



DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v8i3>

Ciencias de la Salud
Artículo de Investigación

Ultrasonografía del diámetro de la vaina del nervio óptico como método no invasivo de monitoreo de la presión intracraneal, artículo de revisión

Optic nerve sheath diameter ultrasonography as a non-invasive method of monitoring intracranial pressure, review article

Ultrassonografia do diâmetro da bainha do nervo óptico como método não invasivo de monitoramento da pressão intracraniana, artigo de revisão

Carlos Eduardo Andrade-Cerda^I
edu333medicina@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-2295-2419>

Luis David Ludeña-Prieto^{II}
ludena.luisdavid.95@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-6658-7823>

Elaine Celeste Andrade-Sánchez^{III}
celeste.andrade40@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-7354-0556>

Maribel Estefania Carlosama-Mora^{IV}
rosadita_1992@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-1028-9798>

Correspondencia: edu333medicina@gmail.com

***Recibido:** 29 de octubre del 2022 ***Aceptado:** 25 de noviembre del 2022 * **Publicado:** 27 de diciembre del 2022

- I. Médico General, Egresado de la Facultad de Medicina de la Universidad Central del Ecuador, Médico General en Funciones Hospitalarias, Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín y Hospital de los Valles, Quito, Ecuador.
- II. Médico General, Egresado de la Facultad de Medicina de la Universidad Central del Ecuador, Médico General en Centro Médico Vitmed, Quito, Ecuador.
- III. Médica General, Egresada de la Facultad de Medicina de la Universidad Central del Ecuador, Médico General en FV Área Andina SA, Ecuador.
- IV. Médica General, Egresada de la Facultad de Medicina de la Universidad Central del Ecuador, Ecuador.

Resumen

La hipertensión intracraneal es considerada una emergencia, se ha visto asociación entre ésta y resultados clínicos desalentadores, incluyendo altas tasas de mortalidad en patologías neurológicas. La medición de la vaina del nervio óptico se ha convertido en una herramienta clínica ampliamente difundida, para evaluar la presión intracraneal. Materiales y métodos: Se realizó una búsqueda sistematizada y selección de artículos en repositorios web académicos de alto reconocimiento científico, se tomaron en cuenta los artículos en revistas indexadas publicados en los últimos 5 años. Resultados: Se ha identificado brechas entre la eficacia específica y las medidas clínicas prácticas en mediciones del diámetro de la vaina del nervio óptico, la cual es una técnica no invasiva, reproducible, sensible y específica para la detección del aumento de la presión intracraneal, concordante con lo publicado en la literatura, es útil y refleja el aumento de la PIC. Se determinaron valores para el diagnóstico de hipertensión intracraneal por medio de la ultrasonografía de la vaina del nervio óptico, siendo un diámetro mayor a 5 milímetros indicador de hipertensión intracraneal.

Palabras claves: Hipertensión intracraneal; Vaina del nervio óptico; Ecografía; Ultrasonografía.

Abstract

Intracranial hypertension is considered an emergency; an association has been seen between it and discouraging clinical results, including high mortality rates in neurological pathologies. Optic nerve sheath measurement has become a widely used clinical tool to assess intracranial pressure. Materials and methods: A systematic search and selection of articles was carried out in academic web repositories of high scientific recognition, articles in indexed journals published in the last 5 years were taken into account. Results: Gaps have been identified between the specific efficacy and practical clinical measures in optic nerve sheath diameter measurements, which is a non-invasive, reproducible, sensitive and specific technique for the detection of increased intracranial pressure, concordant with what has been published in the literature, it is useful and reflects the increase in ICP. Values for the diagnosis of intracranial hypertension were determined by ultrasonography of the optic nerve sheath, with a diameter greater than 5 millimeters indicating intracranial hypertension.

Keywords: Intracranial hypertension; optic nerve sheath; ultrasound; Ultrasonography.

Resumo

A hipertensão intracraniana é considerada uma emergência, tendo sido observada associação entre ela e resultados clínicos desanimadores, incluindo altas taxas de mortalidade em patologias neurológicas. A medição da bainha do nervo óptico tornou-se uma ferramenta clínica amplamente utilizada para avaliar a pressão intracraniana. Materiais e métodos: Foi realizada uma busca sistemática e seleção de artigos em repositórios da web acadêmica de alto reconhecimento científico, foram considerados artigos em revistas indexadas publicadas nos últimos 5 anos. Resultados: Foram identificadas lacunas entre a eficácia específica e medidas clínicas práticas nas medições do diâmetro da bainha do nervo óptico, que é uma técnica não invasiva, reproduzível, sensível e específica para a detecção de aumento da pressão intracraniana, concordante com o que foi publicado na literatura, é útil e reflete o aumento da PIC. Os valores para o diagnóstico de hipertensão intracraniana foram determinados por ultrasonografia da bainha do nervo óptico, com diâmetro maior que 5 milímetros indicando hipertensão intracraniana.

Palavras-chave: Hipertensão intracraniana; bainha do nervo óptico; ultrassom; Ultrasonografia.

Introducción

La hipertensión intracraneal es considerada una emergencia, se ha visto asociación entre ésta y resultado clínicos desalentadores, incluyendo altas tasas de mortalidad en patologías neurológicas; de esta manera, la detección de la presión intracraneal, se ha convertido en un componente clínico importante, para el diagnóstico y manejo de patologías neurológicas severas, como traumatismos craneoencefálicos, hidrocefalia, hemorragia subaracnoidea o hematomas intraparenquimatosos (Chen, et al., 2019) (Wang, Chen, Chen, Yu, & Xing, 2020).

El monitoreo por métodos invasivos de la presión intracraneal, como con el catéter intra ventricular, continúa siendo el gold estándar; sin embargo, las complicaciones que trae como hemorragia, infección y lesiones cerebrales, hacen que sea necesario la exploración de métodos de monitorización no invasivos, más seguros e igual de eficaces (Chen, et al., 2019).

La medición de la vaina del nervio óptico, se ha convertido en una herramienta clínica ampliamente difundida, para evaluar la presión intracraneal. Este procedimiento puede realizarse por varios métodos de imagen, como tomografía computada, resonancia magnética o por ultrasonido

Ultrasonografía del diámetro de la vaina del nervio óptico como método no invasivo de monitoreo de la presión intracraneal, artículo de revisión

(Agrawal, Raghavendran, Zhao, & Rajajee, 2021). Tanto la tomografía, como la resonancia, implican la movilización del paciente neurocrítico, mayor consumo de tiempo y costos altos; al contrario, el ultrasonido podría representar la mejor opción por realizarse rápidamente al pie de cama, con menor costo y mayor disponibilidad (Lin, et al., 2020).

Se explica este método, en base a la anatomía, pues el nervio óptico forma parte del sistema nervioso central, ya que se encuentra rodeado por las meninges. La vaina del nervio óptico es una continuación de la duramadre y del espacio subaracnoideo que permanece en contacto con el líquido cefalorraquídeo, la interacción de estos está supeditada a la gradiente de presión intracraneal. Por lo tanto, cualquier incremento en la presión intracraneal es transmitida a través del espacio subaracnoideo, lo que provoca la distensión retrobulbar del nervio óptico (Chen, et al., 2019) (Du, et al., 2019).

Estudios mencionan que el límite ecográfico de la vaina del nervio óptico se encuentra entre los 0.50 a 0.60 centímetros; es importante recordar que este método es operador dependiente (Agrawal, Raghavendran, Zhao, & Rajajee, 2021). Ensayos prospectivos han mostrado una sensibilidad del 100% y una especificidad del 63% para identificar elevación de la presión intracraneal por este método (Rojas-Murillo & Olvera-González, 2021).

Algunos autores mencionan que esta técnica no debe reemplazar el monitoreo invasivo de la presión intracraneal cuando este sea indicado, sino más bien destacar el gran potencial de esta técnica más allá del neurointensivo, la rápida curva de aprendizaje, la amplia disponibilidad, la rapidez de su realización, su bajo costo, sus características no invasivas y la factibilidad de realizarla sin movilizar al paciente, la convierten en una herramienta útil a la hora de evaluar pacientes en unidades de urgencia. (Ahmet Besir, 2021)

La presente revisión bibliográfica está orientada a mencionar los puntos más importantes a tomar en cuenta para considerar a la medición de la vaina del nervio óptico como método no invasivo de monitoreo de hipertensión intracraneal, asociada a alguna lesión del sistema nervioso central.

Metodología

La revisión bibliográfica aquí presentada, se realizó inicialmente mediante la búsqueda profunda y selección de artículos en repositorios web académicos de altos reconocimientos científicos; mismos que encaminan específicamente a encontrar archivos de calidad con validez, como, por ejemplo:

Cochrane Library, Pubmed, Science Direct, Clinical Key, y Springer Link. Toda la información desactualizada y no confirmada, fue descartada.

Fueron usados como referencias para esta redacción, metaanálisis, estudios observacionales en idiomas inglés, portugués, y español, publicados a partir del 2018.

Resultados

Mecanismos de autorregulación de la presión intracraneal

La autorregulación cerebral es un proceso homeostático que regula y mantiene constante el flujo sanguíneo cerebral (FSC) en un rango de presiones arteriales para satisfacer las altas demandas metabólicas del cerebro. (Maya Harary, 2018)

La conceptualización original fue propuesta por Lassen (1959) como una curva trifásica compuesta por el límite inferior, la meseta y el límite superior. Este mecanismo homeostático asegura que a medida que aumenta la presión arterial media (MAP) o la presión de perfusión cerebral (PPC), aumenta la resistencia (vasoconstricción) en las pequeñas arterias cerebrales. (Karen Brastad Evensen, 2020)

La PPC se define como PAM menos la presión intracraneal (PIC). Por el contrario, este proceso mantiene el FSC constante al disminuir la resistencia cerebrovascular o la vasodilatación cuando disminuyen la PAM o la PPC. Sin embargo, dado que el límite inferior de la autorregulación cerebral influye con frecuencia en el tratamiento clínico, debe señalarse que este valor ha sido cuestionado por ser demasiado bajo. (Joseph Donovan, 2021)

Un estudio clínico documentó mecanismos de autorregulación cerebral bien desarrollados en lactantes sin diferencias en el límite inferior de autorregulación entre niños y adolescentes, lo que sugiere una mayor diferencia entre la PAM en reposo y el límite inferior de autorregulación con el aumento de la edad. (Shannon M Fernando, 2019)

La autorregulación cerebral a menudo se ve afectada después de una lesión cerebral traumática (LCT). Luego, el Flujo sanguíneo cerebral (FSC) se vuelve pasivo por presión y puede provocar una hipoperfusión cerebral secundaria en presencia de hipotensión, lo que lleva a un mal resultado del paciente. Un CPP bajo se asocia con un FSC bajo. En el contexto de la unidad neurovascular, se cree que un FSC bajo contribuye a la necrosis de las células neuronales. Es importante destacar que el grado de deterioro de la autorregulación se asocia con el valor de la escala de coma de Glasgow

Ultrasonografía del diámetro de la vaina del nervio óptico como método no invasivo de monitoreo de la presión intracraneal, artículo de revisión

después de una LCT, lo que indica la importancia funcional de la pérdida de este mecanismo de control fisiológico con una LCT más grave. (Didar Arslan, 2021)

Si la autorregulación cerebral está alterada, la presión arterial más baja puede resultar en una disminución de la CPP y FSC. Después de un traumatismo cerebral, la PIC a menudo aumenta, lo que reduce aún más la PPC, lo que lleva a una mayor vasodilatación cerebral si la autorregulación está intacta, pero esto a menudo no se conoce. Por lo tanto, existe incertidumbre sobre si sería útil aumentar empíricamente la PAM para prevenir la isquemia cerebral como un medio para proteger la autorregulación cerebral, ya que teóricamente, aumentar la PAM en el cerebro hiperémico podría provocar una hemorragia cerebral. (Samir Kashyap, 2021)

Un estudio clínico reciente documentó una alteración de la autorregulación cerebral incluso en TCE leve complejo, asociado con la presencia de dolor de cabeza y durante los primeros cinco días después de TCE. (Samir Kashyap, 2021)

Métodos invasivos y no invasivos de monitorización de la presión intracraneal

En el paso de los años en la bibliografía se ha establecido que la monitorización de la presión intracraneal se debe realizar en pacientes con trauma craneoencefálico moderado, es decir escala de Glasgow de 12-9, los cuales sean sometidos a anestesia y con estudios de imagen específicos para el encéfalo los cuales se encuentren anormales. Además, es estrictamente obligatorio el monitoreo de esta en traumatismos encefálicos severos, con Glasgow menor a 9 puntos, los cuales tienen un riesgo elevado de mortalidad. Se han establecido también otras patologías en donde la monitorización de la presión intracraneal tiene efectos beneficiosos en la evolución del paciente, como lo son: Edema cerebral, infartos encefálicos, hidrocefalia, procesos infecciosos que cursen con encefalopatías. Valores superiores a 20 a 25 mm Hg se relacionan con un mayor riesgo de mortalidad. Desde mediados del siglo XX por el avance de la ciencia y tecnología se han desarrollado un sin número métodos por los cuales se puede monitorizar la presión intracraneal, los cuales citaremos a continuación (Sandip S. Panesar, 2022).

Monitorización invasiva de la presión intracraneal

Existe una gran variedad de técnicas invasivas, dentro de estas encontramos el catéter ventricular conectado a un medidor de tensión externo, dispositivos de medición de tensión con punta de

Ultrasonografía del diámetro de la vaina del nervio óptico como método no invasivo de monitoreo de la presión intracraneal, artículo de revisión

catéter o herramientas en base de fibra óptica con punta de catéter insertados en los ventrículos o el parénquima cerebral. Se ha determinado que son preferibles a los dispositivos neumáticos o acoplados a fluidos colocados en los compartimentos subaracnoideo, subdural y epidural ya que estos métodos tienen una mayor precisión al momento de valorar la presión intracraneal. La colocación de catéteres ventriculares es el Gold Standard, debido a que fueron los primeros dispositivos creados y utilizados los cuales miden la presión dentro de los ventrículos llenos de líquido. Dentro de los monitores frecuentemente utilizados están la ventriculostomía, el microsensor Codman, el sensor de Spiegelberg, sensor y sonda multiparamétrica Raumedic (Roux, 2022).

Monitorización no invasiva de la presión intracraneal

Varios hallazgos de imágenes en la tomografía axial computarizada se han considerado predictivos para la monitorización de la presión intracraneal, dentro de estos encontramos el desplazamiento de la línea media, la obstrucción de la cisterna basal, la pérdida de la diferenciación de las sustancias gris/blanca, características de los surcos interhemisféricos, presencia y características del hematoma intracerebral y determinar la existencia de una hemorragia subaracnoidea. La tomografía ha mostrado una alta especificidad como predictor de hipertensión intracraneal pero baja sensibilidad. Este estudio de imagen sigue siendo principalmente una herramienta para la valoración de pacientes con signos y síntomas sugestivos de elevación de la presión intracraneal (Jovany Cruz Navarro, 2022).

Con respecto a la resonancia magnética, en 1975 Marmarou estableció el concepto de elastancia intracraneal la cual parte de la relación entre la presión intracraneal y el volumen. El ciclo cardíaco genera fluctuaciones en el volumen intracraneal, la variabilidad en estas fluctuaciones del volumen intracraneal durante cada ciclo cardíaco deriva la elastancia intracraneal. Además, se ha determinado una relación lineal entre el gradiente de presión del líquido cefalorraquídeo el cual es medido por resonancia magnética y la amplitud de la presión del pulso intracraneal en la clasificación de la presión intracraneal. Dentro de las desventajas de los estudios de imagen es que aportan a la valoración de la presión intracraneal en un único momento y el traslado del paciente a la unidad de imagen representa riesgo para el mismo (Jovany Cruz Navarro, 2022).

Ultrasonografía del diámetro de la vaina del nervio óptico como método no invasivo de monitoreo de la presión intracraneal, artículo de revisión

El Brain4care Wireless sensor es nueva herramienta es capaz de registrar formas de onda de la presión intracraneal obtenidas de pulsaciones craneales valorado en pacientes neuro críticos y fue comparado con la monitorización invasiva con catéter. Ese sensor se probó en un estudio realizado en el año 2021, en 32 pacientes con diagnósticos de a lesión cerebral traumática, la hemorragia subaracnoidea y el accidente cerebrovascular, se evidenció una elevación inducida de la presión intracraneal la cual fue relacionada fuertemente entre las formas de onda de la presión intracraneal entre el Brain4care y la monitorización invasiva con catéter (Solla, 2021).

Existen una variedad de técnicas para determinar y evaluar si un paciente presenta aumento de la presión intracraneal, dentro de esto está el índice de la pulsatilidad de la velocidad de la arteria cerebral media, el desplazamiento de la membrana timpánica y también la medición del diámetro del nervio óptico. En estudios realizados de importancia como un metaanálisis y una revisión sistemática reciente se determinó que el médico que se encuentre evaluando un paciente en estado neurocrítico no se puede confiar al 100% de los métodos no invasivos ya que la precisión se desconoce y la mayoría son operadores dependientes, sobre todo a la experiencia que tiene el facultativo para leer imágenes o paraclínicos relacionados, por ende, se va a desconocer de la presión de las mismas. Uno de los métodos no invasivos más estudiados es la medición del diámetro del nervio óptico, sin embargo, con el paso de los años no se ha establecido un umbral acordado y puede ser vulnerado de igual manera por la experiencia del proveedor. Más adelante desarrollaremos parámetros en la medición del nervio óptico por medio por medio de ultrasonido (Akhondi-Asl, 2022).

Imagen ecográfica del nervio óptico

El nervio óptico, forma parte del SNC, está rodeado por una vaina dural que es distensible en su segmento retrobulbar cuando la PIC está elevada. Cambios en el diámetro de la vaina del nervio óptico debido a la elevación de la PIC ocurren en segundos. (Atish Pal, 2018)

Bajo imágenes de ultrasonido la óptica del nervio parece hipoecogénico, rodeado de la piamadre ecogénica, espacio subaracnoideo hipoecogénico, luego se encuentra la duramadre y grasa periorbitaria hiperecogénica. (Ahmet Besir, 2021)

El ultrasonido del diámetro de la vaina del nervio óptico es seguro y requiere poco entrenamiento, se puede realizar en menos de 5 minutos. Los estudios en individuos sanos sugieren que el diámetro

Ultrasonografía del diámetro de la vaina del nervio óptico como método no invasivo de monitoreo de la presión intracraneal, artículo de revisión

de la vaina del nervio óptico varía según el origen étnico, sin embargo, los diámetros de la vaina del nervio óptico no parecen variar con la edad adulta, el sexo o el índice de masa corporal, cintura, circunferencia de la cabeza, presión arterial o subtipo patológico. (Karen Brastad Evensen, 2020)

La vaina del nervio óptico es continua con la duramadre encefálica, y de la misma manera el espacio subaracnoideo que contiene el LCR. En 1964, Hayreh y cols., demostraron que cambios en la presión de LCR, podían ser transmitidos a través de los nervios ópticos. Esto ha sido corroborado por estudios clínicos de infusión intratecal, en donde se demuestra que, a diferencia del edema de papila, ocurren variaciones milimétricas en cosa de segundos una vez iniciada la alza de PIC, llegando a una variación máxima en promedio de 1,8 mm con rango entre 0,7 a 3,1 mm de variación interpersonal. (Shannon M Fernando, 2019)

El valor de corte es tema de discusión, variando entre 4,8 a 6,3 mm, siendo los valores de anormalidad más utilizados entre 5,0 y 5,7 mm dependiendo del escenario clínico. Esto es sumamente relevante a la hora de interpretar los resultados obtenidos. (Samir Kashyap, 2021)

Descripción de la técnica de evaluación

La técnica se considera fácil de reproducir, requiere mínimo entrenamiento ultrasonográfico y conocimiento teórico. Precisa un ecógrafo en modo B, con sonda lineal multifrecuencia de 3-9 MHz (Delgado, 2021).

Para realizar la medición de la vaina del nervio óptico, los estudios analizados, reportan el uso de transductores lineales de 3-8 MHz, y también de 11 MHz. El paciente debe estar en posición supina, con la cabeza elevada unos 20 a 30°, y los ojos cerrados. Mientras que el transductor se coloca en plano axial sobre la porción temporal del párpado superior. Es importante colocar una capa gruesa de gel de ultrasonido entre el transductor y la piel (Sosa, Jerez, & Remón, 2021).

De esta manera, la porción retrobulbar del nervio óptico se visualiza en plano axial, que muestra a la papila y el nervio óptico en su trayecto longitudinal. Se pueden realizar 3 mediciones en cada ojo, para reducir la variabilidad interobservador (Sosa, Jerez, & Remón, 2021). Los estudios evaluados establecen criterios de normalidad entre los $5.4 \pm 0,6\text{mm}$ (Delgado, 2021).

La vaina del nervio óptico se evalúa por debajo de 3 milímetros de la papila; a este nivel se mide perpendicularmente la distancia entre los bordes externos del área hiperecogénica que rodea el nervio óptico y que corresponde a la vaina (Sosa, Jerez, & Remón, 2021).

Medición ecográfica de la vaina del nervio óptico como criterio de hipertensión intracraneal

La medición por medio de ecografía del diámetro de la vaina del nervio óptico es uno de los principales y más utilizados métodos no invasivos para la medición de la presión intracraneal. La extensión del nervio óptico a través del espacio subaracnoideo provoca un incremento de tamaño de la vaina del nervio a través del líquido cefalorraquídeo durante la hipertensión intracraneal. Un metaanálisis demostró que esta técnica tenía una sensibilidad del 88% al 95%, una especificidad del 74% al 96% para valorar y monitorizar la presión intracraneal (Emre Gökçen, 2020).

El incremento de la presión intracraneal es transmitido por el líquido cefalorraquídeo por medio del espacio subaracnoideo perineural del nervio óptico, motivo por el cual se evidencia en la ecografía un aumento de la vaina del mismo. Para realizar dicho estudio de imagen se coloca el transductor lineal sobre el ojo en proyección transversal, de esta manera es visible la vaina que cubre el nervio óptico y se identifica como una sombra lineal hipoecoica por detrás (3mm) del globo ocular, en la cual se mide el diámetro de la sombra, siendo un diámetro mayor a 5 milímetros indicador de hipertensión intracraneal (L. Castilla-Guerra, 2020)

El punto de corte de la normalidad es variable según la edad del paciente y la persistencia de la fontanela permeable o no; en los primeros 4 años se pueden detectar aumentos de la vaina del nervio óptico de 4 a 4,5 milímetros, mientras que en niños mayores se consideran normales valores menores a 5 milímetros (Vásquez, Hernández, Castillo, & Sánchez, 2018).

Conclusiones

Esta revisión ha identificado brechas entre la eficacia específica y las medidas clínicas prácticas en mediciones del diámetro de la vaina del nervio óptico, la cual es una técnica no invasiva, reproducible, sensible y específica para la detección del aumento de la presión intracraneal, concordante con lo publicado en la literatura, es útil y refleja el aumento de la PIC. Se determinaron valores para el diagnóstico de hipertensión intracraneal por medio de la ultrasonografía de la vaina del nervio óptico, siendo un diámetro mayor a 5 milímetros indicador de hipertensión intracraneal. Sin embargo, nuestro estudio también evidencia que el diámetro de la vaina del nervio óptico no estaba en correlación con el monitoreo de autorregulación cerebral, el uso de Doppler transcraneal u

Ultrasonografía del diámetro de la vaina del nervio óptico como método no invasivo de monitoreo de la presión intracraneal, artículo de revisión

otras medidas de perfusión cerebral. Consideramos que existe la necesidad de más estudios centrados en el uso de mediciones del diámetro de la vaina del nervio óptico en el seguimiento del aumento de la presión intracraneal.

Referencias

1. Agrawal, D., Raghavendran, K., Zhao, L., & Rajajee, V. (2021). A prospective study of optic nerve ultrasound for the detection of elevated intracranial pressure in severe traumatic brain injury (ONUS-TBI). *Crit Care Med*, 1278-1285.
2. Ahmet Besir, A. A. (2021). Optic nerve sheath diameter with intracranial pressure monitoring: a non-invasive method to follow children with craniosynostosis . *Cir Cir*, 13-16.
3. Akhondi-Asl, R. C. (2022). Intracranial hypertension and monitoring. En J. J. Zimmerman, Fuhrman and Zimmerman's *Pediatric Critical Care* (págs. Sixth Edition 768-778.e3). Elsevier, Inc.
4. Atish Pal, P. D. (2018). Perioperative monitoring of intracranial pressure using optic nerve sheath diameter in paediatric liver transplantation . *Indian J Anaesth*, 892-895.
5. Chen, L., Wang, L.-j., Hu, Y., Jiang, X., Wang, Y., & Xing, Y. (2019). Ultrasonic measurement of optic nerve sheath diameter: a non-invasive surrogate approach for dynamic, real-time evaluation of intracranial pressure. *J Ophthalmol*, 437-441.
6. Delgado, F. (2021). Medición del diámetro del nervio óptico por ecografía modo B como signo indirecto de hipertensión endocraneal. *Neurologia*.
7. Didar Arslan, D. Y. (2021). Evaluation of the relationship between NIRS (near-infrared spectroscopy) and optic nerve sheath diameter measurement in children with increased intracranial pressure: a pilot study . *Ital J Pediatr*, 88.
8. Du, J., Deng, Y., Qiao, S., Yu, M., Xu, Q., & Wang, C. (2019). Ratio of Optic Nerve Sheath Diameter to Eyeball Transverse Diameter by Ultrasound Can Predict Intracranial Hypertension in Traumatic Brain Injury Patients: A Prospective Study. *Neurocritical Care Society*, 1-8.
9. Emre Gökçen, M. H. (2020). Ultrasonographic measurement of the optic nerve sheath in the differential diagnosis and follow-up of migraine with and without aura: A pilot study. *Clinical Neurology and Neurosurgery*, Volumen 198, Artículo 106191.

Ultrasonografía del diámetro de la vaina del nervio óptico como método no invasivo de monitoreo de la presión intracraneal, artículo de revisión

10. Joseph Donovan, P. K. (2021). Optic Nerve Sheath Ultrasound for the Detection and Monitoring of Raised Intracranial Pressure in Tuberculous Meningitis . Clin Infect Dis, e3536-e3544.
11. Jovany Cruz Navarro, C. D. (2022). Youmans and Winn Neurological Surgery. En H. R. Winn, Youmans and Winn Neurological Surgery (págs. 3041-3049.e2). Elsevier, Inc.
12. Kaan Çelik, B. E. (2021). The association between intracranial pressure and optic nerve sheath diameter on patients with head trauma . Arq Neuropsiquiatr, 879-885.
13. Karen Brastad Evensen, P. K. (2020). Mechanisms behind altered pulsatile intracranial pressure in idiopathic normal pressure hydrocephalus: role of vascular pulsatility and systemic hemodynamic variables. Acta Neurochir (Wien), 1803-1813.
14. L. Castilla-Guerra, J. P.-C. (2020). Ecografía ocular: ¿una nueva herramienta para el manejo urgente del paciente hipertenso? . Hipertensión y Riesgo Vascular, Páginas 48-49, Volumen 38, Número 1.
15. Lin, J., Chen, A., Lin, E., Hsia, S., Chiang, M., & Lin, K. (2020). Point-of-care ultrasound of optic nerve sheath diameter to detect intracranial pressure in neurocritically ill children - A narrative review. Biomedical Journal, 231-239.
16. Maya Harary, R. G. (2018). Intracranial Pressure Monitoring-Review and Avenues for Development . Sensors (Basel), 465.
17. Rojas-Murillo, T., & Olvera-González, N. (2021). Relación entre la medición por tomografía y ecografía del diámetro de la vaina del nervio óptico como estimador no invasivo de la presión intracraneal. Cirugía y Cirujanos, 236-241.
18. Roux, G. R. (2022). Invasive Physiologic Monitoring for Traumatic Brain Injury. En H. R. Winn, Youmans and Winn Neurological Surgery (págs. Eighth Edition 3027-3040.e5). Elsevier, Inc.
19. Samir Kashyap, J. B. (2021). Osteopathic Manipulative Treatment to Optimize the Glymphatic Environment in Severe Traumatic Brain Injury Measured With Optic Nerve Sheath Diameter, Intracranial Pressure Monitoring, and Neurological Pupil Index . Cureus, e13823.

Ultrasonografía del diámetro de la vaina del nervio óptico como método no invasivo de monitoreo de la presión intracraneal, artículo de revisión

20. Sandip S. Panesar, A. V. (2022). Biosensors in Neurosurgery: Wearable and Implantable Devices for Monitoring. En H. R. Winn, Youmans and Winn Neurological Surgery (págs. 477-477.e10). Elsevier, Inc.
21. Shannon M Fernando, A. T. (2019). Diagnosis of elevated intracranial pressure in critically ill adults: systematic review and meta-analysis . BMJ, 4225.
22. Solla, S. B. (2021). A new noninvasive technique for intracranial pressure variations monitoring. Journal of the Neurological Sciences, Volumen 429.
23. Sosa, A., Jerez, A., & Remón, C. (2021). Ultrasound of optic nerve sheath diameter for monitoring intracranial pressure. Revista Cubana de Anestesiología y Reanimación.
24. Vásquez, J., Hernández, A., Castillo, M., & Sánchez, M. (2018). Intracranial hypertension: Ultrasound measurement of the optic nerve sheath. Anales de Pediatría.
25. Wang, L., Chen, H., Chen, Y., Yu, Z., & Xing, Y. (2020). Optic nerve sheath diameter ultrasonography for elevated intracranial pressure detection. American Neurological Association, 865-868.

©2022 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).