

Relación entre la medición por tomografía y ecografía del diámetro de la vaina del nervio óptico como estimador no invasivo de la presión intracranal

Relationship between the measurement by tomography and ultrasound of the diameter of the optic nerve sheath as a non-invasive estimator of intracranial pressure

Tania Rojas-Murillo* y Natael Olvera-González

Servicio de Anestesiología, Centro Médico Naval, Ciudad de México, México

Resumen

Objetivo: Comparar el diámetro de la vaina del nervio óptico (DVNO) medido por ultrasonografía (USG) y tomografía computarizada (TC) en pacientes con diagnóstico de hipertensión intracraneal. **Método:** Estudio prospectivo, transversal, observacional y analítico. Se incluyeron 105 pacientes divididos en dos grupos: sanos (grupo control) y pacientes que presentaran datos clínicos de hipertensión intracraneal (grupo de estudio). Se midió el DVNO por USG y TC. Para comparar el DVNO entre los pacientes se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis, y para evaluar la correlación entre USG y TC se utilizó la prueba de Spearman. Un valor de $p < 0.05$ fue considerado estadísticamente significativo. **Resultados:** De los 105 pacientes, el 58.1% eran hombres y el 41.9% mujeres. El grupo de estudio incluyó 14 pacientes con traumatismo craneoencefálico (TCE), evento vascular cerebral (EVC), neoplasia intracraneal o neuroinfección. La mayor mediana de DVNO por USG la tuvo el grupo de EVC, seguido de los pacientes con TCE, neoplasia y neuroinfección, y la menor la tuvo el grupo control (7.5, 7.0, 6.8, 6.8 y 5.2 mm, respectivamente), siendo estas diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.001$). En el análisis de correlación entre USG y TC se encontró una buena correlación positiva estadísticamente significativa ($\rho = 0.893$, $p < 0.001$). **Conclusiones:** La evaluación por USG del DVNO ha demostrado ser una prueba confiable para el diagnóstico y el monitoreo no invasivo de la hipertensión intracraneal.

Palabras clave: Neuromonitoreo. Nervio óptico. Presión intracraneal.

Abstract

Objective: To compare the ONSD measured by ultrasound and tomography in patients with a diagnosis of intracranial hypertension. **Method:** Prospective, transversal, observational, analytical study. 105 patients were included, divided into two groups: healthy (control group) and patients presenting clinical data of intracranial hypertension (study group). ONSD was measured by ultrasound and tomography. The Kruskal-Wallis test was used to compare the ONSD between the patients, and the Spearman test was used to assess the correlation between USG and CT. A value of $p < 0.05$ was considered statistically significant.

Correspondencia:

*Tania Rojas-Murillo

Avda. H. Escuela Naval Militar 745

Coapa, Presidentes Ejidales 1ra Secc

Del. Coyoacán

C.P. 04470, Ciudad de México, México

E-mail: tatisromu7@gmail.com

0009-7411/© 2021 Academia Mexicana de Cirugía. Publicado por Permanyer. Este es un artículo open access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Fecha de recepción: 02-11-2020

Fecha de aceptación: 03-02-2021

DOI: 10.24875/CIRU.20001199

Cir Cir. 2022;90(2):236-241

Contents available at PubMed

www.cirugiacircujanos.com

Results: Of the 105 patients, 58.1% were men and 41.9% women. The study group included 14 patients with TBI, CVD, intracranial neoplasia, or neuroinfection. The highest median of ONSD by Ultrasound was in the CVD group, followed by TBI, neoplasia and neuroinfection and the lowest was in the control group (7.5, 7.0, 6.8, 6.8 and 5.2 mm respectively); these differences being statistically significant ($p < 0.001$). In the correlation analysis between Ultrasound and CT, a good statistically significant positive correlation was found ($\rho = 0.893$, $p < 0.001$). **Conclusions:** The ultrasound evaluation of ONSD has proven to be a reliable test for the diagnosis and non-invasive monitoring of intracranial hypertension.

Keywords: Neuromonitoring. Optic nerve. Intracranial pressure.

Introducción

El uso de la ecografía se ha convertido en parte integral de la atención crítica en los últimos años. Proporciona una evaluación rápida, repetible y multisistémica para guiar el diagnóstico y el tratamiento de pacientes, sin requerir que estos sean transportados fuera de su entorno clínico para la obtención de imágenes^{1,2}.

En comparación con los métodos convencionales de neuroimagen (como la tomografía computarizada [TC] o la resonancia magnética), la ultrasonografía (USG) ofrece, además, un sistema de monitorización neurológica continua^{3,4}. El uso combinado de múltiples herramientas o «monitoreo multimodal» es frecuente en las áreas de atención de pacientes en estado crítico. Su aplicación se basa en complementar el examen neurológico y evaluar la progresión de la enfermedad en pacientes cuyas características clínicas del padecimiento se ven confundidas por los efectos de la sedación, la analgesia o el bloqueo neuromuscular, entre otros, y en pacientes comatosos (p. ej., edema cerebral grave, convulsiones e isquemia cerebral) en los que las respuestas neurológicas se acercan al mínimo y se vuelven insensibles a la evaluación clínica⁵.

La presión intracraneal (PIC) elevada, o hipertensión intracraneal, es un problema frecuente en los pacientes después de una lesión cerebral. No solo es un problema neurológico agudo, sino que también contribuye a malos resultados, pues se relaciona directamente con el incremento de la mortalidad, o bien puede conducir a secuelas neurológicas permanentes^{6,7}. El incremento de la PIC puede surgir de una lesión traumática, hemorragias, lesiones ocupativas (neoplásicas), alteración de la circulación del líquido cefalorraquídeo, obstrucción de los senos venosos mayores u ocasionalmente ser idiopática. La hipertensión intracraneal prácticamente reduce el calibre de la vasculatura cerebral y, por lo tanto, reduce el flujo sanguíneo y las presiones de perfusión cerebral^{8,9}.

El objetivo principal de la monitorización de la PIC es guiar las terapias que limitan la hipertensión intracraneal y optimizar la perfusión cerebral⁹. El método de referencia actual para monitorizar los cambios en la PIC es el transductor de presión intraventricular o intraparenquimatoso, colocado en el parénquima cerebral. Sin embargo, muchos pacientes pueden no recibir este monitoreo debido a los riesgos asociados, como infecciones y hemorragia, así como por la poca disponibilidad del recurso^{8,9}.

Como resultado, se ha tratado de desarrollar métodos no invasivos, ampliamente disponibles y fáciles de usar para monitorear los cambios en la PIC de pacientes con lesiones cerebrales^{9,10}.

El uso de la USG en el campo de la neurología fue descrito por primera vez por Karl Dussik en 1942, en la Universidad de Viena, para el diagnóstico de tumores cerebrales. A pesar de la naturaleza ecográfica impenetrable del hueso, existen dos áreas en la cabeza (de un adulto) para obtener una ventana acústica: la ventana ocular y las ventanas transcraneales en el perímetro del cráneo¹¹.

Actualmente se puede incluir, entre muchas otras aplicaciones, la identificación de un aumento de la PIC a través de imágenes del diámetro de la vaina del nervio óptico (DVNO). En un reciente metaanálisis, Robba et al.¹² concluyeron que el DVNO puede ser útil para el monitoreo de la PIC, como un indicador de hipertensión intracraneal, cuando los monitores invasivos estándar no están disponibles o no están indicados¹².

El nervio óptico está rodeado por las capas meníngeas y el líquido cefalorraquídeo fluye libremente entre el espacio subaracnoidal intracraneal e intraorbitario, los cuales experimentan los mismos cambios de presión. En 1968, Hayreh estableció la presencia de una comunicación constante entre el espacio subaracnoidal de la vaina del nervio óptico y la cavidad intracraneal^{13,14}. El nervio óptico se encuentra envuelto en esta vaina que contiene líquido cefalorraquídeo, por lo que en condiciones de incremento de la PIC aumenta el diámetro de la vaina¹³.

Por lo tanto, el ancho (o diámetro) de la vaina del nervio óptico visto por USG es útil como medio no invasivo para evaluar los cambios de PIC, principalmente la hipertensión intracraneal¹⁴.

Se ha demostrado que las mediciones por USG de más de 5.0 mm de DVNO se correlacionan con un incremento de la PIC, y en un ensayo prospectivo mostraron una sensibilidad del 100% y una especificidad del 63% para identificar la elevación de la PIC por este método¹⁵.

El DVNO tiene utilidad para la medición de la PIC en la hemorragia intracraneal y el accidente cerebro-vascular isquémico, la meningitis y la encefalitis, y la hipertensión intracraneal idiopática^{16,17}.

La técnica de medición del nervio óptico para estimar la PIC, basada en el concepto de que el nervio óptico es una extensión del sistema nervioso central, fue descrita por primera vez por Helmke y Hansen en 1997¹⁸.

Un DVNO «normal» en la ecografía se considera < 5.0 mm para adultos; los valores por arriba del indicado se consideran anormales^{2,11}. Comparando modelos de regresión lineal, el DVNO es un predictor mucho más fuerte de hipertensión intracraneal en comparación con otras características de la TC^{18,19}.

La medición por USG del DVNO se propone como una herramienta no invasiva, rápida y accesible para identificar la hipertensión intracraneal. El objetivo principal del presente estudio fue comparar y correlacionar el DVNO obtenido mediante TC y USG en pacientes con diagnóstico clínico de hipertensión intracraneal, con alguna lesión del sistema nervioso central asociada.

Método

Se realizó un estudio prospectivo, transversal, observacional y analítico, con 105 pacientes adultos (mayores de 18 años) divididos en dos grupos: sanos (grupo control) y pacientes con alguna lesión del sistema nervioso central que presentaran datos clínicos de hipertensión intracraneal (grupo de estudio).

El grupo de estudio incluyó 14 pacientes con datos clínicos de hipertensión intracraneal y con alguna de las siguientes lesiones: traumatismo craneoencefálico, evento vascular cerebral, algún tipo de neoplasia intracraneal o diagnóstico de neuroinfección. Además de la lesión del sistema nervioso central, en la TC se evaluó la presencia de desplazamiento de la línea media, borramiento de las cisuras o edema cerebral grave sugestivo de hipertensión intracraneal. Los

datos clínicos considerados fueron la hipertensión, la bradicardia y las alteraciones en el patrón respiratorio (tríada clásica), además de alteraciones de la conciencia (somanolencia, estupor o coma), cefalea persistente progresiva, vómito expulsivo (en proyectil), papiledema, visión borrosa o tinnitus; se incluyeron aquellos pacientes con cuatro o más de estos síntomas.

Se midió el DVNO por USG en el grupo control, y por USG y TC en el grupo de estudio. Para realizar las mediciones por USG se utilizó un equipo marca Philips, modelo Affiniti 70, con transductor lineal de 7.5 MHz, en modo bidimensional a 3 mm detrás del globo ocular. La evaluación por TC se realizó con un equipo marca Siemens, Somatom Sensation 64. Se utilizaron siempre los mismos equipos en todos pacientes.

Se realizó un análisis estadístico descriptivo de la información. Las variables cualitativas se expresaron mediante frecuencias simples y porcentajes, mientras que las variables numéricas (edad, DVNO) se expresaron con mediana y rango intercuartilar (diferencia entre los percentiles 75 y 25), debido a su distribución no normal.

Los pacientes fueron agrupados en sanos y enfermos, y para comparar la distribución de las variables entre estos grupos se utilizaron las pruebas χ^2 y U de Mann-Whitney. Para comparar el DVNO entre los pacientes (sanos, traumatismo craneoencefálico, neoplasia intracraneal, evento vascular cerebral y neuroinfección) se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis. Finalmente, para evaluar la correlación entre el DVNO por USG y TC se construyó una gráfica de dispersión de puntos y se utilizó la prueba de Spearman. Un valor de $p < 0.05$ fue considerado como estadísticamente significativo. Este estudio se realizó bajo las condiciones éticas de la unidad.

Resultados

Se incluyeron en el estudio 105 sujetos, de los cuales el 58.1% eran hombres y el 41.9% eran mujeres. La mediana de edad fue de 30 años y el 91.4% tenían entre 20 y 39 años (Tabla 1).

Pertenecieron al grupo control (sanos) 91 pacientes (86.7%) y en el grupo de estudio se incluyeron 14 pacientes: ocho con traumatismo craneoencefálico, tres con neoplasia intracraneal, dos con neuroinfección y uno con evento vascular cerebral (Fig. 1).

Al comparar los sujetos sanos y enfermos, se encontró que la mediana de edad fue mayor en el grupo

Tabla 1. Características generales de los pacientes

| Características | n = 105 |
|--------------------------|------------|
| Sexo | |
| Masculino | 61 (58.1%) |
| Femenino | 44 (41.9%) |
| Edad, años | 30 ± 4 |
| 20-39 | 96 (91.4%) |
| 40-59 | 7 (6.7%) |
| 60 y más | 2 (1.9%) |
| Grupos de pacientes | |
| Sanos | 91 (86.7%) |
| Trauma craneoencefálico | 8 (7.6%) |
| Neoplasia intracranial | 3 (2.9%) |
| Neuroinfección | 2 (1.9%) |
| Evento vascular cerebral | 1 (1%) |

Los datos se muestran como número (%) o mediana ± rango intercuartil.

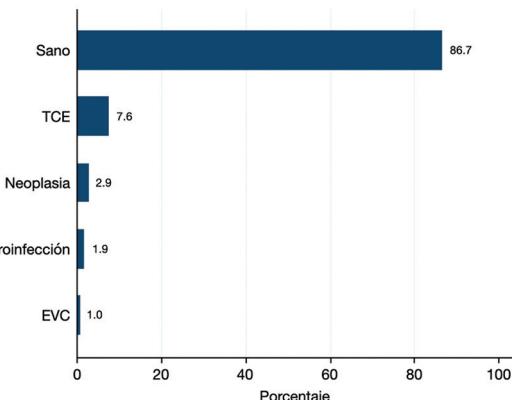


Figura 1. Gráfica que muestra la distribución de los pacientes. EVC: evento vascular cerebral; TCE: trauma craneoencefálico.

Tabla 2. Características en los sujetos enfermos y sanos

| Características | Enfermos | Sanos | Ambos grupos | p* |
|------------------|-----------|------------|--------------|---------|
| n | 14 | 91 | 105 | |
| Sexo | | | | |
| Masculino | 7 (50%) | 54 (59.3%) | 61 (58.1%) | |
| Femenino | 7 (50%) | 37 (40.7%) | 44 (41.9%) | 0.510 |
| Edad, años | 45 ± 16 | 30 ± 4 | 30 ± 4 | < 0.001 |
| 20-39 | 6 (42.9%) | 90 (98.9%) | 96 (91.4%) | |
| 40-59 | 6 (42.9%) | 1 (1.1%) | 7 (6.7%) | |
| 60 y más | 2 (14.3%) | 0 (0%) | 2 (1.9%) | < 0.001 |
| DVNO por USG, mm | 6.9 ± 0.5 | 4.2 ± 0.4 | 5.2 ± 0.5 | < 0.001 |
| DVNO por TC, mm | 6.8 ± 0.4 | ND | 6.8 ± 0.4 | ND |

DVNO: diámetro de la vaina del nervio óptico; ND: no disponible; TC: tomografía computarizada; USG: ultrasonografía.

Los datos se muestran como número (%) o mediana ± rango intercuartil.

*Valor de p mediante prueba χ^2 o U de Mann-Whitney.

de enfermos (45 vs. 30 años; $p < 0.001$), con diferencias en la distribución por grupos de edad. En la distribución por sexo no se encontraron diferencias entre los grupos (Tabla 2).

La mediana del DVNO por USG fue notoriamente superior en el grupo de enfermos (6.9 mm) que en el de sanos (4.2 mm; $p < 0.001$) (Fig. 2).

La mayor mediana del DVNO por USG la tuvo el grupo con evento vascular cerebral, seguido de los pacientes con traumatismo craneoencefálico, neoplasia y neuroinfección, y la menor la tuvo el grupo control (7.5, 7.0, 6.8, 6.8 y 5.2 mm, respectivamente), siendo estas diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.001$) (Fig. 3).

Además de la medición por USG, se realizó estudio de TC de cráneo al grupo de estudio y se midió el DVNO también por este método (Tabla 3).

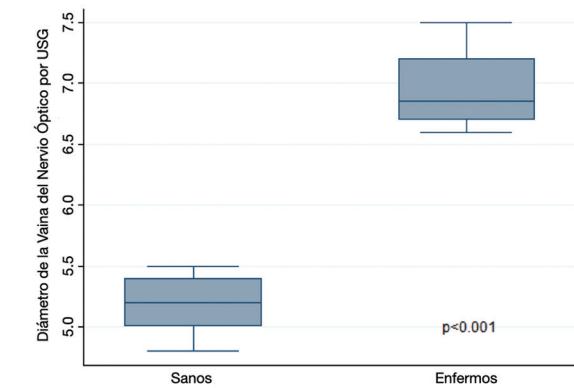


Figura 2. Diámetro medido de la vaina del nervio óptico por USG en sanos y enfermos. USG: ultrasonografía.

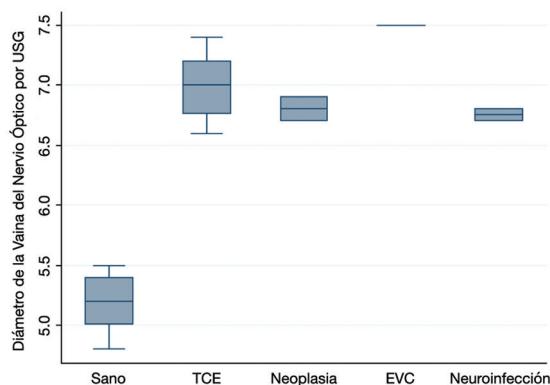


Figura 3. Diámetro de la vaina del nervio óptico medido por USG de acuerdo con el tipo de paciente. EVC: evento vascular cerebral; TCE: trauma craneoencefálico; USG: ultrasonografía.

Con relación a las mediciones de DVNO por TC realizadas en los pacientes enfermos, estas fueron muy similares entre los grupos ($p = 0.406$) (Fig. 4).

Tabla 3. Diámetro de la vaina del nervio óptico según el grupo de pacientes

| Grupos | DVNO por USG | DVNO por TC |
|--------------------------|--------------|-------------|
| Sanos | 5.2 ± 0.4 | ND |
| Trauma craneoencefálico | 7.0 ± 0.5 | 7.1 ± 0.5 |
| Neoplasia intracranal | 6.8 ± 0.2 | 6.7 ± 0.1 |
| Neuroinfección | 6.8 ± 0.1 | 6.7 ± 0.2 |
| Evento vascular cerebral | 7.5 ± 0 | 6.9 ± 0 |
| p* | < 0.001 | 0.406 |

DVNO: diámetro de la vaina del nervio óptico; ND: no disponible; TC: tomografía computarizada; USG: ultrasonografía.

Los datos se muestran como número (%) o mediana ± rango intercuartílico.

*Valor de p mediante prueba χ^2 o U de Mann-Whitney.

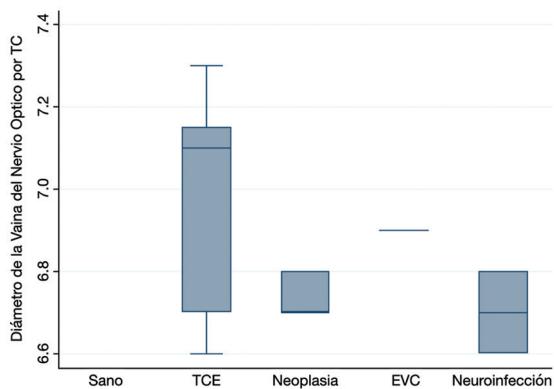


Figura 4. Diámetro de la vaina del nervio óptico medido por TC de acuerdo con el tipo de paciente. EVC: evento vascular cerebral; TC: tomografía; TCE: trauma craneoencefálico.

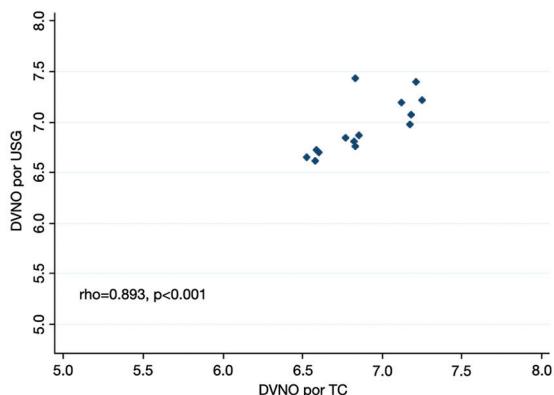


Figura 5. Correlación entre el diámetro de la vaina del nervio óptico (DVNO) por ultrasonografía (USG) y tomografía computarizada (TC) en pacientes enfermos. DVNO: diámetro de la vaina del nervio óptico; TC: tomografía; USG: ultrasonografía.

En el análisis de correlación entre el DVNO por USG y TC en el grupo de estudio, se encontró una buena correlación positiva estadísticamente significativa ($\rho = 0.893$; $p < 0.001$) (Fig. 5).

Discusión

Las imágenes son indispensables en el diagnóstico y el manejo del paciente con enfermedad neurológica, quizás más que en otra área de la medicina^{18,19}.

Los cambios del DVNO y la medición por USG parecen relacionarse de manera más lineal con el aumento de la PIC; esta relación y la alta sensibilidad demostrada proporcionan una herramienta útil para descartar la hipertensión intracraneal como causa del estado mental alterado en un paciente crítico¹⁹.

Se estima que la curva de aprendizaje para los médicos experimentados en el uso de la USG puede incluir tan solo 10 pacientes para realizar el estudio con precisión, mientras que los médicos que no están familiarizados con la USG pueden necesitar cerca de 25 escaneos para obtener la destreza necesaria y evaluar con precisión el DVNO²⁰.

Son múltiples las causas de elevación de la PIC, por lo que se consideró incluir en este estudio distintas patologías que afectan al sistema nervioso central. La finalidad en este trabajo fue evaluar a los pacientes con datos clínicos de hipertensión intracraneal, independientemente del factor desencadenante, pero que de acuerdo con los resultados pudiera encontrarse una relación directa con la causa específica.

El grupo control fue útil para adquirir una mayor habilidad en la evaluación por USG del nervio óptico y su medición en sujetos sanos. La muestra obtenida del grupo de estudio fue uniforme en cuanto al sexo de los pacientes evaluados (50% hombres y 50% mujeres), y más del 75% se encontraban en un rango de edad de 28 a 49 años, con una media de 45.4 años y una mediana de 45, mostrando una distribución normal o similar en el grupo de pacientes con datos de hipertensión intracraneal.

Se observó que el 100% de los pacientes con diagnóstico clínico de hipertensión intracraneal y con una lesión neurológica asociada presentaron un aumento del DVNO, medido con USG y corroborado por TC, y de acuerdo con nuestros resultados existe una fuerte correlación positiva entre ambos métodos, la cual se consideró estadísticamente significativa ($p < 0.001$).

El presente estudio demuestra que la medición del DVNO por USG es un método no invasivo, de bajo costo, fácil de operar y que puede realizarse a la cabecera del paciente, y que debe considerarse en el abordaje inicial del paciente neurocrítico y para el monitoreo estrecho de su evolución.

Conclusiones

La PIC elevada es una condición común con malos resultados clínicos y altas tasas de mortalidad. El objetivo principal de la monitorización de la PIC es guiar las terapias que limitan la hipertensión intracranal, optimizar la perfusión cerebral e implementar y evaluar la respuesta a las intervenciones realizadas.

Actualmente, la ecografía enfocada es utilizada por varias especialidades en diversas situaciones de monitoreo, diagnóstico y de intervención. Las mediciones del DVNO se correlacionan con mediciones no invasivas e invasivas de la PIC y con los hallazgos tomográficos de las diferentes lesiones cerebrales que pueden ser la causa de la elevación de la PIC. La evaluación por USG del DVNO ha demostrado ser una prueba confiable para el diagnóstico no invasivo de PIC elevada en pacientes neurocríticos.

Debe reconocerse que ningún monitor al final cambiará el resultado. En cambio, cómo se integra e interpreta esa información en la toma de decisiones es lo que influirá en la evolución del paciente.

Financiamiento

Los autores declaran no haber recibido financiamiento.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

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 en este artículo no aparecen datos de pacientes.

Derecho a la privacidad y consentimiento informado. Los autores declaran que en este artículo no aparecen datos de pacientes.

Bibliografía

- Peterson D, Arntfield RT. Critical care ultrasonography. *Emerg Med Clin N Am.* 2014;32:907-26.
- Balmert N, Espinosa J, Arafah MO, Costello J, Markle S. Integration of bedside ultrasound into the ICU — a review of indications, techniques and interventions. *J Emerg Crit Care Med.* 2018;2:17.
- Rajaei V, Díaz-Gómez JL. Critical care ultrasound should be a priority first-line assessment tool in neurocritical care. *Crit Care Med.* 2019;47:833-6.
- Caricato A, Pitoni S, Montini L, Bocci MG, Annetta P, Antonelli M. Echography in brain imaging in intensive care unit: state of the art. *World J Radiol.* 2014;6:636-42.
- Le Roux P, Menon DK, Citerio G, Vespa P, Bader MK, Brophy GM, et al. Consensus summary statement of the International Multidisciplinary Consensus Conference on Multimodality Monitoring in Neurocritical Care. A statement for healthcare professionals from the Neurocritical Care Society and the European Society of Intensive Care Medicine. *Intensive Care Med.* 2014;40:1189-209.
- Hawthorne C, Piper I. Monitoring of intracranial pressure in patients with traumatic brain injury. *Front Neurol.* 2014;121:1-16.
- Treggiari MM, Schutz N, Yanez D, Romand JA. Role of intracranial pressure values and patterns in predicting outcome in traumatic brain injury: a systematic review. *Neurocrit Care.* 2007;6:104-12.
- Al-Mufti F, Smith B, Lander M, Damodara N, Nuaman R, El-Ghanem M, et al. Novel minimally invasive multi-modality monitoring modalities in neurocritical care. *J Neurol Sci.* 2018;390:184-92.
- Koziarz A, Sne N, Kegel F, Alhazzani W, Nath S, Badhiwala JH, et al. Optic nerve sheath diameter sonography for the diagnosis of increased intracranial pressure: a systematic review and meta-analysis protocol. *BMJ Open.* 2017;7:e016194.
- Hakimi R, Alexandrov AV, Garami Z. Neuro-ultrasonography. *Neurol Clin.* 2020;38:215-29.
- Dubourq 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.
- Robba C, Santori G, Czosnyka M, Corradi F, Bragazzi N, Padayachy L, et al. Optic nerve sheath diameter measured sonographically as non-invasive estimator of intracranial pressure: a systematic review and meta-analysis. *Intensive Care Med.* 2018;44:1284-94.
- Blaivas M, Theodoro D, Sierzenski PR. Elevated intracranial pressure detected by bedside emergency ultrasonography of the optic nerve sheath. *Acad Emerg Med.* 2003;10:376-81.
- Wang L, Yao Y, Feng L, Wang Y, Zheng N, Feng J, et al. Noninvasive and quantitative intracranial pressure estimation using ultrasonographic measurement of optic nerve sheath diameter. *Sci Rep.* 2017;7:42063.
- 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.
- Lochner P, Czosnyka M, Naldi A, Lyros E, Pelosi P, Mathur S, et al. Optic nerve sheath diameter: present and future perspectives for neurologists and critical care physicians. *Neurol Sci.* 2019;40:2447-57.
- Lochner P, Mader C, Nardone R, Tezzon F, Zedde ML, Malferrari G, et al. Sonography of the optic nerve sheath beyond the hyperacute stage of intracerebral hemorrhage. *J Ultrasound.* 2014;17:225-8.
- Rasulo FA, Bertuetti R. Transcranial Doppler and optic nerve sonography. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2019;33:38-52.
- Sekhon MS, Griesdale DE, Robba C, McGlashan N, Needham E, Walland K, et al. Optic nerve sheath diameter on computed tomography is correlated with simultaneously measured intracranial pressure in patients with severe traumatic brain injury. *Intensive Care Med.* 2014;40:1267-74.
- Hylkema C. Optic nerve sheath diameter ultrasound and the diagnosis of increased intracranial pressure. *Crit Care Nurs Clin N Am.* 2016;28:95-9.