

Correlación entre la presión intraocular e intracraneal en niños con traumatismo craneoencefálico severo

Intraocular pressure with intracranial pressure in children with severe cranioencephalic trauma

Karla Isis Avilés-Martínez,¹ Adriana López-Enríquez,² Luz Consuelo Zepeda-Romero,³ Juan Luis Soto-Mancilla,⁴ Tamiko Unzón-Avilés⁵

Resumen

OBJETIVO: Evaluar la correlación entre la presión intraocular e intracraneal en niños con traumatismo craneoencefálico severo y con hipertensión intraocular; esto es, presión intraocular ≥ 20 mmHg con la hipertensión intracraneal.

MATERIALES Y MÉTODOS: Estudio transversal y analítico para obtener la correlación entre la presión intraocular y la intracraneal de apertura y, luego, entre la hipertensión intracraneal y la intraocular. *Criterios de inclusión:* niños con traumatismo craneoencefálico severo ingresados a la sala de Urgencias con indicación de catéter intracraneal para medición de la presión intracraneal. *Criterios de exclusión:* pacientes con lesión-enfermedad oftálmica, glaucoma o muerte encefálica. Con un tonómetro electrónico se midió la presión intraocular en ambos ojos, antes de la colocación del catéter para medición de la presión intracraneal. La correlación se estimó con *Rho de Spearman*.

RESULTADOS: Se incluyeron 18 niños y se encontró correlación de la presión intraocular del ojo derecho con la presión intracraneal de apertura en el 96.1% ($p < 0.001$) y presión intraocular del ojo izquierdo, 98.6% ($p < 0.001$); entre hipertensión intracraneal e hipertensión intraocular la correlación fue del 96.4%.

CONCLUSIONES: La presión intraocular tuvo una correlación lineal, fuerte, significativa y directamente proporcional respecto de la presión intracraneal en niños con traumatismo craneoencefálico severo así como entre hipertensión intracraneal e hipertensión intraocular. La medición de la presión intraocular en la sala de urgencias resultó una herramienta útil en la evaluación y diagnóstico inicial de la hipertensión intracraneal.

PALABRAS CLAVE: Presión intracraneal; niños; traumatismo craneal; hipertensión; presión intraocular; hipertensión intracraneal.

Abstract

OBJECTIVE: To evaluate the correlation between intraocular and intracranial pressure in children with severe head injury and intraocular hypertension; that is, intraocular pressure ≥ 20 mmHg, with intracranial hypertension.

MATERIALS AND METHODS: Cross-sectional and analytical study to obtain the correlation between intraocular and opening intracranial pressure and then between intracranial and intraocular hypertension. Inclusion criteria: children with severe cranioencephalic trauma admitted to the emergency room with indication of intracranial catheter for

¹ Pediatra urgencióloga, adscrita al servicio de Urgencias Pediátricas.

² Pediatra urgencióloga, jefa del servicio de Urgencias Pediátricas.

³ Oftalmólogo pediatra, Maestría en Ciencias de la Salud, Departamento de Cirugía Pediátrica.

⁴ Neurocirujano pediatra, Maestría en Ciencias de la Salud, jefe del Departamento de Neurocirugía Pediátrica.

⁵ Residente de tercer año de la especialidad de Pediatría médica.

Hospital Civil Fray Antonio Alcalde, Guadalajara, Jalisco, México.

Recibido: 10 de marzo 2018

Aceptado: 10 de abril 2021

Correspondencia

Karla Isis Avilés-Martínez
draisisispediatria@yahoo.com.mx

Este artículo debe citarse como: Avilés-Martínez KI, López-Enríquez A, Zepeda-Romero LC, Soto-Mancilla JL, Unzón-Avilés T. Correlación entre la presión intraocular e intracraneal en niños con traumatismo craneoencefálico. Acta Pediatr Méx 2021; 42 (5): 223-32.

intracranial pressure measurement. Exclusion criteria: patients with ophthalmic injury-disease, glaucoma, or brain death. Intraocular pressure was measured in both eyes with an electronic tonometer before placement of the intracranial pressure catheter. Correlation was estimated with Spearman's Rho.

RESULTS: Eighteen children were included and correlation of right eye intraocular pressure with opening intracranial pressure was found in 96.1% ($p < 0.001$) and left eye intraocular pressure, 98.6% ($p < 0.001$); between intracranial hypertension and intraocular hypertension the correlation was 96.4%.

CONCLUSIONS: Intraocular pressure had a linear, strong, significant and directly proportional correlation with respect to intracranial pressure in children with severe head injury as well as between intracranial hypertension and intraocular hypertension. Measurement of intraocular pressure in the emergency room proved to be a useful tool in the initial evaluation and diagnosis of intracranial hypertension.

KEYWORDS. Intracranial pressure; Children; Head injury; Hypertension; Intraocular pressure; Intracranial hypertension.

INTRODUCCIÓN

Cada año, en todo el mundo, mueren cerca de 830,000 niños menores de 18 años debido a lesiones no intencionales. Los traumatismos causados por accidentes de tránsito y las caídas son las principales causas de discapacidad infantil relacionada con las lesiones.¹ De todas las lesiones traumáticas, el traumatismo craneoencefálico severo es la principal causa de morbilidad y mortalidad en niños.

El enfoque terapéutico temprano, y principal del traumatismo craneoencefálico severo, se dirige a mitigar y prevenir la lesión secundaria, sobre todo evitar la hipotensión y la hipoxia, que se han asociado con los peores desenlaces. Por esto se insiste en el mantenimiento de una adecuada oxigenación, el control óptimo de la presión intracraneal, para evitar la hipertensión intracraneal y asegurar una adecuada presión arterial en el niño ingresado en Urgencias con la finalidad de mejorar los desenlaces neurológicos.

En la actualidad, el monitoreo de la presión intracraneal mediante un sensor invasivo, colocado en el parénquima cerebral, es el método mejor evaluado para detectar tempranamente los episodios de incremento de la presión intracraneal

en niños con traumatismo craneoencefálico severo, lo mismo que su duración, frecuencia e intensidad.²⁻⁶ La medición invasiva de la presión intracraneal no siempre es factible en todos los servicios de Urgencias y tampoco es inmediata. Las dificultades para su implementación incluyen: costo, intervención de un neurocirujano y la disponibilidad de un catéter y un monitor.⁷

También se ha propuesto que es posible estimar indirectamente la presión intracraneal por medio de la medición de la presión intraocular, al considerar que esta última está influida por la presión intracraneal.^{8,9} La presión intraocular se eleva en relación con el incremento del líquido cefalorraquídeo que pasa cerca de la vaina del nervio óptico, donde ejerce presión sobre la vena central de la retina, que drena en el seno cavernoso con la trasmisión de la presión a las venas epiesclerales y, de ahí, hacia la vena oftálmica superior.¹⁰ Está establecido que la presión en las dos cámaras, intracraneal e intraocular, es la misma en orden de magnitud; por esto es posible concebir que los cambios en la presión intracraneal se transmitan y detecten al medir la presión intraocular en ausencia de anomalías en el ojo que predispongan al incremento de la presión en este sitio y en ausencia de hipertensión intracraneal.^{8,10-17}

El nervio óptico es un conducto mielinizado de aproximadamente 1.2 millones de axones que parten desde las células ganglionares hasta el final de la retina para después viajar, aproximadamente, 50 mm hacia el quiasma óptico. El conducto óptico es la proyección posterior del nervio óptico más allá del quiasma óptico hasta su terminación. La porción intraocular del nervio óptico tiene zonas anatómicas distintas: retina o prelaminar, coroides o laminar y escleral o retrolaminar. Puesto que los axones ganglionares de la retina hacen un giro octagonal de la capa de fibras nerviosas y pasan a través de la lámina cribosa, hay un cambio repentino en la presión circundante. Los axones se mueven de una presión intraocular más alta a una presión retrobulbar relativamente inferior. Después de salir de la lámina cribosa, y durante todo su curso, el nervio óptico está rodeado y bañado por el líquido cefalorraquídeo que atraviesa el espacio subaracnoideo.

La generación de la presión retrobulbar es, en esencia, la misma que la intracraneal. Por esto las presiones intraocular e intracraneal están anatómica y fisiológicamente interrelacionadas y los cambios en un espacio pueden reflejarse en el otro.¹¹ En este contexto, Samuels y su grupo explicaron la relación entre las presiones intracraneal e intraocular que fisiológicamente son reguladas por el mismo grupo de neuronas del hipotálamo dorsomedial y perifoncal.¹⁷ La tonometría ocular, para la medición de la presión intraocular, no es parte de la evaluación en niños con traumatismo craneoencefálico severo pero existe evidencia que demuestra la relación entre la presión intraocular y la intracraneal, con una diferencia aproximada de 2 mmHg.^{8,10-17}

Las técnicas de tonometría han evolucionado durante los últimos 150 años e incluyen a la tonometría por palpación, neumática de identación de Schiotz, de aplanamiento de Goldmann, el tonómetro neumático, el Tonopen® y, recientemente, la tonometría aún menos invasiva (aunque

más costosa) que utiliza el principio de “rebote” de los tonómetros ICare® e IOPen®, el tonómetro palpebral o la tonometría Pascal, también llamada *digital contour tonometry*⁸.

El Tonopen®, instrumento empleado en este estudio, es un tonómetro electrónico de aplanamiento con una configuración compacta en forma de lápiz que registra la presión intraocular al aplanar una pequeña región de la córnea a través de un émbolo metálico. Tiene en común con el tonómetro de Goldman que ambos necesitan un fármaco local para su aplicación. La medición puede obtenerse en decúbito supino y no se requiere autocontrol del paciente. En contraparte, su costo es mayor, es más rápida su lectura, es cómodo, no requiere experiencia del examinador, es objetivo, los factores externos no afectan su lectura, requiere, en promedio, 4 toques para hacer la medición, mientras que el de Goldmann solo requiere 2,^{18,19} lo que hace factible su uso en niños con traumatismo craneoencefálico severo; además, tiene ventajas para el médico no especialista en Oftalmología.

El objetivo de este estudio fue: evaluar la correlación de la presión intraocular con la presión intracraneal en niños con traumatismo craneoencefálico severo y de la hipertensión intraocular; esto es, presión intraocular ≥ 20 mmHg, con la hipertensión intracraneal.

MATERIALES Y MÉTODOS

Estudio transversal y analítico para obtener la correlación entre la presión intraocular y la intracraneal de apertura y, luego, entre la hipertensión intracraneal y la intraocular. El estudio se llevó a cabo en el servicio de Urgencias Pediátricas durante un periodo de 4 años en un hospital público de tercer nivel de atención, evaluado y aprobado por el Comité de Ética local. Los padres de los niños incluidos en el estudio firmaron el consentimiento para la participación de sus hijos en el estudio.

Criterios de inclusión: niños con traumatismo craneoencefálico severo ingresados a la sala de Urgencias con indicación de catéter intracraneal para medición de la presión intracraneal. *Criterios de exclusión:* pacientes con lesión-enfermedad oftálmica, glaucoma o muerte encefálica.

La colocación de catéteres de presión intracraneal es poco frecuente en nuestro medio, por eso se incluyeron por muestreo no probabilístico y consecutivamente en niños de 1 a 14 años con traumatismo craneoencefálico severo (Escala de Coma de Glasgow menor de 9 puntos). Todos los participantes recibieron el protocolo de tratamiento habitual para traumatismo craneoencefálico severo en el servicio de Urgencias Pediátricas (monitoreo electrónico continuo de signos vitales, soporte vital con cabeza neutra y elevada a 30° sobre el plano horizontal, ventilación mecánica invasiva, infusión intravenosa con benzodiacepina, analgesia con opioide, solución salina hipertónica al 3%, 0.5 mL/kg/hora).

Mediciones. Se midió la presión intraocular en una ocasión en cada ojo, inmediatamente antes de la colocación de un catéter intracraneal para monitoreo de la presión intracraneal. Posteriormente se compararon los valores obtenidos en cada ojo y entre ambos con la presión intracraneal de apertura. Un médico del servicio de Urgencias Pediátricas fue adiestrado por un oftalmólogo pediatra para efectuar las mediciones con el tonómetro. Se hizo un cegamiento simple para los neurocirujanos que colocaron los catéteres de presión intracraneal, respecto al valor obtenido de la presión intraocular. Los signos vitales se categorizaron por edad de acuerdo con los lineamientos de la American Heart Association. Luego, la muestra se dividió en dos grupos y se correlacionó la hipertensión intraocular con la intracraneal. Se consideró hipertensión intraocular a un valor mayor de 20 mmHg e hipertensión intracraneal cuando la presión intracraneal de apertura fue mayor de 20 mmHg.

Procedimiento. La medición de la presión intraocular con el tonómetro (Tono-Pen AVIA, USA, Reichert Technologies®) se efectuó conforme al procedimiento indicado por el proveedor (colocación aseptica de una capucha estéril y desechable en la punta del aparato, seguida de la apertura del párpado del ojo haciendo toques breves y suaves sobre la esclera con la parte estéril del tonómetro para obtener un promedio de la lectura de la tonometría en mmHg en cada ojo). En menos de los 10 minutos siguientes, el equipo de Neurocirugía concluyó la colocación del catéter parenquimatoso intracraneal para medición de la presión intracraneal y éste se conectó al monitor (Integra® Camino® Intracranial Pressure Monitor modelo MPM-1, USA) con lo que se obtuvo la medición de presión intracraneal de apertura.

Análisis estadístico. Se emplearon medianas, valores mínimo y máximo para la estadística descriptiva. La *Rho de Spearman* y coeficientes de determinación (ρ^2) se utilizaron para obtener correlaciones. La presión intraocular del ojo izquierdo y del derecho se correlacionó con la presión intracraneal de apertura. Después, la muestra se dividió en dos grupos: niños con y sin hipertensión intracraneal. Por último, se correlacionó la hipertensión intracraneal con la intraocular. La comparación de medianas se realizó con la prueba U de Mann Whitney; para la contrastación de variables categóricas se utilizó la prueba exacta de Fisher. Los datos se procesaron con el programa SPSS v 20.0 de IBM.

RESULTADOS

Se incluyeron 18 pacientes a quienes se midió la presión intraocular; los resultados se muestran en el análisis estadístico. Entre las características generales de los niños estudiados predominó el género masculino ($n = 12$) de 1 a 14 años; la mediana para la edad fue de 9 años (límite 10 años). Se encontró correlación en 17 de los 18 casos entre la presión intracraneal de apertura (ρ

< 0.001) y la intraocular del ojo derecho (**Figura 1**). También se encontró una correlación fuerte y directamente proporcional entre la presión intraocular del ojo izquierdo y la intracraneal de apertura (**Figura 2**) (Rho 98.6%, p < 0.001).

Para afinar el estudio, la muestra se dividió según la existencia o no de hipertensión intracraneal (**Figura 3**). Los signos vitales mostrados fueron los del momento de obtención de la presión intracraneal de apertura. No se encontró variación significativa respecto del momento de la obtención de la presión intraocular. Tampoco se encontraron diferencias por género o edad entre los grupos. **Cuadro 1**

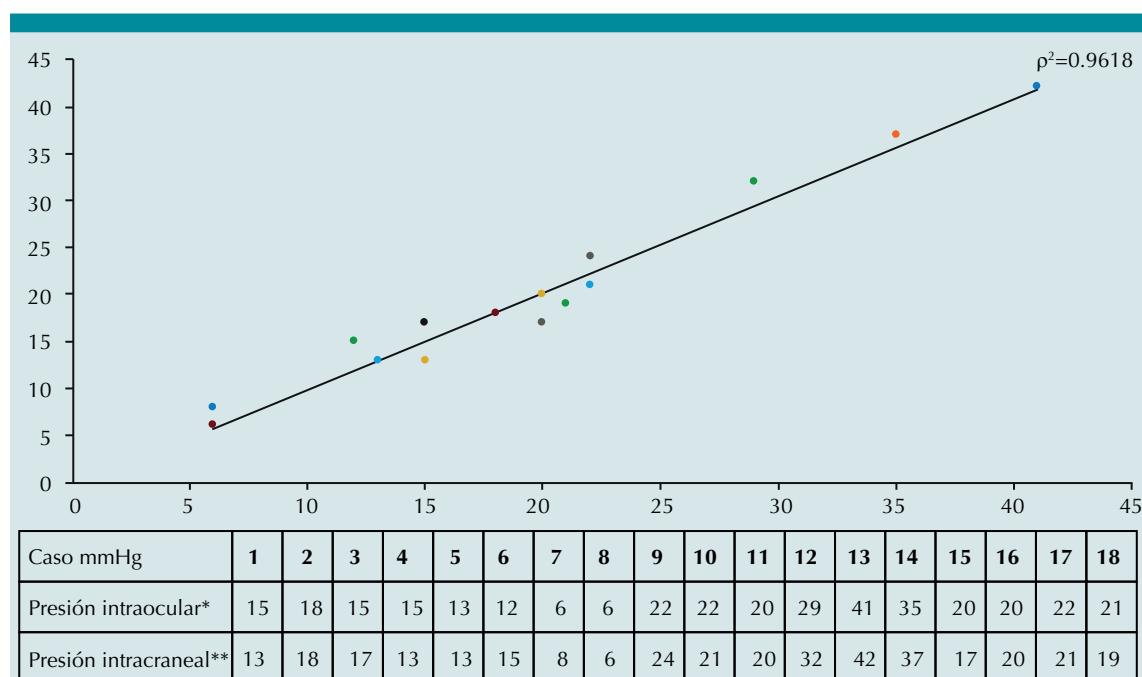
Los niños con hipertensión intracraneal tuvieron una correlación con hipertensión intraocular en el 96.4% de los casos. En los niños con traumatismo craneoencefálico severo se encontró que la presión intraocular y la intracraneal tuvieron

una relación lineal, estadísticamente significativa y directamente proporcional, lo mismo que la hipertensión intraocular con la intracraneal.

DISCUSIÓN

En estudios previos se ha demostrado la relación entre la presión intraocular y la intracraneal en pacientes con patología heterogénea intracraneal a quienes se les colocó un catéter de presión intracraneal (sensibilidad y especificidad 100%). En esos ensayos se concluye que la presión intraocular, obtenida mediante tonómetro de mano, es un excelente indicador de la presión intracraneal anormal en pacientes con patología intracraneal conocida.^{16,17} Esos estudios no describen la presión intraocular obtenida en cada ojo.

Lo encontrado por Zhen Li y colaboradores muestra una asociación significativa entre la presión intracraneal y la intraocular (p < 0.001).



* Presión intraocular del ojo derecho. ** Presión intracraneal de apertura

Figura 1. Correlación de la presión introcular del ojo derecho con la presión intracraneal de apertura (mmHg).

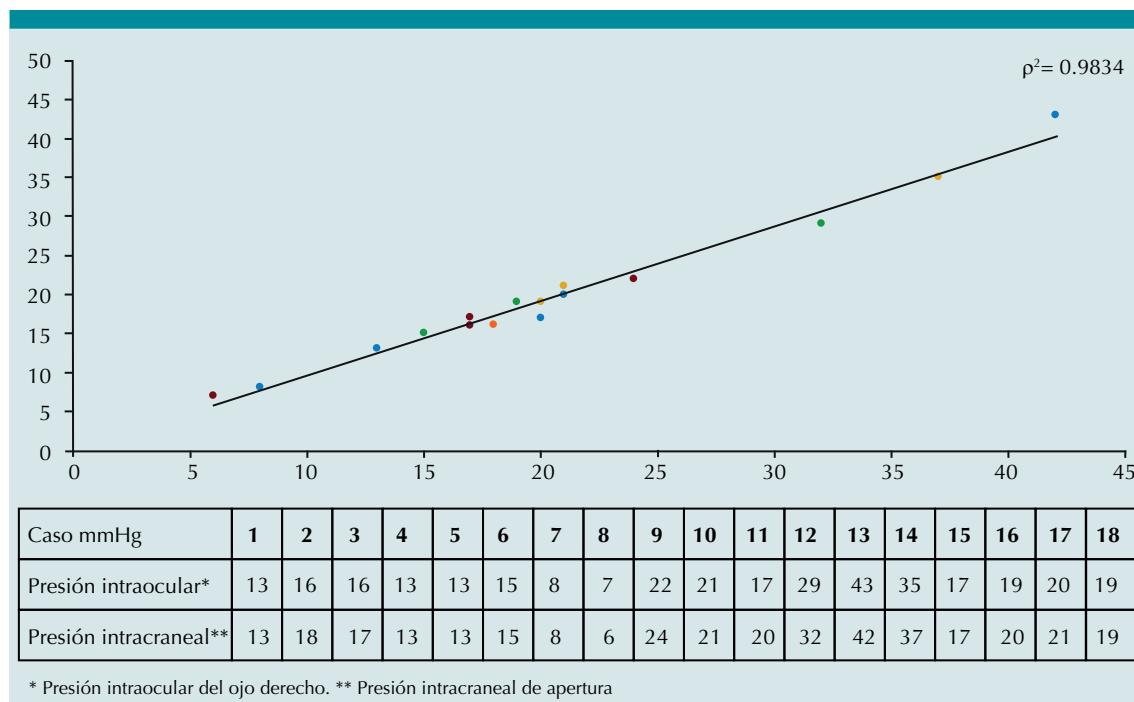


Figura 2. Correlación de la presión intraocular del ojo izquierdo con la presión intracranial de apertura (mmHg).

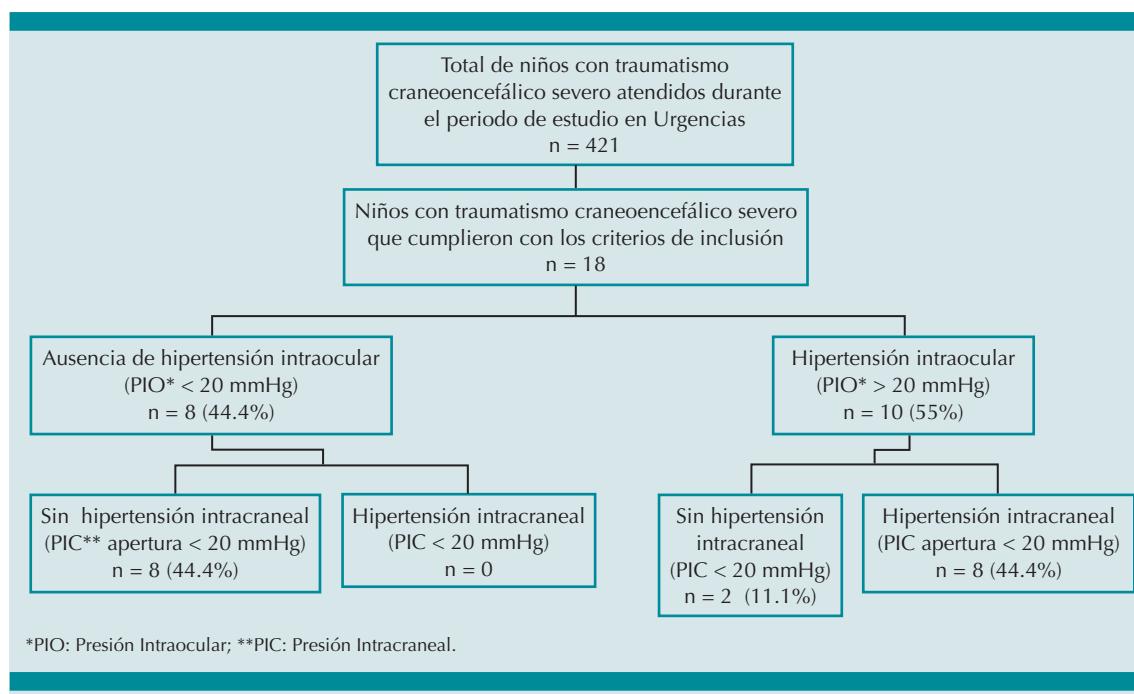


Figura 3. Distribución de frecuencias por existencia o no de hipertensión intracranial.

Cuadro 1. Características generales de los grupos con y sin hipertensión intracraneal

Variable		Niños sin hipertensión intracraneal* n = 10	Niños con hipertensión intracraneal* n = 8	p
Género masculino	n (%)	6 (60)	6 (75)	0.437^
Edad en años mediana (mín-máx)		7 (4-9)	9 (4-13)	0.360^^
Frecuencia cardiaca mediana (mín-máx)		115 (85-178)	87 (60-118)	0.146^^
Frecuencia respiratoria* mediana (mín-máx)		25 (14-34)	24 (20-26)	0.573^^
Temperatura en °C mediana (mín-máx)		36.5 (35.5-38.2)	36.2 (36-37)	0.762^^
Saturación de oxígeno % mediana (mín-máx)		97 (90-99)	98 (96-99)	0.360^^
Presión arterial sistólica mmHg mediana (mín-máx)		102 (99-117)	112 (80-131)	0.146^^
Presión arterial diastólica mmHg mediana (mín-máx)		64 (51-81)	68 (52-96)	0.173^^
Presión arterial media mmHg mediana (mín-máx)		77 (71-88)	83 (61-107)	0.237^^
Presión de perfusión cerebral mediana (mín-máx)		64 (57-69)	53 (32-70)	0.146^^
pH (gasometría) mediana (mín-máx)		7.37 (7.29-7.46)	7.36 (7.04-7.55)	0.999^^
PaCO ₂ (gasometría) mmHg mediana (mín-máx)		34 (28-42)	30 (22-51)	0.274^^
Lactato (gasometría) mediana (mín-máx)		1.5 (0.6-5.6)	1.6 (0.7-11.6)	0.535^^
Anisocoria	n (%)	6 (60)	7 (87.5)	0.225^
Presión intraocular† ojo derecho mmHg mediana (mín-máx)		15 (6-21)	22 (20-41)	0.001^^
Presión intraocular† ojo izquierdo mmHg mediana (mín-máx)		15 (7-19)	22 (17-43)	<0.0001^^
Presión intracraneal** apertura mmHg mediana (mín-máx)		15 (6-19)	24 (19-41)	<0.0001^^
Escala de coma de Glasgow [∞] mediana (mín-máx)		5 (3-7)	6 (3-9)	0.829^^
Triada de Cushing siguientes 24 horas	n (%)	4 (40)	7 (87.5)	0.057^
Egreso por defunción	n (%)	0	6 (75)	

+Hipertensión intracraneal; †Presión intraocular; *Programada en el ventilador mecánico; **Presión intracraneal de apertura;
 ∞Escala de coma de Glasgow al ingreso con la que se decidió la intubación endotraqueal; ^Prueba exacta de Fisher; ^^U de Mann-Whitney.

Determinaron que la precisión puede ser solo de 65.4% cuando se utiliza un tonómetro de Goldman por aplanamiento.¹⁷ En concordancia con lo encontrado en este estudio, Sajjadi y su grupo reportaron una correlación fuerte entre la presión intraocular y la intracraneal ($r = 0.995$).¹² La relación entre la presión intraocular y la intracraneal sigue siendo motivo de controversia. Existen estudios detractores del uso de la presión intraocular para estimar la presión intracraneal^{8,20} en donde se afirma que no existe relación anatómica o fisiológica para buscar esta correlación. Estos estudios refutan la utilidad de la presión intraocular para estimar la intracraneal. Los resultados obtenidos provienen de poblaciones mixtas, con enfermedades heterogéneas. En algunos casos, los estudios fueron retrospectivos con mediciones de la presión intraocular en tiempos diferentes a la medición de la presión intracraneal. Además, algunos utilizaron tonómetros, como el de Schiotz, con descripción de menor precisión. A lo anterior se agrega que la estimación de la presión intracraneal se hizo mediante la medición de la presión de apertura, con un manómetro, al realizar una punción lumbar en lugar de un catéter colocado en el parénquima cerebral.

La tecnología actual permite que los tonómetros electrónicos puedan usarse fácilmente; son sensibles y pueden utilizarlos médicos no especialistas en Oftalmología. Los valores que se obtienen con estas mediciones se han comparado, favorablemente, con el tonómetro de Goldman.¹³

La detección temprana de la hipertensión intracraneal puede dar lugar a intervenciones médicas y neuroquirúrgicas oportunas, prevenir los síndromes de herniación cerebral y la muerte.¹⁻⁷

La tonometría ocular es la técnica utilizada para medir la presión intraocular de forma indirecta a través de la determinación de la tensión de la membrana corneal. El tonómetro electrónico por aplanamiento puede subestimar la presión

intraocular cuando los valores son mayores a 21 mmHg,²¹⁻²⁴ compatible con los resultados aquí expuestos. Esto puede implicar una desventaja relativa para su aplicación en pacientes con hipertensión intracraneal. En estos casos hubo incremento de la presión intraocular y no fue posible hacer una inferencia exacta para calcular una aproximación para la presión de perfusión cerebral.

Este estudio tiene algunas fortalezas: homogeneidad de la patología (traumatismo craneoencefálico severo), el grupo etario (niños), la medición consecutiva de la presión intraocular y la intracraneal (invasiva). También tiene limitaciones: la muestra es pequeña y la incapacidad de la tonometría ocular como medio continuo para medición de la presión intracraneal.

La rho de Spearman tiene la limitante de ser un estimador no paramétrico que, si bien mide el grado de asociación entre dos variables, no es adecuada para establecer causa-efecto. Conviene considerar la interpretación de la correlación con prudencia para el caso de datos con empates, como ocurre con los datos de este estudio. Los empates pueden influir en la estimación y generar sesgos de interpretación. Además, es posible que exista una variable que no haya sido medida en este estudio capaz de provocar la discrepancia entre las mediciones del ojo derecho y del izquierdo.

La medición de la presión intraocular en los servicios de urgencias puede contribuir a la toma de decisiones para establecer medidas enérgicas inmediatas encaminadas al tratamiento de la hipertensión intracraneal. Esta herramienta puede representar una ventaja (con sus limitaciones) en contextos urgentes, en donde resulta imprescindible seleccionar y aplicar medidas rápidas, oportunas, sustentadas y apropiadas para escenarios complejos y multidimensionales, como lo es un niño con traumatismo craneoencefálico severo, en

donde no se disponga de forma inmediata un catéter invasivo para la medición de la presión intracranial, pero no suple al procedimiento invasivo. En el futuro, la estandarización de técnicas invasivas y no invasivas para identificar los valores de presión intracranial será de particular importancia porque los métodos actuales son sumamente invasivos y peligrosos.^{8,11,13-23} La monitorización de la presión intracranial con un catéter es el patrón de referencia actual para la vigilancia, monitoreo continuo y toma de decisiones para el tratamiento de niños con hipertensión intracranial secundaria a un traumatismo craneoencefálico severo.²⁻⁹

CONCLUSIONES

Se encontró una correlación lineal, fuerte, estadísticamente significativa y directamente proporcional respecto de la presión intraocular e intracranial en niños con traumatismo craneoencefálico severo y de la hipertensión intracranial con la intraocular. La tonometría ocular para obtención de la presión intraocular resultó una herramienta útil, rápida, accesible, de fácil manejo y poco costosa que permitió deducir indirectamente el valor de la presión intracranial en la evaluación inicial de niños con traumatismo craneoencefálico severo. Se requieren más estudios y colaboración interinstitucional para replicar estos hallazgos.

Agradecimientos

Diana Anaid Arce González, pediatra.

Mariana Ordoñez, pediatra.

Lorelay Gutiérrez Oliva, neurocirujana.

Luis Ángel Arredondo Navarro, neurocirujano.

REFERENCIAS

1. Peden M, Oyegbite K, Ozanne-Smith J, Hyder A, Branche C, Rahmna F, et al. Informe mundial sobre prevención de lesiones en los niños. Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud, UNICEF, 2012. Organización Mundial de la Salud 2012.
2. Alexiou GA, Sfakianos G, Prodromou N. Pediatric head trauma. *J Emerg Trauma Shock* 2011; 4 (3): 403-48. doi:10.4103/0974-2700.83872
3. Araki T, Yokota H, Morita A. Pediatric traumatic brain injury: characteristic features, diagnosis, and management. *Neurol Med Chir (Tokyo)* 2017; 57: 82-93. doi:10.2176/nmc.ra.2016-0191
4. Adelson PD, Bratton S. Guidelines for the Acute medical management of severe traumatic brain injury in infants, children and adolescents. Chapter 19. The role of anti-seizure prophylaxis following severe pediatric traumatic brain injury. *Pediatr Crit Care Med* 2012; 13: 252.
5. Kukrety V, Mohseni-Bod H, Drake J. Management of raised intracranial pressure in children with traumatic brain injury. *J Pediatr Neurosci* 2014; 9: 207-15. doi:10.4103/1817-1745.147572
6. Roumeliotis N, Pettersen G, Crevier L, Émeriaud G. ICP monitoring in children: why are we not adhering to guidelines? *Childs Nerv Syst* 2015; 31: 2011-4. https://doi.org/10.1007/s00381-015-2837-9
7. Forsyth RJ, Raper J, Todhunter E. Routine intracranial pressure monitoring in acute coma. *Cochrane Database Syst Rev* 2015; (11). https://doi.org/10.1002/14651858.CD002043.pub3
8. Kirk T, Jones K, Miller S, Corbett J. Measurement of intraocular and intracranial pressure: is there a relationship? *Ann Neurol* 2011; 70: 323. https://doi.org/10.1002/ana.22414
9. Brain Trauma Foundation. Guidelines for Management of Severe Traumatic Brain Injury 4th Edition. Reviewed for evidence-based integrity and endorsed by the American Association of Neurological Surgeons and the Congress of Neurological Surgeons. September 2016. braintrauma.org.
10. Sheeran P, Bland JM, Hall GM. Intraocular pressure changes and alterations in intracranial pressure. *Lancet*. 2000; 355 (9207). https://doi.org/10.1016/S0140-6736(99)02768-3
11. Morgan WH, Yu DY, Cooper RL, Alder VA, Cringle SJ, Constable IJ. The influence of cerebrospinal-fluid pressure on the lamina-cribriform tissue pressure-gradient. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1995; 36: 1163-72.
12. Sajjadi SA, Harirchian MH, Sheikhbehaei N. The relation between intracranial and intraocular pressures: study of 50 patients. *Ann Neurol*. 2006; 59: 867-70. https://doi.org/10.1002/ana.20856
13. Sheeran P, Bland JM, Hall GM. Intraocular pressure changes and alterations in intracranial pressure. *Lancet* 2000; 355 (9207): 899. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(99)02768-3
14. Jonas JB, Wang N, Yang D, Ritch R, Panda-Jonas S. Facts and myths of cerebrospinal fluid pressure for the physiology of the eye. *Progress in retinal and eye. Progr Retin Eyes Res* 2015; 46: 67-83. https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2015.01.002
15. Lashutka M, Chandra A, Murray H, Phillips G, Hiestand B. The relationship of intraocular pressure to intracranial pressure. *Ann Emerg Med* 2004; 43 (5): 585-91. https://doi.org/10.1016/j.annemergmed.2003.12.006

16. Zhen L, Yingxin Y, Yan L, Dachuan L, Erhe X, Jianping Jia, et al. Intraocular pressure vs intracranial pressure in disease conditions: a prospective cohort study (Beijing iCOP study). *BMC Neurol* 2012; 12: 66. <https://doi.org/10.1186/1471-2377-12-66>
17. Samuels BC, Hammes NM, Johnson PL, Shekhar A, McKinnon SJ, Allingham RR. Dorsomedial/Perifornical hypothalamic stimulation increases intraocular pressure, intracranial pressure, and the translaminar pressure gradient. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2012; 53: 7328-35. <https://doi.org/10.1167/iovs.12-10632>
18. Czarnik T, Gawda R, Kolodziej W, Latka D, Sznajd-Weron K, Weron R. Association between intracranial pressure, intraocular pressure and mean arterial pressure in patients with traumatic and non-traumatic brain injuries. *Injury* 2009; 40: 33-39. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2008.10.010>
19. Rootman DS, Insler MS, Thompson HW, Parellman J, Poland D, Unterman SR. Accuracy and precision of the tonopen in measuring intraocular pressure after keratoplasty and epikeratophakia and in scarred corneas. *Arch Ophthalmol* 1988; 106: 1697-1700. doi:10.1001/archophht.1988.01060140869030
20. Chowdhury UR, Fautsch MP. Intracranial pressure and its relationship to glaucoma: current understanding and future directions. *Med Hypothesis Discov Innov Ophthalmol* 2015; 4: 81-80.
21. Bafa M, Lambrinakis M, Dayan M, Birch M. Clinical comparison of the measurement of the IOP with the ocular Blood Flow Tonometer, the Tonopen XL and the Goldmann applanation tonometer. *Acta Ophtalmol Scand* 2001; 79: 15-18. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0420.2001.079001015.x>
22. Reddy SCh, Alias R. Tono-pen measurement of intraocular pressure under topical anaesthesia in full term normal newborns. *Int J Ophthalmol* 2014; 7(1): 92-94. 10.3980/j.issn.2222-3959.2014.01.16
23. González-Mijome JM, Martins-Jorge JM. Tonometría no invasiva. Precisión, ventajas y limitaciones (I). *Gaceta Óptica* 2008; 432: 12-18.
24. Han Y, McCulley TJ, Horton JC. No correlation between intraocular pressure and intracranial pressure. *Ann Neurol* 2008; 64: 221-224. <https://doi.org/10.1002/ana.21416>