



# Revista Colombiana de Anestesiología

## Colombian Journal of Anesthesiology

www.revcolanest.com.co



### Revisión

# Aplicaciones de la ultrasonografía en el sistema nervioso central para neuroanestesia y cuidado neurocrítico



Lucas Ochoa-Pérez<sup>a,\*</sup> y Alejandro Cardozo-Ocampo<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Médico, Residente de Anestesiología Universidad CES, Medellín, Colombia

<sup>b</sup> Médico, Especialista Medicina de Urgencias, Unidad de Cuidados Especiales Clínica CES, Director de Urgencias, Instituto Neurológico de Colombia, Medellín, Colombia

#### INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

##### Historia del artículo:

Recibido el 31 de julio de 2014  
Aceptado el 14 de marzo de 2015  
On-line el 6 de junio de 2015

##### Palabras clave:

Ultrasonografía  
Nervio óptico  
Hipertensión intracraneal  
Sistema nervioso central  
Cuidado intensivo

#### R E S U M E N

La ultrasonografía realizada por especialistas no radiólogos es una herramienta que contribuye al diagnóstico y monitoreo de los pacientes neurocríticos. Adicionalmente es económica, precisa, no invasiva y rápida, lo que mejora la seguridad y oportunidad en escenarios donde la toma inmediata de decisiones es imperativa, tales como salas de cirugía, unidades de cuidado crítico o servicios de urgencias.

El objetivo es realizar una revisión narrativa presentando las aplicaciones ultrasonográficas enfocadas al sistema nervioso central (SNC) que pueden ser útiles en neuroanestesia y cuidado neurocrítico. Se realizó una búsqueda en bases de datos de los términos relacionados en la literatura médica. Se seleccionaron y revisaron artículos de relevancia para realizar una revisión no sistemática que se centró en la visualización de la línea media y de los ventrículos laterales, en la medición de la vaina del nervio óptico como subrogador de hipertensión endocraneana y en la visualización de la arteria cerebral media a través de doppler color.

Se prevé que continuarán los avances en la exploración ultrasonográfica del SNC debido a sus ventajas, la buena correlación con los estudios considerados como estándar de oro y la creciente disponibilidad de ecógrafo. Es de esperar que se mejore la oportunidad y ayude a dirigir la toma de decisiones objetivamente. Se reconoce la importancia del desarrollo de habilidades en el manejo de este método de exploración para aplicarlo en los servicios donde sea requerido.

© 2015 Sociedad Colombiana de Anestesiología y Reanimación. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

\* Autor para correspondencia: Calle 26 sur # 43 a 41 Apartamento 941, Teléfono: +57 4 2766669, Celular: +57 3217805821, Medellín, Colombia. Correo electrónico: [lucas8a1000@hotmail.com](mailto:lucas8a1000@hotmail.com) (L. Ochoa-Pérez).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.rca.2015.03.009>

0120-3347/© 2015 Sociedad Colombiana de Anestesiología y Reanimación. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## Ultrasound applications in the central nervous system for neuroanaesthesia and neurocritical care

### ABSTRACT

#### Keywords:

Ultrasonography  
Optic nerve  
Intracranial hypertension  
Central nervous system  
Intensive care

Ultrasonography performed by non-radiologist specialists is a tool that contributes to the diagnosis and monitoring of neurocritical patients. It is a non-invasive, low-cost, accurate and fast method that helps improve safety and timeliness in settings where prompt decision-making is imperative, such as in the operating room, critical care units or the emergency room.

The objective is to conduct a narrative review, presenting ultrasound applications focused on the central nervous system that may be useful in neuroanesthesia and neurocritical care. A search was performed of related terms on databases in the medical literature. Relevant papers were selected and reviewed to perform a non-systematic review focusing on the visualization of the midline and lateral ventricles, the measurement of the optic nerve sheath as a surrogate marker of intracranial hypertension, and the use of colour Doppler for visualizing the middle cerebral artery.

It is expected that the use of ultrasound examination of the central nervous system will continue to evolve given its advantages, good correlation with studies considered as the gold standard, and the growing availability of the device. Advancements in this field are expected to improve timeliness and provide objective guidance for decision-making. We recognize the importance of developing skills in the use of this method of exploration in those services where it is required.

© 2015 Sociedad Colombiana de Anestesiología y Reanimación. Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## Introducción

La ultrasonografía realizada por médicos especialistas no radiólogos lentamente se ha posicionado como una herramienta económica, efectiva, segura, no invasiva y rápida, que facilita el ejercicio profesional de pediatras<sup>1</sup>, especialistas en medicina de urgencias, cuidado crítico<sup>2</sup> y anestesiólogos<sup>3</sup>, entre otros. El uso cotidiano del ultrasonógrafo mejora la seguridad, la oportunidad y potencialmente los resultados en diferentes escenarios clínicos<sup>3</sup>.

Las aplicaciones más comunes son: cateterización guiada por ultrasonografía<sup>4</sup>, valoración abdominal en trauma (Fast) y extendida (e-Fast)<sup>5</sup>, ecocardiografía<sup>6</sup>, tamización en enfermedades aórticas<sup>7</sup> y procedimientos como drenaje de ascitis, derrame pleural y guía de bloqueos anestésicos.

Sin embargo, se han planteado diferentes escenarios para el uso de la ultrasonografía dirigidos a la resolución de problemas clínicos específicos: ¿cómo está la volemia? ¿Se requiere el inicio de inotrópicos? ¿Es necesaria una craneotomía descompresiva? Algunas de estas preguntas pueden responderse a través de nuevas aplicaciones como valoración de volemia por medición de la vena cava inferior<sup>8</sup>, ultrasonografía torácica, protocolos en paciente crítico<sup>9-11</sup>, ultrasonografía ocular<sup>12</sup> o ultrasonografía del sistema nervioso central (SNC).

Esta revisión se centra en las aplicaciones ultrasonográficas en el SNC de relevancia en anestesia y cuidado crítico.

## Metodología

Se realizó una búsqueda de los términos: ecografía, ultrasonografía, línea media cerebral, ecografía del SNC, ecografía

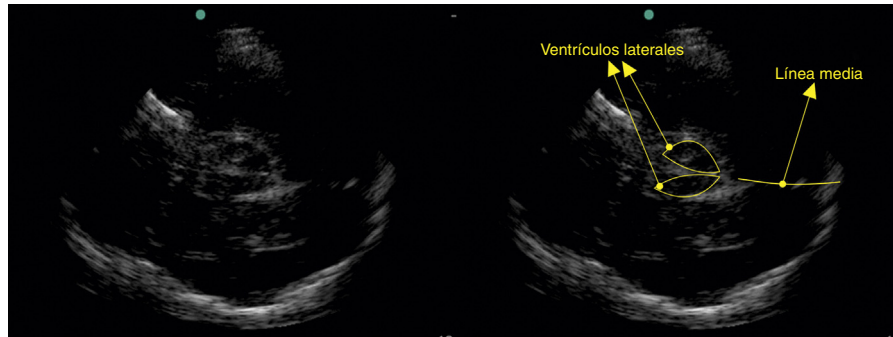
doppler cerebral, ultrasonografía del nervio óptico en la literatura médica disponible en las base de datos de Pubmed hasta el mes de abril del 2014. Se seleccionaron y revisaron artículos de relevancia sin límite de antigüedad, y finalmente se realizó una revisión narrativa sobre las aplicaciones de la ecografía en el SNC.

## Visualización de la línea media, ventrículos y lesiones en el parénquima cerebral

El desplazamiento de la línea media cerebral es uno de los parámetros que denota severidad en patologías neurológicas y en ocasiones define el manejo quirúrgico. Reportes de casos han mostrado que es posible visualizar la línea media en la ventana ósea a través de la escama del hueso temporal<sup>13</sup>. Se requiere un transductor de baja frecuencia (1 a 5 mhz) y software para doppler tras craneano que optimiza las imágenes cuando se realiza ultrasonografía de cerebro.

En esencia, es la misma técnica para realizar un doppler tras craneano color, solo que las estructuras serán visualizadas en modo B (fig. 1). Se pueden visualizar los ventrículos laterales y la línea media; esta última se ha reportado desviada en pacientes con ataque cerebrovascular, hematomas duros y ocasionalmente hemorragias gangliobasales. Se pueden localizar catéteres de derivación con esta técnica<sup>14,15</sup>. Es importante recordar que hasta un 15% de los pacientes no tienen una buena ventana ultrasonográfica, por lo que no serán visibles estas estructuras<sup>16</sup>.

En pacientes con craneotomía descompresiva (fig. 2) se facilita la valoración de parénquima cerebral, puesto que los artefactos y la sombra acústica ósea no se presentan. En



**Figura 1** – Visualización de estructuras en paciente a través de hueso temporal.

Fuente: autores.

estos pacientes el transductor se posiciona en los sitios donde no hay presente tejido óseo y no requiere una referencia anatómica específica. En este grupo de pacientes se ha reportado seguimiento de tamaño de hematomas intracerebrales, posición de catéteres de derivación<sup>17</sup> y monitoreo o seguimiento de la desviación de línea media con el tratamiento instaurado<sup>18</sup>.

### Medición del nervio óptico y su correlación con hipertensión endocraneana

La hipertensión intracraneana es una condición que amenaza la vida. Su medición se realiza con dispositivos intracraneanos, los cuales se asocian a complicaciones como infección, hemorragia o disfunción<sup>19</sup>.

La búsqueda de ayudas diagnósticas con menor morbilidad se ha centrado en métodos no invasivos, como la resonancia magnética nuclear, la tomografía axial computarizada y la ecografía doppler transcraneal. Sin embargo, la correlación de estos métodos con valores específicos de presión intracraneana es limitada<sup>20,21</sup>.

En 1965 se realizó el primer reporte de ultrasonografía del ojo<sup>22</sup>. Recientemente se ha propuesto que la medición del diámetro de la vaina del nervio óptico a través de la ventana ocular puede ser un método no invasivo para la detección de hipertensión endocraneana<sup>19,23</sup>. Adicionalmente, se ha demostrado una buena reproducibilidad intra e interobservador<sup>24</sup>.

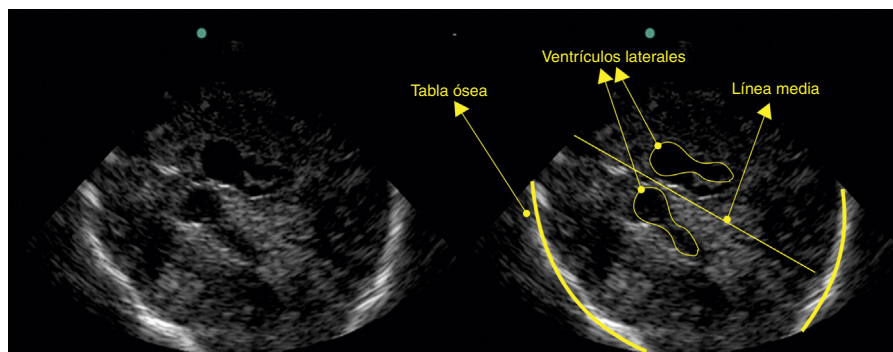
La explicación de esta medición se encuentra en que la porción más distal del nervio óptico está recubierta por la duramadre, formando una membrana conocida como vaina del nervio óptico<sup>25</sup>. A medida que la presión intracraneana se eleva, el líquido cefalorraquídeo se distribuye por la duramadre hacia la vaina del nervio óptico, la cual se dilata. Estos cambios son mayores en la parte anterior de la vaina del nervio, justo detrás del globo ocular, la cual es fácilmente accesible con el ultrasonógrafo<sup>26-28</sup>.

Conociendo que los signos clínicos de hipertensión endocraneana son tardíos, la detección temprana por ultrasonografía permite la toma de medidas terapéuticas que contribuyen a mejores resultados<sup>29,30</sup>, consume poco tiempo con relación a otros estudios de neuroimágenes y evita el traslado de pacientes críticos. Adicionalmente, permite la posibilidad de evaluar la respuesta al tratamiento realizando mediciones seriadas<sup>31-33</sup>.

Como curva de aprendizaje se proponen 10 mediciones con 3 escaneos anormales para un médico con experiencia en ultrasonografía, y 25 escaneos pueden resultar adecuados para un ultrasonografista no experimentado<sup>32</sup>.

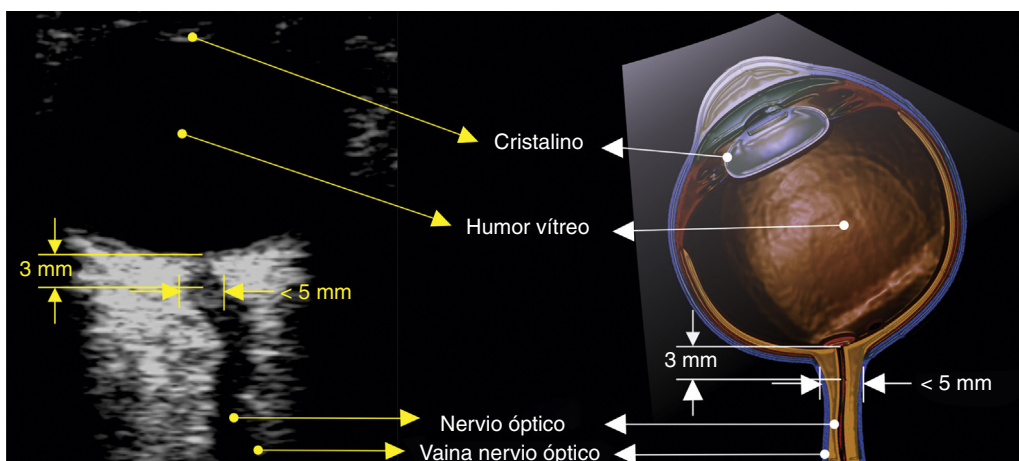
### ¿Cómo se mide la vaina del nervio óptico?

Se debe contar con un transductor lineal de alta frecuencia (7-10 mhz)<sup>22</sup>. El ecógrafo se configura para permitir visualizar estructuras hasta 5-6 cm de profundidad. El transductor se ubica sobre el párpado del ojo cerrado previa aplicación de abundante gel conductor.



**Figura 2** – Paciente con craneotomía descompresiva.

Fuente: autores.



**Figura 3 – Visualización de la vaina del nervio óptico. Diámetro normal.**  
Fuente: autores.

El nervio óptico se identifica como la estructura hipoeoica de trayecto regular posterior al globo ocular. El estándar de medición requiere trazar una línea vertical que se inicia en la unión del nervio óptico con el globo ocular; esta línea es simplemente una referencia y debe medir 3 mm. Una vez localizados estos 3 mm se traza una línea horizontal de borde a borde del nervio óptico; esta segunda línea es la que mide el valor en milímetros del nervio óptico (figs. 3 y 4)<sup>32,33</sup>.

Para la mayoría de los autores revisados 5 mm es el punto de corte para que el estudio se considere positivo para hipertensión endocraneana; otros autores proponen valores diferentes (tabla 1).

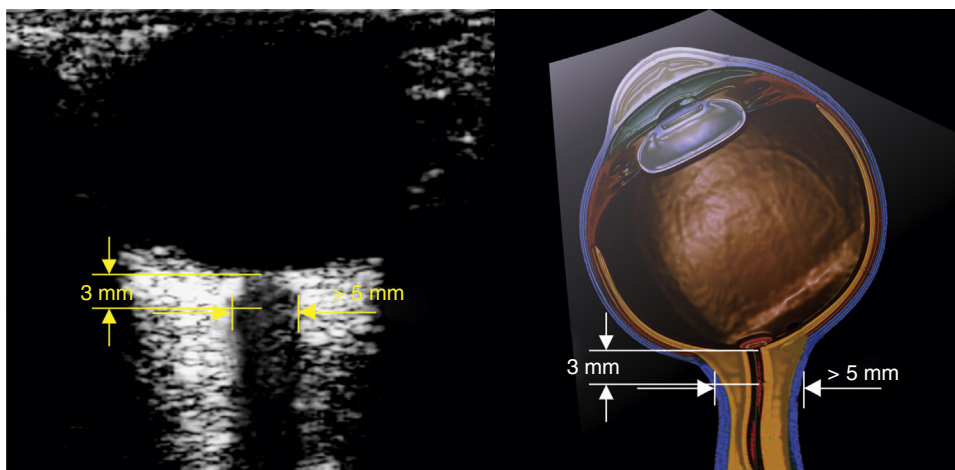
Se resalta una revisión sistemática publicada en 2011 de Dubourg et al.<sup>33</sup> y que evaluaba la precisión diagnóstica de la medición del nervio óptico en comparación con la medición invasiva de la presión intraparenquimatosa como el estándar de oro; se incluyeron 6 estudios prospectivos de cohorte con un total de 231 pacientes sin detectarse heterogeneidad significativa para la sensibilidad y la especificidad de la medición

**Tabla 1**

Estudio	Diámetro del nervio óptico (mm)	Sensibilidad (%)	Especificidad (%)
Blaivas et al. <sup>19</sup>	5,0	100	95
Goel et al.	5,0	98,6	92,8
Tayal et al. <sup>19</sup>	5,0	100	63
Kimberly et al.	5,0	88	93
Moretti et al.	5,2	93,1	73,8
Moretti y Pizzi et al.	5,2	94	76
Geeraerts et al. <sup>27</sup>	5,9	95	79
Geeraerts et al. <sup>27</sup>	5,9	87	94
Soldatos et al.	5,9	74,1	100
Major et al.	5,0	100	86

Adaptada de Qayyum<sup>23</sup>.

Fuente: autores.



**Figura 4 – Visualización del nervio óptico. Diámetro aumentado.**  
Fuente: autores.

ultrasonográfica<sup>33</sup>. La medición de la vaina del nervio óptico tiene una sensibilidad de 0,90 (IC 95%: 0,80-0,95) una especificidad de 0,85 (IC 95%: 0,73-0,93). Esta revisión también mostró una fiabilidad entre los evaluadores de 0,2 a 0,3 mm. Su inconveniente es que no se contó con un valor de corte preciso para definir la dilatación de la vaina del nervio óptico en todos los estudios. La medición del diámetro de la vaina del nervio óptico demuestra buena precisión diagnóstica para detectar la hipertensión intracraneal e influye en la decisión de remitir a los pacientes a centros especializados<sup>33</sup>.

Existen detractores de la medición del nervio óptico en hipertensión endocraneana<sup>34</sup>. Sin embargo, hasta ahora la falta de correlación no parece ser con la técnica o el proceso fisiopatológico sino por no contarse con un valor de corte estándar que sugiera el límite entre la normalidad y la hipertensión<sup>35</sup>. También es necesario estandarizar la técnica de escaneo, teniendo en cuenta que el ojo es una esfera y virtualmente podría realizarse longitudinal o trasversalmente sin conocerse qué tanto podría alterar los resultados<sup>24,35-37</sup>.

Para resolver lo anterior, en 2013 se creó la iniciativa «prospero». Se pretende evaluar la precisión diagnóstica de la ecografía del diámetro de la vaina del nervio óptico que permita detectar la hipertensión endocraneana y determinar un valor de corte preciso para establecer una base de datos a nivel del paciente individual<sup>38</sup>.

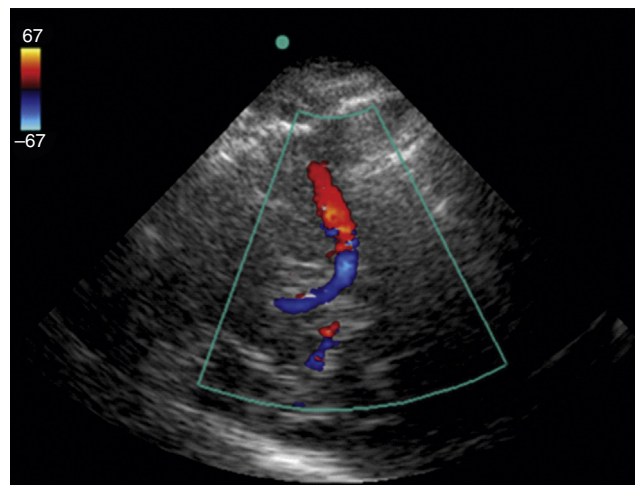
### Doppler color trascraneano

El acceso ultrasonográfico a las arterias intracraneanas es una técnica que supone dificultades mayores en comparación con la evaluación del nervio óptico o de la línea media. La curva de aprendizaje es extensa, y en el 15% de los pacientes no se obtendrá una buena ventana ultrasonográfica, por lo que no es fácil acceder a estas imágenes<sup>16</sup>.

Parte de lo anterior puede sobrepasarse si se realiza un doppler trascraneano añadiendo la función color; se requiere un ultrasonógrafo con un transductor microconvex de 1 a 5 Mhz y software con función doppler y color. La ventana ultrasonográfica se obtiene a través de la escama del hueso temporal (fig. 5). Una segunda ventana puede realizarse a través del ojo para encontrar la arteria oftálmica, y una tercera ventana a través de la región postauricular para acceder a la arteria cerebral posterior. La adición de la función color posibilita la visualización de las arterias intracraneales, especialmente la arteria cerebral media<sup>38</sup> (fig. 5).

Las dos aplicaciones más aceptadas del doppler trascraneano son control de vasoespasmó en pacientes con hemorragia subaracnoidea (evidencia clase IIa)<sup>16,38-47</sup> y el apoyo del diagnóstico de muerte cerebral (evidencia IIa)<sup>39-48</sup>. Otras aplicaciones pero aún con evidencia limitada son el neuromonitoreo a través de velocidades de flujo en las principales arterias cerebrales, en el que se pretende monitorizar la hemodinámica cerebral<sup>42-45</sup>. Se ha propuesto la evaluación de la integridad de la autorregulación cerebral a través de la relación del flujo de la arteria cerebral media y sus velocidades medidas por doppler con la presión arterial media<sup>46</sup>.

Ha sido de interés en cuidado neurocrítico y para neuroanestesiología la posibilidad de tener un neuromonitoreo de pacientes críticos en unidades de cuidados intensivos o



**Figura 5 – Arterial cerebral media en doppler color.**

**Fuente: autores.**

en salas de cirugía. El doppler trascraneano color tiene un potencial invaluable como herramienta que proporciona información dinámica, en tiempo real y no invasiva sobre variables manipulables de la hemodinámica cerebral y que potencialmente impactan en el desenlace final de los pacientes<sup>49,50</sup>.

### Conclusiones

La ecografía del sistema nervioso central realizada por especialistas no radiólogos es un método de exploración económico, versátil y preciso cada vez más disponible que permite mejorar la oportunidad y dirigir la toma de decisiones objetivamente. En un futuro cercano se prevé una gran expansión de estas aplicaciones y su correlación con procesos fisiopatológicos puntuales que influyan en la toma de decisiones de pacientes neurocríticos.

### Financiamiento

Los autores no recibieron patrocinio para llevar a cabo este artículo.

### Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

### REFERENCIAS

- Gallagher RA, Levy JA. Advances in point-of-care ultrasound in pediatric emergency medicine. *Curr Opin Pediatr*. 2014;26:265-71.
- Andruszkiewicz P, Sobczyk D. Ultrasound in critical care. *Anaesthesiol Intensive Ther*. 2013;45:177-81.
- Hocking G, Mitchell CH. Optimizing the safety and practice of ultrasound-guided regional anesthesia: The role of echogenic technology. *Curr Opin Anaesthesiol*. 2012;25:603-9.
- Heinrichs J, Fritze Z, Vandermeer B, Klassen T, Curtis S. Ultrasonographically guided peripheral intravenous

- cannulation of children and adults: A systematic review and meta-analysis. *Ann Emerg Med.* 2013;61:444-54.
5. Stengel D, Bauwens K, Rademacher G, Ekkernkamp A, Güthoff C. Emergency ultrasound-based algorithms for diagnosing blunt abdominal trauma. *Cochrane Database Syst Rev.* 2013;31:7.
  6. Oren-Grinberg A, Talmor D, Brown SM. Focused critical care echocardiography. *Crit Care Med.* 2013;41:2618-26.
  7. Taylor RA, Oliva I, van Tonder R, Elefteriades J, Dziura J, Moore CL. Point-of-care focused cardiac ultrasound for the assessment of thoracic aortic dimensions, dilation, and aneurysmal disease. *Acad Emerg Med.* 2012;19:244-7.
  8. Zengin S, Al B, Genc S, Yildirim C, Ercan S, Dogan M, Altunbas G. Role of inferior vena cava and right ventricular diameter in assessment of volume status: A comparative study: Ultrasound and hypovolemia. *Am J Emerg Med.* 2013;31:763-7.
  9. Lichtenstein D. Fluid administration limited by lung sonography: The place of lung ultrasound in assessment of acute circulatory failure (the FALLS-protocol). *Expert Rev Respir Med.* 2012;6:155-62.
  10. Wu T. The CORE Scan: Concentrated overview of resuscitative efforts. *Crit Care Clin.* 2014;30:151-75.
  11. White H, Venkatesh B. Applications of transcranial doppler in the ICU: A review. *Intensive Care Med.* 2006;32:981-94.
  12. Schott ML, Pierog JE, Williams SR. Pitfalls in the use of ocular ultrasound for evaluation of acute vision loss. *J Emerg Med.* 2013;44:1136-9.
  13. Rincon F. Bedside transcranial sonography: A promising tool for the neuro intensivist. *Crit Care Med.* 2012;40:1969-70.
  14. Caricato A, Mignani V, Bocci MG, Pennisi MA, Sandroni C, Tersali A. Usefulness of transcranial echography in patients with decompressive craniectomy: A comparison with computed tomography scan. *Crit Care Med.* 2012;40:1745-52.
  15. Becker G, Berg D. Neuroimaging in basal ganglia disorders: Perspectives for transcranial ultrasound. *Mov Disord.* 2001;16:23-32.
  16. Steiner T, Juvela S, Unterberg A, Jung C, Forsting M, Rinkel G. European Stroke Organization guidelines for the management of intracranial aneurysms and subarachnoid haemorrhage. European Stroke Organization. *Cerebrovasc Dis.* 2013;35:93-112.
  17. Phillips SB, Gates M, Krishnamurthy S. Strategic placement of bedside ventriculostomies using ultrasound image guidance: Report of three cases. *Neurocrit Care.* 2012;17:255-9.
  18. Harrer JU, Eyding J, Ritter M, Schminke U, Schulte-Altedorneburg G, Köhrmann M. The potential of neurosonography in neurological emergency and intensive care medicine: Monitoring of increased intracranial pressure, brain death diagnostics, and cerebral autoregulation — part 2. *Ultraschall Med.* 2012;33:320-31.
  19. Tayal VS, Neulander M, Norton HJ, Foster T, Saunders T, Blaivas M. Emergency department sonographic measurement of optic nerve sheath diameter to detect findings of increased intracranial pressure in adult head injury patients. *Ann Emerg Med.* 2007;49:508-14.
  20. Winkler F, Kastenbauer S, Yousry TA, Maerz U, Pfister HW. Discrepancies between brain CT imaging and severely raised intracranial pressure proven by ventriculostomy in adults with pneumococcal meningitis. *J Neurol.* 2002;249:1292-7.
  21. Schmidt B, Czosnyka M, Raabe A, Yahya H, Schwarze JJ, Sackner D. Adaptive noninvasive assessment of intracranial pressure and cerebral autoregulation. *Stroke.* 2003;34:84-9.
  22. Sasson GP, Ubiergo SU. *Ultrasonido en Emergencia y Cuidado Crítico.* 1st ed. Editorial Distribuna; 2013.
  23. Qayyum H, Ramlakhan S. Can ocular ultrasound predict intracranial hypertension? A pilot diagnostic accuracy evaluation in a UK emergency department. *Eur J Emerg Med.* 2013;20:91-7.
  24. Bäuerle J, Lochner P, Kaps M, Nedelmann M. Intra- and interobserver reliability of sonographic assessment of the optic nerve sheath diameter in healthy adults. *J Neuroimaging.* 2012;22:42-5.
  25. Fledelius HC. Ultrasound in ophthalmology. *Ultrasound Med Biol.* 1997;23:365-75.
  26. Helmke H, Hansen HC. Fundamentals of transorbital sonographic evaluation of optic nerve sheath expansion under intracranial hypertension. Patient study. *Pediatr Radiol.* 1996;26:706-10.
  27. Geeraerts T, Newcombe VF, Coles JP, Abate MG, Perkes IE, Hutchinson PJ, et al. Use of t2-weighted magnetic resonance imaging of the optic nerve. Sheath to detect raised intracranial pressure. *Crit Care.* 2008;12:1-7.
  28. Geeraerts T, Mercenron S, Benhamou D, Vigue B, Duranteau J. Non-invasive assessment of intracranial pressure using ocular sonography in neurocritical care patients. *Intensive Care Med.* 2008;34:2062-7.
  29. Girisgin AS, Kalkan E, Kocak S, Cander B, Gul M, Seniz M. The role of optic nerve ultrasonography in the diagnosis of elevated intracranial pressure. *Emerg Med J.* 2007;24:251-4.
  30. Newman WD, Hollman AS, Duttongn, Carachi R. Measurement of optic nerve sheath diameter by ultrasound: a means of detecting acute raised intracranial pressure in hydrocephalus. *Br J Ophthalmol.* 2002;86:1109-13.
  31. Strumwasser A, Kwan RO, Yeung L, Miraflor E, Ereso A, Castro-Moure F, et al. Sonographic optic nerve sheath diameter as an estimate of intracranial pressure in adult trauma. *J Surg Res.* 2011;170:265.
  32. Dubourg J, Javouhey E, Geeraerts T, Messerer M, Kassai B. Ultrasonography of optic nerve sheath diameter for detection of raised intracranial pressure: a systematic review and meta-analysis. *Intensive Care Med.* 2011;37:1059-68.
  33. Dubost C, Geeraerts T. Possible Pitfalls When Measuring the Optic Nerve Sheath with Sonography. *Journal of Surgical Research.* 2012;2(173):e43-5.
  34. Hansen HC, Lagreze W, Krueger O, Helmke K. Dependence of the optic nerve sheath diameter on acutely applied subarachnoidal pressure-an experimental ultrasound study. *Acta Ophthalmol.* 2011;89:528.
  35. Geeraerts T, Bergès O, Merceron S, Launey Y, Benhamou D, Vigué B, et al. Reply to copetti and catarossi. *Intensive Care Med.* 2009;35:1490.
  36. Blehar DJ, Gaspari RJ, Montoya A, Calderon R. Correlation of visual axis and coronal axis measurements of the optic nerve sheath diameter. *J Ultrasound Med.* 2008;407.
  37. Dubourg J, Messerer M, Karakitsos D, Rajajee V, Antonsen E, Javouhey E, et al. Individual patient data systematic review and meta-analysis of optic nerve sheath diameter ultrasonography for detecting raised intracranial pressure: protocol of the ONSD research group. *Systematic Reviews.* 2013;2(62):1-5.
  38. Toi H, Matsumoto N, Yokosuka K, Matsubara S, Hirano K, Uno M. Prediction of cerebral vasospasm using early stage transcranial Doppler. *Neurol Med Chir (Tokyo).* 2013;53(6):396-402.
  39. Lange MC, Zétola VH, Miranda-Alves M, Moro CH, Silvano CE, Rodrigues DL, et al. Brazilian guidelines for the application of transcranial ultrasound as a diagnostic test for the confirmation of brain death. Task Force Group of the Neurosonology Department, Brazilian Academy of Neurology. *Arq Neuropsiquiatr.* 2012;70(5):373-8.
  40. Lovrencic-Huzjan A, Vukovic V, Gopcevic A, Vucic M, Kriksic V, Demarin V. Transcranial Doppler in brain death confirmation in clinical practice. *Ultraschall Med.* 2011;32(1):62-6.
  41. Marinoni M, Alari F, Mastronardi V, Peris A, Innocenti P. The relevance of early TCD monitoring in the intensive care units

- for the confirming of brain death diagnosis. *Neurol Sci.* 2011;32(1):73-7.
42. Turek R, Linzer P, Filip M, Sámal F, Jurek P. Application of transcranial color-coded sonography in severe brain injury. *Acta Neurochir Suppl.* 2013;118:265-7.
  43. Shiogai T, Koyama M, Yamamoto M, Hashimoto H, Yoshikawa K, Nakagawa M. Monitoring of brain tissue perfusion utilizing a transducer holder for transcranial color duplex sonography. *Acta Neurochir Suppl.* 2013;118:229-33.
  44. Bilotta F, Dei Giudici L, Lam A, Rosa G. Ultrasound-based imaging in neurocritical care patients: a review of clinical applications. *Neurol Res.* 2013;35(2):149-58.
  45. Sharma V. Role of transcranial Doppler in traumatic brain injury. *Turk Neurosurg.* 2012;22:525-6.
  46. Lewis PM, Smielewski P, Rosenfeld JV, Pickard JD, Czosnyka M. Monitoring of the association between cerebral blood flow velocity and intracranial pressure. *Acta Neurochir Suppl.* 2012;114:147-51.
  47. Connolly ES Jr, Rabinstein AA, Carhuapoma JR, Derdeyn CP, Dion J, Higashida RT, et al. Guidelines for the management of aneurysmal subarachnoid hemorrhage: a guideline for healthcare professionals from the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke.* 2012;43(6):1711-37.
  48. Lange MC, Zétola VH, Miranda-Alves M, Moro CH, Silvado CE, Rodrigues DL, et al. Brazilian guidelines for the application of transcranial ultrasound as a diagnostic test for the confirmation of brain death. *Arq Neuropsiquiatr.* 2012;70(5):373-80.
  49. Karakitsos D, Poularas J, Karabinis A, Dimitriou V, Cardozo A, Labropoulos N. Considerations for the utilization of transcranial Doppler sonography in the study of progression towards cerebral circulatory arrest. *Intensive Care Med.* 2011;37:368-70.
  50. Topcuoglu MA. Transcranial Doppler ultrasound in neurovascular diseases: diagnostic and therapeutic aspects. *J Neurochem.* 2012;123(Suppl 2):39-51.