



Correlación de la presión intracranal a través del Doppler transcraneal y el catéter intraparenquimatoso en lesión neurológica aguda

Correlation of intracranial pressure through transcranial Doppler and intraparenchymal catheter in acute neurological injury

Correlação da pressão intracraniana por Doppler transcraniano e cateter intraparenquimatoso na lesão neurológica aguda

Erick Alán Mercado Aragón,* Felipe de Jesús Montelongo,† Araceli Suárez Suárez,‡ Jonathan Galindo Ayala,§ Blanca Estela Herrera Morales,¶ Martín Eduardo Mendoza Herrera§

RESUMEN

Los pacientes neurocríticos requieren de monitoreo estrecho de la presión intracraneana para garantizar una adecuada presión de perfusión cerebral y así poder prevenir la presentación de lesiones secundarias, disminuir el impacto en la morbimortalidad de los pacientes, por lo que se realiza una evaluación a la cabecera del paciente neurocrítico en la unidad de cuidados intensivos con Doppler transcraneal, un método no invasivo con el que se identifica el índice de pulsatilidad de la arteria cerebral media en la porción M1, utilizando un ultrasonido Vinno5 con transductor sectorial G1-4P de 1.35-4.3 mHz y al mismo tiempo se realiza medición de la presión intracraneana por medio de un catéter de silicio intraparenquimatoso tipo Codman ICP Express colocado por medio de una craniotomía y un tornillo subdural, con la finalidad de correlacionar entre el método invasivo y no invasivo, realizando 948 mediciones con una correlación positiva de 100% entre el índice de pulsatilidad normal y la presión intracraneana por catéter intraparenquimatoso y a nivel mundial se ha encontrado una sola referencia similar a nuestro estudio por parte del doctor Johan Bellner en 2004 en el que se incluyeron 81 pacientes con distintas lesiones neurológicas que producían elevación de la presión intracraneal evaluada con catéter de presión intraventricular versus el índice de pulsatilidad, encontrando una correlación de $p = 0.0001$ similar a nuestro estudio el cual fue muy sensible (100%) para detectar la hipertensión endocraneana, además nosotros pudimos establecer un punto de corte para predecirla con un índice de pulsatilidad de 1.32.

Palabras clave: presión intracraneal, hipertensión endocraneal, índice de pulsatilidad, arteria cerebral media, Doppler transcraneal.

ABSTRACT

Neurocritical patients require close monitoring of intracranial pressure to ensure adequate cerebral perfusion pressure and thus be able to prevent the presentation of secondary lesions, reduce the impact on the morbidity and mortality of patients, so through the evaluation at the bedside of the neurocritical patient in the intensive care unit and it is through transcranial Doppler a non-invasive method with which the index is identified pulsatility of the middle cerebral artery in the M1 portion using a Vinno5 ultrasound with a 1.35-4.3 mHz G1-4P sectoral transducer and at the same time intracranial pressure measurement is performed by means of an intraparenchymal silicon catheter type Codman ICP Express placed by means of a craniotomy and a subdural screw, in order to correlate between the invasive and non-invasive method. Performing 948 measurements with a positive correlation of 100% between the normal pulsatility index and intracranial pressure per intraparenchymal catheter and worldwide a single reference similar to our study by Dr. Johan Bellner in 2004 has been found, in which 81 patients with different neurological lesions were included that produced elevation of intracranial pressure evaluated with intraventricular pressure catheter versus pulsatility index, finding a correlation of $p = 0.0001$ similar to our study, however we were able to establish a cut-off point to predict tracranial hypertension with a pulsatility index of 1.32.

* Médico residente de segundo año de la especialidad de Medicina del Enfermo en Estado Crítico.

† Hospital General Las Américas. ISEM, IMSS-Bienestar, Ecatepec, Estado de México. Universidad Autónoma del Estado de México. Estado de México, México. Hospital de Zona 197, IMSS, Texcoco, Estado de México, México.

‡ Hospital General Las Américas. ISEM, IMSS-Bienestar, Ecatepec, Estado de México.

§ Hospital General Regional No. 196, Instituto Mexicano del Seguro Social.

Recibido: 20/09/2024. Aceptado: 26/09/2024.

Citar como: Mercado AEA, Montelongo FJ, Suárez SA, Galindo AJ, Herrera MBE, Mendoza HME. Correlación de la presión intracraneal a través del Doppler transcraneal y el catéter intraparenquimatoso en lesión neurológica aguda. Med Crit. 2024;38(8):680-683. <https://dx.doi.org/10.35366/120016>

www.medigraphic.com/medicinacritica

Keywords: intracranial pressure, intracranial hypertension, pulsatility index, middle cerebral artery, transcranial Doppler.

RESUMO

Os pacientes neurocríticos requerem uma monitorização rigorosa da pressão intracraniana para garantir uma pressão de perfusão cerebral adequada e, assim, evitar o desenvolvimento de lesões secundárias e reduzir o impacto na morbidade e mortalidade dos pacientes, por conseguinte, através da avaliação à cabeceira do paciente neurocrítico na unidade de terapia intensiva e através do Doppler transcraniano, um método não invasivo com o qual se identifica o índice de pulsatilidade da artéria cerebral média na porção M1, utilizando um ultrassom Vinno5 com um transdutor setorial G1-4P de 1.35-4.3 mHz e, simultaneamente, foi medida a pressão intracraniana através de um cateter de silicone intraparenquimatoso Codman ICP express colocado através de uma craniotomia e de um parafuso subdural, de modo a correlacionar os métodos invasivos e não invasivos, tendo-se efetuado 948 medições com uma correlação positiva de 100% entre o índice de pulsatilidade normal e a frequência de pulso normal e pressão intracraniana por cateter intraparenquimatoso e, a nível mundial, apenas foi encontrada uma referência semelhante no nosso estudo do Dr. Johan Bellner em 2004, no qual foram incluídos 81 pacientes com diferentes lesões neurológicas que produziam pressão intracraniana elevada avaliada por cateter de pressão intraventricular versus índice de pulsatilidade, encontrando uma correlação de $p = 0.0001$ semelhante à do nosso estudo, que foi muito sensível (100%) para detectar a hipertensão endocraniana, e conseguimos também estabelecer um ponto de corte para a sua previsão com um índice de pulsatilidade de 1.32.

Palavras-chave: pressão intracraniana, hipertensão endocraniana, índice de pulsatilidade, artéria cerebral média, Doppler transcraniano.

Abreviaturas:

HE = hipertensión endocraneana

PIC = presión intracraneal

IP = índice de pulsatilidad

INTRODUCCIÓN

La hipertensión endocraneana (HE) es el mayor determinante en la evolución desfavorable en los enfermos neurocríticos.¹ La determinación y control de la presión intracraneal (PIC) toma una gran importancia con el objetivo de optimizar la presión de perfusión cerebral y esto se traduce en el equilibrio en la homeostasis cerebral.^{2,3} El estudio de las ondas de PIC y de la misma presión y su monitorización nos permite identificar la existencia de procesos que tienen como común denominador el desarrollo de HE como una lesión secundaria.^{4,5} Entre las causas de la HE se encuentran el traumatismo craneoencefálico grave, la enfermedad vascular cerebral incluyendo el hematoma intraparenquimatoso, hemorragia subaracnoidal espontánea, infarto maligno de la arteria cerebral media, malformación vascular, la enfermedad tumoral intracraneal, entre otros.^{6,7}

En pacientes neurocríticos, la monitorización multimodal cobra una importancia fundamental derivada de que el examen clínico por sí solo es poco sensible para detectar deterioro clínico.^{8,9} Mientras que la evaluación invasiva de la presión intracraneal se considera una herramienta estándar (catéter intraventricular, parenquimatoso o epi/subdural), el procedimiento requiere recursos, personal entrenado y no está exento de riesgos como eventos hemorrágicos, así como infecciones, sin descartar la posibilidad de lecturas erróneas, lo cual deriva en tratamientos inadecuados.^{10,11}

Otros métodos no invasivos cobran especial interés por ser subrogados de los métodos invasivos y complementan la neuromonitorización, Rune Aaslid en 1982 introduce un recurso denominado Doppler transcraneal como tecnología no invasiva a la cabecera del paciente obteniendo la medición del flujo de las arterias intracraneales, empleando una sonda de ultrasonido de baja frecuencia sobre ventanas en el cráneo de insonación específicas, accediendo así a las arterias que dan forma al polígono de Willis.¹²⁻¹⁴ Actualmente ha mejorado la facilidad y disponibilidad de los equipos de ultrasonido haciéndolo muy accesible a los pacientes neurocríticos.¹⁵ El síndrome de HE se caracteriza por un aumento mantenido durante > 5-10 minutos de la PIC por arriba de 22 milímetros de mercurio.¹⁶

La ultrasonografía transcraneal se puede utilizar en una amplia gama de aplicaciones clínicas.¹⁷ En general, aunque se recomienda la implementación de esta técnica en la práctica clínica, al no estar validada aún, se sugiere que no debe reemplazar las técnicas invasivas de neuromonitorización.^{18,19} La técnica a través de Doppler transcraneal permite la visualización directa e identificación de las arterias cerebrales.²⁰ Es una herramienta de utilidad para el escaneo en tiempo real del cerebro.²¹ Proporciona información básica sobre la velocidad del flujo sanguíneo (valores sistólicos, diastólicos y medios) en una arteria insonada y algorítmicamente obteniendo el índice de pulsatilidad (IP).²²⁻²⁴

El valor de los índices de velocidad de flujo, sobre todo del IP se relaciona con varios estados patológicos, su valor normal de baja resistencia es entre 0.6-1.1.²⁵ Una muy baja pulsatilidad (IP < 0.6) se asocia con vasoespasio, hiperemia o estenosis de grado alto.²⁶ La alta pulsatilidad (IP entre 1.2-1.6) se asocia con HE moderada o microangiopatía.²⁷ Y muy alta pulsatilidad (IP entre 1.7-3) testifica HE intensa.²⁸ Sin embargo, hay escasa información en la literatura mundial que asocien el fenómeno de HE con el comportamiento del IP, por lo que se decide realizar este estudio.²⁹

MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó un estudio prospectivo, longitudinal, experimental y analítico en el que se incluyeron todos los

pacientes mayores de 16 años de ambos sexos, que ingresaron a la neurointensiva, por cualquier causa de lesión neurológica, realizado del 01 de octubre de 2023 al 01 de agosto de 2024.

Se utilizó por uno de los investigadores un ultrasonido portátil VinnoA5 con transductor Sectorial G1-4P de 1.35-4.3 mHz para las mediciones del índice de pulsatilidad, obtenida en la ventana temporal ubicada por encima del arco cigomático, inmediatamente por delante y levemente arriba del trago del pabellón auricular, colocando el transductor a 0 grados con la marca en dirección anterior en modo bidimensional (técnica dúplex) con ubicación del mesencéfalo y posterior aplicación de Doppler color y pulsado en la porción M1 de la arteria cerebral media, una vez obtenido el espectro de dicha arteria y verificar la profundidad de 40 a 60 milímetros, se obtiene el índice de pulsatilidad de forma manual identificando el pico sistólico, velocidad media y la velocidad diastólica final con el cursor, siendo procesado por la fórmula de Gosling integrado en los cálculos del software transcraneal. La cabecera del paciente se colocó a 30 grados y en posición neutro. Todas las mediciones fueron validadas por un experto en ultrasonografía de la red *World Interactive Network Focused On Critical Ultra Sound* (WINFOCUS).

La técnica de colocación del catéter intraparenquimatoso se realizó en la región anterior del cráneo en el punto de Kocher por otro de los investigadores, localizando el punto de inserción desde nación de 11-13 cm, posterior 3 cm lateral a la línea media, de 1 a 2 cm anterior a la sutura coronal, lateral al seno sagital superior y anterior a la corteza motora primaria. Con uso de material estéril se realiza técnica de asepsia y antisepsia en la zona elegida, con infiltración de lidocaína a 2% con 10 mililitros. Se realizó incisión con bisturí de 2 a 3 centímetros de longitud, con posterior disección por planos hasta la tabla externa del cráneo. En ese punto se realiza trepano de 1 centímetro de profundidad con craneótomo manual y broca de 2.7 milímetros con paro manual, se insertó el tornillo en orificio del trepano hasta su tope para la introducción del catéter de presión intracraneal con sensor de silicio CODMAN Microsensor Skull Bolt Kit de 5 a 6 centímetros en ángulo perpendicular entre las líneas del canto interno ipsilateral y meato auditivo externo ipsilateral. Se conectó previa calibración al monitor tipo ICP Express de CODMAN y el CranialAccess Kit de CODMAN de Johnson y Johnson, dando un valor digital de la presión intracraneal en el monitor Codman.

El registro de la presión intracraneal fue cegado para ambos investigadores, al investigador que realizó el Doppler transcraneal se le colocó una etiqueta en la pantalla del monitor CODMAN, de forma que no podía ver los registros de presión digital y viceversa.

Se realizó el cálculo de muestra por estimación de proporción con un intervalo de confianza de 95% y una precisión de 3%, obteniendo un tamaño muestral de

800, la cual ajustada a pérdidas de 15% fue de 942. La base de datos se realizó en un programa Windows Excel 2019 y los resultados se procesaron en el paquete estadístico SPSS para Windows versión 26. El análisis se realizó mediante estadística descriptiva donde las variables cuantitativas se representaron en medianas y rangos intercuartiles. Se utilizó la prueba de Spearman para correlacionar las variables de estudio y curvas ROC para punto de corte.

RESULTADOS

Se incluyeron 12 pacientes con lesión cerebral aguda, tres de género femenino, de los cuales nueve pacientes tenían diagnóstico de traumatismo craneoencefálico (TCE) severo y tres evento vascular cerebral hemorrágico por crisis hipertensiva, de los cuales la media de edad fue 32.75 ± 15.02 , con índice de masa corporal con un rango intercuartil (RIQ) de 26.49 ± 4.79 , la media de la escala de Glasgow de los pacientes fue de 7 puntos y todos se encontraban intubados y con ventilación mecánica, con una escala de sedación de RAAS-5. Se realizaron 948 maniobras de medición en total cada hora, que dependieron de los días en que estuvo colocado el catéter con un valor de presión intracranial por este método invasivo con una media de 9 mmHg con rango intercuartil de 8.14 y finalmente un índice de pulsatilidad con una media de 0.84 (0.78-0.88).

Se utilizó la prueba de Spearman para correlacionar la PIC por método invasivo y no invasivo IP en la que se evidencia una correlación significativa bilateral (*Tabla 1*).

La curva ROC es significativa para demostrar un punto de corte de IP de 1.32 valores igual o mayores para predecir hipertensión endocraneal, mostrando que este método no invasivo es capaz de detectar la enfermedad en los pacientes de estudio (*Figura 1*).

DISCUSIÓN

La monitorización de la PIC, considerada como estándar de oro, deriva de un método invasivo y la colocación

Tabla 1: Correlaciones entre índice de pulsatilidad y presión intracraneal.

Rho de Spearman	IP	PIC
IP		
Coeficiente de correlación	1.000	0.756*
Sig. (bilateral)	0.000	0.000
Total	478	478
PIC		
Coeficiente de correlación	0.756*	1.000
Sig. (bilateral)	0.000	0.000
Total	478	478

IP = índice de pulsatilidad. PIC = presión intracraneal.

* La correlación es significativa en el nivel 0.01 (bilateral).

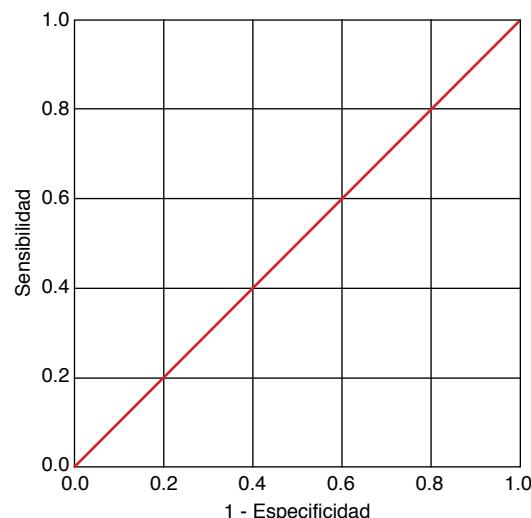


Figura 1: Gráfico de área bajo la curva (ROC) para la sensibilidad y especificidad de la prueba entre IP vs PIC, $R^2 = 0.100$ (100%) de correlación. IP = índice de pulsatilidad. PIC = presión intracraneal.
Tiene una sensibilidad y especificidad de 100%, tanto el valor predictivo positivo como el negativo son de 100%

de un catéter dentro del parénquima cerebral no se encuentra disponible en la mayor parte de las unidades de nuestro país e implica un alto costo y requiere personal altamente entrenado.³⁰ Es por eso que la adquisición de nuevas técnicas, en especial las no invasivas, tiene un gran auge para el monitoreo de las lesiones cerebrales y el Doppler transcraneal se ha convertido en un método de monitoreo frecuente, reproducible y de bajo costo.³¹

En esta comparación de los valores de la presión intracraneal invasiva y el índice de Goslin encontramos una relación significativa. Nuestro estudio describe un punto de corte sobre el índice de pulsatilidad (IP 1.32) que predice hipertensión endocraneana con un alto valor positivo y negativo.

El estudio de Bellner en 2004 concluye que, independientemente del tipo de patología intracraneal, existe una fuerte correlación entre la presión intracraneal medida por catéter intraventricular versus IP con significancia estadística de $p = 0.0001$, que en nuestro estudio realizamos con catéter intraparenquimatoso, en el cual obtuvimos una sensibilidad de 100% y una especificidad de 100% para detectar la enfermedad de hipertensión endocraneal por IP, resultados muy parecidos entre ambos estudios. Nosotros también pudimos establecer un punto de corte de IP para predecir la hipertensión endocraneana de 1.32 con una PIC de ≥ 22 mmHg.

La detección temprana de cambios en la presión intracraneal durante la monitorización del paciente críticamente enfermo que presenta una lesión cerebral aguda, mejora el pronóstico y secuelas neurológicas, al realizar intervenciones para contrarrestar

dicha elevación de forma farmacológica, no farmacológica o quirúrgica.³²

CONCLUSIONES

El Doppler transcraneal a través de la medición de IP es una herramienta alternativa para predecir hipertensión endocraneana en forma no invasiva.

REFERENCIAS

1. Bellner J, Romner B, Reinstrup P, Kristiansson KA, Ryding E, Brandt L. Transcranial Doppler sonography pulsatility index (PI) reflects intracranial pressure (ICP). *Surg Neurol.* 2004;62(1):45-51; discussion 51.
2. Oswal A, Toma AK. Intracranial pressure and cerebral haemodynamics. *Anaesth Intensive Care Med.* 2017;18(5):259-263.
3. Kim DJ, Czosnyka Z, Kasprowicz M, Smieleweski P, Baledent O, Guerguerian AM, et al. Continuous monitoring of the Monro-Kellie doctrine: is it possible? *J Neurotrauma.* 2012;29(7):1354-1363.
4. Czosnyka M, Smieleweski P, Piechnik S, Steiner LA, Pickard JD. Cerebral autoregulation following head injury. *J Neurosurg.* 2001;95(5):756-763.
5. Godoy DA, Brasil S, Iaccarino C, Paiva W, Rubiano AM. The intracranial compartmental syndrome: a proposed model for acute brain injury monitoring and management. *Crit Care.* 2023;27(1):137.
6. Ursino M, Lodi CA. A simple mathematical model of the interaction between intracranial pressure and cerebral hemodynamics. *J Appl Physiol (1985).* 1997;82(4):1256-1269.
7. Schmidt EA, Despas F, Pavly-Le Traon A, Czosnyka Z, Pickard JD, Rahmouni K, et al. Intracranial pressure is a determinant of sympathetic activity. *Front Physiol.* 2018;9:11.
8. Mokri B. The Monro-Kellie hypothesis: applications in CSF volume depletion. *Neurology.* 2001;56(12):1746-1748.
9. McBryde FD, Malpas SC, Paton JF. Intracranial mechanisms for preserving brain blood flow in health and disease. *Acta Physiol (Oxf).* 2017;219(1):274-287.
10. Canac N, Jalaleddini K, Thorpe SG, Thibeault CM, Hamilton RB. Review: pathophysiology of intracranial hypertension and noninvasive intracranial pressure monitoring. *Fluids Barriers CNS.* 2020;17(1):40.
11. Nehring SM, Tadi P, Tenny S. *Cerebral edema.* 2023 Jul 3. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan-.
12. Sawicki K, Placek MM, Lyson T, Mariak Z, Chrzanowski R, Czosnyka M. Change in blood flow velocity pulse waveform during plateau waves of intracranial pressure. *Brain Sci.* 2021;11(8):1000.
13. Varsos GV, de Riva N, Smielewski P, Pickard JD, Brady KM, Reinhard M, et al. Critical closing pressure during intracranial pressure plateau waves. *Neurocrit Care.* 2013;18(3):341-348.
14. Tymko MM, Donnelly J, Smielewski P, Zeiler FA, Sykora M, Haubrich C, et al. Changes in cardiac autonomic activity during intracranial pressure plateau waves in patients with traumatic brain injury. *Clin Auton Res.* 2019;29(1):123-126.
15. Czosnyka M, Pickard JD. Monitoring and interpretation of intracranial pressure. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 2004;75(6):813-821
16. Torbey MT, Bhardwaj A. Cerebral blood flow physiology and monitoring. *Critical Care Neurology and Neurosurgery.* 2004; 23-37.
17. Lescot T, Reina V, Le Manach Y, Boroli F, Chauvet D, Boch AL, et al. *In vivo* accuracy of two intraparenchymal intracranial pressure monitors. *Intensive Care Med.* 2011;37(5):875-879.
18. Helmke K, Burdelski M, Hansen HC. Detection and monitoring of intracranial pressure dysregulation in liver failure by ultrasound. *Transplantation.* 2000;70(2):392-395.
19. Steiner LA, Andrews PJ. Monitoring the injured brain: ICP and CBF. *Br J Anaesth.* 2006;97(1):26-38.
20. Andrews PJ, Citerio G, Longhi L, Polderman K, Sahuquillo J, Vajkoczy P, et al. NICEM consensus on neurological monitoring in acute neurological disease. *Intensive Care Med.* 2008;34(8):1362-1370.
21. Yuan Q, Wu X, Sun Y, Yu J, Li Z, Du Z, et al. Impact of intracranial pressure monitoring on mortality in patients with traumatic brain injury: a systematic review and meta-analysis. *J Neurosurg.* 2015;122(3):574-587.
22. Balestreri M, Czosnyka M, Steiner LA, Schmidt E, Smielewski P, Matta B, et al. Intracranial hypertension: what additional information can be derived from ICP waveform after head injury? *Acta Neurochir (Wien).* 2004;146(2):131-141.
23. Lau VI, Arntfield RT. Point-of-care transcranial doppler by intensivists. *Crit Ultrasound J.* 2017;9(1):21. doi: 10.1186/s13089-017-0077-9.
24. Blanco P, Abdo-Cuza A. Transcranial doppler ultrasound in neurocritical care. *J Ultrasound.* 2018;21(1):1-16. doi: 10.1007/s40477-018-0282-9.
25. D'Andrea A, Conte M, Scarafili R, Riegler L, Cocchia R, Pezzullo E, et al. Transcranial doppler ultrasound: physical principles and principal applications in neurocritical care unit. *J Cardiovasc Echogr.* 2016;26(2):28-41. doi: 10.4103/2211-4122.183746.
26. Cardim D, Robba C, Bohdanowicz M, Donnelly J, Cabella B, Liu X, et al. Non-invasive monitoring of intracranial pressure using transcranial doppler ultrasonography: is it possible? *Neurocrit Care.* 2016;25(3):473-491.
27. Kim DJ, Kasprowicz M, Carrera E, Castellani G, Zweifel C, Lavinio A, et al. The monitoring of relative changes in compartmental compliances of brain. *Physiol Meas.* 2009;30(7):647-659.
28. Kim MO, Adji A, O'Rourke MF, Avolio AP, Smielewski P, Pickard JD, et al. Change in pulsatile cerebral arterial pressure and flow waves as a therapeutic strategy? *Acta Neurochir Suppl.* 2016;122:167-170.
29. Sloan MA, Alexandrov AV, Tegeler CH, Spencer MP, Caplan LR, Feldmann E, et al. Assessment: transcranial doppler ultrasonography: report of the therapeutics and technology assessment subcommittee of the American Academy of Neurology. *Neurology.* 2004;62(9):1468-1481.
30. White H, Venkatesh B. Applications of transcranial doppler in the ICU: a review. *Intensive Care Med.* 2006;32(7):981-994.
31. Motuel J, Biette I, Srairi M, Mrozek S, Kurrek MM, Chaynes P, et al. Assessment of brain midline shift using sonography in neurosurgical ICU patients. *Crit Care.* 2014;18(6):676.
32. Moppett IK, Mahajan RP. Transcranial doppler ultrasonography in anaesthesia and intensive care. *Br J Anaesth.* 2004;93(5):710-724.

Financiamiento: ninguno.

Conflictos de intereses: ninguno.

Correspondencia:

Erick Alán Mercado Aragón

E-mail: erickalanmercado@hotmail.com