

Doppler transcraneal en neonatos con hidrocefalia como predictor de hipertensión endocraneal. Instituto Autónomo Hospital Universitario de Los Andes. Octubre 2022-julio 2023

Transcranial doppler in neonates with hydrocephalis as a predictor of endocranial hypertension. Autonomous Institute University Hospital of Los Andes. October 2022-july 2023

ZAVALA, NELSON¹; ROJAS, GUSTAVO¹

¹Universidad de Los Andes. Mérida. Venezuela

Autor de correspondencia
nelsonzavala2016nz@gmail.com

Fecha de recepción
05/09/2024

Fecha de aceptación
10/10/2024

Fecha de publicación
01/11/2024

Autores

Zavala, Nelson
Médico Especialista en Imagenología, Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela.
Correo-e: nelsonzavala2016nz@gmail.com
ORCID: <http://orcid.org/0009-0000-9708-9627>

Rojas, Gustavo
Médico Especialista en Imagenología, Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela.
Correo-e: drgerz50@gmail.com

Citación:

Zavala, N. y Rojas, G. (2024). Doppler transcraneal en neonatos con hidrocefalia como predictor de hipertensión endocraneal. Instituto Autónomo Hospital Universitario de Los Andes. Octubre 2022-julio 2023. *GICOS*, 9(3), 179-193

DOI: <https://doi.org/10.53766/GICOS/2024.09.03.13>



RESUMEN

Introducción: los neonatos con hidrocefalia presentan incremento de la presión intracraneal (PIC), la cual requiere ser monitoreada. La medición de la PIC implica usar métodos invasivos, que son costosos y poco prácticos en la clínica diaria. Por ello, existen formas de valorar la PIC en forma no invasiva, con la estimación ultrasonográfica de la velocidad del flujo cerebral y los índices que se construyen a partir de las mismas (pulsatilidad y resistencia, entre otros). **Objetivo:** determinar la sensibilidad del Doppler transcraneal como predictor de hipertensión intracraneal en neonatos con y sin hidrocefalia en el área de Neonatología del Instituto Autónomo Hospital Universitario de Los Andes (IAHULA), octubre 2022-julio 2023. **Método:** estudio analítico transversal. **Resultados:** las mediciones ultrasonográficas en RN con hidrocefalia pueden ser de utilidad diagnóstica. Se obtuvo que los índices de pulsatilidad de las ACA y ACM se asociaron en forma significativa con el diagnóstico previo de hidrocefalia; mientras que los índices de resistencia no lo estuvieron; siendo los valores de los índices de pulsatilidad para la ACA de $1,43 \pm 0,34$ en los RN con diagnóstico previo de hidrocefalia y $1,03 \pm 0,10$ en los controles; mientras que, para la ACM, fueron de $1,45 \pm 0,49$ y $1,04 \pm 0,94$; respectivamente. **Conclusión:** los resultados sugieren que más que el tamaño ventricular, son los cambios de la hemodinámica vascular cerebral, los que pudieran ser adecuados como predictor de HIC en hidrocefalia neonatal.

Palabras clave: hidrocefalia, presión intracraneal, ultrasonido Doppler transcraneal, índice de pulsatilidad, índice de resistencia.

ABSTRACT

Introduction: neonates with hydrocephalus present increased intracranial pressure (ICP), which requires monitoring. Measuring ICP involves using invasive methods, which are expensive and impractical in daily clinical practice. Therefore, there are ways to assess ICP non-invasively, with ultrasonographic estimation of cerebral flow velocity and the indices that are constructed from them (pulsatility and resistance, among others). **Objective:** determine the sensitivity of transcranial Doppler as a predictor of intracranial hypertension in neonates with and without hydrocephalus in the Neonatology area of the Autonomous Institute University Hospital of Los Andes (IAHULA), October 2022-July 2023. **Method:** cross-sectional analytical study. **Results:** Ultrasonographic measurements in newborns with hydrocephalus may be of diagnostic utility. It was found that the pulsatility indices of the ACA and MCA were significantly associated with the previous diagnosis of hydrocephalus; while resistance indices were not; the values of the pulsatility indexes for the ACA were 1.43 ± 0.34 in the NB with a previous diagnosis of hydrocephalus and 1.03 ± 0.10 in the controls; while, for the MCA, they were 1.45 ± 0.49 and 1.04 ± 0.94 ; respectively. **Conclusion:** the results suggest that more than ventricular size, it is the changes in cerebral vascular hemodynamics that could be suitable as a predictor of ICH in neonatal hydrocephalus.

Keywords: hydrocephalus, intracranial pressure, transcranial Doppler ultrasound, pulsatility index, resistance index.

INTRODUCCIÓN

La hidrocefalia es un problema neuroquirúrgico pediátrico común que se caracteriza por la acumulación excesiva de líquido cefalorraquídeo (LCR) y por el agrandamiento del sistema ventricular cerebral, que son el resultado de la alteración en la producción y reabsorción del LCR (Kolarovszki y Zibolen, 2012). Al existir hidrocefalia se presenta reducción del tejido cerebral, disminución de la distensibilidad intracraneal, lo que conlleva a un impacto negativo en el estado y desarrollo neurológico.

Ahora bien, los cambios fisiopatológicos en la circulación cerebral incluyen la compresión de los capilares cerebrales y el estiramiento de las arterias cerebrales, con la correspondiente desregulación de la circulación cerebral, dada por aumento de la resistencia cerebrovascular y disminución del flujo sanguíneo cerebral; además de presentarse cambios en el metabolismo energético (Kolarovszki, 2018).

En este contexto, se requiere de pruebas de imagen que además de ser válidas y confiables, sean prácticas de realizar. Por ello, se puede utilizar la ecografía Doppler transcraneal (DTC; por sus siglas en inglés) como una técnica de monitorización no invasiva, relativamente sencilla, económica y portátil, que no emite radiación y es repetible las veces que sea necesaria. Por lo señalado, se constituye en la prueba de imagen de elección antes de utilizar otras más complejas y costosas. Así, se tiene que la DTC proporciona información de la hemodinámica cerebral, permitiendo conocer la velocidad del flujo sanguíneo cerebral con sus respectivos índices de pulsatilidad (IP) e índice de resistencia (IR) de las arterias cerebrales basales (Kolarovszki y Zibolen, 2012; Kolarovszki, 2018).

Los cambios en la hemodinámica vascular cerebral, en neonatos con hidrocefalia, se caracterizan por existir una buena correlación entre el aumento de la presión intracraneal y los cambios en los parámetros de la curva Doppler, principalmente en cuanto a la disminución de la velocidad del flujo sanguíneo telediastólico y el aumento del índice de resistencia y del índice de pulsatilidad. La monitorización por DTC de la presión intracraneal (PIC) en la hidrocefalia progresiva podría ser importante para determinar el momento óptimo para la implantación de la derivación ventriculoperitoneal; así como para su control y funcionalidad, incluso como un método alternativo de valoración no invasivo de la dinámica intracraneal (Kolarovszki, 2018). En cuanto a la frecuencia de la hidrocefalia, las estimaciones recientes a nivel mundial plantean una incidencia de hidrocefalia congénita de 5,9 por cada 10.000 nacidos vivos, mientras que la incidencia de hidrocefalia neonatal oscila entre 2,5 y 8,2 por cada 10.000 nacidos vivos (Hernández et al., 2020).

La hidrocefalia infantil es una carga enorme para todos los países, mucho más para los países no desarrollados. En Latinoamérica, las causas más comunes están ligadas a un control prenatal inadecuado y la sepsis neonatal. Estas condiciones producen hidrocefalia, como consecuencia del daño del sistema de drenaje del LCR. Ahora bien, a medida que mejoran las técnicas neonatales, se incrementa la tasa de supervivencia de los neonatos, incluyendo a los que cada vez son más inmaduros, lo que conlleva a que los mismos puedan presentar múltiples complicaciones, con una incidencia elevada de hemorragias de la matriz germinal con secuelas de obstrucciones del sistema ventricular, que llegan a producir hidrocefalia y aumento de la presión intracraneal

(Hernández et al., 2020).

La hidrocefalia es una patología que se encuentra entre las primeras causas de morbimortalidad neonatal, ésta conlleva a complicaciones crónicas neurológicas, como la presencia de epilepsia, trastornos del aprendizaje y alteraciones visuales, entre otras. En vista de la necesidad de un estudio económico, sencillo y no invasivo, se considera en la literatura al DTC, como prueba útil para la determinación de los cambios en la hemodinámica cerebral y para ayudar a determinar la presencia de hipertensión intracraneal, en relación con otros métodos invasivos y de imagen, por ejemplo, la tomografía computarizada y la resonancia magnética.

Así, el estudio de la hidrocefalia mediante el Doppler transcraneal en el Hospital Universitario de Los Andes de la ciudad de Mérida de la República Bolivariana de Venezuela, ayudaría a identificar de una manera más precoz, la hipertensión intracraneal en recién nacidos del área de neonatología, lo que supondría la prevención de intervenciones innecesarias y la toma de medidas oportunas tendientes a disminuir las secuelas que para toda la vida puede producir dicha enfermedad.

Gómez (2011) realizó un estudio, en el cual valoró un total de 48 neonatos, 24 sanos y 24 con diagnóstico clínico de hidrocefalia, realizándoseles mediciones del IR de la ACA con y sin maniobras de compresión leve y uniforme de la fontanela anterior por un período de cinco segundos. Entre los principales resultados, se encontró incremento significativo del IR con compresión de la fontanela anterior en los neonatos con hidrocefalia versus los sanos. El promedio del IR sin compresión fue de $0,65 \pm DE 0,11$ y con compresión $0,79 \pm DE 0,12$ en neonatos hidrocefálicos versus los sanos.

Zamora et al. (2014), estudiaron la variabilidad de los índices de resistencia en la arteria cerebral anterior durante la compresión de la fontanela en recién nacidos prematuros y a término, mediante ecografía dúplex transcraneal, encontrando que en los ciento veintinueve ($n= 129$) RN estudiados, el valor inicial promedio del IR fue de $0,70 \pm DE 0,08$ en prematuros y $0,68 \pm DE 0,07$ en los RN a término.

En consecuencia, el objetivo de la investigación fue determinar la sensibilidad del Doppler transcraneal como predictor de hipertensión intracraneal en neonatos con y sin hidrocefalia en el área de Neonatología del Instituto Autónomo Hospital Universitario de Los Andes (IAHULA), octubre 2022-julio 2023.

MÉTODO

Se realizó un estudio analítico, transversal. Se incluyeron en la investigación todos los pacientes, sin distinción de sexo, que nacieron en el IAHULA o que hubieran sido referidos a dicho centro de atención de salud, con y sin diagnóstico de hidrocefalia por estudio transfontanelar previo realizado en el servicio de Neonatología del IAHULA. A dicho grupo de pacientes se les realizó ultrasonido Doppler transcraneal, para obtener mediciones indicadoras de la existencia de hipertensión intracraneal.

Cálculo del tamaño de la muestra: para una muestra de 129 RN sanos, tomando en cuenta un valor de desviación estándar de 0,07 para el Índice de Resistencia (IR) de la arteria cerebral anterior en los mismos, según el

estudio de Zamora et al. (2014), se requiere de una precisión del 3%, para estimar valores significativos del IR en la presente investigación.

Criterios de inclusión:

1. Nacidos vivos en el IAHULA y aquellos que hayan sido referidos a este centro hospitalario.
2. Neonatos pretermino y a término.
3. Sin distinción de sexo.
4. Pacientes con y sin diagnóstico de hidrocefalia en estudio transfontanelar previo por ultrasonido.
5. Con firma del consentimiento informado del representante legal del paciente para participar en la investigación.

Criterios de exclusión:

1. Nacidos vivos con hidrocefalia que tengan condición de insuficiencia cardiaca o respiratoria aguda.
2. No firmar el consentimiento informado para participar en la investigación.
3. Recién nacidos gravemente enfermos.

Sistema de variables

Variables demográficas: edad, sexo.

Variables de los hallazgos por Ultrasonido Doppler Transcraneal (UDTC):

- Anchura del ventrículo lateral a nivel de la hendidura caudotalámica.
- Grado de ventrículomegalia (leve, moderada o severa).
- Índice de resistencia y pulsatilidad de las arterias cerebral media (ACM) y arteria cerebral anterior (ACA).

Otras variables: control prenatal, se consideró como control prenatal inadecuado, el que no recibió ninguna consulta prenatal o que tuvo dos o menos visitas al especialista en obstetricia, médico de cabecera o matrona o comenzó el control después de la décima sexta semana de gestación.

Procedimientos

Se solicitó la autorización correspondiente a los jefes de servicios de los departamentos de Neonatología y Radiología y Diagnóstico por Imágenes del Instituto Autónomo Hospital Universitario de Los Andes (IAHULA), para la realización de este trabajo de investigación. A los representantes de los pacientes, se les

facilitó la información necesaria para participar en el estudio. A los que aceptaron participar, se les proporcionó el documento del consentimiento informado. Se les realizó la entrevista para obtener la información necesaria para llenar el formato de recolección de datos.

Una vez aceptada la participación del RN en el estudio, se procedía a la realización del Doppler transcraneal, a pie de la incubadora con el paciente en decúbito supino, con la cabeza y la espalda ajustables para la elevación, en ambiente térmico adecuado y utilizando gel, con ultrasonido de alta resolución Aloka Hitachi S70 y LOGIQ P5 con transductor intracavitario y lineal multifrecuencial de 7-15 MHZ y guantes desechables. Se hicieron barridos coronales y sagitales, obteniendo imágenes en modo B, color y espectral. Los segmentos arteriales que se insonaron fueron la arteria cerebral anterior (ACA) y la arteria cerebral media (ACM).

El examen tomó aproximadamente 25 minutos para cada paciente y fue realizado por el residente investigador principal del presente estudio. Todos los exámenes se realizaron a través de las ventanas acústicas de la fontanela anterior y transtemporal. La posición de la sonda se insonó de 0° a 10°. La profundidad del volumen de la muestra y la dirección del flujo se ajustaron en relación con la ventana acústica del paciente. Los hallazgos ecográficos fueron registrados en el instrumento de recolección de datos. Por último, todos los datos se incluyeron en una base de datos, para luego realizar el análisis estadístico respectivo.

Análisis estadístico

Con los datos registrados en el formato de recolección de datos se realizó una base de datos con el software SPSS® versión 15.0, para realizar el análisis estadístico. El análisis univariable de las variables cualitativas se presentaron en tablas de frecuencias absolutas y relativas. Para el análisis de las variables cuantitativas se aplicaron las medidas de tendencia central y medidas de dispersión. Se utilizaron pruebas ANOVA, U de Mann-Whitney, Chi-cuadrado. El nivel de significación estadístico se estimó para una $p < 0,05$.

RESULTADOS

Se estudió un total de cuarenta y seis ($n=46$) RN con el objetivo de realizar mediciones de ultrasonido transcraneal Doppler, en un grupo con diagnóstico previo de ventriculomegalia y otro grupo sin dicho diagnóstico. En cuanto al sexo, 56,5% ($n=26$) fueron del femenino y 43,5% ($n= 20$) masculinos (Figura 1).

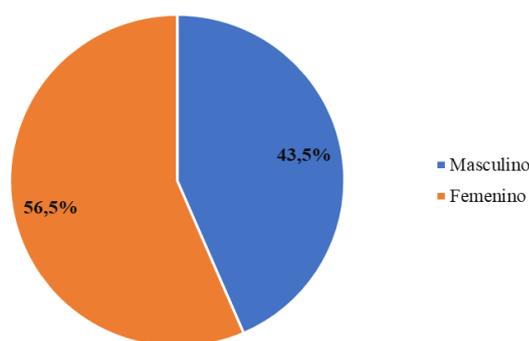


Figura 1.

Distribución porcentual del sexo de RN estudiados

La mediana de la Edad de los RN estudiados fue de 3 días, con una amplitud intercuartil entre 2 a 11,5 días. En cuanto a la condición de prematuridad, estuvo presente en el 67,4% (n=31) de los RN estudiados, con una media de $35,4 \pm DE 2,5$ semanas de gestación (Valor máximo: 40 semanas de gestación; valor mínimo: 30 semanas de gestación) (tabla 1).

Tabla 1.

Distribución de frecuencia de la condición de prematuridad de los RN de la muestra.

<i>Prematuridad</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Sí	31	67,4
No	15	32,6
Total	46	100,0

Fuente: cálculos propios.

El 80,4% (n= 37) de las madres de los RN estudiados tuvieron un control prenatal adecuado de su embarazo (tabla 2).

Tabla 2.

Distribución de frecuencia de la tenencia de control prenatal de los RN de la muestra.

<i>Control prenatal</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Adecuado	37	80,4
Inadecuado	9	19,6
Total	46	100,0

Fuente: cálculos propios.

El grado de anchura del ventrículo lateral a nivel de la hendidura caudotalámica se catalogó como normal, en el 50% (n= 23) de los RN estudiados y como leve, en un 45,6% (n= 21) (tabla 3). La mediana del grado de ancho del ventrículo lateral a nivel de la hendidura caudotalámica fue de 4,5 mm, con una amplitud intercuartil entre 2,9 y 6,1 mm.

Las mediciones por ultrasonido Doppler transcraneal del índice de pulsatilidad de la ACA tuvo un valor promedio de $1,23 \pm DE 0,32$, mientras que el de la ACM se ubicó en $1,24 \pm DE 0,41$; para el total de RN estudiados (n=46). En cuanto al índice de resistencia, para la ACA presentó una mediana de 0,71 con Amplitud intercuartílica (AI) de 0,05 y en la ACM, el valor promedio fue de $0,72 \pm DE 0,07$ (tabla 4).

Tabla 3.

Distribución de frecuencia del grado de anchura del ventrículo lateral a nivel de la hendidura caudotalámica.

<i>Grado de anchura de la hendidura caudotalámica</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Normal (≤ 5 mm)	23	50,0
Leve (5,1-10,0 mm)	21	45,6
Moderado (10,1-15,0 mm)	1	2,2
Severa ($\geq 15,1$ mm)	1	2,2
Total	46	100,0

** Prueba ANOVA; *** Prueba U de Mann-Whitney

Tabla 4.

Índices de pulsatilidad y resistencia de las Arterias cerebral anterior (ACA) y arteria cerebral media (ACM) de los RN estudiados.

Índices de pulsatilidad	Media	DE
Arteria cerebral anterior	1,23	0,32
Arteria cerebral media	1,24	0,41
Índices de resistencia		
Arteria cerebral anterior	0,71 *	0,05 **
Arteria cerebral media	0,72	0,07

* Corresponde al valor de la Mediana; ** Amplitud intercuartil

La condición de prematuridad se asoció significativamente con la tenencia de diagnóstico previo de hidrocefalia ($p=0,005$) (tabla 5). Los índices de pulsatilidad de las ACA y ACM se asociaron en forma significativa con la tenencia de diagnóstico previo de hidrocefalia; mientras que los índices de resistencia no lo estuvieron (tabla 6).

Tabla 5.

Condición de prematuridad según Diagnóstico previo de hidrocefalia, en cifras absolutas, relativas y significación estadística.

Diagnóstico previo de Hidrocefalia	Prematuridad						p *
	Sí		No		Total		
	n	%	n	%	n	%	
Sí	20	64,5	3	20,0	23	50,0	0,005
No	11	35,5	12	80,0	23	50,0	
Total	31	100,0	15	100,0	46	100,0	

* Prueba Chi-cuadrado;

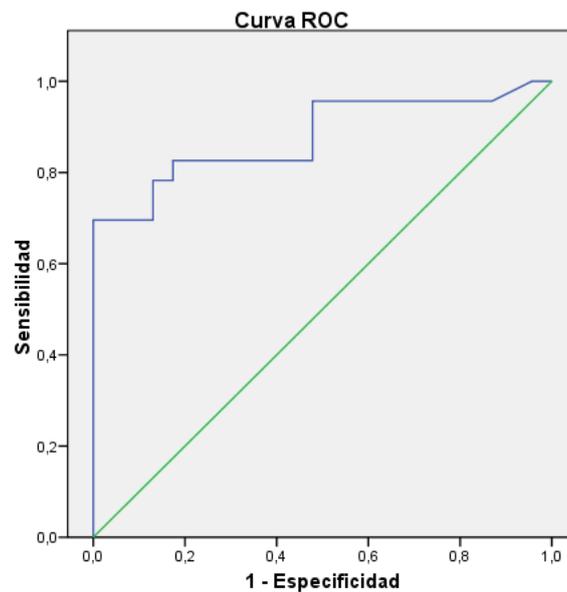
Tabla 6.

Índices de pulsatilidad y resistencia de las Arterias cerebral anterior (ACA) y arteria cerebral media (ACM) de los RN estudiados.

Índices de pulsatilidad	Hidrocefalia	Control	p-valor
	Media ± DE	Media ± DE	
ACA	1,43 ± 0,34	1,03 ± 0,10	< 0,05 **
ACM	1,45 ± 0,49	1,04 ± 0,94	< 0,05 **
Índices de resistencia			
ACA	0,71 (0,14) *	0,71 (0,04) *	0,256 ***
ACM	0,73 ± 0,09	0,70 ± 0,04	0,187 **

DE= Desviación estándar; * Mediana y Amplitud Intercuartil (AI); ** Prueba ANOVA; *** Prueba U de Mann-Whitney

Para el índice de pulsatilidad de la ACA, a través de la curva ROC, se encontró relación con la presencia/ ausencia de hidrocefalia, el índice presenta una capacidad significativa global de predicción de la presencia de diagnóstico previo de hidrocefalia del 87,9% (Figura 2).



Los segmentos diagonales son producidos por los empates.

Figura 2.

Índice de pulsatilidad de la ACA versus presencia/ausencia de Hidrocefalia.

De las coordenadas de la curva ROC, se seleccionó el valor del índice de pulsatilidad de la ACA de 1,14; como punto de corte para detectar la presencia de HIC, porque es el que arroja la mejor relación de sensibilidad y especificidad (78,3% y 87,0%; respectivamente), para la muestra de estudio (Tabla 7).

Tabla 7.

Índice de pulsatilidad de la ACA como predictor de la presencia de Hipertensión intracraneal (HIC), según el Diagnóstico previo de Hidrocefalia.

Índice de pulsatilidad de la ACA	Diagnóstico previo de Hidrocefalia						p**
	Sí		No		Total		
*	n	%	n	%	n	%	
> 1,14 (Sospecha de HIC)	18	78,3	3	13,0	21	45,7	<0,05
≤ 1,14 (No sospecha de HIC)	5	21,7	20	87,0	25	54,3	
Total	23	100,0	23	100,0	46	100,0	

* ACA= Arteria cerebral anterior; ** Prueba chi-cuadrado;

El resto de los indicadores de capacidad diagnóstica de una prueba, con el punto de corte seleccionado, se presentan a continuación de la Tabla 8; destacando el valor de 87,0% para la especificidad.

Tabla 8.

Capacidad del Índice de pulsatilidad de la ACA como predictor de la presencia de HIC.

		Intervalo de confianza al 95%	
		Límite inferior	Límite superior
Prevalencia de la enfermedad	50,0%	35,1%	64,9%
Pacientes correctamente diagnosticados	82,6%	68,1%	91,7%
Sensibilidad	78,3%	55,8%	91,7%
Especificidad	87,0%	65,3%	96,6%
Valor predictivo positivo (VPP)	85,7%	62,6%	96,2%
Valor predictivo negativo (VPN)	80,0%	58,7%	92,4%
Cociente de probabilidades positivo	6,00	2,0	17,6
Cociente de probabilidades negativo	0,25	0,11	0,55

ACA= Arteria cerebral anterior.

Para el índice de pulsatilidad de la ACM, la curva ROC muestra relación con la presencia/ausencia de hidrocefalia, el índice presenta una capacidad significativa global de predicción del Diagnóstico previo de Hidrocefalia del 81,1% (Figura 3).

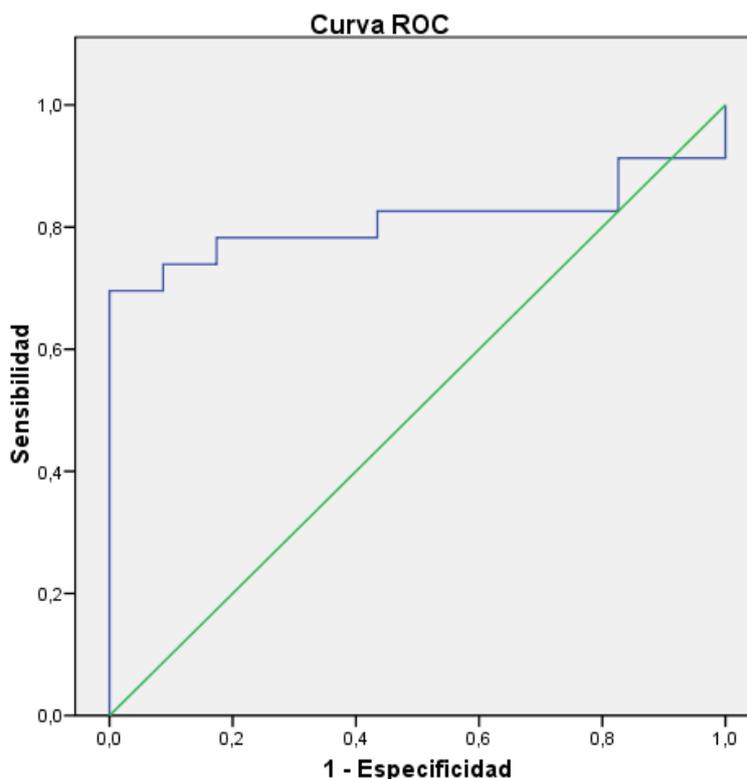


Figura 3.

Índice de pulsatilidad de la ACM versus presencia/ausencia de Hidrocefalia.

De las coordenadas de la curva ROC, se seleccionó el valor del índice de pulsatilidad de la ACM de 1,12; como punto de corte para detectar la presencia de HIC, porque es el que arroja la mejor relación de sensibilidad y especificidad (73,9% y 87,0%; respectivamente), para la muestra de estudio (Tabla 9).

Tabla 9.

Índice de pulsatilidad de la ACM como predictor de la presencia de Hipertensión intracraneal (HIC), según el Diagnóstico previo de Hidrocefalia.

Índice de pulsatilidad de la ACM	Diagnóstico previo de Hidrocefalia						p**
	Sí		No		Total		
*	n	%	n	%	n	%	
> 1,12 (Sospecha de HIC)	17	73,9	3	13,0	20	43,5	<0,05
≤ 1,12 (No sospecha de HIC)	6	26,1	20	87,0	26	56,5	
Total	23	100,0	23	100,0	46	100,0	

* ACM= Arteria cerebral media; ** Prueba chi-cuadrado;

El índice de resistencia de la ACA y ACM no presentaron capacidad significativa diagnóstica para predecir HIC (p= 0,258 y p= 0,056; respectivamente), destaca el valor de 87,0% para la especificidad (tabla 10).

Tabla 10.

Capacidad del Índice de pulsatilidad de la ACM como predictor de la presencia de HIC.

	Intervalo de confianza al 95%		
		Límite inferior	Límite superior
Prevalencia de la enfermedad	50,0%	35,1%	64,9%
Pacientes correctamente diagnosticados	80,4%	65,6%	90,1%
Sensibilidad	73,9%	51,3%	88,9%
Especificidad	87,0%	65,3%	96,6%
Valor predictivo positivo (VPP)	85,0%	61,1%	96,0%
Valor predictivo negativo (VPN)	76,9%	55,9%	90,3%
Cociente de probabilidades positivo	5,67	1,92	16,73
Cociente de probabilidades negativo	0,30	0,15	0,61

* ACM= Arteria cerebral media.

DISCUSIÓN

En esta investigación se encontró que las mediciones no invasivas al lado de la cama en RN con hidrocefalia pueden ser de gran utilidad diagnóstica. Además, se muestra que dichas mediciones pueden proporcionar información importante que no se puede obtener con los indicadores clínicos actuales de Presión intracraneal (PIC) elevada. En particular, el resultado del ultrasonido transfontanelar en modo B, como prueba diagnóstica no invasiva de hidrocefalia, se asoció significativamente con la hipertensión intracraneal. Ante dicha prueba gold estándar, se contrastaron índices vasculares obtenidos por ultrasonido Doppler transcraneal, encontrando que los índices de pulsatilidad de las ACA y ACM se asociaron con la sospecha de hipertensión intracraneal (HIC). Estos resultados piloto sugieren que más que el tamaño ventricular, son los cambios de la hemodinamia vascular cerebral, los que pudieran ser adecuados como predictor de hipertensión intracraneal en hidrocefalia neonatal.

Por tanto, el aumento de la acumulación de LCR en niños con hidrocefalia conduce a un aumento de la presión intracraneal, dilatación de los ventrículos cerebrales, disminución de la distensibilidad intracraneal

y reducción del tejido cerebral con un impacto negativo en el estado neurológico del niño y su desarrollo neurológico en el futuro. La alteración de la circulación cerebral incluye la compresión de los capilares cerebrales, el estiramiento de las arterias cerebrales, la desregulación de la circulación cerebral, el aumento de la resistencia cerebrovascular y la disminución del flujo sanguíneo cerebral. Por este planteamiento, se requiere del potencial de la ecografía Doppler transcraneal, para analizar el flujo sanguíneo en las arterias cerebrales, con lo que se permite realizar una evaluación no invasiva de los parámetros hemodinámicos de la circulación cerebral (Kolarovszki, 2018).

Así, aún no se ha establecido un método no invasivo para distinguir la elevación de la PIC en RN con hidrocefalia, a pesar de la importancia clínica de este problema. En este sentido, existe literatura que indica que las diferencias sutiles de la PIC se pueden distinguir usando el índice de pulsatilidad y el índice de resistencia con compresión de fontanela. Por esta razón, se requieren estudios de validación de la velocimetría Doppler con y sin compresión de fontanelas, para optimizar, entre otros aspectos, la indicación y el momento del drenaje paliativo y permanente de LCR (Zamora et al., 2014).

En el presente estudio, los índices de pulsatilidad de las ACA y ACM se asociaron en forma significativa con la tenencia de diagnóstico previo de hidrocefalia; mientras que los índices de resistencia no lo estuvieron; siendo los valores promedio de los índices de pulsatilidad para la ACA de $1,43 \pm DE 0,34$ en los RN con diagnóstico previo de hidrocefalia y de $1,03 \pm DE 0,10$ en los controles; mientras que para la ACM, fueron de $1,45 \pm DE 0,49$ y $1,04 \pm DE 0,94$; respectivamente. En cuanto a los IR, hubo poca variabilidad en sus valores (ACA: $0,71 (0,14)$ en RN con hidrocefalia versus $0,71 (0,04)$ en los RN control y ACM: $0,73 \pm DE 0,09$ versus $0,70 \pm DE 0,04$).

Para comparar los resultados de la presente investigación, se tiene el estudio de Goh et al. (1992) quienes realizaron un estudio titulado: “Índice de resistencia cerebro vascular evaluado mediante ecografía Doppler dúplex y su relación con la presión intracraneal en la hidrocefalia infantil”, encontrando una correlación positiva y estadísticamente significativa de una media de 0,90 del IR antes de que fueran sometidos a punción lumbar; mientras que Horikawa (1991), reportó cambios del índice de pulsatilidad (IP) para la ACA, con incremento con la progresión de la hidrocefalia, desde un promedio de 0,69 a 0,80.

Nadvi et al. (1994), reportan lecturas seriadas del IP usando Eco Doppler transcraneal, encontrando en 15 RN normales, una media de 30 lecturas (a cada lado) de 0,67; mientras que el IP preoperatorio medio en los 15 niños con hidrocefalia fue de 1,20 (DE = 0,35). Gómez (2011), en población de neonatos venezolanos, comunica que, en la valoración de un total de 48 neonatos, 24 con diagnóstico clínico de hidrocefalia y 24 sanos, el promedio del IR de la ACA sin compresión fue de $0,65 \pm DE 0,11$ y $0,64 \pm DE 0,06$; respectivamente. Como referencia más reciente, se encuentra la investigación de Kolarovszki (2018), como un estudio direccionado a identificar valores referenciales de IP de la ACM en niños con hidrocefalia con sistema de drenaje interno funcional, reportando un valor promedio de IP de 1,23 en niños con edades entre 0 a 3 meses.

Como puede resumirse de los resultados de los antecedentes mostrados, se carece de homogeneidad en los

resultados de las mediciones de los IR y del IP en neonatos con hidrocefalia; mucho menos existen valores de punto de corte establecidos con prueba estadística de Área Bajo La Curva (ABC). Por lo último señalado, se resalta que, en la presente investigación, el IP de la ACA y el IP de la ACM se comportaron como pruebas con una buena y significativa capacidad diagnóstica predictiva de HIC. Por ello, las coordenadas de la curva ROC permitieron escoger un punto de corte que funcione bien, tanto para detectar la sospecha de HIC en quienes la tengan (sensibilidad de 78,3% y 73,9%; respectivamente), como para descartar la sospecha de HIC en aquellos RN que no la tengan (especificidad del 87,0%).

En este sentido, es relevante acotar que los índices Doppler de las arterias cerebrales se han utilizado como una herramienta sencilla para evaluar la alteración de la perfusión cerebral en lactantes. Aun cuando se desconoce el mecanismo por el cual la PIC elevada induce un aumento de los índices de pulsatilidad y resistencia (IP e IR). Se piensa que la dilatación ventricular excesiva y la subsiguiente elevación de la PIC alteran la velocidad del flujo diastólico en las arterias cerebrales, lo que lleva a un aumento de dichos índices ecográficos (Zamora et al., 2014).

En cuanto a los puntos de corte para definir aumento de la PIC, se tiene que los valores de IR superiores a 0,85 sugieren un aumento de la PIC; mientras que valores de IR superiores a 1,0 indican perfusión alterada en lactantes con dilatación ventricular post hemorrágica, siempre que el conducto arterioso esté cerrado (Zamora et al., 2014).

Aunque los índices Doppler se pueden repetir de forma no invasiva al lado de la cama, su precisión diagnóstica es limitada, porque los patrones de flujo diastólico dependen de una variedad de condiciones clínicas intrínsecas y extrínsecas distintas de la PIC, incluido el contenido de gases en sangre, la función cardíaca y el estado del conducto arterioso. Además, la influencia de la elevación leve a moderada de la PIC en el patrón de flujo diastólico podría contrarrestarse mediante la regulación compensatoria del tono vascular (Zamora et al., 2014).

En este sentido, es relevante señalar que el segmento M1 de la arteria cerebral media es el mejor sitio para valorar los índices espectrales, debido a que proporciona patrones de velocimetría relativamente más estables (especialmente en comparación con la arteria cerebral anterior), presumiblemente porque este segmento de la ACM forma una línea recta relativamente larga que apunta hacia el transductor (Zamora et al., 2014).

Un aspecto importante de tener en cuenta con los índices de hemodinamia cerebral es que los mismos pueden variar de acuerdo con el tipo de la hidrocefalia. Así, se ha encontrado valores del IP de la ACM y del IR de la ACM significativamente más altos en hidrocefalia progresiva con necesidad de procedimiento de drenaje; mientras que esos mismos índices no aumentaron, en los casos con hidrocefalia compensada (también conocida como hidrocefalia detenida (Kolarovszki, 2018). Por lo tanto, el desconocer el tipo de hidrocefalia que presentaban los RN del presente estudio, pudiera ser un factor que explique la falta de significancia de los IR para predecir HIC.

Así, se tiene que Córdova (2016), en cuanto al desarrollo de hidrocefalia, plantea que se clasifica en tres formas: dilatación ventricular progresiva, dilatación ventricular no progresiva y falta de dilatación; explicando

que en el caso de un paciente de su investigación titulada: Ultrasonido Doppler Transfontanelar como método diagnóstico factible para la predicción de sangrado de matriz germinal en el recién nacido prematuro en el Hospital Zambrano Hellion y el Hospital Metropolitano “Dr. Bernardo Sepúlveda”; encontró elevación del índice de resistencia en la Arteria Basilar y en la ACM; mientras que en la ACA no hubo elevación tan significativa, localizándose en el límite superior de normalidad. Así, dicho hallazgo lo vincula como un comportamiento secundario al aumento en la presión intracraneal, el cual condiciona resistencia al flujo arterial y por ende disminución en el flujo diastólico; por lo que, si la presión intracraneal se mantiene elevada, se generaría flujo diastólico invertido, por debajo de la línea de base. En definitiva, este hallazgo es indicativo de lo variable que puede ser la medición del IR cuando existe progresión en el desarrollo de la hidrocefalia.

Los resultados en pediatría mostraron la importancia de la ecografía Doppler transcraneal para la indicación del procedimiento de drenaje en niños con hidrocefalia. Sin embargo, los autores enfatizan la importancia de la evaluación individual y cuidadosa de los parámetros Doppler de la circulación cerebral con respecto a la hidrocefalia infantil en la práctica clínica.

Las limitaciones de la presente investigación se debieron a la reproducibilidad de la técnica, particularmente en lo que respecta a la aplicación de la misma, que aun cuando fue por un solo operador, se le reconoce que requiere de una curva de aprendizaje exigente. En este sentido, el poder minimizar la variabilidad adhiriéndose a una técnica enseñada por un neurorradiólogo pediátrico experimentado, es una recomendación plausible. A pesar de este señalamiento, se destaca que el procedimiento de medición de los parámetros de ultrasonografía transcraneal, se mantuvo lo más simple posible, consistiendo en la obtención de una medida de IP e IR regular de la ACA y ACM.

CONCLUSIONES

- Los RN con diagnóstico previo de hidrocefalia tuvieron mayor riesgo de tener sospecha de hipertensión intracraneal.
- Los grados de ventriculomegalia encontrados fueron mayormente de tipo leve, lo que debe haber influido al momento de comparar los resultados de dichos grados sobre la hemodinámica cerebral.
- Los valores del índice de resistencia de la arteria cerebral media y anterior no fueron significativos como predictores de hipertensión intracraneal en neonatos con hidrocefalia.
- Los índices de pulsatilidad de las ACA y ACM arrojaron valores promedio de $1,43 \pm DE 0,34$ y $1,45 \pm DE 0,49$; en los RN con diagnóstico previo de hidrocefalia. Dichos valores promedio se pueden considerar como relacionados con presencia de HIC moderada.
- La sensibilidad del Doppler transcraneal osciló entre el 73% y el 79%, como predictor de hipertensión intracraneal en neonatos con y sin hidrocefalia, atendidos en el servicio de Neonatología del IAHULA, durante el período octubre 2022-julio 2023.

RECOMENDACIONES

- Proponer la realización de entrenamientos y calibraciones periódicas del personal encargado de hacer los estudios de ultrasonografía Doppler transcraneal.
- Conocer el tipo de hidrocefalia que presenten los RN y niños sometidos a estudios de ultrasonografía Doppler transcraneal.
- Establecer la utilidad de la ultrasonografía Doppler transcraneal en los casos de RN y niños que requieren la colocación y mantenimiento de sistemas de drenaje de LCR.

CONFLICTO DE INTERÉS

El autor declara no presentar conflictos de interés.

REFERENCIAS

- Córdova, J. (2016). *Ultrasonido doppler transfontanelar como método diagnóstico factible para la predicción de sangrado de matriz germinal en el recién nacido prematuro en el Hospital Zambrano Hellion y el Hospital Metropolitano” Dr. Bernardo Sepúlveda”*. Escuela de Medicina y Ciencias de la Salud. Tecnológico de Monterrey, México.
- Goh, D., Minns, R., Hendry, G., Thambyayah, M., & Steers A. (1992). Cerebrovascular resistive index assessed by duplex Doppler sonography and its relationship to intracranial pressure in infantile hydrocephalus. *Pediatr Radiol*; 22(4), 246-250. DOI: 10.1007/BF02019849
- Gómez, S. (2011). *El ultrasonido Doppler transfontanelar en la medición del índice de resistencia de la arteria cerebral anterior, con y sin maniobras de compresión de la fontanela anterior en neonatos con hidrocefalia*. Postgrado en Radiología y Diagnóstico por Imágenes, Universidad de Los Andes, Venezuela.
- Hernández, D., Blanco, M., y Almeida, S. (2020). Factores asociados a hidrocefalia congénita. *Revista Médica Electrónica*, 42(1), 1-15. <https://revmedicaelectronica.sld.cu/index.php/rme/article/view/3044>
- Horikawa, M. (1991). Usefulness of Doppler method for evaluating intracranial hemodynamics in infantile hydrocephalus. *No To Hattatsu*; 23(2), 200-206. Japanese.
- Kolarovszki, B., & Zibolen, M. (2012). Transcranial doppler ultrasonography in the management of neonatal hydrocephalus. In S. Pant & I. Cherian (Ed.). *Hydrocephalus*. Rijeka: InTech (pp. 131-152). DOI: 10.5772/32711
- Kolarovszki B. (2018). Cerebral hemodynamics in pediatric hydrocephalus: evaluation by means of transcranial doppler sonography. In T. Aslanidis (Ed.). *Highlights on Hemodynamics*. IntechOpen. DOI: 10.5772/intechopen.79559
- Nadvi, S., Du Trevou, M., Van Dellen, J., & Gouws, E. (1994). The use of transcranial Doppler ultrasonography as a method of assessing intracranial pressure in hydrocephalic children. *Br J Neurosurg*; 8(5), 573-577. DOI: 10.3109/02688699409002950.
- Zamora, C., Tekes, A., Alqahtani, E., Kalayci, O., Northington, F., & Huisman, T. (2014). Variability of resistive indices in the anterior cerebral artery during fontanel compression in preterm and term neonates measured by transcranial duplex sonography. *Journal of perinatology: official journal of the California Perinatal Association*, 34(4), 306–310. <https://doi.org/10.1038/jp.2014.11>