

# Neuromonitoreo ultrasonográfico en el perioperatorio: diámetro de la vaina del nervio óptico y Doppler transcraneal

*Perioperative ultrasound neuromonitoring: transcranial Doppler and optic nerve*

Ángel A. Pérez-Calatayud<sup>1</sup>, Raúl Carrillo Esper<sup>2</sup>, José C. Gasca-Aldama<sup>3</sup>, Mónica E. Linarte-Basilio<sup>4</sup>, Eduardo D. Anica-Malagon<sup>4</sup> y Jesús C. Briones-Garduño<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Unidad de Cuidados Intensivos del Adulto, Hospital de Especialidades del Niño y la Mujer Dr. Felipe Núñez Lara; <sup>2</sup>Academia Mexicana de Cirugía, Academia Nacional de Medicina; <sup>3</sup>Medicina de Urgencias, Hospital General Manuel Gea González; <sup>4</sup>Medicina Crítica en Obstetricia, Hospital General de México Dr. Eduardo Liceaga. Ciudad de México, México

## Resumen

*El monitoreo del paciente neurocrítico en el perioperatorio se encuentra en constante evolución. Existen fundamentalmente dos evaluaciones ultrasonográficas de neuromonitoreo: el diámetro de la vaina del nervio óptico y el Doppler transcraneal. En la actualidad, el neuromonitoreo guiado por ultrasonido permite detectar estenosis u oclusión de arterias intracraneales, monitorizar la evolución de los enfermos que presentan vasospasmo tras una hemorragia subaracnoidea, detectar embolias cerebrales, evaluar el sistema colateral cerebral, determinar la muerte cerebral, calcular de manera indirecta la presión intracraneana y la perfusión cerebral, entre otras, y de esta manera poder tomar decisiones terapéuticas tempranas en el manejo del paciente neurocrítico. El motivo de esta revisión es dar a conocer las aplicaciones de la ultrasonografía a la cabecera del enfermo en neuromonitoreo.*

**PALABRAS CLAVE:** Doppler transcraneal. Neuromonitoreo. Ultrasonido. Vaina del nervio óptico.

## Abstract

*Monitoring of the neurocritical in the perioperative is in constant evolution. There are essentially two ultrasonographic application of neuromonitoring: the diameter of the sheath of the optic nerve and transcranial Doppler. Ultrasound-guided neuromonitoring can detect stenosis or occlusion of intracranial arteries, monitor the evolution of patients with vasospasm after subarachnoid hemorrhage, detect cerebral embolism, evaluate the cerebral collateral system, determine brain death, calculate indirectly Intracranial pressure and cerebral perfusion and helps in clinical decisions and early therapeutic interventions in neurocritical care. The purpose of this review is to present the applications of ultrasonography to the head of the patient in neuromonitoring.*

**KEY WORDS:** Transcranial Doppler. Neuromonitoring. Ultrasound. Optic nerve.

### Correspondencia:

\*Ángel A. Pérez-Calatayud

Dr. Balmis, 148, Eje 2A Sur

Col. Cuauhtémoc, Del. Doctores

C.P. 06726, Ciudad de México, México

E-mail: gmeliinv@gmail.com

Fecha de recepción: 01-06-2018

Fecha de aceptación: 10-10-2018

DOI:10.24875/CIRU.18000501

Cir Cir. 2019;87:580-586

Contents available at PubMed

www.cirugiaycirujanos.com

## Introducción

El monitoreo del paciente neurocrítico se encuentra en constante evolución. En la actualidad, el uso del ultrasonido para monitoreo a la cabecera del enfermo está tomando gran aceptación como herramienta básica en el pase de visita del día a día, y esto se extiende al monitoreo del paciente neurocrítico. Existen fundamentalmente dos evaluaciones ultrasonográficas de neuromonitoreo: el diámetro de la vaina del nervio óptico (DVNO) y el Doppler transcraneal.

El incremento de la presión intracranal (PIC) es la complicación más grave y uno de los principales objetivos a tratar en el paciente neurocrítico. Los estudios de neuromonitoreo son costosos y requieren un entrenamiento específico de alta especialidad. La elevación de la PIC es una emergencia tanto médica como quirúrgica. Se clasifica en aguda y crónica y su etiología es variable. La PIC en los adultos está por debajo de 15 mmHg; los valores por arriba de 20 mmHg se consideran anormales, lo que representa una indicación para su monitoreo estrecho y su tratamiento agresivo<sup>1,2</sup>.

El monitoreo está indicado en pacientes con una escala de coma de Glasgow menor de 10 puntos, deterioro súbito del estado de alerta, edad mayor de 40 años y presencia de alteraciones en la tomografía computarizada de cráneo.

El monitoreo neurológico integral tiene como objetivo ayudar al clínico en el diagnóstico, la toma de decisiones y el seguimiento de los enfermos. En términos generales, el neuromonitoreo se clasifica en invasivo y no invasivo; de los primeros destaca la colocación de dispositivos intracraneales para la medición de la PIC, la temperatura cerebral y la microdiálisis; de los segundos, el monitoreo neurofisiológico y el ultrasonido Doppler transcraneal, y estudios de imagen como la tomografía computarizada y la resonancia magnética<sup>2</sup>.

En 1982, Aaslid, et al.<sup>3</sup> introdujeron en la práctica clínica la ultrasonografía Doppler transcraneal usando un dispositivo de 2 MHz, midiendo las velocidades medias de flujo sanguíneo en las arterias del polígono de Willis, permitiendo de una manera no invasiva realizar un monitoreo del comportamiento del flujo sanguíneo cerebral.

La evaluación ultrasonográfica del DVNO como parte del monitoreo neurológico se realizó a partir de 1997, cuando Hansen y Helmke<sup>4</sup> demostraron que, de forma posterior a la infusión intratecal de solución

Ringer lactato, se incrementaba de manera significativa el DVNO, lo cual dio lugar al desarrollo de estudios clínicos en los que se evaluaba el incremento del DVNO en diferentes escenarios clínicos asociados a hipertensión intracraneana.

El motivo de esta revisión es dar a conocer las aplicaciones de la ultrasonografía a la cabecera del enfermo en neuromonitoreo.

## Ultrasonido del diámetro de la vaina del nervio óptico

La medición del DVNO es fácil de realizar con ultrasonografía mediante la insonación a través de la órbita. Se ha empleado para evaluar y diagnosticar hipertensión intracraneana en la lesión cerebral traumática, la hemorragia intracraneal y los infartos cerebrales extensos<sup>5-7</sup>.

La medición del DVNO es una excelente alternativa que debe introducirse como parte del monitoreo neurológico multimodal, por ser dinámica y por realizarse a la cabecera del enfermo, por correlacionarse de manera significativa con el incremento de la PIC, por no ser invasiva y por su costo-efectividad. Es recomendable el desarrollo de futuros estudios clínicos que incluyan un mayor número de enfermos, con el fin de confirmar los resultados publicados en este y otros estudios<sup>5-7</sup>.

## Técnica para medir el diámetro de la vaina del nervio óptico

La técnica habitual se realiza con un transductor lineal colocado sobre el globo ocular. Se distingue la porción correspondiente a la retina, de donde parte un zona hipoecoica que corresponde a la vaina del nervio óptico, y esta debe ser medida a una distancia de 0.3 mm, donde se realiza la medición del DVNO, teniendo como límite superior 0.5 mm que se corresponden con una PIC de 15 mmHg (Figs. 1 y 2)<sup>5,6</sup>.

## Doppler transcraneal

Actualmente existen tres tipos de equipos para realizar este estudio. El Doppler transcraneal «a ciego» se usa paralelamente al análisis espectral del flujo sanguíneo de las arterias del polígono de Willis de la base del cerebro, analizando aproximadamente 15,000 velocidades durante un ciclo cardiaco a base del análisis espectral y la transformación matemática de Fourier. Otro equipo es el Doppler modo M, que combina



Figura 1. Técnica de insonación del globo ocular.



Figura 2. Muestra los elementos a observar durante el análisis de la vaina del nervio óptico. DVNO: diámetro de la vaina del nervio óptico. (Reproducida con permiso del autor, Carrillo, et al.<sup>6</sup>).

el análisis espectral del flujo sanguíneo con aproximadamente 32 volúmenes de muestra solapados, que registran de manera simultánea la intensidad y la dirección de cualquier señal del flujo sanguíneo en un segmento intracraneal de más de 9 cm. El Doppler en modo M es la técnica más sencilla, con una curva de aprendizaje corta y de fácil interpretación. El tercer método es el Doppler a color, que puede realizarse usando cualquier equipo ecocardiográfico, con el mismo transductor de 2.0-2.5 MHz y el programa de análisis de flujo. En estos equipos modernos pueden usarse nuevas modalidades, como el Doppler power, y posprocesamientos especiales electrónicos para delinear mejor la imagen vascular. Este método es fácilmente reproducible y se relaciona con una condición única en la mayoría de los humanos, ya que el trayecto de la arteria cerebral media va directamente hacia el transductor, mientras se use la ventana temporal con un ángulo de 30 grados<sup>8,9</sup>. La limitación del estudio es que en el 5-20% de los pacientes no pueden atravesarse las ventanas temporales con el ultrasonido. La visualización de las arterias mayores ocurre en más del 90% de los hombres, pero es menor en las mujeres debido a la mayor prevalencia de hiperostosis<sup>9</sup>.

El Doppler transcraneal tiene una gran cantidad de evidencia científica en el manejo de las siguientes

situaciones: 1) detectar estenosis u oclusión de arterias intracraneales; 2) monitorizar la evolución de los enfermos que presentan vasoespasmo tras una hemorragia subaracnoidea; 3) detectar embolias cerebrales; 4) predecir eventos isquémicos en los enfermos con anemia de células falciformes; 5) evaluar el sistema vertebrobasilar; 6) evaluar el sistema colateral cerebral; 7) determinar la muerte cerebral; y 8) determinar la posibilidad de embolia en los enfermos con agujero oval permeable. La utilidad de la evaluación de malformaciones arteriovenosas y aneurismas, y el diagnóstico de estenosis carotídea, si bien demostrada, no agrega un valor mayor al de otros estudios igualmente necesarios para la toma de decisiones (angiografía digital o angiografía por resonancia magnética)<sup>9</sup>. Las piezas centrales del estudio Doppler en Unidad de Terapia Intensiva (UTI) son la facilidad de medición de la PIC y del DVNO, la detección del cambio fásico del flujo sanguíneo intracerebral durante la estancia del paciente en (UTI) y la valoración de la autorregulación del flujo sanguíneo cerebral estática y dinámica.

### **Valoración de la presión intracraneal por ultrasonido Doppler transcraneal y ultrasonido de la órbita y de la vaina del nervio óptico**

El valor de los índices de resistencia vascular periférica, sobre todo del índice de pulsatilidad (IP) se relaciona con varios estados patológicos. Su valor normal de baja resistencia es de 0.6-1.1. Por ejemplo, una muy baja pulsatilidad ( $IP < 0.6$ ) se asocia con vasoespasmo, hiperemia o estenosis de grado alto<sup>10</sup>; la alta pulsatilidad (IP de 1.2-1.6) se asocia con hipertensión intracraneana moderada o microangiopatía; una muy alta pulsatilidad (IP de 1.7-3) indica hipertensión intracraneana intensa; y valores de  $IP > 3$  se correlacionan estrechamente con PIC y asistolia cerebral. Bellner, et al.<sup>11</sup> encontraron una correlación estadísticamente significativa entre la PIC, la presión de perfusión y el IP ( $p < 0.0001$ ), sobre todo si el IP se acerca al valor de 3. Aparte, encontraron una desviación promedio  $\pm 4.2$  mmHg, comparando con otros métodos de medición de la PIC invasivos. Aunque otros estudios no encontraron tal correlación, la ecuación para el cálculo no invasivo de la PIC por doppler transcraneal es  $PIC = 10.927 \times IP - 1.284$ , con una desviación promedio de  $\pm 3.2$  mmHg (Fig. 3).

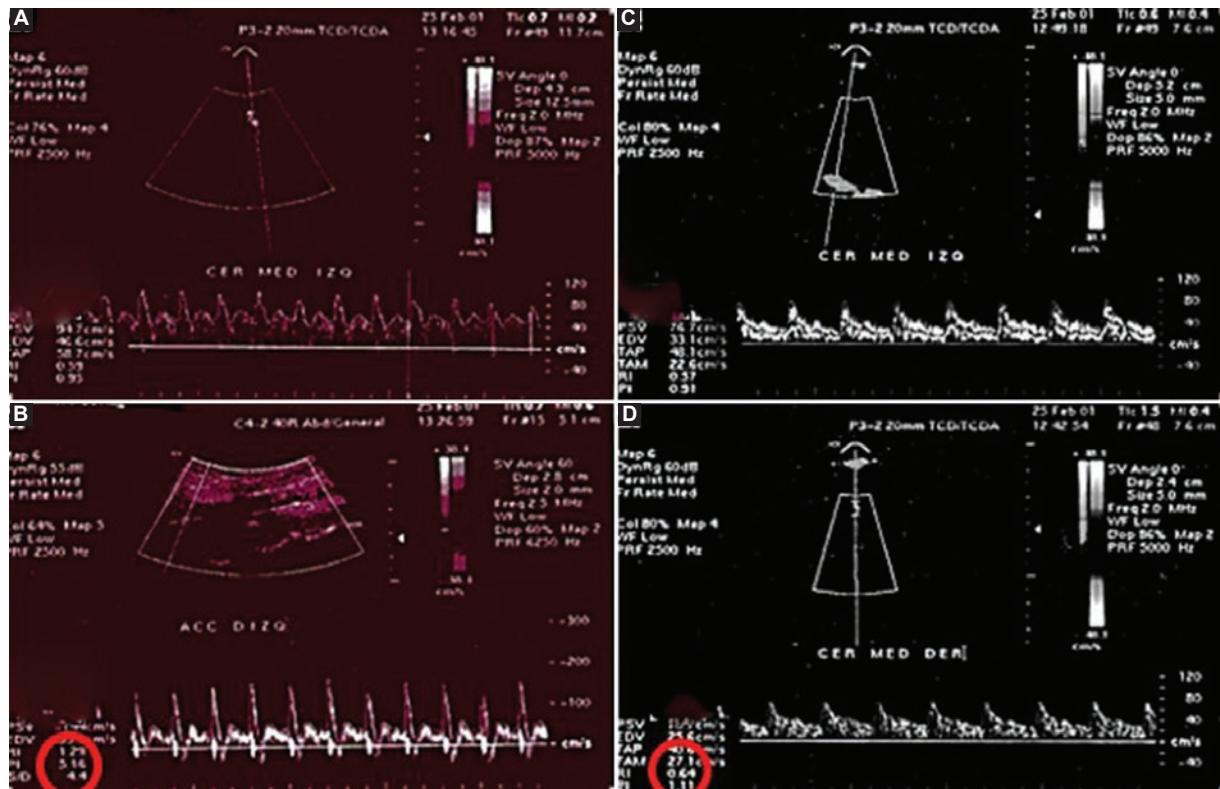


Figura 3. A: Doppler transcraneal al ingreso dentro de los parámetros. B: Incremento del índice de pulsatilidad por hipertensión intracraneana. C: Normalización del índice de pulsatilidad poscranectomía. D: Control en recuperación.

### Doppler transcraneal y muerte cerebral

La sensibilidad del Doppler transcraneal como prueba confirmatoria de muerte cerebral es de aproximadamente el 98%. Existen ya consensos y guías para tal aplicación usando parámetros de asistolia cerebral antes descrita. Por ejemplo, en una revisión de 548 pacientes con muerte cerebral clínica, la evidencia por Doppler transcraneal del paro del flujo sanguíneo intracraneal fue en 532 pacientes y solo 12 casos eran falsos negativos, cuando el Doppler transcraneal no mostraba evidencia de ausencia del flujo diastólico.

Entre las causas para explicar los resultados falsos negativos se encuentran, entre otras, craneotomías, presencia de fistulas carótido-cavernosas y lesiones de la fosa posterior que destruirían el tallo cerebral con preservación de la circulación anterior<sup>12</sup>.

### Detección de vasoespasmo tras hemorragia subaracnoidea aneurismática y postraumática

El Doppler transcraneal es un método costo-efectivo para la detección de vasoespasmo. La sensibilidad

Tabla 1. Interpretación del Doppler transcraneal por el índice de Lindergaard y la velocidad de flujo

Velocidad de flujo media (cm/seg)	Índice de Lindergaard	Interpretación
< 120	< 3	Hiperemia
> 80	3-4	Hiperemia y posible vasoespasio
> 120	3-4	Hiperemia y vasoespasio leve
> 120	4-5	Hiperemia y vasoespasio moderado
> 120	5-6	Vasoespasio moderado
> 180	6	Vasoespasio de moderado a grave
> 200	> 6	Vasoespasio grave
> 200	4-6	Hiperemia y vasoespasio moderado
> 200	3-4	Hiperemia y vasoespasio residual
> 200	< 3	Hiperemia

es mayor para los segmentos M1 de la arteria cerebral media y C1 de la arteria carótida interna (75-90%). El vasoespasio de grado moderado se detecta cuando la velocidad media es de 120-200 cm/s y un índice ofrecido por Lindegaard entre la arteria intracraneal y la arteria carótida interna medida por

**Tabla 2. Velocidades normales del Doppler transcraneal en adultos.**

Circulación anterior	Profundidad (mm)	Dirección del flujo	Velocidad media (cm/s)
Ventana temporal			
Arteria Cerebral Media Segmento M2 (M2 ACM)	30-40	Bidireccional	30-80
Arteria Cerebral Media Segmento M1 (M1 ACM)	40-65	Se acerca	30-80
Arteria Cerebral Anterior Segmento A1 (A1 ACA)	60-75	Se aleja	30-80
Arteria Cerebral Media Segmento A1-A2 (A1-A2 ACA)	45-70	Se acerca	20-80
Arteria carótida interna (ACI sifón)	58-65	Bidireccional	20-70
Arteria cerebral posterior (ACP)	55-75	Bidireccional	20-60
Ventana transorbitaria			
Arteria oftálmica	40-50	Se acerca	Variable
<b>Circulación posterior</b>			
Ventana suboccipital			
Arteria vertebral	40-75	Se aleja	20-50
Arteria basilar	80-105	Se aleja	20-60

el mismo transductor y con el mismo ángulo de insonación mayor de 3 (Tabla 1)<sup>13</sup>.

El vasoespasmo grave de los segmentos C1 y M1 se detecta cuando la velocidad media es > 200 cm/s y el índice Lindegaard es > 6. Existe una clara asociación entre el vasoespasmo grave y el incremento de la morbilidad. La asociación del aumento de la velocidad en la vena Rosenthal<sup>14</sup> > 30 cm/s y el flujo regurgitado junto con una alta velocidad media de los segmentos M1 y C1 es un dato de alerta de un evento vascular cerebral en curso.

Para la detección de vasoespasmo de la arteria basilar > 50% usando el criterio de velocidad media > 85 cm/s y un índice Lindegaard modificado > 3, la sensibilidad y la especificidad se reportan del 92 y el 97%, respectivamente. La sensibilidad puede ser aumentada hasta el 100% si se toma el criterio de velocidad media > 95 cm/s<sup>14</sup>.

Para la detección de vasoespasmo de los segmentos A1 y A2 de la arteria cerebral anterior y P1 de la arteria cerebral posterior, la sensibilidad y la especificidad del Doppler transcraneal son notablemente menores<sup>14</sup>.

### **Cambio fásico del flujo sanguíneo cerebral del paciente neurocrítico**

El cambio fásico de flujo sanguíneo cerebral durante el traumatismo craneoencefálico tiene evidencia de clase II y en las primeras 3 horas es un patrón de hiperemia o patrón hipodinámico.

Si el patrón de hiperemia persiste más de 3 horas se asocia con mal pronóstico, convirtiendo el patrón de hiperemia en un patrón de muy alta pulsatilidad. Por ejemplo, la hiperemia incontrolable en el

síndrome posparo se observa en la hipertensión intracraneal intratable y se correlaciona directamente con la mortalidad. La isquemia cerebral es un factor clave en el daño secundario posterior a un traumatismo craneoencefálico. La disminución del flujo sanguíneo cerebral < 35 cm/s unilateral o bilateral medida por la Presión Arterial de Oxígeno ( $\text{PaO}_2$ ) con un catéter intraparenquimatoso es indicativa de isquemia cerebral y se correlaciona con un peor pronóstico funcional a los 6 meses<sup>10</sup>.

### **Autorregulación cerebral**

Usar fármacos vasopresores y estudiar el cambio de la velocidad del flujo sanguíneo cerebral es un método clásico de estudio de la autorregulación cerebral. Se recomienda la maniobra de Guiller, ofrecida por él en 1993, que permite ver y medir la hiperemia reactiva de la arteria cerebral media. Se realiza después de una oclusión de 3 segundos de la arteria carótida común homolateral, aunque tiene sus limitaciones en presencia de placa de aterosclerosis carotídea. A veces, el aumento de la pulsatilidad ( $\text{IP} > 1.3$ ) puede ser un indicador de falla de autorregulación cerebral y encefalopatía en el paciente con sepsis<sup>14</sup> (Tabla 2).

### **Discusión**

El uso de tecnología no invasiva para el monitoreo neurocrítico presenta los mismos beneficios y disminuye significativamente los riesgos de los métodos invasivos. El monitoreo multimodal es una herramienta útil en la detección de complicaciones en este tipo de pacientes. A pesar de que su aplicación principal

es el diagnóstico y el monitoreo del vasoespasmo en la hemorragia subaracnoidea, existen cada vez más estudios sobre su uso en el monitoreo de la PIC. Su habilidad para detectar reactividad y autorregulación al Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ) ayuda al intensivista a optimizar la presión de perfusión cerebral y la terapia ventilatoria de manera individualizada en cada paciente<sup>15</sup>. Además, cada vez se acepta más para el diagnóstico de muerte cerebral<sup>16,17</sup>.

Chen, et al.<sup>17</sup> demostraron que la combinación de Doppler transcraneal con electroencefalograma es superior en la detección de complicaciones que cualquier variable clínica o fisiológica por separado. En el caso de la detección de hipertensión intracraneal, Rasulo, et al.<sup>18</sup> demostraron como evidencia preliminar que el uso de la tecnología Doppler puede excluir de manera adecuada esta complicación en pacientes con traumatismo craneoencefálico.

Un metaanálisis de Mastantuono, et al.<sup>19</sup> en el que se evalúa el desempeño del Doppler transcraneal en pacientes con vasoespasmo cerebral secundario a aneurisma roto en comparación con la angiografía, que es el método de referencia, concluye que, a pesar de la alta prevalencia de vasoespasmo en la arteria cerebral media, el Doppler es capaz de detectarla, pero no es capaz de excluirla, y que no existe evidencia del uso de otras arterias además de la cerebral media, recordando que aún se necesita un mayor número de publicaciones que contemplen este rubro.

En el caso del ultrasonido del DVNO<sup>20</sup>, aunque existe poca evidencia al respecto, un metaanálisis<sup>21</sup> lo cataloga como una herramienta adecuada para calcular la presencia de hipertensión intracraneal en ausencia de dispositivos invasivos.

## Conclusiones

El Doppler transcraneal con medición del DVNO es una modalidad bien establecida para el monitoreo del flujo sanguíneo cerebral en el perioperatorio, es costo-efectivo y no invasivo, para la medición de la PIC dinámica y a la cabecera del enfermo. Estas características lo hacen una herramienta invaluable y de gran utilidad en la atención perioperatoria del paciente neurocrítico. Por tanto, la capacitación de los profesionales médicos y la creación de programas para la formación en este campo son fundamentales para continuar con el progreso de esta área. El ultrasonido es más que solo el estetoscopio del siglo XXI y la ultrasonografía a pie de cama ya es indispensable en la práctica de la medicina.

## Conflictos de intereses

El Dr. Pérez-Calatayud declara que ha participado y es asesor médico y ha recibido compensación monetaria o pago de viáticos como ponente, conferenciente o panelista en los últimos 36 meses por parte de Cheetah Medical México (Panamedical México), Il Welfen México y Latinoamérica. Lfb Pharma México, Cls Berhing México. El Dr. Carrillo-Esper fue editor jefe de esta revista hasta 2018.

## Responsabilidades éticas

**Protección de personas y animales.** Los autores declaran que para esta investigación no se han realizado experimentos en seres humanos ni en animales.

**Confidencialidad de los datos.** Los autores declaran que han seguido los protocolos de su centro de trabajo sobre la publicación de datos de pacientes.

**Derecho a la privacidad y consentimiento informado.** Los autores han obtenido el consentimiento informado de los pacientes y/o sujetos referidos en el artículo. Este documento obra en poder del autor de correspondencia.

## Bibliografía

1. Stocchetti N, Mass A. Traumatic intracranial hypertension. *N Engl J Med.* 2014;370:2121-30.
2. Bratton SL, Chestnut RM, Ghajar J, McConnell-Hammond FF, Harris OA, Hartl R, et al. Guidelines for the management of severe traumatic brain injury. VII. Intracranial pressure monitoring technology. *J Neurotrauma.* 2007;24:45-54.
3. Aaslid R, Markwalder TM, Nornes H. Noninvasive transcranial Doppler ultrasound recording of flow velocity in basal cerebral arteries. *J Neurosurg.* 1982;57:769-74.
4. Hansen HC, Helmke K. Validation of the optic nerve sheath response to changing cerebrospinal fluid pressure: ultrasound findings during intrathecal infusion tests. *J Neurosurg.* 1997;87:34-40.
5. Geeraerts T, Merceron S, Benhamou D, Vigué B, Duranteau J. Noninvasive assessment of intracranial pressure using ocular sonography in neurocritical care patients. *Intensive Care Med.* 2008;34:2062-7.
6. Carrillo R, Flores Ol, Peña CA, Carrillo LD, Carrillo JR, et al. Evaluación ultrasonográfica del diámetro de la vaina del nervio óptico (DVNO) para la medición de la presión intracraneana (PIC): a propósito de un caso. *Gac Med Mex.* 2014;150:165-70.
7. Kimberly HH, Shah S, Marill K, Noble V. Correlation of optic nerve sheath diameter with direct measurement of intracranial pressure. *Acad Emerg Med.* 2008;15:201-4.
8. Rajajee V, Vanaman M, Fletcher JJ, Jacobs TL. Optic nerve ultrasound for detection of raised intracranial pressure. *Neurocrit Care.* 2011; 15:506-15.
9. Naqvi J, Yap KH, Ahmad G, Ghosh J. Transcranial doppler ultrasound: a review of the physical principles and major applications in critical care. *Int J Vasc Med.* 2013;2013:629378.
10. Nicoletto HA, Boland LS. Transcranial Doppler series part V: specialty applications. *Am J Electroneurodiagnostic Technol.* 2011;51:31-41.
11. 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;62:45-51.
12. Pérez-Calatayud AA, Carrillo Esper R, Díaz Carrillo A, Zepeda-Mendoza DA. Doppler transcraneal y cese de la circulación cerebral en muerte encefálica. *Rev Asoc Mex Med Crit y Ter Int.* 2016;30:59-60.
13. Anzola GP, Brighenti R, Cobelli M, Giassi A, Mazzucco S, Olivato S, et al. Cerebral haemodynamics in early puerperium: a prospective study. *Ultrasound.* 2017;25:107-14.

14. Sloan MA, Alexandrov AV, Tegeler CH, Spencer MP, Caplan LR, Feldmann E, Wechsler LR, et al. Assessment: transcranial Doppler ultrasonography: report of the Therapeutics and Technology Assessment Subcommittee of the American Academy of Neurology. *Neurology*. 2004;62(9):1468-81.
15. Saqqur M, Zygun D, Demchuk A. Role of transcranial Doppler in neurocritical care. *Crit Care Med* 2007;35(5 Suppl):S216-23.
16. Hashemian SM, Delavarkasmaei H, Najafizadeh K, Mojtabae M, Ardeshiri SH, Kamranmanesh MR, et al. Role of transcranial doppler sonography in diagnosis of brain death: a single center study. *Tanaffos*. 2016;15:213-7.
17. Chen Y, Xu W, Wang L, Yin X, Cao J, Deng F. Transcranial Doppler combined with quantitative EEG brain function monitoring and outcome prediction in patients with severe acute intracerebral haemorrhage. *Crit Care* 2018;22:36.
18. Rasulo FA, Bertuetti R, Robba C, Lusenti F, Cantoni A, Bernini M. The accuracy of transcranial Doppler in excluding intracranial hypertension following acute brain injury: a multicenter prospective pilot study. *Crit Care*. 2017;21:44.
19. Mastantuono JM, Combescure C, Elia N, Tramèr MR, Lysakowski C. Transcranial Doppler in the diagnosis of cerebral vasospasm: an updated meta-analysis. *Crit Care Med*. 2018;46:1665-72.
20. Yanamandra U, Gupta A, Yanamandra S, Das SK, Patyal S, Nair V. Bedside ultrasonography as an alternative to computed tomography scan for the measurement of optic nerve sheath diameter. *J Neurosci Rural Pract*. 2018;9:252-5.
21. Brzan Simenc G, Ambrozic J, Prokselj K, Tul N, Cvijic M, Mirkovic T, et al. Ocular ultrasonography for diagnosing increased intracranial pressure in patients with severe preeclampsia. *Int J Obstet Anesth*. 2018; 36:49-55.