48 horas bajo manejo médico adecuado. Cambios paralelos en el índice cardíaco y microcirculación fueron también evidentes al ingreso.

Una PPC menor a 55 mmHg se asoció con mayor incidencia de delirium, síndrome vasopléjico, neumonía y prolongación de la estancia hospitalaria. Estos hallazgos resaltan la importancia de la monitorización de la PPC para identificar pacientes en riesgo y orientar intervenciones que mejoren los desenlaces clínicos en el postoperatorio de cirugía valvular aórtica.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Anexo. Material adicional

Se puede consultar material adicional a este artículo en su versión electrónica disponible en [doi:10.1016/j.neuarg.2026.100707](https://doi.org/10.1016/j.neuarg.2026.100707).

Bibliografía

- [1] Hocker S, Wijdicks EF, Biller J. Neurologic complications of cardiac surgery and interventional cardiology. *Handb Clin Neurol* 2014;119:193–208, <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-7020-4086-3.00014-X>. PMID: 24365297.
- [2] Otto CM, Nishimura RA, Bonow RO, Carabello BA, Erwin JP 3rd, Gentile F, et al. 2020 ACC/AHA Guideline for the Management of patients with valvular heart disease: executive summary: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. *Circulation* 2021;143:e35–71, <http://dx.doi.org/10.1161/CIR.0000000000000932>. Fe de erra-

- tas en: *Circulation*. 2021 Feb 2;143(5):e228. Fe de erratas en: *Circulation*. 2021 Mar 9;143(10):e784. PMID: 33332149.
- [3] Sultan I, Bianco V, Kilic A, Jovin T, Jadhav A, Jankowitz B, et al. Predictors and outcomes of ischemic stroke after cardiac surgery. *Ann Thorac Surg* 2020;110:448–56, <http://dx.doi.org/10.1016/j.athoracsur.2020.02.025>. PMID: 32199830.
- [4] Pataraja E, Jung R, Aull-Watschinger S, Skhirtladze-Dworschak K, Dworschak M. Seizures after adult cardiac surgery and interventional cardiac procedures. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2018;32:2323–9, <http://dx.doi.org/10.1053/j.jvca.2017.12.036>. PMID: 29398383.
- [5] Kapoor MC. Neurological dysfunction after cardiac surgery and cardiac intensive care admission: a narrative review part 1: The problem; nomenclature; delirium and postoperative neurocognitive disorder; and the role of cardiac surgery and anesthesia. *Ann Card Anaesth* 2020;23:383–90, <http://dx.doi.org/10.4103/aca.ACA.138.19>. PMID: 33109792; PMCID: PMC7879912.
- [6] Scolletta S, Taccone FS, Donadello K. Brain injury after cardiac surgery. *Minerva Anestesiol* 2015;81:662–77, <http://dx.doi.org/10.1097/ACO.0b013e3282f3f499>. PMID: 25220549.
- [7] Saidi N, Murkin JM. Applied neuromonitoring in cardiac surgery: patient specific management. *Semin Cardiothorac Vasc Anesth* 2005;9:17–23, <http://dx.doi.org/10.1177/108925320500900103>.
- [8] Becker DA, McGarvey ML, Rojvirat C, Bavaria JE, Messé SR. Predictors of outcome in patients with spinal cord ischemia after open aortic repair. *Neurocrit Care* 2013;18:70–4, <http://dx.doi.org/10.1007/s12028-012-9807-9>. PMID: 23233328.
- [9] Guarracino F. Cerebral monitoring during cardiovascular surgery. *Curr Opin Anaesthesiol* 2008;21:50–4, <http://dx.doi.org/10.1097/ACO.0b013e3282f3f499>. PMID: 18195610.
- [10] Saidi N, Murkin JM. Applied neuromonitoring in cardiac surgery: patient specific management. *Semin Cardiothorac Vasc Anesth* 2005;9:17–23, <http://dx.doi.org/10.1177/108925320500900103>.
- [11] Becker DA, McGarvey ML, Rojvirat C, Bavaria JE, Messé SR. Predictors of outcome in patients with spinal cord ischemia after open aortic repair. *Neurocrit Care* 2013;18:70–4, <http://dx.doi.org/10.1007/s12028-012-9807-9>. PMID: 23233328.
- [12] Milne B, Gilbey T, Gautel L, Kunst G. Neuromonitoring and neurocognitive outcomes in cardiac surgery: a narrative review. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2022;36:2098–113, <http://dx.doi.org/10.1053/j.jvca.2021.07.029>. PMID: 34420812.
- [13] Lewis C, Parulkar SD, Bebaawy J, Sherwani S, Hogue CW. Cerebral neuromonitoring during cardiac surgery: a critical appraisal with an emphasis on near-infrared spectroscopy. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2018;32:2313–22, <http://dx.doi.org/10.1053/j.jvca.2018.03.032>. PMID: 30100271.
- [14] Thiele RH, Shaw AD, Bartels K, Brown CH 4th, Grocott H, Heringlake M, et al., Perioperative Quality Initiative (POQI) 6 Workgroup. American Society for Enhanced Recovery and Perioperative Quality Initiative Joint Consensus Statement on the Role of Neuromonitoring in Perioperative Outcomes: Cerebral Near-Infrared Spectroscopy. *Anesth Analg* 2020;131:1444–55, <http://dx.doi.org/10.1213/ANE.0000000000005081>. PMID: 33079868.
- [15] Chan MJ, Chung T, Glassford NJ, Bellomo R. Near-infrared spectroscopy in adult cardiac surgery patients: a systematic review and meta-analysis. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2017;31:1155–65, <http://dx.doi.org/10.1053/j.jvca.2017.02.187>. PMID: 28800981.
- [16] Robba C, Goffi A, Geeraerts T, Cardim D, Via G, Czosnyka M, et al. Brain ultrasonography: methodology, basic and advanced principles and clinical applications. A narrative review. *Intensive Care Med* 2019;45:913–27, <http://dx.doi.org/10.1007/s00134-019-05610-4>. PMID: 31025061.
- [17] Czosnyka M, Richards HK, Whitehouse HE, Pickard JD. Relationship between transcranial Doppler-determined pulsatility index and cerebrovascular resistance: an experimental study. *J Neurosurg* 1996;84:79–84, <http://dx.doi.org/10.3171/jns.1996.84.1.0079>. PMID: 8613840.
- [18] Schmidt EA, Czosnyka M, Gooskens I, Piechnik SK, Matta BF, Whitfield PC, et al. Preliminary experience of the estimation of cerebral perfusion pressure using transcranial Doppler ultrasonography. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 2001;70:198–204, <http://dx.doi.org/10.1136/jnnp.70.2.198>. PMID: 11160468; PMCID: PMC1737197.
- [19] Thudium M, Ellerkmann R, Heinze I, Hilbert T. Relative cerebral hyperperfusion during cardiopulmonary bypass is associated with risk for postoperative delirium: a cross-sectional cohort study. *BMC Anesthesiol* 2019;19:35, <http://dx.doi.org/10.1186/s12871-019-0705-y>.