

Alteraciones en el flujo sanguíneo cerebral luego de un paro cardiorrespiratorio en Pediatría. Utilidad del Doppler transcraneal en un episodio de casi ahogamiento: serie de casos

LAURA V. FIGUEROA, MAURO TASSIN, GERMÁN H. KALTENBACH, PABLO LLARENA
Servicio de Cuidados Críticos Pediátricos, Hospital Provincial de Neuquén
"Dr. Eduardo Castro Rendón", Neuquén, Argentina

Correspondencia:

Dra. Laura V. Figueroa
lauritafigueroa@yahoo.com.ar

Los autores no declaran conflictos de intereses.

Palabras clave

- Doppler transcraneal
- Casi ahogamiento
- Hipoperfusión
- Hipertensión intracraneal
- Autorregulación cerebral alterada

Resumen

Un episodio de casi ahogamiento es un problema serio de salud pública en todo el mundo; en algunas publicaciones representa la segunda o tercera causa de morbimortalidad dentro de las causas accidentales. Nuestro objetivo es presentar los patrones sonográficos observados en el Doppler transcraneal de seis pacientes víctimas de un episodio de casi ahogamiento, luego de la recuperación de la circulación espontánea, así como su respuesta a intervenciones, como mejora de la presión arterial media y la autorregulación. Se presentan seis niños con un puntaje de Glasgow <8/15. En tres pacientes, se observó un patrón de hipoperfusión severa con velocidades medias y velocidades diastólicas bajas y un índice de pulsatilidad alto. El patrón de hipoperfusión se caracteriza por velocidades medias y diastólicas bajas para la edad, con índices de pulsatilidad altos.

El Doppler transcraneal puede ser una herramienta de neuromonitoreo que permita detectar la hipoperfusión cerebral secundaria en víctimas de un episodio de ahogamiento inminente.

Key words

- Transcranial Doppler ultrasound
- Near-drowning
- Hypoperfusion
- Intracranial hypertension
- Impaired cerebral autoregulation

Abstract

Near-drowning is a serious public health problem worldwide; in some cases, it represents the second or third cause of morbidity and mortality by accidental causes. Our objective is to report sonography patterns observed during transcranial Doppler studies in six near-drowning victims after spontaneous circulation recovery, as well as their response to interventions, such as mean blood pressure and autoregulation improvement. We present six patients with a Glasgow score of $<8/15$. In three patients, a severe hypoperfusion pattern was observed with low mean and diastolic flow velocities, and a high pattern of pulsatility. Hypoperfusion pattern is characterized by low mean and diastolic flow velocities according to age, and high patterns of pulsatility.

Transcranial Doppler sonography may be a neuromonitoring instrument for the detection of secondary cerebral hypoperfusion in near-drowning victims.

Introducción

El casi ahogamiento es un problema serio de salud pública en todo el mundo; en algunas publicaciones representa la segunda o tercera causa de morbimortalidad dentro de las causas accidentales.^{1,2}

Un 10% de los pacientes que sobreviven a un casi ahogamiento tendrá daño cerebral permanente. Los principales factores determinantes serán la duración y la gravedad del daño hipóxico-isquémico. Posteriormente, puede desarrollarse un edema cerebral que afecta la perfusión tisular y exacerba aún más el daño.^{3,4}

Inmediatamente después del paro cardíaco, hay alteraciones en la oxigenación, el metabolismo y el flujo sanguíneo cerebral.⁴ Se produce, además, una pérdida de la autorregulación cerebral.

El Doppler transcraneal es una técnica de monitorización no invasiva que proporciona información sobre la hemodinamia cerebral y permite conocer la velocidad del flujo sanguíneo cerebral en las principales arterias intracraneales.⁵

El estudio se basa en el efecto Doppler que, cuando un haz de ultrasonido de una frecuencia determinada incide sobre un punto en movimiento, en este caso, el hematíe, la frecuencia de onda recibida difiere de la transmitida. Este cambio de frecuencia es proporcional a la velocidad de los hematíes y depende, además, del ángulo de incidencia entre el haz de ultrasonido y el vaso sanguíneo, de la frecuencia de emisión del transductor y de la velocidad de transmisión del sonido. El equipo procesa la información recibida y ofrece una señal audible y una imagen visual sobre un eje X/Y, donde el eje X representa el tiempo y el Y, la velocidad en cm/segundo. A partir de esta onda, se cuantifican la velocidad sistólica, la velocidad diastólica (VD) y la velocidad media (VM).⁵

En niños, las velocidades del flujo aumentan, en forma lineal, durante los dos primeros meses de vida, y alcanzan un pico máximo alrededor de los 6 años, llegando hasta casi cuatro veces el valor del recién nacido.

El índice de pulsatilidad (IP) es un índice que informa de la resistencia vascular cerebral distal al territorio tisular irrigado (Figura 1).⁵

Nuestro objetivo es presentar los patrones sonográficos observados en el Doppler transcraneal de seis pacientes víctimas de casi ahogamiento, luego de la recuperación de la circulación espontánea, así como también su respuesta a intervenciones, como mejora de la presión arterial media y autorregulación.

Casos clínicos

Se presentan seis niños víctimas de un ahogamiento inminente que sufrieron un paro cardiorrespiratorio y, luego de recuperar la circulación espontánea, continuaron con un puntaje de Glasgow $<8/15$, estos pacientes ingresaron en nuestro Servicio de Terapia Intensiva, entre 2014 y 2018. Sus características se describen en la Tabla 1. La media de la edad era de 21 meses.

El estudio de Doppler transcraneal se realizó utilizando un equipo DWL con una sonda de Doppler pulsado de 2 MHz de frecuencia. A través de ambas ventanas transtemporales, se exploraron la velocidad, la dirección y la presencia de flujo en las arterias cerebrales medias, y se registraron las VM y el IP.

El primer Doppler transcraneal se efectuó cuando el paciente ingresó (dentro de las primeras 6 h del evento) y el segundo Doppler, dentro de las 24 h del evento.

Las velocidades normales para el rango de edad comprendido en esta serie (de 16 a 30 meses) son VM en la arteria cerebral media: 85 cm/s (desviación es-

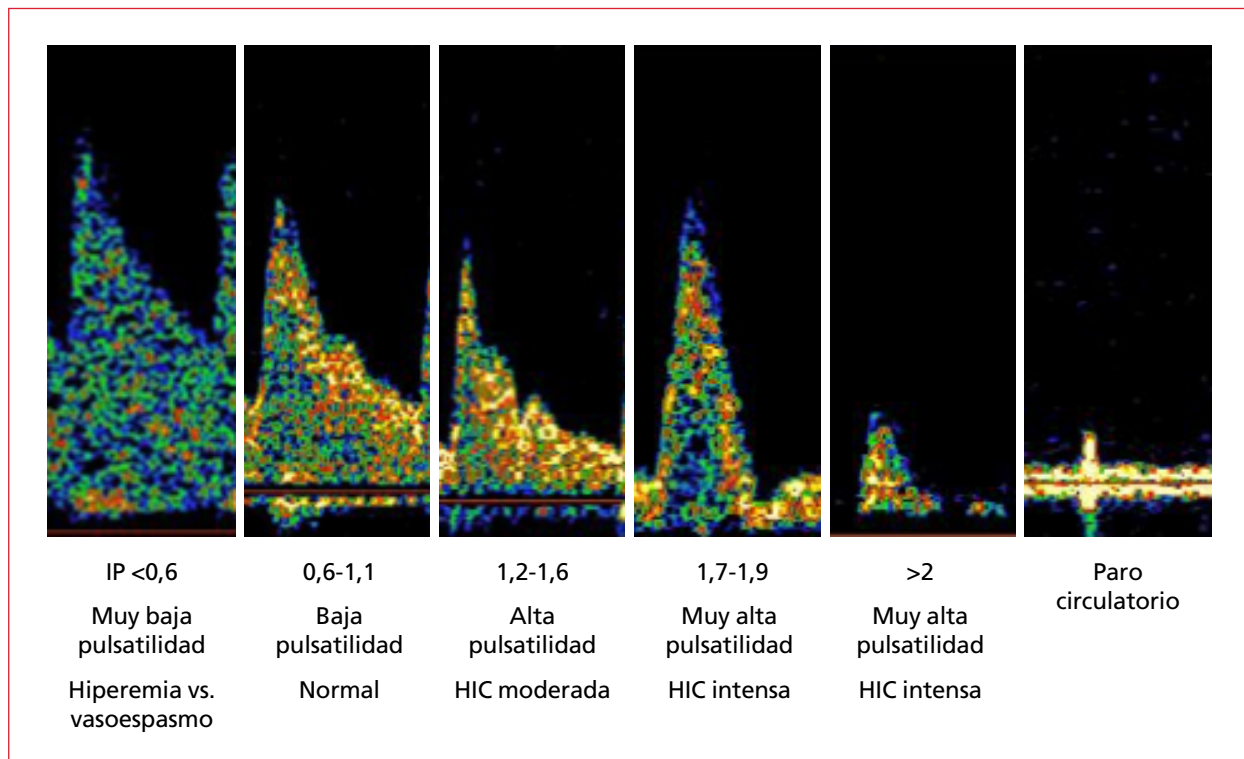


Figura 1. Posibilidades de patrones de velocidad del flujo sanguíneo cerebral con el Doppler transcraneal. HIC = hipertensión intracraneal; IP = índice de pulsatilidad.

TABLA 1
 Características de los pacientes al ingresar

Paciente	Edad (meses)	Tiempo de sumersión	RCP en el lugar	Tiempo de PCR	Tiempo hasta el ingreso en el hospital	Pupilas	Puntaje de Glasgow	Ácido láctico	Primer Doppler	Segundo Doppler	PCPCS a los 6 meses
1	16	Desconocido	No	45 min	31,9	Mióticas Arreactivas	4/15	16,6	3 h	16 h	3
2	22	Desconocido	No	40 min	32,4	Midriáticas Arreactivas	3/15	9,7	2 h	15 h	5
3	22	Desconocido	10 min	15 min	38,2	Mióticas Reactivas	6/15	4,2	6 h	24 h	1
4	19	Desconocido	No	60 min	33	Intermedias Reactivas	3/15	7	6 h	18 h	6
5	30	5 min	No	10 min	37,5	Intermedias Reactivas	6/15	1,4	4 h	20 h	2
6	19	Desconocido	No	60 min	33	Intermedias Reactivas	4/15	13,1	14 h	36 h	5

RCP = reanimación cardiopulmonar, PCR = paro cardiorrespiratorio, PCPCS = Pediatric Cerebral Performance Category Scale.

tándar 10), VD en la arteria cerebral media: 65 cm/s (desviación estándar 11).⁶

Los resultados obtenidos con el Doppler transcraneal se detallan en la Tabla 2.

En cinco pacientes, se observó un patrón de hipoperfusión, con altas resistencias (VM y VD bajas e IP alto) en el primer registro Doppler, realizado en las primeras 6 horas.

TABLA 2
 Resultados de los estudios de Doppler transcraneal

Primer Doppler antes de la intervención							
Paciente	VMd	VMi	VDd	VDi	IP	PAM	PCO ₂
1	23	22	0	0	2.6	75	35
2	15	11	0	0	3.3	70	39
3	50	80	18	24	1.8	65	42
4	44	15	18	0	3.1	55	42
5	46	47	17	17	2.1	68	38
6	67	63	42	38	1.1	49	38

Posintervención: aumento de la presión arterial media							
Paciente	VMd	VMi	VDd	VDi	IP	PAM	PCO ₂
1	41	40	21	21	1,6	84	39
2	38	24	25	15	1,2	80	40
3	91	108	59	61	1	75	38
4	41	61	24	37	1	70	38
5	52	54	24	28	1.5	90	39
6							

Segundo Doppler							
Paciente	VMd	VMi	VDd	VDi	IP	PAM	Horas del primer Doppler
1	79	77	43	43	1,1	57	16
2	108	94	70	66	0,7	99	15
3	86	107	54	58	0,8	56	24
4	53	38	35	21	1.3	65	18
5	134	121	82	68	0.9	80	20
6	101	91	59	54	0.9	57	36

VMd = velocidad media derecha, VMi = velocidad media izquierda, VDd = velocidad diastólica derecha, VDi = velocidad diastólica izquierda, IP = índice de pulsatilidad, PAM = presión arterial media, PCO₂ = presión parcial de dióxido de carbono.

En un paciente, el primer Doppler se efectuó a las 12 h, y mostró una disminución de las VM, pero con un IP normal.

Los seis pacientes presentaban autorregulación cerebral dinámica abolida al ingresar.

En el segundo Doppler realizado entre las 15 y 24 h del ingreso, se observó una mejoría de las velocidades y el IP. En un paciente, no hubo mejoría a las 24 h del ingreso, presentó signos de herniación uncal y, posteriormente, falleció.

En el segundo Doppler, un paciente tenía VM altas con un IP normal, datos interpretados como hipertemia.

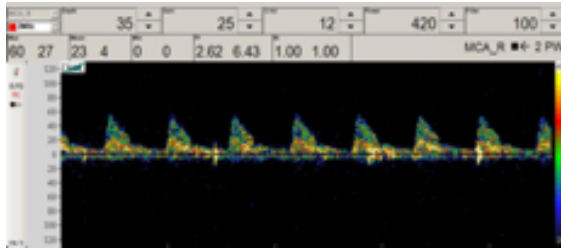
Luego del primer monitoreo con Doppler transcraneal, se mejoró la presión arterial media con noradrenalina, y se observó una mejora de las velocidades y una disminución del IP, tras esta intervención.

En nuestra serie de casos, los tres pacientes con patrón de velocidades de normales a bajas y un paro cardiorrespiratorio <30 min no sufrieron secuelas neurológicas.

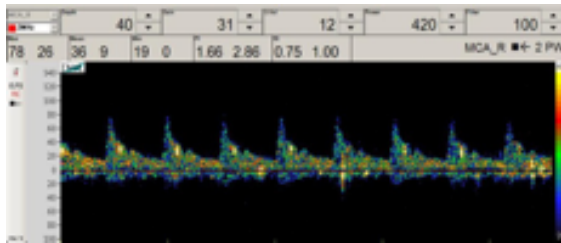
En los tres pacientes con hipoperfusión severa, la secuela neurológica fue de moderada a grave, medida con la Pediatric Cerebral Performance Category Scale.⁷

En las Figuras 2 y 3, se muestran los patrones de Doppler transcraneal.

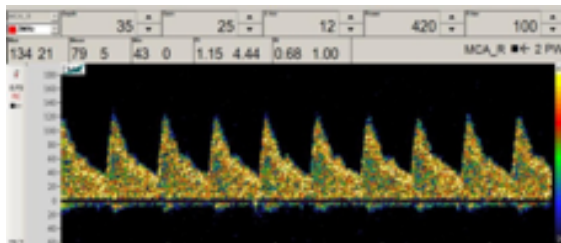
Paciente 1



Antes de la intervención.

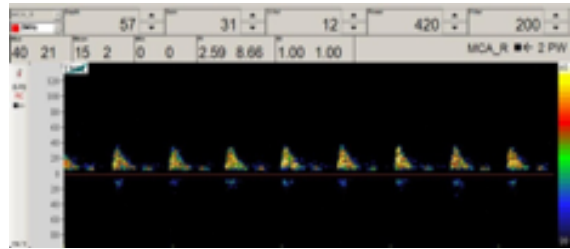


Primer Doppler transcranial postintervención.

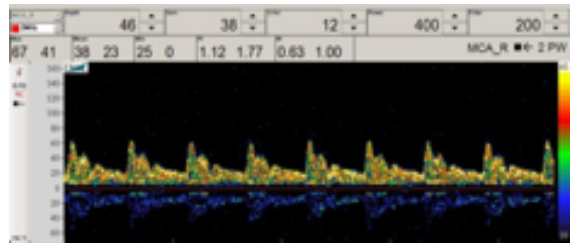


Segundo Doppler transcranial postintervención.

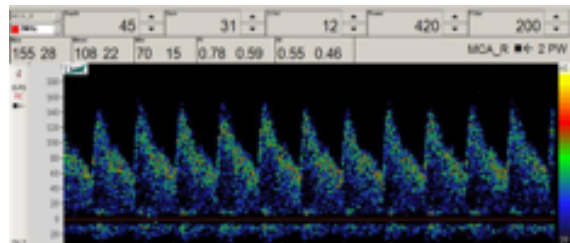
Paciente 2



Antes de la intervención.

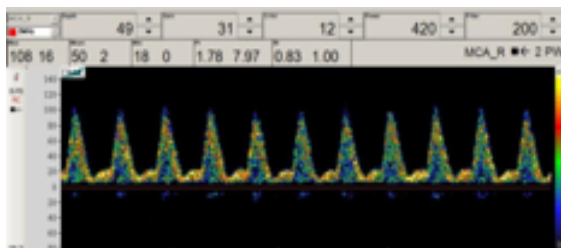


Primer Doppler transcranial postintervención.

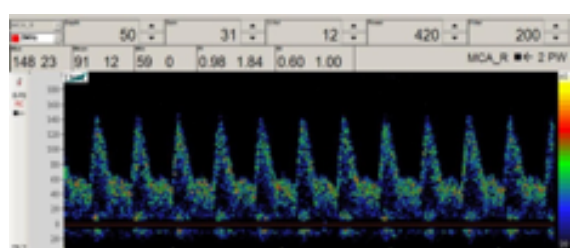


Segundo Doppler transcranial postintervención.

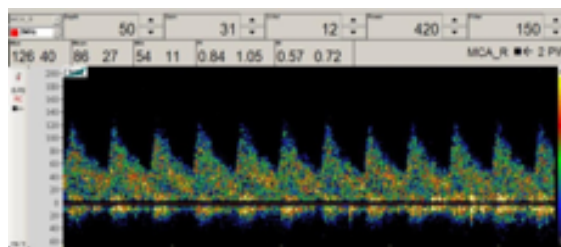
Paciente 3



Antes de la intervención.



Primer Doppler transcranial postintervención.



Segundo Doppler transcranial postintervención.

Figura 2. Patrones Doppler transcranial. Intervención: elevación de la presión arterial media.

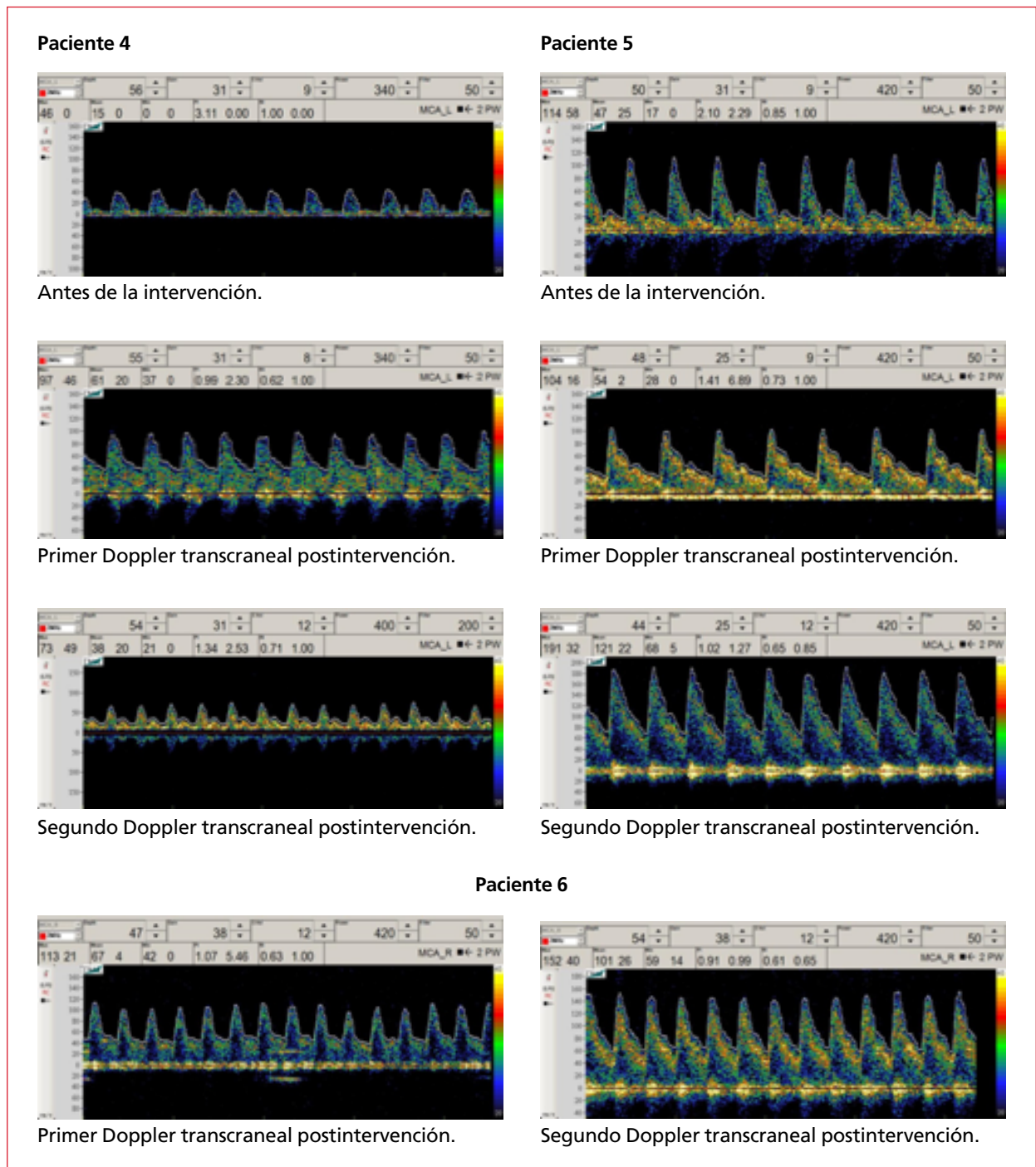


Figura 3. Patrones Doppler transcraneal. Intervención: elevación de la presión arterial media.

Discusión

Para evaluar las alteraciones en el flujo sanguíneo cerebral luego del retorno a la circulación espontánea, se utilizan modelos animales pediátricos y adultos, de manera invasiva (microcirculación) y no invasiva (perfusión). Estos ofrecen la ventaja de la evaluación regional y en serie del flujo sanguíneo cerebral, el tipo

de paro cardíaco (fibrilación ventricular o asfixia) y también según la duración del evento.⁴

Se han descrito tres etapas de alteraciones del flujo sanguíneo cerebral. La primera etapa es de hiperemia cerebral, entre los 5 y 30 min después de la reanimación, luego se produce una hipoperfusión cerebral de 30 min a 6 h y finalmente cualquiera de las resoluciones, hipoperfusión, hiperemia global o

cese del flujo y la muerte. Los estudios en animales revelan, además, que la perfusión en cada etapa es diferente según las regiones del cerebro y dependen también de la duración del evento. La hipoperfusión es más pronunciada en eventos prolongados.⁴

La fase inmediata (de 0 a 20 min) se caracteriza por hiperemia que depende de la edad, el mecanismo y la duración del paro. Entre los 20 min y las 12 h, típicamente hay una etapa de hipoperfusión más larga, se observa en cualquier región y puede durar de horas a días. En los modelos animales pediátricos, la hipoperfusión es más evidente en la corteza y más pronunciada, cuanto más dura el paro cardíaco. El flujo sanguíneo cerebral y el metabolismo son probablemente desacoplados durante el período de hipoperfusión, en el paro por asfixia pediátrico, lo que sugiere que el tejido cerebral sufre un evento isquémico secundario durante este período. Esta hipoperfusión tardía está relacionada, a su vez, con la pérdida de la autorregulación cerebral.⁴ Entre las 12 y las 72 hs, generalmente pasadas las 24 hs, el flujo sanguíneo cerebral vuelve a valores normales, excepto en el tálamo, en modelos animales.

En adultos, tras la recuperación de la circulación espontánea, se identifican cinco intervalos en el síndrome posparo cardíaco: inmediato, desde la recuperación de la circulación espontánea hasta transcurridos 20 min; precoz, entre 20 min y 12 h; intermedio, entre 12 y 32 h; recuperación, transcurridas más de 72 h y rehabilitación, desde el alta de la unidad de cuidados críticos.⁸

Utilizando el Doppler transcraneal los hallazgos iniciales en adultos que se recuperan de un paro cardíaco son VM bajas e IP altos, y es reflejo de hipoperfusión secundaria a trombosis y vasoespasmos de la microcirculación cerebral, de hipoperfusión secundaria al edema celular y capilar, y en ausencia de complicaciones, estos valores tienden a normalizarse en 72 h.^{9,10}

En nuestra serie de niños, durante las primeras 6 h, observamos hipoperfusión, seguida de normalización de los valores a las 12 h, en cuatro pacientes.

En un paciente, se detectó hiperemia a las 20 h y, en otro, las VM bajas y el IP alto persistieron hasta la muerte a las 72 horas.

Un patrón de Doppler transcraneal normal en la primera evaluación implica, en general, un buen pronóstico.¹¹

En las horas siguientes, dentro de las primeras 24 h, el Doppler transcraneal permite detectar complicaciones e identificar a los pacientes que evolucionarán hacia una discapacidad o la muerte.⁹

La persistencia de VM bajas e IP elevados indica pérdida grave de la autorregulación que se ha relacionado con una dependencia de la presión arterial sistólica para el flujo sanguíneo, lo que es un indicador de mal pronóstico.¹²

En un paciente, observamos hiperemia a las 20 h del evento, definida como una VM de 2 desviaciones estándar o más sobre el valor normal para la edad.

En un estudio pediátrico, todos los niños con flujo indetectable durante cualquier fase murieron. Los pacientes con VM normal tuvieron un mejor pronóstico que aquellos con VM baja.¹³

En adultos y modelos animales, la evidencia indica que el paro cardíaco altera la autorregulación y cambia el límite de la autorregulación a una presión arterial más alta;¹⁴ en un modelo experimental pediátrico, también se sugiere que la autorregulación se deteriora luego del paro cardíaco.¹⁵

En nuestra serie, monitoreamos la autorregulación con el Doppler transcraneal utilizando la manobra de Giller o test de respuesta hiperémica transitoria.

En estudios de adultos, una presión arterial media más alta se asoció a un mejor resultado neurológico, expresado por una escala Cerebral Performance Category (CPC) de 1 o 2 al alta y a los 6 meses.¹⁶ Debido al número pequeño de pacientes no podemos replicar estos resultados en nuestra muestra.

Conclusiones

Los patrones observados en el monitoreo con Doppler transcraneal son similares a los detectados en modelos experimentales con animales adultos y no adultos, y en pacientes adultos.

Se necesitan más estudios para poder confirmar la presencia de patrones característicos a lo largo de las horas o demostrar si el uso de terapias dirigidas a mejorar la presión de perfusión cerebral en pacientes pediátricos posparo cardiorrespiratorio por un episodio de casi ahogamiento permite mejorar el resultado neurológico a largo plazo.

Creemos que el Doppler transcraneal permite un neuromonitoreo óptimo y no invasivo en niños víctimas de un episodio de casi ahogamiento, que presentarían, además, autorregulación abolida.

Bibliografía

1. Moon RE, Long RJ. Drowning and near-drowning. *Emerg Med (Fremantle)* 2002; 14(4): 377-386.
2. Burdford AE, Ryan LM, Stone BJ, Hirshon JM, Klein BL. Drowning and near-drowning in children and adolescents. *Pediatr Emerg Care* 2005; 21: 610-616.
3. Conn AW, Edmons JF, Barrer JA. Reanimación cerebral en el casi ahogamiento. *Clin Pediatr North Am (ed esp)* 1979; 3: 687-697.
4. Iordanova B, Li L, Clark RSB, Manole M D. Alterations in cerebral blood flow after resuscitation from cardiac arrest. *Front Pediatr* 2017; 5: 174.
5. Martínez De Azagra A, Jiménez R. Utilidad del Doppler transcraneal. *Anales de Pediatría Continuada* 2004; 2(6): 374-378.

6. Bode H, Wais U. Age dependence of flow velocities in basal cerebral arteries. *Arch Dis Child* 1988; 63: 606-611.
7. Fiser DH. Assessing the outcome of pediatric intensive care. *J Pediatr* 1992; 121(1): 68-74.
8. Nolan JP, Neumar RW, Adrie C, et al. Post-cardiac arrest syndrome: Epidemiology, pathophysiology, treatment, and prognostication. A Scientific Statement from the International Liaison Committee on Resuscitation; the American Heart Association Emergency Cardiovascular Care Committee; the Council on Cardiovascular Surgery and Anesthesia; the Council on Cardiopulmonary, Perioperative, and Critical Care; the Council on Clinical Cardiology; the Council on Stroke. *Resuscitation* 2008; 79: 350-379.
9. Lemiale V, Huet O, Vigué B, et al. Changes in cerebral blood flow and oxygen extraction during post-resuscitation syndrome. *Resuscitation* 2008; 76: 17-24.
10. Álvarez-Fernández JA, Martín-Velascob MM, Igeño-Canob JC, Pérez-Quintero R. Utilidad del Doppler transcraneal en la resucitación de la parada cardíaca. *Med Intensiva* 2010; 34(8): 550-558.
11. Nebra-Puertas AC, Virgós-Señor V, Suárez-Pinilla MA, et al. Modificaciones en la velocidad de flujo cerebral medidas mediante Doppler transcraneal, tras maniobras de soporte vital avanzado *Med Intensiva* 2003; 27: 219-223.
12. Wessels T, Harrer JU, Jacke C, Janssens U, Klötzsch C. The prognostic value of early transcranial Doppler ultrasound following cardiopulmonary resuscitation. *Ultrasound Med Biol* 2006; 32: 1845-1851.
13. Lin J-J, Hsia S-H, Wang H-S, Chiang M-C, Lin K-L. Transcranial Doppler ultrasound in therapeutic hypothermia for children after resuscitation. *Resuscitation* 2015; 89: 182-187.
14. Sundgreen C, Larsen FS, Herzog TM, et al. Autoregulation of cerebral blood flow in patients resuscitated from cardiac arrest. *Stroke* 2001; 32(1): 128-132.
15. Manole MD, Foley LM, Hitchens TK, et al. Magnetic resonance imaging assessment of regional cerebral blood flow after asphyxia cardiac arrest in immature rats. *J Cereb Blood Flow Metab* 2009; 29(1): 197-205.
16. Bhate TD, McDonald B, Sekhon MS, Griesdale DE. Association between blood pressure and outcomes in patients after cardiac arrest: A systematic review. *Resuscitation* 2015; 97: 1-6.

