



# Uso del Doppler transcraneal en la titulación de la presión de perfusión cerebral en pacientes con traumatismo craneoencefálico severo

Use of transcranial Doppler in the titration of cerebral perfusion pressure in patients with severe traumatic brain injury

Uso do Doppler transcraniano na titulação da pressão de perfusão cerebral em pacientes com traumatismo craneoencefálico grave

Olga Daniela Velázquez Gutiérrez,\* Alberto Vázquez Aguilar,\* Abad Quetzalcóatl Ortega Pérez,\* Víctor Alfonso Sarmiento Castillo,\* Laura Soraya Gaona Valle,\* Alejandro Negrete Peña\*

## RESUMEN

**Introducción:** el Doppler transcraneal (DTC), permite obtener información sobre la hemodinamia cerebral, existe poca información de supervivencia y uso de DTC en TCE severo.

**Material y métodos:** estudio observacional, retrospectivo, descriptivo y analítico. Con diagnóstico de traumatismo craneoencefálico (TCE) severo, se analizó el uso del DTC durante el tratamiento, registrando las velocidades de flujo de arteria cerebral media (ACM), índice de pulsatilidad (IP), presión de perfusión cerebral (PPC), presión intracraneana (PIC) estimada por vaina de nervio óptico (VNO), ajustando tratamiento. Se utilizó U de Mann-Whitney para comprobar la diferencia entre dos grupos.

**Resultados:** se analizaron 97 pacientes, con criterios de inclusión 64, excluyendo 9 y reclutando 55. La evolución vivos vs muertos a 120 horas por prueba U de Mann-Whitney, PPC 68.3 vs 63.4 mmHg, IC95%,  $p = 0.024$ . Velocidad de ACM 45.2 vs 18.99 cm/seg, IC95%,  $p < 0.001$ . IP 1.074 vs 2.1 cm/seg, IC95%,  $p = 0.007$ . VNO 0.49 vs 0.55 mm, IC95%,  $p < 0.001$ . PIC 20.1 vs 23.1 mmHg, IC95%,  $p < 0.001$ .

**Conclusiones:** en el comparativo final entre vivos vs muertos, el grupo de fallecidos presentó menor PPC, menor IP y velocidad de ACM; mayor PIC y diámetros de VNO.

**Palabras clave:** TCE severo, Doppler transcraneal, presión de perfusión cerebral, presión intracraneana, índice de pulsatilidad.

## ABSTRACT

**Introduction:** transcranial Doppler (TCD) provides information on cerebral hemodynamics. There is little information on survival and use of TCD in severe TBI.

**Material and methods:** observational, retrospective, descriptive and analytical study. With a diagnosis of severe TBI, the use of TCD during treatment was analyzed, recording middle cerebral artery (MCA) flow velocities, pulsatility index (PI), cerebral perfusion pressure (CPP), intracranial pressure (ICP) estimated by optic nerve sheath (ONS), adjusting treatment. The Mann-Whitney U test was used to check the difference between two groups.

**Results:** 97 patients were analyzed, with 64 inclusion criteria, excluding 9 and recruiting 55. The evolution alive vs dead at 120 hours by Mann-Whitney U test, CPP 68.3 vs 63.4 mmHg, 95% CI,  $p = 0.024$ . MCA velocity 45.2 vs 18.99 cm/sec, 95% CI,  $p < 0.001$ . IP 1.074 vs 2.1 cm/sec, 95% CI,  $p = 0.007$ . VNO 0.49 vs 0.55 mm, 95% CI,  $p < 0.001$ . ICP 20.1 vs 23.1 mmHg, 95% CI,  $p < 0.001$ .

**Conclusions:** in the final comparative outcome between alive vs dead, the group that died had lower CPP, lower IP and MCA velocity; higher ICP and VNO diameters.

**Keywords:** severe TBI, transcranial doppler, cerebral perfusion pressure, intracranial pressure, pulsatility index.

## RESUMO

**Introdução:** o Doppler transcraniano (DTC) permite obter informações sobre a hemodinâmica cerebral; há poucas informações sobre sobrevivência e utilização do DTC no TCE grave.

**Material e métodos:** estudo observacional, retrospectivo, descritivo e analítico. Com diagnóstico de TCE grave, foi analisado o uso do DTC durante o tratamento, registrando-se velocidades de fluxo da artéria cerebral média (ACM), índice de pulsatilidade (IP), pressão de perfusão cerebral (PPC), pressão intracraniana (PIC) estimada pela bainha do nervo óptico (BNO), ajustando o tratamento. Mann Whitney U foi usado para testar a diferença entre 2 grupos.

**Resultados:** foram analisados 97 pacientes, com critérios de inclusão 64, excluindo 9 e recrutando 55. A evolução vivos vs mortos às 120 horas pelo teste U de Mann Whitney, PPC 68.3 vs 63.4 mmHg, IC95%,  $p = 0.024$ . Velocidade da ACM 45.2 vs 18.99 cm/seg, IC95%,  $p < 0.001$ . IP 1.074 vs 2.1 cm/seg, IC95%,  $p = 0.007$ . VNO 0.49 vs 0.55 mm, IC95%,  $p < 0.001$ . PIC 20.1 vs 23.1 mmHg, IC95%,  $p < 0.001$ .

**Conclusões:** no resultado final comparativo entre vivos e mortos, o grupo que faleceu apresentou menor PPC, menor IP e velocidade de ACM; diâmetros maiores de PIC e VNO.

**Palavras-chave:** TCE grave, Doppler transcraniano, pressão de perfusão cerebral, pressão intracraniana, índice de pulsatilidade.

## Abreviaturas:

ACM = arteria cerebral media  
DTC = Doppler transcraneal  
FSC = flujo sanguíneo cerebral  
IP = índice de pulsatilidad  
IR = índice de resistencia  
LCR = líquido cefalorraquídeo  
PIC = presión intracraneana  
PICn = PIC no invasiva  
PPC = presión de perfusión cerebral  
VD = velocidad diastólica  
VM = velocidad media  
VNO = vaina de nervio óptico  
VS = velocidad sistólica

## INTRODUCCIÓN

### Ultrasonido cerebral

La ultrasonografía cerebral, utilizada para evaluar el parénquima cerebral y flujo sanguíneo cerebral (FSC), es un método de neuromonitoreo seguro, no invasivo y de costo relativamente bajo que es fácilmente aplicable al lado de la cama. Potencialmente, podría proporcionar información crucialmente importante en la detección temprana y el seguimiento de enfermedades neurológicas, y para permitir la evaluación hemodinámica cerebral al lado de la cama en pacientes críticos.<sup>1</sup> Generalmente se realiza con una sonda de 2 a 2.5 MHz que permite la visualización de las principales estructuras

\* Centro Médico Lic. Adolfo López Mateos. Servicios Públicos de Salud IMSS Bienestar.

Recibido: 19/09/2024. Aceptado: 25/09/2024.

**Citar como:** Velázquez GOD, Vázquez AA, Ortega PAQ, Sarmiento CVA, Gaona VLS, Negrete PA. Uso del Doppler transcraneal en la titulación de la presión de perfusión cerebral en pacientes con traumatismo craneoencefálico severo. Med Crit. 2024;38(8):636-643. <https://dx.doi.org/10.35366/120009>

cerebrales. En las imágenes Doppler, el mesencéfalo puede ser identificado a través de la ventana transtemporal, y las arterias del polígono de Willis pueden ser visualizadas. Cada arteria se identifica por su profundidad y dirección del flujo de sangre en relación con la sonda y otras arterias visualizadas. Doppler color transcraneal (*Transcranial Color Doppler TCCD* en inglés) puede proporcionar información básica sobre la velocidad del flujo sanguíneo (sistólica, diastólica y valores medios) en una arteria insonada, así como el índice de pulsatilidad (IP).<sup>2</sup>

La práctica de monitorizar la presión intracraneal fue iniciada por el trabajo de Guillaume y Janni en Francia y Lundberg en Suecia. En 1951 en una revista francesa, Guillaume y Janni reportaron su experiencia con mediciones continuas de la presión intracraneal. En 1960 el neurocirujano sueco Nils Lundberg reportó una serie de casos de pacientes con tumores cerebrales en quienes monitorizó la presión intracraneal a través de derivaciones ventriculares externas. Más tarde, en 1965 se aplicó la experiencia de Lundberg en medir la presión intracraneal en pacientes con trauma craneoencefálico severo y se describió una serie de 30 casos, los cuales fueron exitosamente monitorizados.<sup>1</sup>

Desde 1960 con Lundberg, la derivación ventricular externa se considera el estándar de oro para el monitoreo de la presión intracraneal. La elevación de la PIC es un fenómeno frecuente en los pacientes con trauma craneoencefálico, en el TCE grave se reporta entre 50 y 75% de los pacientes.<sup>3</sup>

El análisis de forma de onda de velocidad FSC es un método ampliamente explorado, una forma de estimación de la PIC no invasiva (PICn). Los métodos de estimación de PICn derivados de Doppler transcraneal (TCD) se basan en la relación entre los índices derivados de la velocidad y FSC. Debido a la relación fisiológica entre la velocidad y la presión del flujo sanguíneo en los vasos cerebrales con paredes dóciles, el aumento de la PIC afectará la velocidad del FSC medido por DTC, que produce cambios en la forma de onda de la velocidad de flujo, como una velocidad de flujo diastólica baja, pico forma de onda y un mayor IP. Los métodos de estimación de la PICn se pueden dividir en tres categorías.<sup>2,4</sup>

1. Métodos basados en el IP derivado de DTC, definida como la diferencia entre velocidad máxima y velocidad mínima del flujo sanguíneo normalizada a la velocidad media. La utilidad de este índice para predecir la PIC es controvertida, ya que los cambios en la IP no sólo dependen de los cambios en la PIC, sino también de la presión de perfusión cerebral (PPC), la presión arterial y su pulsatilidad, y variaciones en la presión parcial de CO<sub>2</sub>.<sup>4</sup>
2. Métodos basados en la estimación no invasiva de PPC y posterior cálculo de PIC, utilizando la fórmula

PIC = PAM - CPP (presión arterial media [PAM], presión de perfusión cerebral [CPP]).<sup>4</sup>

3. Métodos basados en modelos matemáticos que asocian la velocidad del FSC y la presión arterial, utilizando la fórmula  $nCPP = PAM * FVd/FVm + 14$  mmHg (velocidad de flujo diastólico [FVd por sus siglas en inglés], velocidad media de flujo [FVm por sus siglas en inglés], demostró una buena correlación entre la estimación de nCPP y la CPP invasiva medición ( $R = 0.61$ ;  $p = 0,003$ ), con 95% de confianza rango límite no superior a  $\pm 12$  mmHg, y con CPP oscilando entre 70 y 95 mmHg.<sup>4</sup>

Los métodos no invasivos no deben reemplazar el uso de herramientas invasivas para la estimación de la PIC invasiva. Sin embargo, cuando la monitorización invasiva de la PIC no está disponible o está contraindicada (en pacientes con coagulopatía grave, como como encefalopatía hepática), una PICn alternativa es un método confiable de estimación que puede ser útil para la detección de pacientes y para evaluar su evolución y respuesta a intervenciones de tratamiento.<sup>4</sup>

En la onda del Doppler pulsado de la ACM se pueden observar la velocidad sistólica (VS), la velocidad diastólica (VD), y se puede medir la velocidad media (VM) ya sea por fórmula o por su estimación de área de la onda. Asimismo, existen otros parámetros que pueden calcularse como lo son el índice de resistencia (IR), el IP, el FSC y la PPC.<sup>5</sup>

Una forma de obtener la VM es a través del cálculo de la misma, donde la VM es igual a la suma del doble producto de la VD más la VS dividido entre 3,  $VM = [VS + (VD \times 2)]/3$ . Otros de los parámetros importantes medidos a través del DTC son el IP de Gosling, el IR de Pourcelot y el índice de Lingegaard (IL). Los primeros dos permiten estimar la resistencia vascular cerebral, el IP de Gosling se obtiene mediante la resta del VS menos el VD dividido entre la VM,<sup>4,5</sup>  $IP = (VS-VD)/VM$ . Los valores normales de referencia oscilan entre 0.5 y 1.1 donde, valores menores a 0.5 están asociados a vasodilatación arteriolar; mientras que valores superiores a 1.1 están asociados a aumento de la resistencia. Igualmente se ha correlacionado el aumento directamente proporcional del IP con el aumento de la PIC, donde una variación de 2.4% del IP representa un aumento de la PIC en 1 mmHg en la misma dirección incluso su PIC se encuentra por encima de 20 mmHg observándose esta misma correlación entre el IP y la PPC.<sup>3,5</sup> Por otra parte, un índice de resistencia (IR) de Pourcelot ( $IR = VS-VD/VS$ ) con valores mayores a 0.8 se asocia a un aumento de la resistencia vascular cerebral, al igual que con el IP, su elevación está asociada a aumento de la PIC y de la PPC; sin embargo, al comparar ambos índices, se ha demostrado que el IR es menos sensible a las variaciones de la PIC. El

tercer índice hemodinámico calculable por DTC es el IL, el cual permite diferenciar el flujo hiperdinámico y el vasoespasmio al comparar las VM de la ACM y la porción intracraneana de la arteria carótida interna:  $IL = VM\ ACM/VM\ ACI$ . Este índice tiende a incrementar en la medida que aumenta el grado del vasoespasmio, teniendo como valores normales de referencia de 1.1 a 2.3. Con base en él se clasifica el grado de vasoespasmio al tener valores entre 2.3-3 como vasoespasmio posible, 3-6 vasoespasmio leve a moderado y con valores  $> 6$  como vasoespasmio severo. Asimismo, los valores netos de la VM de la ACM también permiten realizar una clasificación de la severidad del vasoespasmio.<sup>5,6</sup>

Tanto el análisis de los índices de resistencia y pulsatilidad, como la medición de la velocidad media de la ACM sirven como guía para determinar la etiología del proceso patológico cerebral para poder tomar las medidas terapéuticas más acertadas. El DTC permite de manera confiable el estudio hemodinámico de la circulación cerebral gracias a lo cual se ha ganado un puesto importante en la monitorización del paciente neurocrítico, en el TCE se ha demostrado que el DTC tiene una alta sensibilidad y especificidad para la detección de enfermedades arteriooclusivas cerebrales y vasoespasmio especialmente en el análisis de los segmentos M1 y M2 de la ACM. El análisis de la onda de flujo de los pacientes con TCE ha permitido clasificar las características de la onda, su velocidad e IP con el grado de severidad de la obstrucción del vaso, resultados que son correlacionables al ser comparados con el estándar de oro, la tomografía de cráneo y permite la monitorización hemodinámica. El estudio del vasoespasmio por DTC ha permitido graduar su intensidad mediante la medición de la velocidad media y los IP e IR.<sup>6</sup>

El líquido cefalorraquídeo (LCR) circula en el espacio de la vaina del nervio óptico, desde la parte posterior hasta la anterior. Por su particular arquitectura trabecular, la parte anterior (o retrobulbar) de la vaina del nervio óptico es más distensible que la parte posterior, siempre que no haya obstrucción del flujo de LCR, se transmite un aumento en la presión del LCR a lo largo de la vaina del nervio óptico. Debido a esta anatomía de «callejón sin salida» de la vaina del nervio óptico, en caso de aumento en la PIC, el LCR se acumulará en su parte retrobulbar. Esta estrecha relación entre la PIC y dilatación del espacio subaracnoideo perineural orbitario ha sido confirmado por varios estudios usando ultrasonido. Cambios en la PIC, detectados por sondas intraparenquimatosas, son seguidos muy rápidamente (en cuestión de segundos) por cambios en el diámetro de la vaina del nervio óptico (VNO) cuyo valor corte para la detección de la hipertensión intracraneal aún está bajo debate, con la mayoría de los estudios infor-

mando un corte óptimo en el rango de 5.0 a 6.0 mm. Además, se ha demostrado que combinar medición de VNO con otras modalidades de ultrasonido, como la evaluación Doppler transcraneal venosa del seno recto, puede proporcionar una mejor precisión de pronóstico para la detección de hipertensión intracraneal que la medición de VNO sola.<sup>7</sup>

## MATERIAL Y MÉTODOS

Tipo de estudio: observacional, de cohorte, retrospectivo, analítico.

Diseño del estudio: se realizó un instrumento de recolección de datos en el cual se procedió a recabar la información contenida en los expedientes de pacientes que estuvieron hospitalizados en UCI durante 1 año, las mediciones se realizaron durante 120 horas, el mismo tiempo que se valoró su desenlace a vivo o muerto.

Universo de trabajo: los expedientes clínicos de pacientes con diagnóstico de TCE severo, ingresados a una unidad de cuidados intensivos de un hospital de tercer nivel de atención en México.

Criterios de inclusión: paciente con diagnóstico confirmado de TCE severo, contar con tomografía axial computarizada simple de cráneo, haber recibido atención inmediata posterior al diagnóstico e ingreso a UCI en menos de 24 horas, pacientes sometidos a neuroprotección hasta 120 horas, tener mediciones continuas con DTC de velocidades arterias cerebrales, IP, VNO y contar con el registro de la dosis de vasopresor.

Criterios de exclusión: rechazo del paciente, familiar o tutor legal del manejo médico o quirúrgico, contar con el diagnóstico de TCE severo en los últimos seis meses o secuelas del mismo, malformaciones vasculares documentadas, tener otro diagnóstico de base que incremente morbilidad (enfermedad renal crónica, enfermedad pulmonar obstructiva crónica, diabetes, enfermedad hepática crónica).

Criterios de eliminación: pacientes cuyo expediente se encontró incompleto (que no cuente con estudios clínicos para evaluación).

Hipótesis: la titulación de presión de perfusión cerebral mediante Doppler transcraneal será útil para guiar las medidas de neuroprotección en pacientes con TCE severo.

General: determinar la utilidad del Doppler transcraneal en la titulación de la presión de perfusión cerebral en pacientes con TCE severo en un hospital de tercer nivel.

Específico: 1) cuantificación de la presión de perfusión cerebral, analizando los resultados en dos grupos: vivos y muertos; 2) analizar los resultados del uso de DTC para la medición de velocidades de flujo arterial cerebral, IP y VNO, comparando los resultados en dos grupos: vivos y muertos; 3) medición de forma indi-

recta con fórmula validada de la presión intracraneana, determinada por VNO.  $((5.69 \times \text{VNOmm}) - 8.23)$ ; 4) evaluar la mortalidad en pacientes con TCE severo; 5) registrar pacientes con requerimiento de craniectomía descompresiva; 6) registrar incidencia de muerte cerebral; 7) medir el número de pacientes en los que se realizó traqueostomía y gastrostomía; 8) cuantificar los días de estancia en la unidad de cuidados intensivos; 9) cuantificar la dosis de vasopresor (norepinefrina y/o vasopresina) utilizada para alcanzar PPC > 60 mmHg, dividiendo en dos grupos: vivos y muertos.

Operacionalización de variables: se tomaron en cuenta todos los pacientes con diagnóstico de TCE severo de acuerdo a la última definición de *Brain Trauma Foundation* en el periodo comprendido entre enero y diciembre 2022, a los cuales se les realizó DTC realizando análisis de las variables de hemodinamia cerebral: velocidades de flujos sanguíneos, índices de pulsatilidad, hemodinámicas, se clasificó a los pacientes de acuerdo al desenlace clínico, vivos y muertos, realizando una comparación en la determinación de PPC, PIC, VNO, velocidades de flujo sanguíneo cerebral y requerimiento de vasopresor. Se realizó vaciado de datos en el instrumento de recolección.

Límite de espacio: expedientes clínicos de pacientes que ingresaron a la unidad de cuidados intensivos de un Hospital de Tercer Nivel de atención en México.

Análisis estadístico: los datos fueron recopilados en la base de datos con el programa Microsoft Excel, previo consentimiento informado con el instrumento de recolección de datos posterior a la realización de las mediciones requeridas para el presente estudio, el análisis estadístico se realizó con el programa IBM SPSS Statistics, versión 29.0.2.0, para el registro de la información y elaboración de las gráficas de cada paciente. Se realizó un análisis descriptivo de la información recolectada para las variables cualitativas o categóricas, se calcularon frecuencias y porcentajes. Mientras que en las variables numéricas se expresaron mediante medidas de tendencia central y de dispersión (media, mediana, moda, desviación estándar y rango). Se recolectó la información estadística sobre las mediciones del ultrasonido de vaina de nervio óptico reportada en milímetros (mm) y se calculó de manera indirecta la presión intracraneana, el registro de datos que arroje el Doppler transcraneal en cualquiera de sus ventanas elegidas, se eligió la arteria en cuestión y las variables de determinar fueron: velocidad media, velocidad de flujo sistólica, velocidad de flujo diastólica, índice de pulsatilidad, índice de resistencia y se registrará toda la información en el instrumento de recolección de datos desde el ingreso cada cuatro horas las primeras 24 horas y después cada 12 horas hasta el inicio de la ventana neurológica, con una determinación por la prueba probabilística de Mann-

Whitney comparando en dos grupos vivos vs muertos. Para todas las pruebas se consideró significancia estadística un valor de  $p < 0.05$ .

Aspectos éticos: el estudio se registró en la unidad de educación e investigación médica con registro número CONBIOÉTICA-15-CEI-002-20180309, y fue aprobado por los integrantes del comité de ética e investigación con el número PI-2022036. El uso del instrumento de recolección de datos se realizó en las instalaciones de unidad de cuidados intensivos del mismo hospital. Lo anterior basados en la Declaración de Helsinki, como un grupo de principios éticos para investigación médica en seres humanos (incluida la investigación en material humano e información identificables). Asimismo, es indispensable el consentimiento informado por escrito de terapia intensiva.

## RESULTADOS

Durante el periodo considerado se ingresaron a UCI 97 pacientes con patología neurocrítica, de los cuales cumplieron con criterios de inclusión 64 (65%) pacientes con diagnóstico de TCE severo, de los cuales se excluyeron nueve por estar fuera de tiempo para iniciar tratamiento, por lo que se reclutaron 55 pacientes para el análisis estadístico, 74.6% fue del sexo masculino, relación 2.8:1, la edad osciló entre los 33.1 y una desviación estándar de 16.6. Se dividió a la población de acuerdo al desenlace clínico (vivo o muerto) para analizar las variables con relevancia estadística para la mortalidad a 120 horas.

### Variables de hemodinamia cerebral

Al analizar las variables de hemodinamia cerebral que puedan influir en la evolución de este grupo de pacientes a las 120 horas, en vivos la media de PPC fue 68.3 vs 63.4 mmHg una diferencia de 4.9 mmHg (7.17%) con una determinación por la prueba probabilística de Mann-Whitney, IC95% y  $p$  de 0.024 (*Figura 1*). Velocidad de arteria cerebral media en relación al tiempo en pacientes vivos la media fue 45.2 vs 18.99 cm/seg en pacientes que murieron, una diferencia de 26.31 cm/seg (138%), IC95%,  $p < 0.001$  (*Figura 2*). Relación del índice de pulsatilidad en pacientes vivos la media fue 1.074 vs 2.1 cm/seg en muertos, una diferencia de 1.02 cm/seg (102%), IC95%, y  $p = 0.007$  (*Figura 3*). Relación de la vaina de nervio óptico en pacientes vivos la media fue de 0.49 vs 0.55 mm en pacientes muertos, diferencia de 0.06 mm (11%), IC95%,  $p < 0.001$ . Relación de la presión intracraneana la media fue 20.1 mmHg en pacientes vivos vs 23.1 mmHg en pacientes que murieron, una diferencia de 3 mmHg (13%), IC95%,  $p < 0.001$  (*Figura 4*).

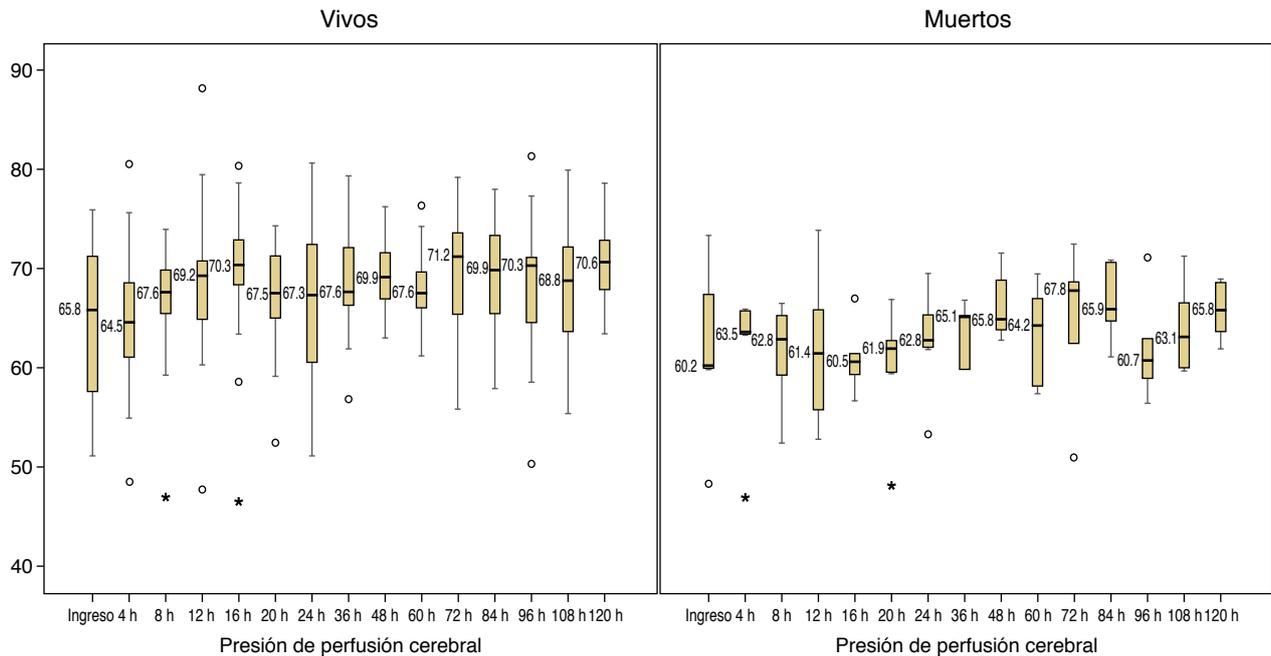


Figura 1: Relación de la presión de perfusión cerebral.

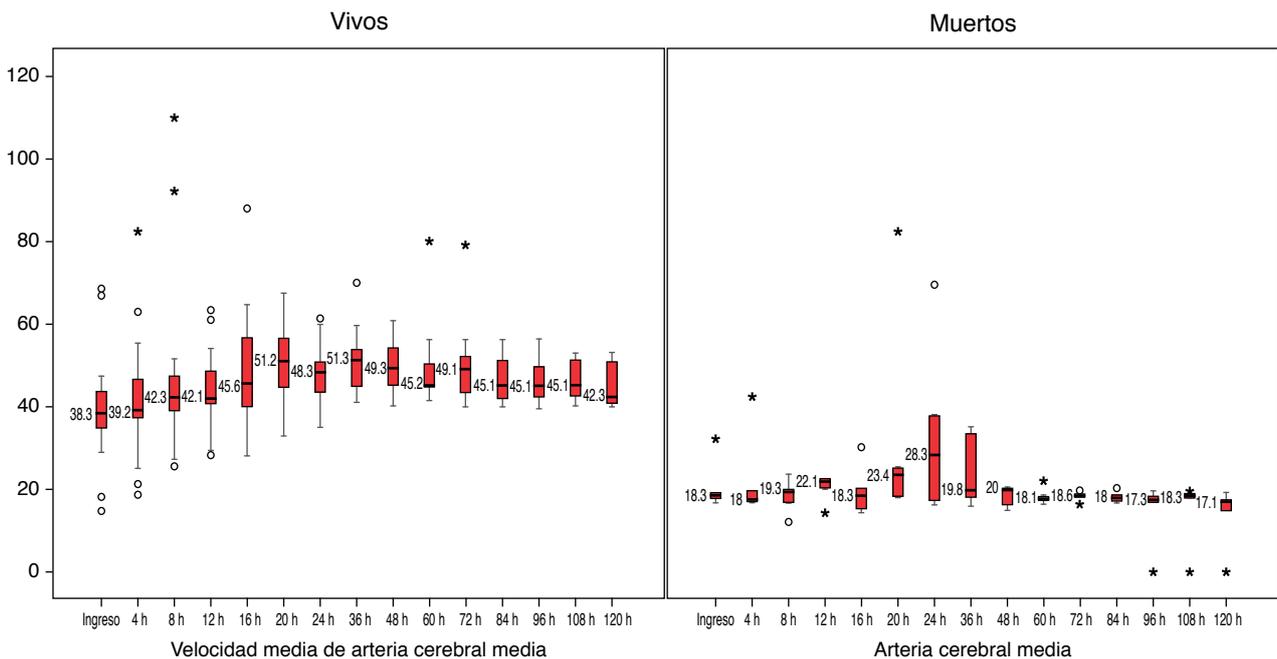


Figura 2: Relación de la velocidad de velocidad media de arteria cerebral media en vivos y muertos.

**Variables hemodinámicas**

Al analizar las variables hemodinámicas que puedan influir en la evolución de este grupo de pacientes, se identificó la dosis de norepinefrina para alcanzar la PPC > 60 mmHg y que garantizara flujos arteriales cerebrales e IP dentro de la normalidad. La media fue de en pacientes vivos 0.072 vs 0.22 en pacientes que murieron, una diferencia > 300%. El

valor de vasopresina. La media fue en pacientes vivos 0.02 vs 0.04 en pacientes que murieron, una diferencia > 100%.

**Resultados secundarios**

Se identificaron 26 pacientes con traqueostomía (47.3%), gastrostomía seis pacientes (10.9%), craniectomía total de pacientes 29 (52.7%), realizadas en UCI

6 (20.6%), además de una mortalidad de 20% y supervivencia de 80% a las 120 horas, finalmente se identificaron 10 pacientes que progresaron a muerte cerebral.

### DISCUSIÓN

La ultrasonografía DTC proporciona nuevos conocimientos sobre el pronóstico en TCE severo, además

esta técnica proporciona orientación y seguimiento de las opciones de tratamiento mediante una evaluación rápida de la hemodinámica cerebral.<sup>8</sup>

Sin embargo, las imágenes DTC también se asocian con algunas limitaciones, incluida la dependencia hacia el operador y atenuación de ultrasonidos a través del cráneo y tejidos blandos. En el futuro, se necesitan estudios exhaustivos para superar los problemas subrayados.<sup>9</sup>

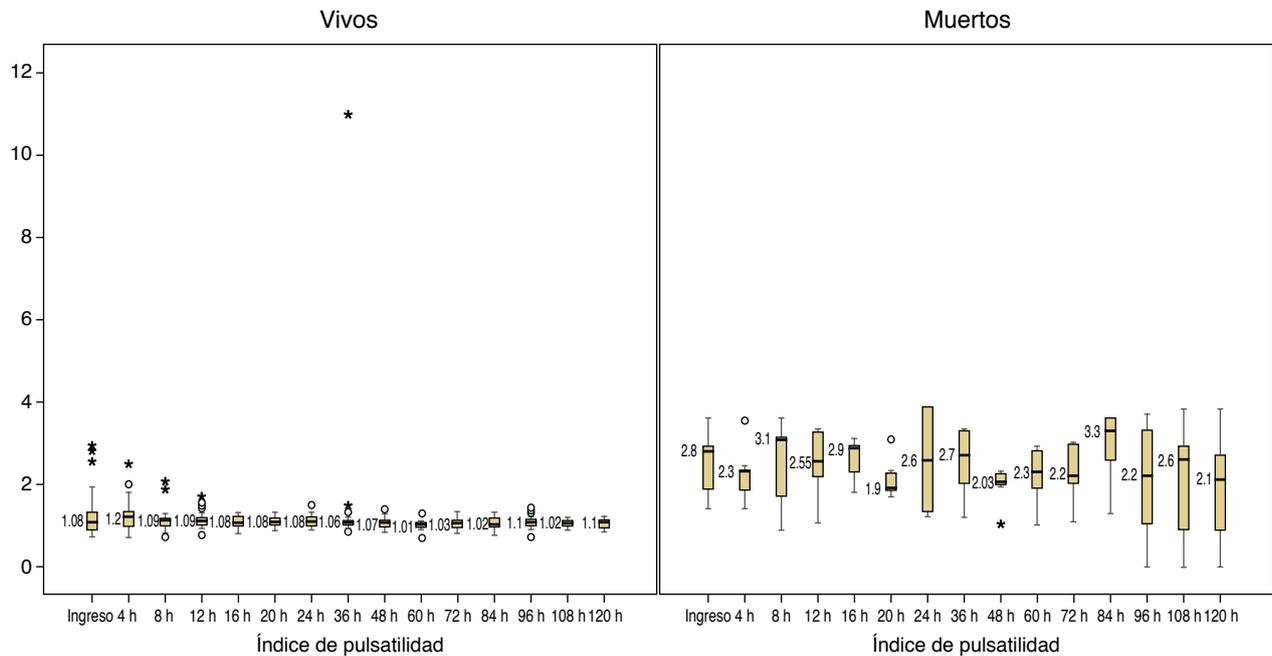


Figura 3: Relación del índice de pulsatilidad a través del tiempo.

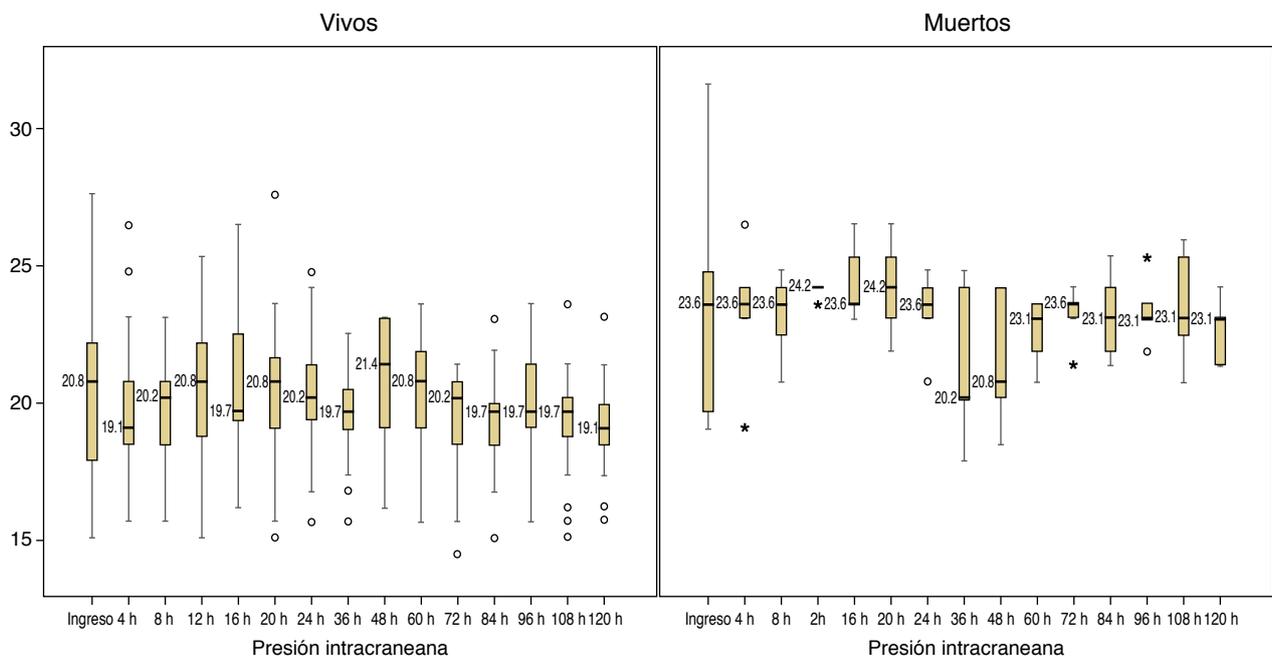


Figura 4: Relación de la presión intracraneana a través del tiempo.

Dentro de una estrategia de monitorización multimodal, el Doppler transcraneal tiene un papel cada vez más importante en el seguimiento rutinario de los pacientes en cuidados neurocríticos. Dado que el DTC no es invasivo, es portátil y no emite radiación ionizante, este método puede ser inicialmente considerado para la evaluación hemodinámica y así colaborar en la inferencia de la perfusión cerebral al lado de la cama de los pacientes. Es importante señalar que el DTC debe usarse apropiadamente y que no excluya el uso de otras técnicas de imagen, como la tomografía axial computarizada.<sup>9</sup>

Cuando hay signos de aumento de la PIC y/o hernia cerebral, se deben tomar medidas temporales para reducir la PIC. En pacientes con TCE severo la monitorización de la PIC y la PPC es muy necesario, ya sea después de la cirugía inicial, durante el tratamiento o como medida primaria. Dado que PPC es un marcador sustituto del flujo sanguíneo cerebral (FSC), debe mantenerse optimizada la PAM utilizando líquidos, inotrópicos, vasopresores y/o disminuyendo la PIC. Para disminuir la PIC existen diferentes maniobras como: sedación, terapia hiperosmolar, en casos refractarios coma con barbitúricos o craniectomía descompresiva. Si bien varios fármacos potencialmente como agentes neuroprotectores han sido investigados en ensayos clínicos, ninguno logró mostrar beneficio en TCE severo.<sup>10</sup>

La vaina que encierra el nervio óptico está en continuidad directa con la duramadre y el LCR que contiene el espacio subaracnoideo del cerebro, y porque la VNO distensible, las variaciones de presión del LCR influyen en su tamaño particularmente en la región anterior, retrobulbar del compartimento, unos 3 mm detrás del globo. El aumento de la PIC, independientemente de la causa, se transmite al compartimento subaracnoideo del nervio, provocando un agrandamiento de la vaina del nervio óptico y, por tanto, un agrandamiento del diámetro; hay una relación entre la presión perióptica del LCR y la PIC y, curiosamente, el diámetro de la vaina del nervio óptico (DVNO) aumenta casi directamente con la PIC, durante terapia osmótica o después de variaciones en el dióxido de carbono.<sup>11</sup>

La llegada de la ecografía realizada por intensivistas y la disponibilidad de máquinas de ultrasonido proporciona ahora un clima único donde el DTC en el punto de atención es una realidad. Los intensivistas con esta habilidad pueden proporcionar una evaluación inmediata, las 24 horas del día, los siete días de la semana, predecir desviación de la línea media, elevación de la PIC, vasoespasmo severo y progresión de la hipertensión intracraneal.<sup>6,12</sup>

Todas las medidas no invasivas descritas han sido evaluadas en estudios relativamente pequeños, con amplios intervalos de confianza para todas las mediciones de precisión. Lo más importante es que el alto

VPN en algunos estudios puede simplemente reflejar la menor prevalencia de elevación de la PIC.

Por lo tanto, estas técnicas no deben utilizarse de forma aislada; se requiere evaluación multimodal. Un estudio prospectivo unicéntrico de 2020 evaluó todas las técnicas descrito en este estudio. TCD logró la más alta precisión para la detección de PIC invasiva > 20 mmHg. Las AUC fueron 0.86 para TCD-ICPe, 0,85 para TCD-PI, 0,78 para ONSD y 0.71 para pupilometría. Una combinación de estas técnicas, sin embargo, lograron un AUC de 0.91.<sup>13</sup>

Se recomienda pupilometría con intervalo de 1 a 4 horas. A menudo es necesaria una tomografía computarizada urgente en el contexto adecuado, para reforzar medidas terapéuticas urgentes o para indicación de descompresión quirúrgica emergente. La tecnología no invasiva actual puede reemplazar la monitorización invasiva de la PIC donde la monitorización invasiva no está disponible; sin embargo, se requieren más investigaciones para desarrollar más técnicas confiables y continuas para evaluación no invasiva de la PIC.<sup>14</sup>

## CONCLUSIONES

En el desenlace final comparativo entre vivos vs muertos, el grupo de pacientes fallecidos presentaron menor PPC, menor IP y velocidad de ACM en las 120 horas evaluadas; mayor PIC y diámetros de VNO; asimismo, se encontró una titulación con mayores tensiones arteriales sistémicas y mayor aporte de vasopresor para tratar de alcanzar PPC. Podemos asegurar que durante el tiempo de estudio los pacientes alcanzaron PPC durante la neuroprotección, tanto en el grupo de vivos como muertos; sin embargo, una sola determinación no es suficiente para poder tener una evaluación precisa de la hemodinamia cerebral, es por eso que debe relacionarse con las demás variables que obtenemos al realizar USG cerebral a la cama del paciente, como es la velocidad de arteria cerebral, IP, VNO y la determinación no invasiva de la PIC. El tratamiento médico iniciado apoyado con la evaluación dinámica cerebral nos ayuda a identificar en qué momento el paciente requiere craniectomía descompresiva por presencia de edema cerebral e hipertensión intracraneal refractarias a tratamiento.

## REFERENCIAS

1. Tsvigoulis G, Alexandrov AV. Ultrasound in neurology. *Continuum (Minneapolis, Minn)*. 2016;22(5, Neuroimaging):1655-1677.
2. Kristiansson H, Nissborg E, Bartek J Jr, Andresen M, Reinstrup P, Romner B. Measuring elevated intracranial pressure through noninvasive methods: a review of the literature. *J Neurosurg Anesthesiol*. 2013;25(4):372-385.
3. Cook AM, Morgan Jones G, Hawryluk GWJ, Mailloux P, McLaughlin D, Papangelou A, et al. Guidelines for the acute treatment of cerebral edema in neurocritical care patients. *Neurocrit Care*. 2020;32(3):647-666.

4. Robba C, Goffi A, Geeraerts T, Cardim D, Via G, Czosnyka M, et al. Brain ultrasonography: methodology, basic and advanced principles and clinical applications. A narrative review. *Intensive Care Med.* 2019;45(7):913-927.
5. Chacón-Lozán F, Rodríguez-Torres M, Pacheco C. Neuromonitorización hemodinámica por ultrasonido en el paciente crítico: ultrasonido transcranial. *Acta Colombiana de Cuidado Intensivo.* 2018;18(3):164-174.
6. Lau VI, Arntfield RT. Point-of-care transcranial Doppler by intensivists. *Crit Ultrasound J.* 2017;9(1):21.
7. Rasulo FA, Bertuetti R. Transcranial doppler and optic nerve sonography. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2019;33 Suppl 1:S38-S52.
8. Muñoz SMA, Murillo CF, Rivera FMV. Rendimiento de un diagrama de correlación entre patrones ecográficos y hemodinámicas cerebrales. *Revista de Neurología.* 2004;38(5):411-416.
9. Pan Y, Wan W, Xiang M, Guan Y. Transcranial doppler ultrasonography as a diagnostic tool for cerebrovascular disorders. *Front Hum Neurosci.* 2022;16:841809.
10. Hossain I, Rostami E, Marklund N. The management of severe traumatic brain injury in the initial postinjury hours-current evidence and controversies. *Curr Opin Crit Care.* 2023;29(6):650-658.
11. Chen LM, Wang LJ, Hu Y, Jiang XH, Wang YZ, Xing YQ. Ultrasonic measurement of optic nerve sheath diameter: a non-invasive surrogate approach for dynamic, real-time evaluation of intracranial pressure. *Br J Ophthalmol.* 2019;103(4):437-441.
12. Blanco P, Abdo-Cuza A. Transcranial Doppler ultrasound in neurocritical care. *J Ultrasound.* 2018;21(1):1-16.
13. Kirkman MA, Smith M. Multimodality neuromonitoring. *Anesthesiol Clin.* 2016;34(3):511-523.
14. Rasulo FA, Togni T, Romagnoli S. Essential noninvasive multimodality neuromonitoring for the critically ill patient. *Crit Care.* 2020;24(1):100.

**Financiamiento:** el presente trabajo no recibió patrocinios, se utilizaron recursos propios del hospital.

**Conflicto de intereses:** los autores declaramos no tener conflicto de intereses.

*Correspondencia:*

**Dr. Alberto Vázquez Aguilar**

**E-mail:** alberts\_0989@hotmail.com