

Revisión Narrativa

POCUS ocular en Emergencias y Medicina Crítica Pediátrica: Diámetro de la Vaina del Nervio Óptico, Pupilometría y Reflejo Fotomotor

Ocular POCUS in Pediatric Emergency and Critical Care Medicine: Optic Nerve Sheath Diameter, Pupillometry, and Photomotor Reflex

Patrick Danny Caqui Vilca ¹, Javier Ponce ², Edwin Mauricio Cantillano Quintero ³, David Pascual Rojas Flores ⁴, Jesus Angel Domínguez-Rojas ⁵.

¹ Instituto Nacional de Salud del Niño San Borja. Lima, Perú.

² Hospital Guillermo Rawson. San Juan, Argentina.

³ Hospital del Norte del Instituto Hondureño de Seguridad Social. San Pedro Sula, Honduras.

⁴ Hospital General Regional No. 1 del Instituto Mexicano del Seguro Social. Querétaro, México.

⁵ Hospital: Instituto Nacional de Salud del Niño - San Borja. Lima, Perú.

Miembros de USPed Latinoamérica.

Abstract

Early detection of elevated intracranial pressure (ICP) is crucial for the timely diagnosis and management of intracranial hypertension in critically ill pediatric patients, helping to prevent secondary brain injury and reduce mortality. Invasive ICP monitoring remains the gold standard for both initial diagnosis and follow-up assessments, providing accurate real-time measurements. The measurement of optic nerve sheath diameter (ONSD) has emerged as a valuable non-invasive method for assessing ICP, alongside various sonographic ratio-based approaches, which have demonstrated high sensitivity for detecting raised ICP. However, the relationship between the optic nerve sheath and ICP is complex. Changes in the width and dynamics of the sheath are influenced not only by intracranial pressure but also by age, anterior fontanelle patency, and the underlying pathology. The ICP threshold above which pressure should be considered abnormal varies with age and other factors that affect ONSD measurements. Ultrasound-based evaluation of pupillary diameter and light reflex offers a simple technique to complement the neurological examination, especially in patients with eyelid abnormalities. Ocular point-of-care ultrasound (POCUS) enables the detection of sonographic signs suggestive of elevated ICP in children. It is easy to learn and per-

form, free of ionizing radiation, and, despite some limitations, represents a key tool in the management of neurocritical pediatric patients in emergency and intensive care settings.

Keywords

Optic nerve sheath, POCUS, pediatrics, intracranial pressure, transverse ocular diameter.

Resumen

Le medición temprana de la presión intracraneal elevada es importante para el diagnóstico y tratamiento oportuno de la hipertensión intracraneal en pacientes pediátricos gravemente enfermos, previniendo el daño cerebral secundario y la mortalidad. Las mediciones invasivas de la presión intracraneal son actualmente el estándar de oro para el diagnóstico inicial y las evaluaciones de seguimiento de la misma en términos de mediciones precisas en tiempo real. La medición del diámetro de la vaina del nervio óptico es un método no invasivo útil para evaluar la presión intracraneal, así como la medición de diferentes proporciones sonográficas, las cuales son muy sensibles para la detección de elevación de la presión intracraneal. La relación entre la vaina del nervio óptico

y la presión intracraneal es compleja. Los cambios en el ancho y la dinámica de la vaina del nervio óptico no solo se afectan por la presión intracraneal, sino también por la edad, la permeabilidad de la fontanela anterior y el tipo de patología. El umbral por encima del cual el nivel de presión intracraneal debe considerarse anormal también varía según la edad, y otros factores que afectan el ancho y la dinámica de los cambios en la vaina del nervio óptico. La evaluación del diámetro pupilar y el reflejo fotomotor mediante ecografía es una técnica sencilla que permite completar el examen neurológico en pacientes con alteraciones palpebrales. El ultrasonido en el punto de atención ocular nos permite detectar cambios indicativos de presión intracraneal elevada en niños, es fácil de aprender y realizar, no genera radiación ionizante, y su uso y aplicación no está exenta de limitaciones, que una vez conocidas, se vuelve una herramienta clave en el paciente neurocrítico en emergencias y la terapia intensiva.

Palabras claves

Vaina del nervio óptico, POCUS, Pediatría, Presión intracraneal, Diámetro ocular transversal.

Abreviaturas

CAD	Cetoacidosis Diabética
DVNO	Diámetro de la vaina del nervio óptico
DTO	Diámetro ocular transversal
DVO	Diámetro ocular vertical
IM	Índice Mecánico
IT	Índice Térmico
NO	Nervio Óptico
POCUS	Ecografía en el punto de atención
PIC	Presión intracraneal
RMN	Resonancia magnética
TC	Tomografía computarizada
TCE	Traumatismo craneoencefálico

Introducción

La presión que se ejerce dentro del cráneo se denomina presión intracraneal (PIC), y el diagnóstico temprano de valores elevados nos permite el diagnóstico oportuno de PIC elevada para ejercer tratamientos rápidos de control de la hipertensión intracraneal en pacientes pediátricos gravemente enfermos, previniendo el daño cerebral secundario y la mortalidad. Aunque la colocación de un drenaje ventricular externo acoplado a un transductor externo sigue siendo el estándar de oro para la monitorización continua de la PIC, actualmente

otros enfoques no invasivos se mejoran constantemente y pueden proporcionar estimaciones fiables¹. La monitorización de la PIC se considera hoy parte integral de la atención clínica de muchas lesiones cerebrales potencialmente mortales, como traumatismo craneoencefálico grave, hemorragia subaracnoidea, accidente cerebrovascular maligno, estado epiléptico, meningitis y cetoacidosis diabética severa. Nos sirve también para advertir de lesiones de masa intracraneal en expansión, para prevenir o tratar eventos de herniación, así como detectar elevación de la PIC que impide el suministro adecuado de nutrientes al cerebro². Se han desarrollado varias técnicas de medición de la PIC no invasivas. Sin embargo, sólo proporcionan valores de PIC intermitentes y requieren validación en estudios más amplios antes de usarse en la práctica clínica habitual. El más común de ellos es el diámetro de la vaina del nervio óptico (DVNO), medido mediante ecografía³.

Ecografía de la vaina del nervio óptico

Siendo las mediciones invasivas de la PIC el estándar de oro para el diagnóstico inicial y las evaluaciones de seguimiento de la PIC en términos de mediciones precisas y tiempo real su uso se ve limitado por la disponibilidad⁴. Así mismo, las técnicas invasivas se asocian con un riesgo de complicaciones como hemorragia intracraneal e infecciones en el sistema nervioso central⁵. Dentro de los métodos no invasivos para medir PIC se cuenta con la alternativa de medición por estudios de imagen del DVNO a través de la tomografía computarizada (TC), resonancia magnética (RMN), y el ultrasonido⁶. Dentro de estos métodos de imagen, tanto la TC y la RMN consumen tiempo, son costosas y, por lo general, requieren el transporte del paciente fuera de su sitio de atención. La estimación de la PIC por hallazgos clínicos suele ser inespecífica en los pacientes pediátricos. El examen del fondo de ojo es útil, pero es posible que el niño no mantenga la calma durante el examen y sigue siendo incierto cuando se produce un edema de papila después de una elevación aguda de la PIC. Por lo tanto, las evaluaciones de ultrasonido del DVNO podrían ser una mejor opción debido al bajo costo y la rápida operación al lado de la cama del paciente. La ecografía en el punto de atención (POCUS) del DVNO se ha propuesto como un método no invasivo y rápido para identificar el aumento de la PIC^{7, 8, 9}. El POCUS es útil para detectar cambios en el DVNO indicativo de PIC elevada en niños con huesos del cráneo fusionados, calidad de la evidencia B. Es fácil de aprender y realizar, rápido, repetible, rentable y no radiante^{8, 9, 10}.

Fisiopatología

La PIC se ha correlacionado con el DVNO. El nervio óptico (NO) es parte del sistema nervioso central ya que se origina



Figura 1. Técnica para medir ecográficamente el diámetro de la vaina del nervio óptico. A) Enfoque transbulbar axial anterior. B) Enfoque transbulbar axial vertical. C) Enfoque transbulbar axial lateral.

en el diencefalo durante la embriogénesis. El NO está envuelto por su vaina que rodea el espacio subaracnoideo óptico y está directamente conectado con el espacio subaracnoideo intracraneal. Un aumento de la PIC hace que el líquido cefalorraquídeo se desplace desde la cavidad intracraneal hacia el espacio subaracnoideo óptico, lo que provoca la distensión de la vaina del NO y el ensanchamiento de su diámetro. Por lo tanto, los cambios de la PIC se reflejan en el DVNO. Veinte preparaciones de nervio óptico de niños obtenidas post mortem fueron examinadas ecográficamente antes y después de la dilatación del DVNO. Después del ensanchamiento del espacio subaracnoideo inducido por gelatina, el diámetro medio aumentó en un 60 % a 3 mm detrás de la cabeza del NO, pero solo en un 35 % a 10 mm de distancia. Las mediciones independientes realizadas por dos examinadores se correlacionaron altamente, lo que indica una excelente reproducibilidad de las mediciones ecográficas¹¹.

Técnica y anatomía

Se utilizan transductores de alta frecuencia (5-14 MHz) dada la escasa profundidad de las estructuras, el pequeño volumen de interés y la atenuación tan baja de los medios oculares. Se utiliza una sonda de matriz lineal para los exámenes. En el caso del globo ocular tendremos en cuenta, el índice mecánico (IM) y el índice térmico (IT). El primero es la capacidad de cavitación o formación explosiva de burbujas microscópicas en los tejidos secundario a fluctuaciones abruptas de

la presión, mientras el segundo representa el calentamiento tisular. Para ultrasonido ocular se debe usar un preajuste ocular con un límite de IM ≤ 0.23 y de IT ≤ 1 , así como un límite de intensidad menor a 50 mW/cm²¹².

Se debe colocar a los pacientes en posición supina, con elevación de la cabecera a 30°. Debemos recordar que es muy importante el uso de abundante gel preferentemente oftalmológico (sin alcohol) en la ecografía ocular, con el objetivo de minimizar los espacios de aire que aparecen dada la estructura cóncava de la órbita y que nos pueden dificultar la correcta visualización de las estructuras en estudio. Se puede colocar una tira adhesiva de película transparente sobre el ojo para mayor protección con cuidado de evitar que queden atrapadas burbujas de aire debajo. Se sugiere apoyar la mano que sostiene la sonda al macizo óseo facial para tener mayor control de la sonda y evitar presionar de sobremana el globo ocular. Se coloca suavemente el transductor sobre el parpado cerrado y se ajusta en un ángulo adecuado para mostrar la entrada del NO en el globo ocular. Las imágenes utilizadas para medir el DVNO se obtienen a través de enfoques transbulbares axiales horizontales (axial anterior y lateral) y axiales verticales^{13, 14} (figura 1). El DVNO se determina midiendo el diámetro desde el borde interno hasta el borde interno de la vaina del NO a 3 mm por detrás del globo ocular, usando el disco óptico como punto de referencia (figura 2). Se deben realizar tres mediciones, para entonces sacar el diámetro promedio utilizando enfoques transbulbares horizontales y verticales para calcular el valor final del DVNO^{15, 16, 17}. Además, también se ha descrito un abordaje co-

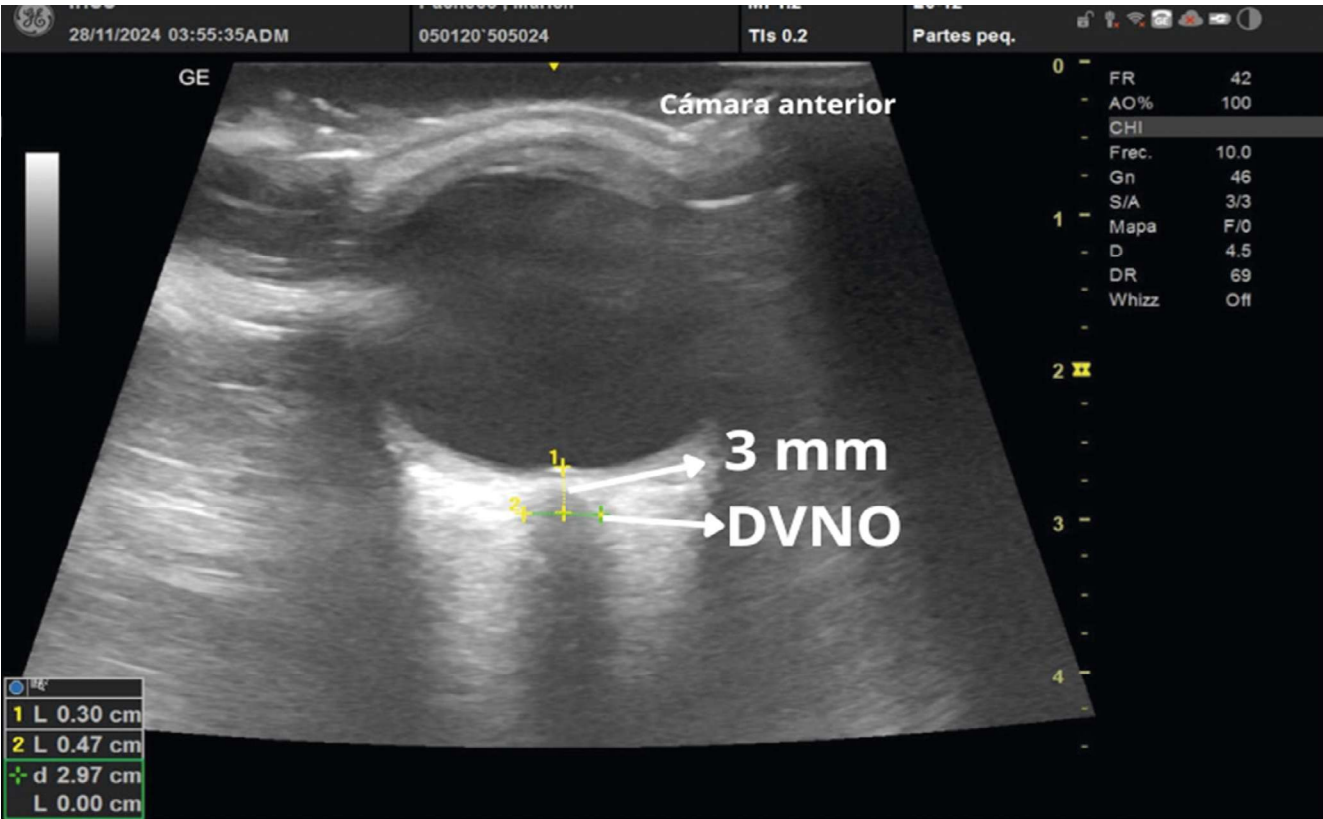


Figura 2. El diámetro de la vaina del nervio óptico se determina midiendo el diámetro desde el borde interior hasta el borde interior de la vaina del nervio óptico a 3mm detrás del globo, utilizando el disco óptico como punto de referencia, de duramadre a duramadre.

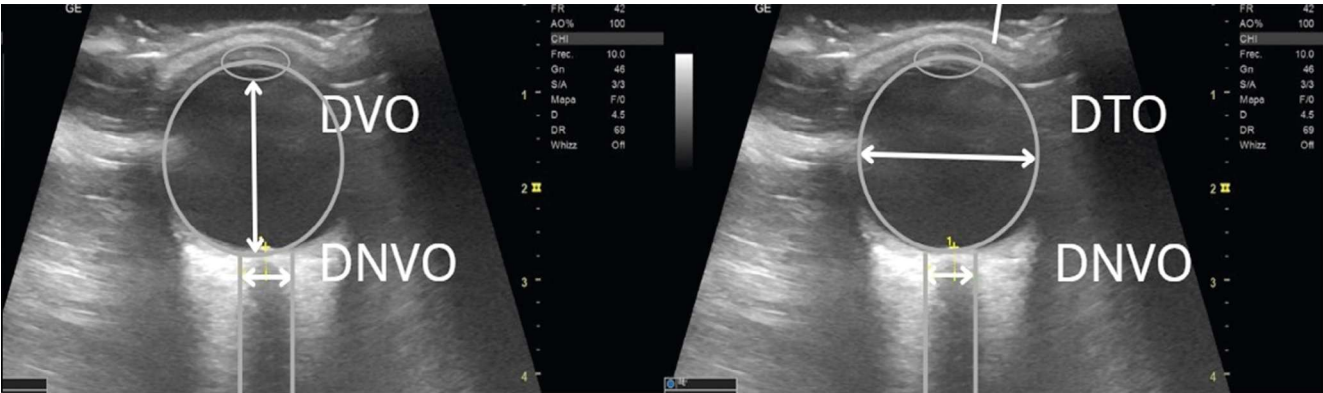


Figura 3. La distancia vertical entre el borde inferior del punto donde la lente parece ser más ancha (DVO-diámetro vertical ocular) y las proporciones de DVNO/DVO. El DTO (diámetro transversal ocular) se midió como el diámetro transversal máximo del globo ocular (retina a retina).



Video 1.

ronal que proporciona un corte transversal del nervio óptico que suele facilitar la medición del DVNO y evita problemas de medición cuando el nervio es tortuoso, como suele ocurrir en los niños¹⁸ (video 1). Se suma a la medición del DVNO la medición del diámetro ocular transverso (DTO) y el diámetro ocular vertical (DVO) tomando los extremos del globo ocular en ambos ejes (figura 3).

Recomendaciones técnicas importantes

- Transductor idealmente de 10 MHZ para proteger el ojo del paciente de posibles daños.
- Colocar un preset en modalidad oftálmica y en caso de no contar con esta modalidad, usar preset partes blandas o pequeñas partes.
- Ubicar el modo de seguridad oftálmica.
- La ganancia al 55-60% produce un brillo adecuado, una ganancia excesiva podría provocar un contraste excesivo e imágenes menos claras.
- El procedimiento standard no debe demorar más de 1 minuto por ojo.
- Profundidad en niño pequeños va alrededor de 15-20 mm siendo en niños grandes alrededor de 40-45 mm.
- La muesca del transductor a la derecha del paciente
- No ejercer presión excesiva sobre el globo ocular, por lo que apoye su mano en el macizo facial y no tensar el cable^{19, 20}.
- Reconocer las siguientes estructuras:
- El globo ocular, redondo y anecoico.
- La cámara anterior y el cristalino, anecoicos.
- El iris brillante y ecogénico.
- La membrana coroides y la retina, que pueden ser vistos como una capa gris delgada en la cara posterior del globo ocular^{21, 22}.
- Por último, el NO se puede visualizar posterior al globo ocular y es típicamente hipoecoico. La vaina del NO recorre la porción externa del nervio y es típicamente isoecoica a hiperecoica en comparación con la anatomía circundante^{23, 24, 25}. (figura 4).
- Dado que la arteria y la vena central de la retina pasan centralmente a través del NO, el doppler color ayudara al examinador a identificar correctamente el NO y evitar errores en la interpretación^{26, 27} (figura 5).

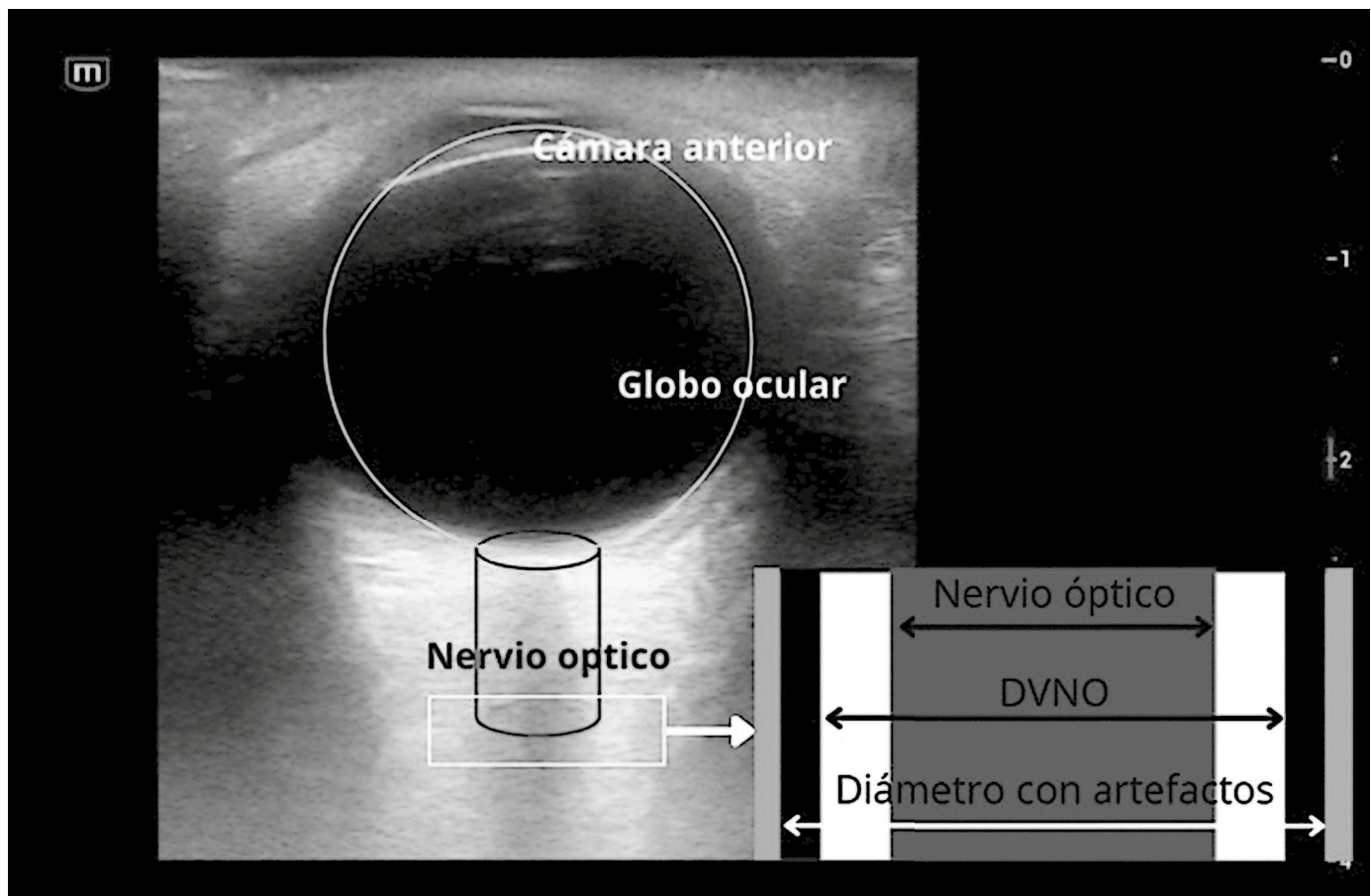


Figura 4. Estructuras de la ecografía ocular, el nervio óptico se identifica como la estructura hipoecoica de trayecto regular posterior al globo ocular. En el extremo inferior de la imagen se diagrama un nervio con la vaina y los posibles vicios de medición.

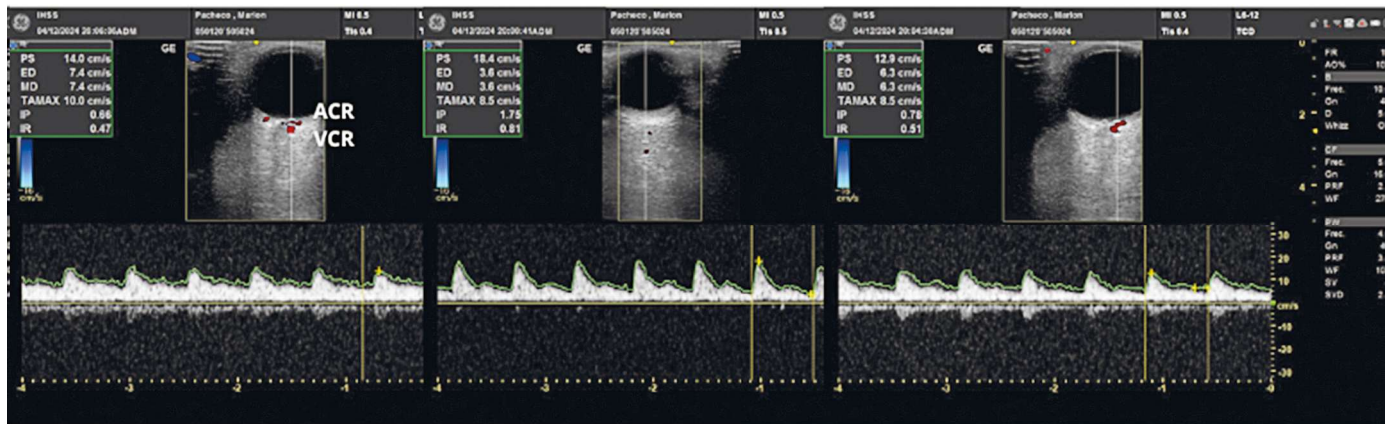


Figura 5. Doppler color de la arteria central de la retina que se encuentra en el medio del segmento distal del nervio óptico, la visualización de la ACR/VCR (arteria central de la retina/vena central de la retina) ayuda a identificar correctamente el curso del nervio óptico y evitar errores en la interpretación.

Relación: diámetro de la vaina del nervio óptico / diámetro transversal ocular

En un estudio donde participaron 147 niños que acudieron al servicio de urgencias por traumatismo craneoencefálico (TCE), se les realizó TC cerebral y ultrasonido ocular, se les midió el DVNO a 3 mm posterior al globo ocular y el DTO, encontrando que los niños con PIC elevada habían aumentado las medidas y las proporciones del DVNO, (nivel de corte de 5,1 mm, la sensibilidad y especificidad fueron del 92.9% y del 94.9 %, respectivamente). Para el cociente DVNO/DTO, a un nivel de corte de 0.22, la sensibilidad y especificidad fueron del 100% y del 88% respectivamente (28). En un estudio que incluyó a 56 niños con encefalitis viral, la relación DVNO/DTO en la predicción de la aparición de aumento de la PIC fue de 0.974 [intervalo de confianza (IC) del 95%: 0.939-1.000, $p < 0.01$], con una sensibilidad del 95.1% y una especificidad del 93.3% a un valor de corte de 0,198²⁹. Porque el espesor del NO es proporcional al tamaño del globo ocular y está asociado con la edad, se recomienda la relación DVNO/DTO para evaluar la PIC en lugar del DVNO para reducir el impacto de este factor^{30, 31}. Más investigaciones confirman que la relación DVNO/DTO probado por ultrasonido puede ser un indicador confiable para predecir aumento de la PIC^{32, 33, 34}.

En 43 niños diagnosticados con cetoacidosis diabética (CAD) leve, moderada y severa se realizó desde el ingreso la medición del DVNO, del DVNO/DTO y del DVNO/DVO siendo estas significativamente más altas en el grupo con CAD severa en comparación con CAD leve o moderada. Todas las mediciones del DVNO, DVNO/DTO y DVNO/DVO al final de la terapia fueron significativamente más bajas en comparación con la primera medición, se tomaron como punto de corte de

correlación con elevación de la PIC mayor de 0.22 para el DVNO/DTO y 0.29 para el DVNO/DVO³⁵.

Interpretación de imágenes y resultados

La relación entre DVNO y la PIC es compleja. Los cambios en el ancho y la dinámica del DVNO no solo se afectan por la PIC, sino también por la edad, la permeabilidad de la fontanela anterior y el tipo de patología^{36, 37}. El umbral por encima del cual el nivel de PIC debe considerarse anormal también varía según la edad, y otros factores afectan el ancho y la dinámica de los cambios en el DVNO, incluida la duración del aumento de la PIC, la presión intraocular y la comunicación alterada entre los espacios subaracnoideo óptico e intracraneal³⁸. En un estudio observacional retrospectivo que incluyó a 72 niños se demostró que la mejor correlación entre el DVNO y la PIC se encontró en los pacientes en los que la determinación de la PIC se realizó mediante punción del reservorio de la derivación o mediante drenaje ventricular externo. Lo más interesante es el cambio de correlación según el grupo de niños analizados, siendo mejor en los pacientes en estado de alerta > sedado/comatoso > anestesia general. Fuertes disminuciones de la PIC pueden dar lugar a cambios más pequeños en el DVNO y viceversa, por lo tanto, el DVNO por POCUS no debe reemplazar la monitorización invasiva de la PIC, pero si considerarse como una herramienta de detección de la elevación de la PIC en Emergencias y UCIP cuando no se dispone de métodos invasivos³⁹. Además, existen patologías raras descritas en la literatura, acompañadas de ensanchamiento del DVNO sin aumento asociado de la PIC, como la ectasia del NO y meningocele^{40, 41, 42}. Existen estudios donde se han analizado las mediciones del DVNO de 174 pacientes pediátricos críticamente enfermos en busca de un valor que mejor se correlacione con el incremento de la PIC, en-

contrándose que la medición del DVNO con la mejor precisión diagnóstica para detectar una PIC ≥ 20 mm Hg en toda la cohorte de pacientes fue de 5.5 mm⁴³.

En la actualidad, la literatura POCUS ocular en emergencias y cuidados intensivos recomienda generalmente usar los siguientes valores de corte medidos de borde interno a borde interno, para el límite superior del DVNO normal: 5.84 mm en adultos (mayores de 15 años), 4.5 mm en niños mayores de 1 año, 4 mm en lactantes menores de 1 año^{44, 45, 46}. Se realizó un metaanálisis de efectos aleatorios que incluyeron once estudios que incluían mediciones del DVNO para detectar hipertensión intracraneal en niños con lesión neurológica, que reveló una sensibilidad combinada para el DVNO medido por ultrasonido del 93 % (IC del 95 %, 74-99 %), una especificidad del 74 % (IC del 95 %, 52-88 %). En dicho estudio no se pudo identificar un valor umbral en el DVNO medido por ultrasonido para la determinación de la hipertensión intracraneal en niños. Aunque la medición del DVNO medida por ultrasonido es muy sensible a la presencia de un aumento de la PIC, la prueba tiene solo una especificidad moderada⁴⁷. En otro metaanálisis se analizaron veinticinco estudios con 1,591 pacientes y 3,143 mediciones de DVNO por ecografía en pacientes pediátricos, donde la sensibilidad y especificidad combinadas de DVNO medido por ecografía para la predicción del aumento de la presión intracraneal fueron del 92% (86-96%) y del 89% (77-96%), los cocientes de probabilidad positivos y negativos combinados fueron de 8,6 y 0,08. En consecuencia, recomendamos el uso rutinario del ultrasonido para medir el DVNO en pacientes pediátricos⁴⁸. En la Tabla 1 se describen los valores normales en pacientes pediátricos, con integridad de bóveda craneal.

Limitaciones

Existen varias limitaciones con el POCUS del DVNO para detectar un aumento de la PIC en la práctica actual. En primer lugar, aunque algunos estudios previos han establecido valores de corte para POCUS del DVNO para evaluar el aumento de la PIC en niños, no existe consenso en cuanto a los valores de corte óptimos de PIC según la edad en niños, por lo que se necesita más datos sobre POCUS de DVNO en niños para establecer valores de corte normales y óptimos del DVNO⁴⁹. En

segundo lugar, se deben de estandarizar la calidad de la imagen y los requisitos del equipo de ultrasonido para medir el DVNO correctamente^{50, 51, 52}. En tercer lugar, las limitaciones de la variabilidad en la forma en que se mide el DVNO, incluso de un estudio a otro, lo que dificulta conocer los verdaderos valores de corte para normal o anormal. En cuarto lugar, el POCUS del DVNO en adultos suele medirse a 3 mm por detrás del globo ocular. Al medir DVNO en pacientes pediátricos (e incluso en recién nacidos), la parte distensible máxima de la vaina del NO puede ser mucho más proximal que en adultos^{53, 54, 55}. Por último y quinto lugar, su diámetro está influenciado no solo por la PIC sino también fuertes disminuciones de la PIC pueden dar lugar a cambios más pequeños en el DVNO y viceversa. La correlación entre DVNO y PIC es mejor en niños en estado de alerta, en comparación de pacientes bajo sedación, siendo menor en pacientes en estado comatoso o bajo anestesia general. Por lo tanto, las evaluaciones de los valores aumentados de la PIC no deben realizarse solo con POCUS del DVNO de contarse con monitoreo invasivo.

Reflejo fotomotor y pupilometría

En el recién nacido la pupila se localiza por dentro y debajo del centro de la córnea. Debido al poder de refracción de la córnea durante el período neonatal, la pupila aparece mayor de lo que en realidad es. El diámetro aparente varía entre 2.5 y 5.5 mm en promedio cerca de 4 mm. Los reflejos pupilares aparecen cerca del 5to. mes de vida fetal y ya son activos en el 6to. mes. Alrededor del año edad la pupila empieza a ampliarse y alcanza su diámetro máximo durante la adolescencia. En la edad avanzada disminuye de nuevo su tamaño. Los pacientes con miopía poseen pupilas más amplias que los pacientes hipermétropes. Las pupilas normales son regulares y redondas, se mueven de manera regular y constante como respuesta a los cambios de luz y enfoque. La anisocoria, diferencia en el tamaño pupilar de ≥ 2 mm, a menudo es un dato anormal; y requiere ser evaluado. Cuando no existen otras anomalías neurológicas, no se requiere una consideración diagnóstica especial posterior. En el paciente crítico pediátrico, y especialmente en el neurocrítico, el examen neurológico incluye la exploración de las pupilas como un componente crucial; su tamaño, forma, simetría y reactividad deben ser

Tabla 1. Valores de referencia del diámetro de la vaina del nervio óptico por edad, así como medición sugestiva de elevación de la presión intracraneal

Edad	Normal	Sugestivo de elevación de la PIC
Niños menores de < 1 año	< 4 mm	Mas de 4 mm
Niños mayores de ≥ 1 años	4.0 a 4.5 mm	Más de 4.5 mm
Mayores de 15 años	5 a 5.7 mm	Más de 5,84 mm

detallados. La reacción de las pupilas a la luz al contraerse o relajarse en función de la cantidad de luz que reciben se llama reflejo fotomotor (RFM). En caso de que la pupila no pueda ser observada directamente debido a una lesión en los tejidos blandos que impida su apertura, los métodos de evaluación pupilar infrarroja y la pupilometría perimetral no son efectivos. Estos procedimientos no consiguen vencer la barrera física de los tejidos blandos, necesitan de dispositivos avanzados que, usualmente, no están disponibles en situaciones de emergencia y requieren de asistencia técnica. En este contexto, la evaluación pupilar ecográfica es particularmente ventajosa, dado que ofrece una alternativa simple y precisa, que se puede realizar con dispositivos portátiles en la cama del paciente⁵⁶. Una reciente publicación con alrededor de 200 mediciones demostró la concordancia clínico-ecográfica para el examen del reflejo pupilar a la luz en reposo, después de estimulación lumínica directa y estimulación lumínica consensual fue excelente. Hubo una concordancia del 87.36% entre el examen clínico y el ecográfico para el RFM (reactivo o no reactivo)⁵⁷.

Fisiopatología de la respuesta pupilar

La pupila es el orificio del iris que modula la entrada de luz que alcanza la retina a través de su capacidad de dilatación y constricción, permitiendo una visión adecuada. El diámetro que adopta la pupila depende de los músculos lisos: el esfínter del iris o constrictor y el dilatador del iris. El primero está inervado por el sistema parasimpático (núcleo de Edinger-Westphal) a través de sus fibras colinérgicas y el segundo por el sistema simpático, de manera que, la constricción y dilatación pupilar dependen del sistema nervioso autónomo. La pupila reacciona a estímulos a 200 m/s aproximadamente, con una variación del diámetro entre 1.5 a 9 mm y el tamaño promedio en condiciones de luz estándares es de aproximadamente 3 mm. En el TCE, el aumento de la PIC y la presencia de una lesión supratentorial pueden generar la herniación de la región medial del lóbulo temporal y del uncus a través de la incisura tentorial, comprometiendo el tallo cerebral. A su vez el tercer par craneal, que se encuentra relacionado anatómicamente con el lóbulo temporal, se ve afectado. Por este motivo, resulta de gran utilidad en el examen físico del paciente neurocrítico la exploración pupilar, sugiriendo un compromiso neurológico la dilatación o ausencia de reacción pupilar⁵⁸.

Técnica

Con un transductor lineal y abundante gel se realiza la ecografía ocular (figura 6). Después de la aplicación del gel, y de no existir fracturas circundantes, apoyar la mano en el macizo facial, ejerciendo la mínima presión posible, se coloca la

sonda lineal sobre la zona orbitaria tomando un plano transversal. Si el paciente colabora se le pedirá que fije la mirada hacia el plano superior (ej. techo) y entonces bascularemos la sonda unos 45° hacia la zona superior de la órbita del paciente. Una vez que la pupila se visualice en la pantalla del ecógrafo (circunferencia anecoica) en modo 2D, se aplicará una luz intensa sobre el ojo a explorar y si el reflejo pupilar directo está conservado, se observará disminución del diámetro pupilar (figura 7, video 2). Del mismo modo y sin retirar la sonda de ese ojo se iluminará el contralateral para comprobar así el reflejo consensuado. La sala donde se realice la técnica ha de estar en penumbra para un mejor resultado de la técnica. La medición del diámetro pupilar puede realizarse en modo 2D o modo M^{59, 60}.

Conclusiones

La medición del DVNO es un método no invasivo útil para evaluar la PIC, siendo las proporciones sonográficas (DVNO y Relación DVNO/DTO) muy sensibles para la detección de elevación de la PIC, sin embargo, tiene especificidad moderada, debido a los cambios en el ancho y la dinámica del DVNO. Además la evaluación del diámetro pupilar y el RFM mediante ecografía es una técnica sencilla y exacta que permite completar el examen neurológico en pacientes con alteraciones palpebrales.

Autor de correspondencia

Patrick Danny Caqui Vilca
Instituto Nacional de Salud del Niño San Borja. Lima, Perú.
Email: patrickdannycavilca@gmail.com

Conflictos de interés

Sin conflicto de interés.



Figura 6. Técnica de evaluación del pupilar ecográfica.

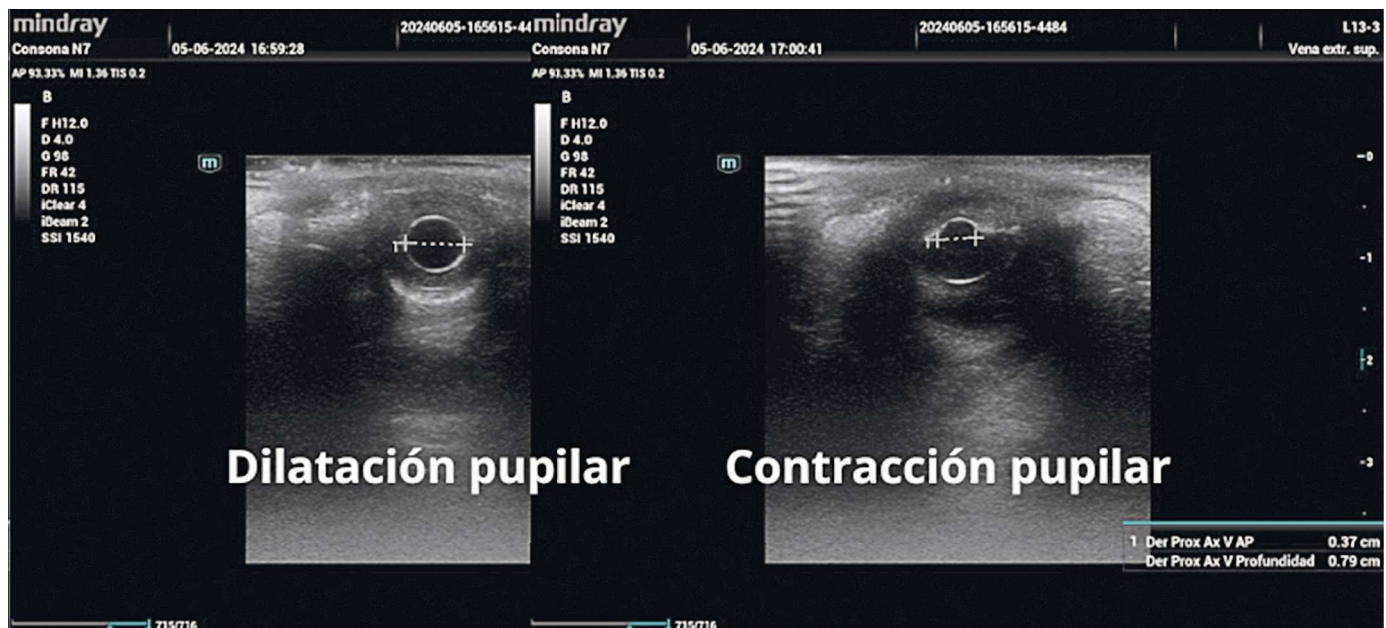


Figura 7. Medición de diámetros pupilares en distintos estadios del reflejo fotomotor.



Video 2.

Referencias

1. Cannata G, Pezzato S, Esposito S, Moscatelli A. Optic Nerve Sheath Diameter Ultrasound: A Non-Invasive Approach to Evaluate Increased Intracranial Pressure in Critically Ill Pediatric Patients. *Diagnostics (Basel)*. 2022 Mar 21;12(3):767. doi: 10.3390/diagnostics12030767.
2. Hawryluk, G.W.J., Citerio, G., Hutchinson, P. et al. Intracranial pressure: current perspectives on physiology and monitoring. *Intensive Care Med* 48, 1471-1481 (2022). <https://doi.org/10.1007/s00134-022-06786-y>.
3. Agrawal S, Abecasis F, Jalloh I. Neuromonitoring in Children with Traumatic Brain Injury. *Neurocrit Care*. 2024 Feb;40(1):147-158. doi: 10.1007/s12028-023-01779-1.
4. Treggiari MM, Schutz N, Yanez ND, Romand JA. Role of intracranial pressure values and patterns in predicting outcome in traumatic brain injury: a systematic review. *Neurocrit Care*. 2007;6(2):104-12. doi: 10.1007/s12028-007-0012-1.
5. Kasturiarachi BM, Michaels M, Sharma S. Intracranial Pressure. *Crit Care Clin*. 2025 Jul;41(3):529-539. doi: 10.1016/j.ccc.2025.03.003.
6. Rosenberg JB, Shiloh AL, Savel RH, Eisen LA. Non-invasive methods of estimating intracranial pressure. *Neurocrit Care*. 2011 Dec;15(3):599-608. doi: 10.1007/s12028-011-9545-4.
7. Le A, Hoehn ME, Smith ME, Spentzas T, Schlappy D, Pershad J. Bedside sonographic measurement of optic nerve sheath diameter as a predictor of increased intracranial pressure in children. *Ann Emerg Med*. 2009 Jun;53(6):785-91. doi: 10.1016/j.annemergmed.2008.11.025.
8. Singh Y, Tissot C, Fraga MV, Yousef N, Cortes RG, Lopez J, Sanchez-de-Toledo J, Brierley J, Colunga JM, Raffaj D, Da Cruz E, Durand P, Kenderessy P, Lang HJ, Nishisaki A, Kneyber MC, Tissieres P, Conlon TW, De Luca D. International evidence-based guidelines on Point of Care Ultrasound (POCUS) for critically ill neonates and children issued by the POCUS Working Group of the European Society of Paediatric and Neonatal Intensive Care (ESPNIC). *Crit Care*. 2020 Feb 24;24(1):65. doi: 10.1186/s13054-020-2787-9.
9. Lin JJ, Chen AE, Lin EE, Hsia SH, Chiang MC, Lin KL. Point-of-care ultrasound of optic nerve sheath diameter to detect intracranial pressure in neurocritically ill children - A narrative review. *Biomed J*. 2020 Jun;43(3):231-239. doi: 10.1016/j.bj.2020.04.006.
10. Caqui-Vilca P, Omar Heredia Orbegoso G, Cantillano-Quintero E, Domínguez-Rojas JA. Utilidad del monitoreo multimodal de niños con amebas de vida libre cerebral en terapia intensiva. revisión narrativa de la literatura a propósito de un caso fatal. *Revista de Medicina Intensiva y Cuidados Críticos*. 2021;14(2):84-91. doi: 0000-0001-6141-6622.
11. Helmke K, Hansen HC. Fundamentals of transorbital sonographic evaluation of optic nerve sheath expansion under intracranial hypertension. I. Experimental study. *Pediatr Radiol*. 1996 Oct;26(10):701-5. doi: 10.1007/BF01383383.
12. Sargsyan AE, Blaivas M., Geeraerts T., Karakitsos D. Ultrasonido ocular en la unidad de cuidados intensivos. En: Lumb P., Kara-

- kitos D., editores. Ultrasonido en cuidados críticos. 1ª edición. Elsevier Saunders; Filadelfia, PA, EE. UU.: 2014. 978-1-4557-5357-4.
13. Killer H.E., Laeng H.R., Flammer J., Groscurth P. Architecture of arachnoid trabeculae, pillars, and septa in the subarachnoid space of the human optic nerve: anatomy and clinical considerations. *Br J Ophthalmol.* 2003;87:777-781. doi: 10.1136/bjo.87.6.777.
14. Ballantyne J, Hollman AS, Hamilton R et al (1999) Transorbital optic nerve sheath ultrasonography in normal children. *Clin Radiol* 54(11): 740-742.
15. Soliman I, Johnson GGRJ, Gillman LM, Zeiler FA, Faqih F, Ale-treby WT, Balhamar A, Mahmood NN, Ahmad Mumtaz S, Alharthy A, Lazaridis C, Karakitsos D. New Optic Nerve Sonography Quality Criteria in the Diagnostic Evaluation of Traumatic Brain Injury. *Crit Care Res Pract.* 2018 Apr 30;2018:3589762. doi: 10.1155/2018/3589762.
16. Hirzallah MI, Lochner P, Hafeez MU, Lee AG, Krogias C, Dongarwar D, Hartman ND, Ertl M, Robba C, Malojcic B, Valaikiene J, Sarwal A, Hakimi R, Schlachetzki F; Optic Nerve Sheath Diameter Point-of-Care Ultrasonography Quality Criteria Checklist (ONSD POCUS QCC) Expert Panelists. Optic Nerve Sheath Diameter Point-of-Care Ultrasonography Quality Criteria Checklist: An International Consensus Statement on Optic Nerve Sheath Diameter Imaging and Measurement. *Crit Care Med.* 2024 Oct 1;52(10):1543-1556. doi: 10.1097/CCM.0000000000006345.
17. Newman W.D., Hollman A.S., Dutton G.N., Carachi R. Measurement of optic nerve sheath diameter by ultrasound: a means of detecting acute raised intracranial pressure in hydrocephalus. *Br J Ophthalmol.* 2002;86:1109-1113. doi: 10.1136/bjo.86.10.1109.
18. Amini R, Stolz LA, Patanwala AE, Adhikari S. Coronal Axis Measurement of the Optic Nerve Sheath Diameter Using a Linear Transducer. *J Ultrasound Med.* 2015 Sep;34(9):1607-12. doi: 10.7863/ultra.15.14.09039.
19. Wang LJ, Yao Y, Feng LS, Wang YZ, Zheng NN, Feng JC, Xing YQ. Noninvasive and quantitative intracranial pressure estimation using ultrasonographic measurement of optic nerve sheath diameter. *Sci Rep.* 2017 Feb 7;7:42063. doi: 10.1038/srep42063.
20. Maude RR, Hossain MA, Hassan MU, Osbourne S, Sayeed KL, Karim MR, Samad R, Borooah S, Dhillon B, Day NP, Dondorp AM, Maude RJ. Transorbital sonographic evaluation of normal optic nerve sheath diameter in healthy volunteers in Bangladesh. *PLoS One.* 2013 Dec 2;8(12):e81013. doi: 10.1371/journal.pone.0081013
21. Seguin J, Le CK, Fischer JW, Tessaro MO, Berant R. Ocular Point-of-Care Ultrasound in the Pediatric Emergency Department. *Pediatr Emerg Care.* 2019 Mar;35(3):e53-e58. doi: 10.1097/PEC.0000000000001762.
22. Ertl M, Barinka F, Torka E, Altmann M, Pfister K, Helbig H, Bogdahn U, Gamulescu MA, Schlachetzki F. Ocular color-coded sonography - a promising tool for neurologists and intensive care physicians. *Ultraschall Med.* 2014 Oct;35(5):422-31. English, German. doi: 10.1055/s-0034-1366113.
23. Silva CT, Brockley CR, Crum A, Mandelstam SA. Pediatric ocular sonography. *Semin Ultrasound CT MR.* 2011 Feb;32(1):14-27. doi: 10.1053/j.sult.2010.09.005.
24. Kilker BA, Holst JM, Hoffmann B. Bedside ocular ultrasound in the emergency department. *Eur J Emerg Med* 2014;21(4): 246-53.
25. Pierre VA, Smith T, Salerno A. Ocular Ultrasound. *Emerg Med Clin North Am.* 2024 Nov;42(4):891-903. doi: 10.1016/j.emc.2024.05.009.
26. Aspide R, Bertolini G. Response to Letter to Editor on "A Proposal for a New Protocol for Sonographic Assessment of the Optic Nerve Sheath Diameter: The CLOSED Protocol". *Neurocrit Care.* 2023 Dec;39(3):750-751. doi: 10.1007/s12028-023-01839-6.
27. Aslan N, Yıldızdaş D, Horoz ÖÖ, Özsoy M, Yöntem A, Çetinalp E, Mert GG. Evaluation of ultrasonographic optic nerve sheath diameter and central retinal artery Doppler indices by point-of-care ultrasound in pediatric patients with increased intracranial pressure. *Turk J Pediatr.* 2021;63(2):300-306. doi: 10.24953/turkjped.2021.02.014.
28. Şık N, Ulusoy E, Çitlenbik H, Öztürk A, Er A, Yılmaz D, Duman M. The role of sonographic optic nerve sheath diameter measurements in pediatric head trauma. *J Ultrasound.* 2022 Dec; 25(4):957-963. doi: 10.1007/s40477-022-00676-1.
29. Zhao C, Sun PC, Fang KJ, Fu HH, Wei LF, Miao YY, Guo XX, Weng XL. Optic nerve sheath diameter/eyeball transverse diameter ratio by ultrasound in prediction of increased intracranial pressure in children with viral encephalitis. *Front Pediatr.* 2025 Jan 7;12:1485107. doi: 10.3389/fped.2024.1485107.
30. Bekerman I, Sigal T, Kimiagar I, Ben Ely A, Vaiman M. The quantitative evaluation of intracranial pressure by optic nerve sheath diameter/eye diameter CT measurement. *Am J Emerg Med.* (2016) 34(12):2336-42. doi: 10.1016/j.ajem.2016. 08.045.
31. Vaiman M, Gottlieb P, Bekerman I. Quantitative relations between the eyeball, the optic nerve, and the optic canal important for intracranial pressure monitoring. *Head Face Med.* (2014) 10:32. doi: 10.1186/1746-160X-10-32.
32. Du J, Deng Y, Li H, Qiao S, Yu M, Xu Q, et al. Ratio of optic nerve sheath diameter to eyeball transverse diameter by ultrasound can predict intracranial hypertension in traumatic brain injury patients: a prospective study. *Neurocrit Care.* (2020) 32(2):478-85. doi: 10.1007/s12028-019-34-z.
33. Singh M, Gupta V, Gupta R, Kumar B, Agrawal D. A novel method for prediction of raised intracranial pressure through automated ONSD and ETD ratio measurement from ocular ultrasound. *Ultrason Imaging.* (2024) 46(1):29-40. doi: 10.1177/01617346231197593
34. Vitiello L, De Bernardo M, Rosa N. Ratio of optic nerve sheath diameter to eyeball transverse diameter by ultrasonography to predict raised intracranial pressure in traumatic brain injury. *Neurocrit Care.* (2019) 31(3):592-3. doi: 10.1007/ s12028-019-00839-9.
35. Şık N, Erbaş İM, Demir K, Yılmaz D, Duman M. Bedside sonographic measurements of optic nerve sheath diameter in children with diabetic ketoacidosis. *Pediatr Diabetes.* 2021 Jun;22(4):618-624. doi: 10.1111/pedi.13188.

36. Kerscher SR, Schöni D, Hurth H, Neunhoeffler F, Haas-Lude K, Wolff M, Schuhmann MU. The relation of optic nerve sheath diameter (ONSD) and intracranial pressure (ICP) in pediatric neurosurgery practice - Part I: Correlations, age-dependency and cut-off values. *Childs Nerv Syst.* 2020 Jan;36(1):99-106. doi: 10.1007/s00381-019-04266-1.
37. Okpara SE, Uche EO, Iloanusi NI, Iloabachie IC, Mezue WC, Onyia EE, Chikani MC, Mathew M. Correlation of the transorbital ultrasonographic optic nerve sheath diameter with intracranial pressure measured intraoperatively in infants with hydrocephalus. *J Neurosurg Pediatr.* 2024 Jan 12;33(4):334-342. doi: 10.3171/2023.12.PEDS23273.
38. Hou R, Zhang Z, Yang D, Wang H, Chen W, Li Z, Sang J, Liu S, Cao Y, Xie X, Ren R, Zhang Y, Sabel BA, Wang N. Intracranial pressure (ICP) and optic nerve subarachnoid space pressure (ONSP) correlation in the optic nerve chamber: the Beijing Intracranial and Intraocular Pressure (iCOP) study. *Brain Res.* 2016 Mar 15;1635:201-8. doi: 10.1016/j.brainres.2016.01.011.
39. Kerscher SR, Schöni D, Neunhoeffler F, Wolff M, Haas-Lude K, Bevot A, Schuhmann MU. The relation of optic nerve sheath diameter (ONSD) and intracranial pressure (ICP) in pediatric neurosurgery practice - Part II: Influence of wakefulness, method of ICP measurement, intra-individual ONSD-ICP correlation and changes after therapy. *Childs Nerv Syst.* 2020 Jan;36(1):107-115. doi: 10.1007/s00381-019-04336-4.
40. Bakbak B, Dönmez H, Kansu T, Kiratli H. Dural ectasia of the optic nerve sheath: is it always benign? *Eye Brain.* 2009 Nov 19;11:5-7. doi: 10.2147/eb.s7750.
41. Kacem HH, Hammani L, Ajana A, Nassar I. Dural ectasia of the optic nerve sheath. *Pan Afr Med J.* 2014 Feb 27;17:140. doi: 10.11604/pamj.2014.17.140.3755.
42. Mesa-Gutiérrez JC, Quiñones SM, Ginebreda JA. Optic nerve sheath meningocele. *Clin Ophthalmol.* 2008 Sep;2(3):661-8. doi: 10.2147/opth.s2689.
43. Padayachy LC, Padayachy V, Galal U, Gray R, Fieggen AG. The relationship between transorbital ultrasound measurement of the optic nerve sheath diameter (ONSD) and invasively measured ICP in children : Part I: repeatability, observer variability and general analysis. *Childs Nerv Syst.* 2016 Oct;32(10):1769-78. doi: 10.1007/s00381-016-3067-5.
44. Hansen H.C., Helmke K. The subarachnoid space surrounding the optic nerves. An ultrasound study of the optic nerve sheath. *Surg Radiol Anat.* 1996;18:323-328. doi: 10.1007/BF01627611.
45. Körber F., Scharf M., Moritz J., Dralle D., Alzen G. Sonography of the optical nerve—experience in 483 children. *Röfo.* 2005;177:229-235. doi: 10.1055/s-2004-813936.
46. Pierre VA, Smith T, Salerno A. Ocular Ultrasound. *Emerg Med Clin North Am.* 2024 Nov;42(4):891-903. doi: 10.1016/j.emc.2024.05.009.
47. Bhargava V, Tawfik D, Tan YJ, Dunbar T, Haileselassie B, Su E. Ultrasonographic Optic Nerve Sheath Diameter Measurement to Detect Intracranial Hypertension in Children With Neurological Injury: A Systematic Review. *Pediatr Crit Care Med.* 2020 Sep;21(9):e858-e868. doi: 10.1097/PCC.0000000000002453.
48. Rajendran G, Mahalingam S, Ramkumar A, Rajaa S, P T K, K A, Elanjaeran R, Kannan R, Prakasam S, Salih A, Nayagam V. Diagnostic Accuracy of Optic Nerve Sheath Diameter Using Ultrasonography for Raised Intracranial Pressure in Pediatric Patients - A Systematic Review and Meta-Analysis. *World Neurosurg.* 2024 Oct;190:e1000-e1017. doi: 10.1016/j.wneu.2024.08.052.
49. Kimberly HH, Shah S, Marill K, Noble V. Correlation of optic nerve sheath diameter with direct measurement of intracranial pressure. *Acad Emerg Med.* 2008 Feb;15(2):201-4. doi: 10.1111/j.1553-2712.2007.00031.x.
50. Bloria SD, Bloria P, Luthra A. Is it the time to standardize the procedure of ultrasound guided optic nerve sheath diameter measurement? *Saudi J Anaesth.* 2019 Jul-Sep;13(3):255-256. doi: 10.4103/sja.SJA_752_18.
51. Lochner P, Czosnyka M, Naldi A, Lyros E, Pelosi P, Mathur S, Fassbender K, Robba C. Optic nerve sheath diameter: present and future perspectives for neurologists and critical care physicians. *Neurol Sci.* 2019 Dec;40(12):2447-2457. doi: 10.1007/s10072-019-04015-x.
52. Pansell J, Bell M, Rudberg P, Friman O, Cooray C. Optic nerve sheath diameter measurement by ultrasound: Evaluation of a standardized protocol. *J Neuroimaging.* 2022 Jan;32(1):104-110. doi: 10.1111/jon.12936.
53. Liu D, Kahn M. Measurement and relationship of subarachnoid pressure of the optic nerve to intracranial pressures in fresh cadavers. *Am J Ophthalmol.* 1993 Nov 15;116(5):548-56. doi: 10.1016/s0002-9394(14)73195-2.
54. Yapicioglu H, Aslan N, Sertdemir Y, Yildizdas D, Gulasi S, Mert K. Determination of normal values of optic nerve sheath diameter in newborns with bedside ultrasonography. *Early Hum Dev.* 2020 Jun;145:104986. doi: 10.1016/j.earlhumdev.2020.104986.
55. 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 Jul;87(1):34-40. doi: 10.3171/jns.1997.87.1.0034.
56. Christian YIC,1* Gabriel Prada,2 Julio Pontet,3 José I. Díaz-Gómez. *Ecografía ocular en el traumatismo encefalocraneano grave.* RATI. 2020;37(2).p7-10 <http://revista.sati.org.ar/index.ph>
57. Modi P, Bhoi S, Aggarwal P, Nayer J, Sinha TP, Ekka M, Mishra PR, Kumar A, Pandey S. Feasibility of USG-Guided Objective Initial Assessment of Pupillary Size and Pupillary Reflexes Versus Clinical Examination in Patients With Altered Mental Status: A Cross-Sectional Study. *J Ultrasound Med.* 2024 Feb;43(2):335-346. doi: 10.1002/jum.16366.
58. Yandris Arevalo-Martinez et al. Pupíloimetría: Conceptos Fisiológicos y Clínicos Aplicados al Paciente Neurocrítico. *Revista Argentina de Neurocirugía*, consulta 23 de enero de 2025, <https://aanc.org.ar/ranc/items/show/1238>.
59. Ashot E. Sargsyan, Douglas R. Hamilton, et al. Ultrasonic evaluation of pupillary light reflex. 2009. *Crit Ultrasound J*;1:53-57. doi: 10.1007/s13089-009-0012-9
60. Harries A, Shah S, Teismann N, Price D, Nagdev A. Ultrasound assessment of extraocular movements and pupillary light reflex in ocular trauma. *Am J Emerg Med.* 2010 Oct;28(8):956-9. doi: 10.1016/j.ajem.2009.06.026.