

Colaboración especial

Ecografía Doppler transcraneal para estimar la presión intracraneal y presión de perfusión cerebral en pacientes pediátricos neurocríticos

Transcranial Doppler ultrasound to estimate intracranial pressure and brain perfusion pressure in pediatric neurocritical patients

Alberto Rubén Piriz Assa^{1*} <https://orcid.org/0000-0002-6261-5807>

Anselmo Abdo-Cuza² <https://orcid.org/0000-0001-5573-7382>

Harlam Reynier de la Cruz de la Cruz¹ <https://orcid.org/0000-0001-9055-5744>

¹Hospital Pediátrico Provincial “Octavio de la Concepción y de la Pedraja”. Unidad de Cuidados Intensivos Pediátricos. Holguín, Cuba.

²Centro de Investigaciones Médico-Quirúrgicas (CIMEQ), Unidad de Cuidados Intensivos. Habana, Cuba.

*Autor para la correspondencia: apiriz@infomed.sld.cu

RESUMEN

La ecografía Doppler transcraneal es un método no invasivo que permite una adecuada monitorización de los diferentes parámetros que ayudan a definir conductas para los médicos intensivistas, sin embargo, su utilización no está generalizada entre las comunidades médicas que atienden niños con afecciones neurocríticas. Es propósito de los autores, actualizar el tema en estudio y presentar su experiencia en población pediátrica. Las indicaciones de este método provienen de investigaciones en pacientes adultos, se necesitan estudios multicéntricos en diferentes contextos clínicos para poder establecer esta técnica como un método de diagnóstico confiable en pacientes pediátricos. Concluimos que utilizar el Doppler transcraneal como prueba auxiliar en la estimación de la presión intracraneal y presión de perfusión cerebral, proporciona adoptar recursos terapéuticos frente al paciente lo más acertados posibles y brinda la posibilidad

de hacer un seguimiento y evaluación de los tratamientos a pie de cama de forma mínimamente invasiva.

Palabras clave: ecografía Doppler; presión intracraneal; presión de perfusión cerebral; trauma cráneo encefálico.

ABSTRACT

Transcranial Doppler ultrasound is a non-invasive method that allows adequate monitoring of the different parameters that help define behaviors for intensivist physicians ; however, its use is not widespread among the medical communities that care for children with neurocritical conditions. It is the purpose of the authors to update the topic under study and present their experience with pediatric populations. The indications for this method come from research in adult patients . Multicenter studies in different clinical contexts are needed to establish this technique as a reliable diagnostic method in pediatric patients. We conclude that using transcranial Doppler as an auxiliary test in the estimation of intracranial pressure and cerebral perfusion pressure, provides the implementation of therapeutic resources in front of the patient as accurate as possible and offers the possibility of monitoring and evaluating bedside treatments in a minimally invasive way.

Keywords: Doppler ultrasound; intracranial pressure; cerebral perfusion pressure; head trauma.

Recibido: 17/05/2021

Aceptado: 21/08/2021

Introducción

Las enfermedades que pueden provocar daño cerebral severa son muy variadas. En las edades por debajo de los 19 años las más frecuentes son el trauma cráneo encefálico (TCE) y las enfermedades infecciosas, entre otras menos frecuentes.

La monitorización de los diferentes parámetros que ayudan a definir conductas para los intensivistas es una práctica necesaria. Entre estos parámetros, se utilizan cada vez más frecuentes aquellos que no resulten invasivos para el paciente. La ecografía Doppler transcraneal es un

método no invasivo que permite una adecuada aproximación a la hemodinámica cerebral, sin embargo, su utilización no está generalizada entre las comunidades médicas que atienden niños con afecciones neurocríticas.

A partir de la monitorización de diferentes vasos sanguíneos, en especial la arteria cerebral media (ACM) se puede diagnosticar patrones de alta resistencia, hipoperfusión, hiperemia y flujos normales. Los primeros pasos de la utilización en pacientes pediátricos fueron en la detección de patrones de parada circulatoria cerebral.^(1,2,3) En la literatura también existe referencia^(3,4) de la monitorización de velocidad media de ACM en pacientes con drepanocitemia para predecir la ocurrencia de eventos cerebrovasculares isquémicos.

En la población pediátrica los accidentes del tránsito son la causa más frecuente de TCE, es además responsable de más de 630 000 visitas a departamentos de emergencias, 60 000 hospitalizaciones y 6000 muertes en niños menores de 18 años de edad en los EE. UU. cada año y representa alrededor del 30 % de la mortalidad en ese país y 15 % en el Reino Unido.⁽¹⁾

En Italia 3 de cada 10 niños son llevados a un departamento de emergencias médicas por esta causa y 1 de cada 600 muere.^(1,2,3)

Un estudio de cuatro años (2016-2019) realizado en la Unidad de Cuidados Intensivos (UCI) del Hospital Pediátrico Provincial de Holguín “Octavio de la Concepción y de la Pedraja” demostró que 15 % de sus fallecidos fueron pacientes que evolucionaron a la muerte encefálica y de 1631 pacientes ingresados en este periodo, 38 (2,3 %) a su llegada a esta unidad presentaron la condición de neurocrítico por un TCE severo (Tabla 1).

Tabla 1 - Pacientes según condición de salud en la unidad de cuidados intensivos

Variables	Años				Total
	2016	2017	2018	2019	
Total de ingresos	395	441	381	414	1631
Fallecidos	40	33	28	33	134
Neurocríticos por trauma: (no trauma total)	11 (2)	13 (3)	13 (2)	9 (1)	46 (8)
Neurocríticos quirúrgicos	3	2	4	2	11
ME: No. (% fallecidos)	5 (12,5)	4 (12,1)	3 (10,7)	3 (9)	15 (11,1)

ME: muerte encefálica; No.: número.

Existen múltiples parámetros que se pueden monitorear con las nuevas tecnologías, las que pueden ofrecer un acercamiento a la fisiología del sistema nervioso central en pacientes neurocríticos. A partir de la información que brinda la neuromonitorización multiparamétrica, se puede realizar diagnósticos fisiopatológicos e iniciar conductas terapéuticas. De forma paradójica los beneficios del neuromonitoreo no son aplicados de forma frecuente para guiar la terapéutica médica en las unidades de cuidados intensivos pediátricos (UCIP) debido a que no existen de manera generalizada protocolos de actuación que permitan el uso de estos parámetros para guiar una conducta lo más acertada posible.^(4,5)

La literatura consultada^(1,4,5) muestra vacíos del conocimiento, no existen consensos que establezcan de forma precisa cual es el umbral para iniciar el tratamiento en pacientes pediátricos con TCE al que se asocia una hipertensión intracraneana (HIC). En los servicios de atención a pacientes pediátricos existe una baja utilización del Doppler transcraneal, aun cuando la monitorización de variables mediante esta tecnología pudiera ser de utilidad para estimar la presión intracraneal (PIC) y presión de perfusión cerebral (PPC), lo que permitiría optimizar la conducta. La medición de la PIC ha demostrado ser la variable estándar para guiar el tratamiento de la HIC.⁽⁶⁾ Las propiedades y el tono de los vasos cerebrales constituyen variables que a través de sus mediciones se pudiera estimar la PPC y PIC a pie de cama e incluso evaluar su respuesta ante las diferentes conductas terapéuticas.

La ciencia con la introducción de tecnologías que permiten medir la velocidad de flujo sanguíneo dentro de vasos arteriales, posibilita evaluar la resistencia vascular relacionando la velocidad con la presión. La ecografía Doppler transcraneal permite evaluar la velocidad del flujo sanguíneo en las arterias que conforman el polígono de Willis. *Bellner's*⁽⁶⁾ estimó la PIC en pacientes adultos mediante la ecografía Doppler transcraneal a partir de la determinación del índice de pulsatilidad (IP) en la ACM; utilizó la fórmula siguiente:

$$PIC = 10,93 \times IP - 1,28$$

En el presente artículo los autores cuestionan si es factible y útil la estimación de presión intracraneal y presión de perfusión cerebral mediante la monitorización a través de la ecografía Doppler transcraneal en pacientes pediátricos (entre tres y 18 años) neurocríticos.

La fórmula fue validada en 290 pacientes con monitorización invasiva de la PIC y presión arterial, a los que se les realizó ecografía Doppler transcraneal. La estimación de PIC y PPC en población pediátrica a través de un método no invasivo como es la ecografía Doppler transcraneal pudiera ser de utilidad para optimizar el tratamiento de pacientes neurocríticos.

En el presente artículo los autores cuestionan si es factible y útil la estimación de presión intracraneal y presión de perfusión cerebral mediante la monitorización a través de la ecografía Doppler transcraneal en pacientes pediátricos (entre tres y 18 años) neurocríticos. Y para ello se proponen actualizar el tema en estudio y presentar su experiencia en población pediátrica.

Conceptos básicos sobre la fisiopatología cerebral y la monitorización de la presión intracraneal

Presión de perfusión cerebral (PPC)

La PPC se define como el gradiente de presión a través del lecho vascular cerebral. La PPC resulta de restar la PIC a la presión arterial media (PAM).^(7,8) Las diferentes comunidades médicas que atienden a pacientes neurocríticos tienen diferentes opiniones sobre la PPC y sus valores óptimos en relación con la autorregulación cerebral. Según las recomendaciones pediátricas del año 2019 de la *Brain Trauma Foundation* (BTF), la PPC mínima en niños con TCE está entre 40-50 mmHg^(9,10) y en adultos, el valor de PPC recomendada para la supervivencia y los resultados favorables es entre 60 y 70 mmHg.⁽¹¹⁾

Flujo sanguíneo cerebral (FSC)

Mediante el estudio de la velocidad del FSC con el Doppler transcraneal (DTC), durante la instauración de la parada circulatoria cerebral (PCC) se pueden distinguir 4 estadios evolutivos, encontrándose en cada uno de ellos un patrón de flujo característico:^(12,13)

1. Cuando la PIC supera la tensión arterial diastólica, la velocidad del flujo sanguíneo cerebral al final de la diástole es cero, persistiendo flujo solo durante la sístole. La velocidad media es superior a 10 cm/s y todavía hay algo de flujo neto, estando muy elevado el índice de

pulsatilidad. Estos hallazgos se encuentran en situaciones de hipertensión intracraneal grave y puede considerarse un patrón de preparada circulatoria cerebral.

2. Cuando la PIC es igual o superior a la tensión arterial sistólica del paciente cesa la perfusión cerebral. En esta fase aparece el patrón conocido como flujo reverberante, flujo oscilante bifásico o flujo diastólico invertido, producido por la elasticidad de la pared arterial; se caracteriza por un flujo anterógrado en sístole acompañado de un flujo diastólico retrógrado o invertido, que son aproximadamente iguales en el mismo ciclo cardiaco, siendo el flujo neto cerebral cero. Este patrón tiene una fase sistólica de breve duración. Todos estos hallazgos se correlacionan con la PCC en la arteriografía.⁽¹⁴⁾
3. Cuando la PIC supera la tensión arterial sistólica del paciente solo se registran espigas sistólicas o espículas sistólicas, que son pequeñas ondas sistólicas anterógradas, cortas, puntiagudas, de menos de 200ms de duración y menores de 50cm/s de velocidad de pico sistólico. No se obtiene tampoco flujo durante el resto de la sístole ni en la diástole del ciclo cardiaco.
4. En casos muy evolucionados, con grandes elevaciones de PIC, se produce una obstrucción al flujo en los segmentos más proximales de las arterias de la base del cráneo, que provocan una ausencia total de señal de flujo, no siendo posible detectar señal alguna. En estos casos se puede plantear la duda de si la ausencia de señal se debe a la PCC o a una ausencia de ventana sónica. Para aceptar este hallazgo como criterio de PCC, el DTC debe ser realizado en las mismas condiciones clínicas y por el mismo experto explorador que previamente haya observado flujo en el paciente.

La BTF en su tercera edición⁽¹³⁾ emitió múltiples recomendaciones para la monitorización y utilización de la información que se deriva de ella para dirigir decisiones en el tratamiento que pueden beneficiar los resultados. La BTF sugiere utilizar la técnica de neuroimagen entre la que se destacan la tomografía axial computarizada (TAC). El panel que emitió las recomendaciones actualizadas le otorgó un nivel de baja evidencia científica y encarga, para obtener mejores resultados, el monitoreo de la PIC y crear nuevas investigaciones que controlen variables novedosas como el estudio de la perfusión cerebral.

Existen pocas evidencias⁽¹³⁾ para establecer recomendaciones con alta validez científica, con un nivel III de aprobación por los panelistas, está claro que estimar la PPC por un método determinado que permita establecer una conducta es la principal recomendación; para nuestros investigadores el método ideal es la medición directa de la PIC y ante las dificultades para esta medición la estimación de esta PIC a través de otros métodos es de vital importancia.

Presión intracraneal

La monitorización de la PIC y la PPC se han convertido en el estándar de tratamiento en los centros especializados en la atención a pacientes pediátricos neurocríticos. La monitorización continua de la PIC a través de un catéter es una de las formas de medición que presenta mayor posibilidad hasta el momento. Existen otros estudios que utilizan otros métodos e incluso lo comparan y otros han recomendado el uso de tratamientos basados en los signos, síntomas clínicos y los hallazgos de la TAC y no han encontrado diferencias significativas con la medición de PIC con un catéter.^(15,16,17)

La PIC se define como la presión que existe dentro de la bóveda craneal. Se ha establecido que el funcionamiento cerebral es adecuado con valores de PIC entre 10 y 15 mmHg en adultos, de 3 a 7mmHg en niños y de 1,5 a 6 mmHg en recién nacidos.^(3,4)

En el medio médico el método de la monitorización de la PIC a través de un catéter no es frecuente, existen algunos autores que lo critican y los resultados de investigaciones han llevado a este método a tener una baja recomendación por los diferentes colegios que se han especializado en la atención a pacientes HIC.⁽¹⁸⁾

Doppler transcraneal

El ultrasonido en medicina se basa en el descubrimiento del efecto piezoeléctrico por los hermanos *Curie* a mediados del siglo XIX. Esta tecnología se ha convertido para muchas especialidades en una prueba de alto valor, la ecografía en el ámbito de las urgencias está firmemente reconocida, permite hacer los diagnósticos de muchas afecciones, realizar procedimientos invasivos guiados por la ecografía, además permite monitorizar y seguir evolutivamente las respuestas a múltiples tratamientos, como es el caso de la HIC.⁽⁶⁾

Satomura en el año 1960 desarrolló el ultrasonido para medir los flujos basados en el efecto Doppler, posteriormente en 1961 *Franklin* lo usó en las mediciones del flujo sanguíneo de los animales, el desarrollo del Doppler transcutáneo ha permitido la medición de los flujos cerebrales en diferentes vasos sanguíneos.^(18,19)

La ecografía Doppler o simplemente eco-Doppler, es una variedad de la ecografía tradicional, basada, por tanto, en el empleo de ultrasonidos, en la que aprovechando el efecto Doppler, es posible visualizar las ondas de velocidad del flujo que atraviesan ciertas estructuras del cuerpo, por lo general vasos sanguíneos y que son inaccesibles a la visión directa.⁽¹⁹⁾

En el año 1974 se publicó el uso del DTC para el diagnóstico de la PCC⁽²⁰⁾ y a partir de este momento existen publicaciones que avalan su indicación, en la actualidad su utilidad se ha extendido a estudios de flujo en los diferentes vasos que irrigan el cerebro.

En pacientes con el cráneo cerrado la PCC en los estudios a través del DTC guardan relación con el tiempo, existen pacientes con una PCC documentada por la clínica y los mismos presentan flujo circulatorio cerebral. Un estudio realizado en la UCI del Hospital Pediátrico Provincial de Holguín “Octavio de la Concepción y de la Pedraja” (Tabla 2) demuestra, en pacientes con exámenes clínicos documentados de muerte encefálica (ME), que existía flujo sanguíneo cerebral en las 5 horas posteriores. En el seguimiento evolutivo se estableció PCC entre las 24 y 48 horas posteriores. Otros autores como *Dosemeci* y otros,^(1,21) documentan también esta condición.

Tabla 2 - Patrones por Doppler transcraneal entre 0,5 y 5 horas posterior a evaluación clínica compatible con muerte encefálica

Patrón del Doppler transcraneal momento de la evaluación (0,5 - 5 horas)	Pacientes evaluados con muerte encefálica	
	N _o : (15)	%
Patrón sistolizado con mínimo flujo diastólico	3	20
Separación diástole-sístole	1	6,7
Picos sistólicos menores de 50	2	13,4
Flujo reverberante	6	40
Persistencia de flujo	3	20

Ellos encuentran que a las 4 horas del diagnóstico clínico de ME 29,0 % de los pacientes presentaban cierto flujo sanguíneo cerebral, en este estudio dos pacientes presentaron la PCC

completamente a las 96 horas; por estas condiciones el tema es polémico y necesita de constante discusión e investigaciones.

Monitorización de la arteria cerebral media con el DTC en el paciente neurocrítico

A través del Doppler transcraneal (DTC) podemos valorar una serie de parámetros a pie de cama que no constituyen procedimientos invasivos y nos brindan una relación entre la disponibilidad y consumo de oxígeno en el cerebro, una ventaja de este procedimiento es que nos permite valorar la repercusión de las medidas terapéuticas utilizadas en el tratamiento de la HIC, en aquellos casos que desarrollan una PCC constituyen una tecnología adicional para evaluar los pacientes.⁽²²⁾

Posición de los autores en la monitorización de la arteria cerebral media, criterios, métodos de observación e investigaciones

La monitorización de la arteria cerebral media se puede repetir evolutivamente sin constituir un método invasivo, ventaja esta que algunos autores lo consideran más práctica que la TAC. Los estudios de DTC en la monitorización de la circulación de los vasos se realizan con muchos métodos, en nuestro caso realizamos en dos posiciones (derecha e izquierda) a través de la ventana transtemporal, además se hacen generalmente dos exploraciones separadas por un intervalo de 30 minutos, también esta tecnología permite realizarlo evolutivamente a pie de cama para evaluar respuesta al tratamiento; cuando la diferencia entre una posición y otra en sus mediciones no rebasan 20 % entre las dos exploraciones el estudio se considera válido y se toma como referencia la medición de la ACM derecha; cuando la diferencia supera 20 % se analiza la condición que llevó el paciente al estado de neurocrítico según el sitio de la lesión. En aquellos pacientes que la lesión es difusa se toma como referencia la medición de la posición derecha.

En los estudios realizados por *Sahuquillo* y otros,⁽²³⁾ se demuestra la existencia de gradientes de PIC entre los hemisferios cerebrales, aunque los análisis de la PPC no demuestran diferencias estadísticamente significativas. Por ello, es recomendable monitorizar la PIC en el hemisferio ipsilateral a la lesión o al conjunto de lesiones de mayor volumen.⁽²⁴⁾

Es prudente que estas mediciones y sus cálculos sean realizados por un solo operador, esto permitirá minimizar los sesgos de variabilidad de mensuraciones, esta es una recomendación importante con aprobación de la mayoría de los autores.

Bellner y otros,⁽⁶⁾ proponen la fórmula siguiente:

$$PIC = 10,93 \cdot IP + 1,28$$

Encuentra una relación entre la clínica y el desarrollo de HIC en pacientes que presentan un índice de pulsatilidad cercano 3 con valores de PIC por encima de 24 mmHg. El índice de pulsatilidad (IP) se deriva de los cálculos obtenido de la velocidad sistólica (VS), velocidad diastólica (VD) y velocidad media (VM) del vaso en que se practique la insonación:^(25,26)

$$IP = \frac{VS - VD}{VM}$$

White y Brandi^(25,26) en su investigación realizaron un total de 834 mensuraciones en 45 individuos que tenían daño cerebral por diferentes causas y cumpliendo los requerimientos ideales para realizar un DTC encontraron mensuraciones, que fueron utilizadas para hacer comparaciones entre tres ecuaciones para calcular la PIC y la PPC teniendo como referencia una PIC medida por la colocación de una sonda de forma invasiva. Encuentran que la ecuación de *Bellner* y otros,⁽⁶⁾ es superior para estimar la PIC y PPC que las descritas *Schmidt*,⁽²⁷⁾ *Edouard*⁽²⁸⁾ y sus colegas.

En el presente estudio se monitorizó la ACM con un Doppler transcraneal modelo *EZ-Dop*. Se obtuvo acceso a la circulación cerebral a través de la ventana transtemporal con una frecuencia baja entre (2–4 MHz), a una profundidad de insonación que varió según la edad del paciente entre (40–50 mm) para la ACM, la exploración incluía a los pacientes con estabilidad circulatoria con una PAM ≥ 70 mmHg (TA no inferior a 90/50 mmHg) o límites para la edad, una PaCO₂ entre 35–45 mmHg y se excluyeron aquellos pacientes neurocríticos en hipotermia, con alteraciones metabólicas o que la etiología del cuadro fuese originada por ingestión de sustancias extrañas (intoxicaciones). La muestra de pacientes estudiados y sus variables generales que se presentan en la tabla 3. El sexo no mostró una diferencia significativa. El trauma constituyó la primera causa que origina un paciente neurocrítico en los menores de 18 años.

Tabla 3 - Variables generales de los pacientes estudiados

VARIABLES CLÍNICAS	No.: 46	%
Edad (media-rango)	9 (3-18)	
Sexo femenino	29	63,4
Origen al llegar a la UCI		
Emergencia (cuerpo guardia)	33	71,7
Quirófano	11	23,9
Otro hospital	2	4,3
Diagnóstico general al ingreso		
Paciente médico	8	17,4
Cirugía programada	3	6,6
Cirugía urgente	8	17,4
Trauma	38	82,6
Otras variables		
Ventilación mecánica al ingreso	46	100
Vía área artificial (traqueotomía)	3	6,6
Protocolo antiedema cerebral	46	100

No.: número de pacientes.

La relación entre índices de pulsatilidad y desarrollo de patrón de parada circulatoria cerebral en DTC ha demostrado tener una correlación cuando esta muestra valores por encima de 2,5.^(29,30) La tabla 4 muestra la relación entre el IP y el desarrollo de patrones de PCC en 46 pacientes estudiados en cuatro años.

Tabla 4 - Relación entre índices de pulsatilidad y desarrollo de patrón de parada circulatoria cerebral con Doppler transcraneal

Índices de pulsatilidad establecido a las 24 horas	Patrón del doppler transcraneal			
	Parada circulatoria cerebral		Restablecimiento del flujo	
	No. (15)	%	No. (31)	%
Hasta 1 No. (26)	-	-	26	83,8
Mayor de 1 hasta 2,5 No. (16)	11	73,3	5	16,2
Mayor a 2,5 No. (4)	4	26,7	-	-

Los números entre paréntesis se refiere a cantidad de pacientes.

Trabold y otros,⁽³¹⁾ en 36 pacientes pediátricos con TCE moderado o severo mostró un IP >1,3 al ingresar en el servicio de urgencias que se asociaba con peor pronóstico. Otros^(6,32) encuentran relación entre el IP y la PIC en pacientes con lesión intracerebral y una asociación significativa entre ambas variables; los valores de IP >3 se asociaron con HIC severa y cuando se demostró paro circulatorio cerebral por angiografía, el IP varió entre 6 y 8.

En un estudio realizado en la UCI del Hospital Pediátrico Provincial de Holguín “Octavio de la Concepción y de la Pedraja”, en cuatro años se investigaron dos grupos de pacientes a los cuales se les monitorizaron las velocidades del flujo sanguíneo de la ACM a través del Doppler transcraneal, el grupo I corresponde a 31 pacientes con la condición de neurocrítico y se le practicaron 84 mensuraciones; grupo II son 15 pacientes que cumplían esta misma condición pero desarrollaron una ME, a este grupo se le practicó 45 mensuraciones (Tabla 5).

Tabla 5 - Monitorización de las velocidades del flujo sanguíneo de la arteria cerebral media a través del Doppler transcraneal y el cálculo de IR, IP y PIC según grupos de estudios

Variable	Grupo I No.: 31 84 mensuraciones media (rangos)	Grupo II No.: 15 45 mensuraciones media (rangos)
Velocidad sistólica (cm/s)	120 (94-163)	49 (46-52)
Velocidad diastólica (cm/s)	89 (70- 00)	8 (4-16)
Velocidad media (cm/s)	70 (68-76)	14 (10-22)
Índice resistencia (IR)	0,31 (0,25-0,38)	0,80 (0,65-0,92)
Índice pulsatilidad (IP)	0,65 (0,31-1)	2,42 (1,36-4,8)
PIC (dte) estimada	6 (1,3-8,77)	32,43 (13,58-51)

PIC (dte) *Bellner J*;⁶ PIC (dte)= 10,93 X IP-1,28; dte: Doppler transcraneal.

En la tabla 5, en el grupo II prevaleció un patrón de alta resistencia en el DTC con velocidades media muy bajas en la ACM, acompañado de IP alto. Existió relación entre el valor de la PIC (dte) con la posterior evolución del paciente a la PCC.

En el grupo I existió relación entre los valores obtenidos en las mensuraciones y la estimación de la PIC con la situación clínica de los pacientes, este mismo grupo mostro IP cercanos a uno.

En estos dos grupos también se hicieron estimaciones, se muestran en la tabla 6, de la PPC por DTC:⁽⁶⁾

$$PPC(dtc) = TAM \times (Vd / Vm) + 14$$

Tabla 6 - Tensión arterial media, presión de perfusión cerebral utilizando Doppler transcraneal según grupos de estudios

Variable	Grupo I No.:31 84 mediciones media (rangos)	Grupo II No.: 15 45 mediciones media (rangos)
TAM mmHg	78 (86 - 71)	82 (93 - 72mmHg)
PPC (dtc)= TAM × (Vd/ Vm) + 14	113 (140 - 80)	61 (51 - 66)

TAM: tensión arterial media. PPC (dtc): presión de perfusión cerebral utilizando Doppler transcraneal.

La PPC (dtc) del grupo I se pudo estimar, los valores obtenidos guardan relación con la situación clínica de estos pacientes, se pudieron estimar valores muy bajo en el grupo II que evolucionó a la PCC. Utilizando los valores obtenidos en la monitorización de la ACM a través del DTC se puede estimar la PPC por DTC, ⁽²⁶⁾ existen otras fórmulas descritas las cuales no se utilizaron en el presente estudio como las descritas, *Bellner* y otros:⁽⁶⁾

$$PPC = 89,646 - 8,258 \times IP$$

La de *Schmidt* y otros:⁽²⁷⁾

$$PPC = TAM \times EDV / mFV + 14$$

Brandi y otros,⁽²⁶⁾ hicieron estudios comparativos entre las fórmulas anteriores y no encontraron diferencias significativas entre ellas

Conclusiones

La monitorización de las velocidades del flujo sanguíneo de la arteria cerebral media a través del Doppler transcraneal muestra valores que permiten estimar la presión intracraneal y la presión de perfusión cerebral, adoptar recursos terapéuticos frente al paciente lo más acertados posibles y

brindar la posibilidad de hacer un seguimiento y evaluación de estos tratamientos a pie de cama de forma mínimamente invasiva.

Referencias bibliográficas

1. Vavilala MS, Kernic MA, Wang J, Kannan N, Mink RB, Wainwright MS, *et al.* Acute care clinical indicators associated with discharge outcomes in children with severe traumatic brain injury. *Critical care med.* 2014 [acceso 25/07/2020];42(10):2258–66. Disponible en: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=mdc&AN=25083982&lang=es&site=ehost-live>
2. Chiaretti A, De Benedictis R, Della Corte F, Piastra M, Viola L, Polidori G, *et al.* The impact of initial management on the outcome of children with severe head injury. *Child's nervous system : ChNS. J Internat Soc Pediatr Neurosurg.* 2002 [acceso 25/07/2020];18(1–2):54–60. Disponible en: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=mdc&AN=11935245&lang=es&site=ehost-live>
3. Allen BB, Chiu Y-L, Gerber LM, Ghajar J, Greenfield JP. Age-specific cerebral perfusion pressure thresholds and survival in children and adolescents with severe traumatic brain injury. *Pediatr critical care med.* 2014 [acceso 25/07/2020];15(1):62–70. Disponible en: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=mdc&AN=24196011&lang=es&site=ehost-live>
4. Rodríguez G, Rivero-Garviáb M, Gutiérrez R, Márquez J. Conceptos básicos sobre la fisiopatología cerebral y la monitorización de la presión intracraneal. *Neurología.* 2015 [acceso 25/07/2020 25];30(1):16-22. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-neurologia-295-articulo-conceptos-basicos-sobre-fisiopatologia-cerebral-S0213485312002691>
5. Godoy DA, Videtta W, Santa Cruz R, Silva X, Aguilera-Rodríguez S, Carreño-Rodríguez JN, *et al.* General care in the management of severe traumatic brain injury: Latin American consensus. *Med intens.* 2020;44(8):500-8. DOI: [10.1016/j.medine.2020.08.003](https://doi.org/10.1016/j.medine.2020.08.003)
6. Bellner J, Romner B, Reinstrup P, Kristiansson K-A, Ryding E, Brandt L. Transcranial Doppler sonography pulsatility index (PI) reflects intracranial pressure (ICP). *Surgical neurol.* 2004 [acceso 25/07/2020];62(1):45–51. Disponible en:

<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=mdc&AN=15226070&lang=es&site=ehost-live>

7. Helmke K, Hansen HC. Fundamentals of transorbital sonographic evaluation of optic nerve sheath expansion under intracranial hypertension II. Patient study. *Pediatric radiology* 1996 [acceso 25/07/2020];26(10):706–10. Disponible en:

<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=mdc&AN=8805600&lang=es&site=ehost-live>

8. Rossich Verdés R. Avances en neuromonitorización. *Rev Esp Pediatr.* 2017 [acceso 25/07/2020];73(Supl. 1):59-61. Disponible en: <https://secip.com/wp-content/uploads/2018/04/7-actualizacion-en-tce-grave.pdf>

9. Hardcastle N, Benzon HA, Vavilala MS. Update on the 2012 guidelines for the management of pediatric traumatic brain injury-information for the anesthesiologist. *Paediatr anaesthesia.* 2014 [acceso 25/07/2020];24(7):703–10. Disponible en:

<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=mdc&AN=24815014&lang=es&site=ehost-live>

10. Reisner A, Ralston AK, Vats A, Sawvel MS, Blackwell LS. Commentary: Guidelines for the Management of Pediatric Severe Traumatic Brain Injury, Third Edition: Update of the Brain Trauma Foundation Guidelines [executive summary]. *Neurosurgery.* 2019 [acceso 25/07/2020];85(2):E384–5. Disponible en:

<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=mdc&AN=31173145&lang=es&site=ehost-live>

11. Carney N, Totten AM, O'Reilly C, Ullman JS, Hawryluk GW, **Bell MJ**. Guidelines for the Management of Severe Traumatic Brain Injury. Fourth Edition. *Neurosurgery.* 2017;80(1):6-15. DOI: <https://doi.org/10.1227/NEU.0000000000001432>

12. Ducrocq X, Hassler W, Moritake K, Newell DW, von Reutern GM, Shiogai T, *et al*. Consensus opinion on diagnosis of cerebral circulatory arrest using Doppler-sonography: Task Force Group on cerebral death of the Neurosonology Research Group of the World Federation of Neurology. *J neurol sci.* 1998 [acceso 25/07/2020];159(2):145–50. Disponible en:

<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=mdc&AN=9741398&lang=es&site=ehost-live>

13. Kochanek PM, Tasker RC, Carney N, Totten AM, Adelson PD, Selden NR, *et al.* Guidelines for the Management of Pediatric Severe Traumatic Brain Injury, Third Edition: Update of the Brain Trauma Foundation Guidelines [executive summary]. *Neurosurgery*. 2019 [acceso 25/07/2020];84(6):1169–78. Disponible en: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=mdc&AN=30822776&lang=es&site=ehost-live>
14. Hassler W, Steinmetz H, Pirschel J. Transcranial Doppler study of intracranial circulatory arrest. *J neurosurg*. 1989 [acceso 25/07/2020];71(2):195–201. Disponible en: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=mdc&AN=2664095&lang=es&site=ehost-live>
15. Bonow RH, Barber J, Temkin NR, Videtta W, Rondina C, Petroni G, *et al.* The Outcome of Severe Traumatic Brain Injury in Latin America. *World neurosurg*. 2018 [acceso 25/07/2020];111:e82–90. Disponible en: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=mdc&AN=29229352&lang=es&site=ehost-live>
16. Chesnut RM, Temkin N, Carney N, Dikmen S, Rondina C, Videtta W. A trial of intracranial-pressure monitoring in traumatic brain injury. *N Engl J Med*. 2012;367(26):2471-2481. DOI: [10.1056/NEJMoa1207363](https://doi.org/10.1056/NEJMoa1207363)
17. Le Roux P. Intracranial pressure after the BEST TRIP trial: a call for more monitoring. *Current opinion in critical care*. *Curr Opin Crit Care*.2014;20(2):141-7. DOI: [10.1097/MCC.0000000000000078](https://doi.org/10.1097/MCC.0000000000000078)
18. Llompart-Pou JA, Barea-Mendoza JA, Sánchez-Casado M, González-Robledo J, Mayor-García DM, Montserrat-Ortiz N, *et al.* Neuromonitoring in the severe traumatic brain injury. Spanish Trauma ICU Registry (RETRAUCI). *Neurocirugia (Asturias, Spain)*. 2020 [acceso 25/07/2020];31(1):1–6. Disponible en: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=mdc&AN=31466814&lang=es&site=ehost-live>
19. Roatta A, Welti R. Efecto Doppler para pulsos y su representación en el plano (x, t). *Rev Brasileira Ensino de Física*. 2009 [acceso 25/07/2020];31(1):1304. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/MCKccdGHHkLWh378RYZ5dSf/?format=pdf&lang=es>

20. Yoneda S, Nishimoto A, Nukada T, Kuriyama Y, Katsurada K. To-and-fro movement and external escape of carotid arterial blood in brain death cases. A Doppler ultrasonic study. *Stroke*. 1974 [acceso 25/07/2020];5(6):707–13. Disponible en: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=mdc&AN=4279475&lang=es&site=ehost-live>
21. Dosemeci L, Dora B, Yilmaz M, Cengiz M, Balkan S, Ramazanoglu A. Utility of transcranial doppler ultrasonography for confirmatory diagnosis of brain death: two sides of the coin. *Transplantation*. 2004 [acceso 25/07/2020];77(1):71–5. Disponible en: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=mdc&AN=14724438&lang=es&site=ehost-live>.
22. Zhou J, Li J, Ye T, Zeng Y. Ultrasound measurements versus invasive intracranial pressure measurement method in patients with brain injury: a retrospective study. *BMC Med Imag*. 2019 [acceso 25/07/2020];19(1):53. Disponible en: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=mdc&AN=31277606&lang=es&site=ehost-live>
23. Sahuquillo J, Poca MA, Arribas M, Garnacho A, Rubio E. Interhemispheric supratentorial intracranial pressure gradients in head-injured patients: are they clinically important? *J neurosurg*. 1999 [acceso 25/07/2020];90(1):16–26. Disponible en: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=mdc&AN=10413151&lang=es&site=ehost-live>.
24. Forsyth R, Baxter P, Elliott T. Routine intracranial pressure monitoring in acute coma. *The Cochrane database of systematic reviews*. 2001 [acceso 25/07/2020];3:CD002043. Disponible en: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=mdc&AN=11687010&lang=es&site=ehost-live>
25. White H, Venkatesh B. Applications of transcranial Doppler in the ICU: a review. *Intens care med*. 2006 [acceso 25/07/2020];32(7):981–94. Disponible en: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=mdc&AN=16791661&lang=es&site=ehost-live>
26. Brandi G, Béchir M, Sailer S, Haberthür C, Stocker R, Stover JF. Transcranial color-coded duplex sonography allows to assess cerebral perfusion pressure noninvasively following severe

traumatic brain injury. Acta neurochirurg. 2010 [acceso 25/07/2020];152(6):965–72. Disponible en:

<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=mdc&AN=20379747&lang=es&site=ehost-live>

27. Schmidt EA, Czosnyka M, Gooskens I, Piechnik SK, Matta BF, Whitfield PC, et al. Preliminary experience of the estimation of cerebral perfusion pressure using transcranial Doppler ultrasonography. J neurol, neurosurg psychiat. 2001 [acceso 25/07/2020];70(2):198–204. Disponible en:

<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=mdc&AN=11160468&lang=es&site=ehost-live>

28. Edouard AR, Vanhille E, Le Moigno S, Benhamou D, Mazoit J-X. Non-invasive assessment of cerebral perfusion pressure in brain injured patients with moderate intracranial hypertension. British j anaesthesia. 2005 [acceso 25/07/2020];94(2):216–21. Disponible en:

<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=mdc&AN=15591334&lang=es&site=ehost-live>

29. O'Brien NF, Maa T, Reuter-Rice K. Noninvasive screening for intracranial hypertension in children with acute, severe traumatic brain injury. J Neurosurg Pediatr. 2015 [acceso 25/07/2020];16(4):420–5. Disponible en:

<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=mdc&AN=26140576&lang=es&site=ehost-live>

30. Blanco P, Abdo-Cuza A. Transcranial Doppler ultrasound in neurocriticalcare. J Ultrasound. 2018;21(1):1-16. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40477-018-0282-9>

31. Trabold F, Meyer PG, Blanot S, Carli PA, Orliaguet GA. The prognostic value of transcranial Doppler studies in children with moderate and severe head injury. Intensive care med. 2004 [acceso 25/07/2020];30(1):108–12. Disponible en:

<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=mdc&AN=14600812&lang=es&site=ehost-live>

32. Ianco, P, Abdo-Cuza, A. Transcranial Doppler ultrasound in the ICU: it is not all sunshine and rainbows. Crit Ultrasound J. 2018;10(2). DOI: <https://doi.org/10.1186/s13089-018-0085-4>

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.