

Ecografía Doppler transcraneal, evaluación de la desviación de la línea media, diámetro de la vaina del nervio óptico y evaluación de reflejos pupilares

Raúl Montero Yéboles⁽¹⁾, Juan Mayordomo Colunga⁽²⁾, Marta Muñozerro Sesmero⁽³⁾, José María Gómez Luque⁽⁴⁾, Patricia Rodríguez Campoy⁽⁵⁾, Rafael González Cortés⁽⁶⁾

⁽¹⁾Unidad de Cuidados Intensivos Pediátricos. Hospital Universitario Reina Sofía. Córdoba

⁽²⁾Unidad de Cuidados Intensivos Pediátricos. Hospital Universitario Central de Asturias. Oviedo

⁽³⁾Complejo Asistencial Universitario de Salamanca. Salamanca

⁽⁴⁾Hospital Universitario Virgen de las Nieves. Granada

⁽⁵⁾Unidad de Cuidados Intensivos Pediátricos. Hospital Universitario Puerta del Mar. Cádiz

⁽⁶⁾Unidad de Cuidados Intensivos Pediátricos. Hospital General Universitario Gregorio Marañón. Madrid

Montero Yéboles R, Mayordomo Colunga J, Muñozerro Sesmero M, Gómez Luque JM, Rodríguez Campoy P, González Cortés R. Ecografía Doppler transcraneal, evaluación de la desviación de la línea media, diámetro de la vaina del nervio óptico y evaluación de reflejos pupilares. *Protoc diagn ter pediatr*. 2021;1:463-82.



RESUMEN

La evaluación del paciente pediátrico neurocrítico es, en muchas ocasiones, una situación altamente compleja. Por su posible aplicabilidad a pie de cama, su reproducibilidad y por los bajos riesgos biológicos que atañen, las técnicas ecográficas empleadas por el propio médico intensivista pediátrico han demostrado su utilidad como guía clínica en el manejo de pacientes pediátricos críticos con patología neurológica y neuroquirúrgica.

La ecografía Doppler transcraneal (DTC) permite evaluar el flujo de los vasos sanguíneos cerebrales en diferentes situaciones clínicas. Las variaciones de la presión intracraneal y la resistencia vascular se traducen en modificaciones del flujo sanguíneo cerebral con cambios en las velocidades absolutas y los índices de pulsatilidad (IP) y de resistencia (IR).

La desviación de la línea media (DLM) cerebral puede estar asociada con un peor pronóstico. La ecografía a pie de cama permite constatar si la línea media se ha desplazado con respecto a su posición anatómica normal.

Adicionalmente, la exploración ocular mediante ecografía a pie de cama permite, mediante la determinación del diámetro de la vaina del nervio óptico (DVNO), establecer la existencia

de riesgo de hipertensión intracraneal (HIC). Asimismo, la ecografía permite observar el tamaño y la reactividad pupilares en pacientes en los que no sea posible mediante la exploración directa.

Palabras clave: Doppler transcraneal, hipertensión intracraneal, desviación de la línea media, nervio óptico, pupilas.

Transcranial Doppler ultrasound, evaluation of midline deviation, diameter of the optic nerve sheath and evaluation of pupillary reflexes

ABSTRACT

The evaluation of the pediatric neurocritical patient is often a highly complex situation. Due to its possible applicability at the bedside, its reproducibility and the low biological risks involved, the ultrasound techniques used by the pediatric intensivist have proven useful as a clinical guide in the management of critical pediatric patients with neurological and neurosurgical pathology.

Transcranial Doppler ultrasound (TCD) allows evaluation of the flow of cerebral blood vessels in different clinical situations. Variations in intracranial pressure and vascular resistance result in changes in cerebral blood flow with changes in absolute velocities and in pulsatility (PI) and resistance (RI) indices.

Cerebral midline shift (MLS) may be associated with a worse prognosis. Bedside ultrasound may reveal whether the midline has been displaced from its normal anatomic position.

Additionally, ocular examination by bedside ultrasound allows, by determining the optic nerve sheath diameter (ONSD), to establish the risk of intracranial hypertension (ICH). In addition, ultrasound allows to assess the size and reactivity of the pupils in patients in whom it is not possible by direct exploration.

Key words: transcranial Doppler, raised intracranial pressure, midline shift, optic nerve, pupils.

1. ECOGRAFÍA DOPPLER TRANSCRANEAL

1.1. Introducción

La ecografía Doppler transcraneal (DTC) permite evaluar el flujo de los vasos sanguíneos cerebrales en diferentes situaciones clínicas. El

presente protocolo se centra en la evaluación empleando la técnica dúplex (es decir, con imagen de las estructuras cerebrales), sin entrar a considerar el DTC ciego.

El flujo sanguíneo cerebral se puede ver alterado en diferentes situaciones clínicas. Las

variaciones de la presión intracraneal y la resistencia vascular se traducen en modificaciones del flujo sanguíneo cerebral con cambios en las velocidades absolutas y en los índices de pulsatilidad (IP) y de resistencia (IR). Los valores de estos índices y estas velocidades han demostrado ser útiles en la monitorización no invasiva de la presión intracraneal, entre otras aplicaciones.

1.2. Indicaciones

Las principales indicaciones para el uso del DTC en pacientes pediátricos críticos son:

- Traumatismo craneoencefálico (TCE).
- Lesiones hipóxico-isquémicas (localizadas o difusas).
- Sangrados intracraneales.
- Presencia de lesiones ocupantes de espacio.

- Hidrocefalia.
- Diagnóstico de la presencia de paro circulatorio cerebral.

1.3. Técnica

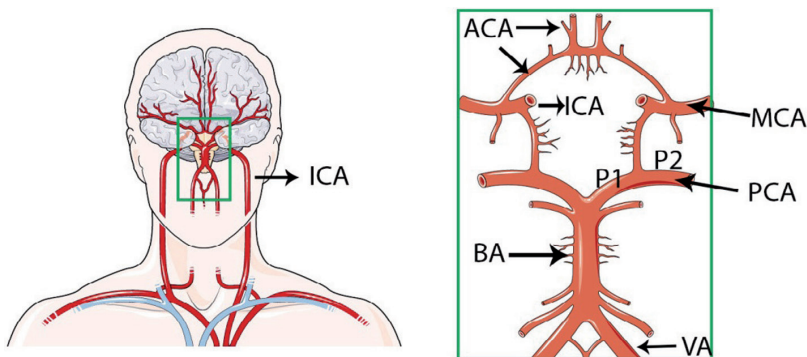
1.3.1. Configuración del equipo

Se emplearán habitualmente transductores de baja frecuencia (1-5 MHz), ajustando la potencia del Doppler al mínimo posible para obtener una imagen adecuada. En caso de que el equipo disponga de preconfiguración para ecografía cerebral o DTC, es recomendable su uso.

1.3.2. Metodología

A través de las ventanas acústicas disponibles se explorarán las arterias cerebrales susceptibles (**Figura 1**), que serán habitualmente identificadas empleando el modo color. Una

Figura 1. Diagrama de la circulación cerebral con las principales arterias



ACA: arteria cerebral anterior; **BA:** arteria basilar; **ICA:** arteria carótida interna; **MCA:** arteria cerebral media; **P1:** segmento precomunicante de la arteria cerebral posterior; **P2:** segmento poscomunicante de la arteria cerebral posterior; **PCA:** arteria cerebral posterior; **VA:** arteria vertebral.

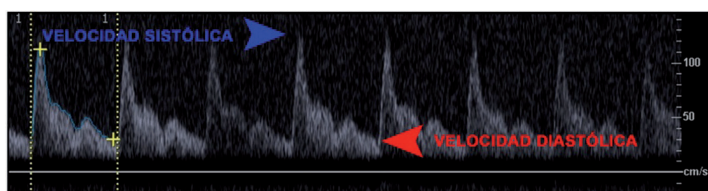
vez identificada la arteria, se activará la modalidad de Doppler pulsado, colocando la caja de medición en el punto en el que se desea registrar el flujo, ajustando el tamaño de la caja al tamaño del vaso y realizando la corrección del ángulo de insonación para alinearla con la dirección del flujo. Se debe tener en cuenta la profundidad a la que se coloca la caja de medición para emplear siempre la misma en caso de realizarse mediciones seriadas. Se registrarán para cada vaso explorado: la velocidad sistólica (VS) pico, la velocidad media promediada en el tiempo (TAMX o VM) y la velocidad diastólica (VD). A partir de las diferentes velocidades registradas se podrán calcular el IP, el IR y el índice de Lindegaard (IL) (Figura 2). Es recomendable comprobar, en caso de realizar análisis automático de las curvas de flujo registradas, que la curva analizada se relaciona con el trazado correspondiente al observado, sin existencia de artefactos. En caso de existir artefactos que impidan el correcto análisis automático, se re-

comienda el trazado manual de la curva. Los valores normales ajustados por edad para las velocidades de los vasos sanguíneos cerebrales se encuentran representados en la **Tabla 1**.

1.3.3. Ventanas acústicas

- Ventana transtemporal (Figura 3):
 - Es la más utilizada por su accesibilidad en pacientes en decúbito supino y por el hecho de que permite explorar varios vasos: arteria carótida interna (ACI), arteria cerebral media (ACM), arteria cerebral anterior (ACA) y arteria cerebral posterior (ACP). Este abordaje también permite evaluar la posible desviación de la línea media (DLM) cerebral a nivel del tercer ventrículo.
 - Localización: anterior a la oreja y dorsal a la cola de la ceja, por encima del arco cigomático.

Figura 2. Trazado de DTC en el que se señalan las VS y VD (arriba). Fórmulas de IP, IR e IL (abajo)



$$\text{I. Pulsatilidad} = \frac{\text{Velocidad sistólica} - \text{Velocidad diastólica}}{\text{Velocidad media}}$$

$$\text{I. Resistencia} = \frac{\text{Velocidad sistólica} - \text{Velocidad diastólica}}{\text{Velocidad sistólica}}$$

$$\text{I. de Lindegaard} = \frac{\text{Velocidad media ACM}}{\text{Velocidad media ACI (Extracraneal ipsilateral)}}$$

Tabla 1. Velocidades de flujo en las diferentes arterias cerebrales ajustadas por edad

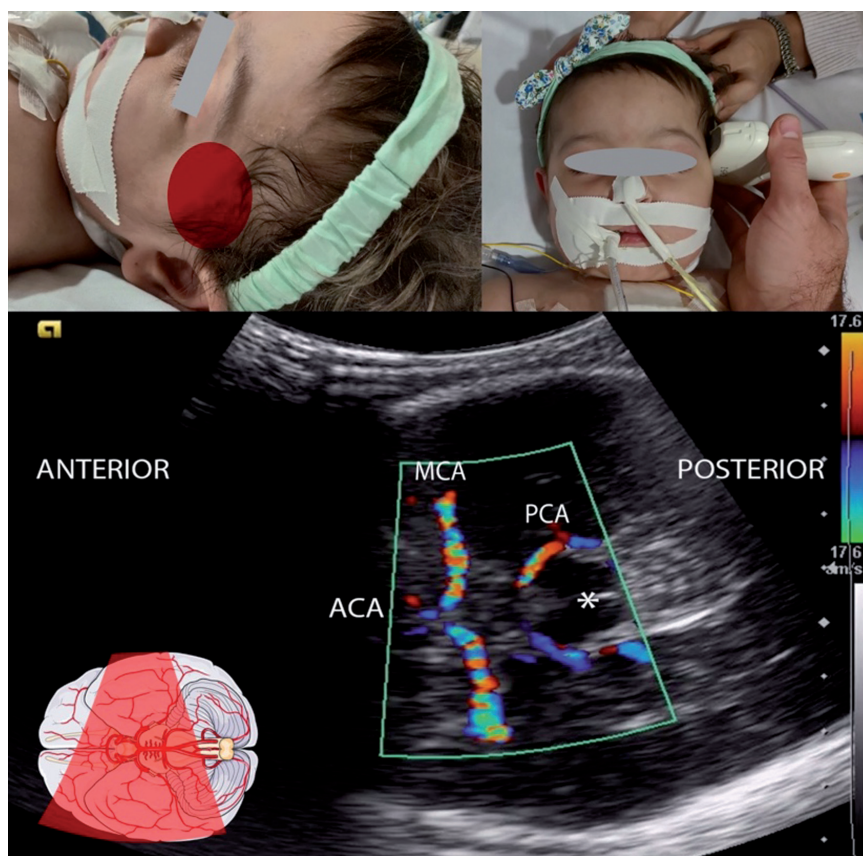
	Edad	Velocidad sistólica (cm/s)	Velocidad media (cm/s)	Velocidad diastólica (cm/s)
Arteria cerebral anterior	0-10 días	43-27	25-13	16-4
	11-90 días	73-43	44-22	28-10
	3-11,9 meses	92-62	61-39	40-26
	1-2,9 años	100-62	68-42	51-29
	3-5,9 años	126-82	86-56	57-39
	6-9,9 años	120-80	78-52	61-41
	10-18 años	111-73	70-42	57-35
Arteria cerebral media	0-10 días	56-36	31-17	19-5
	11-90 días	90-60	52-32	32-16
	3-11,9 meses	134-94	88-60	55-37
	1-2,9 años	134-114	95-75	76-54
	3-5,9 años	164-130	104-84	74-56
	6-9,9 años	155-131	106-88	81-63
	10-18 años	146-112	92-70	68-52
Arteria basilar	1-2,9 años	77-65	57-45	41-29
	3-5,9 años	97-79	64-52	46-36
	6-9,9 años	102-68	67-49	52-36
	10-18 años	79-57	54-38	43-29
Arteria carótida interna	0-10 días	56-38	31-19	18-6
	11-90 días	96-58	55-31	32-16
	3-11,9 meses	116-92	77-57	48-32
	1-2,9 años	142-94	89-73	63-53
	3-5,9 años	163-125	102-84	63-53
	6-9,9 años	154-126	102-84	78-58
	10-18 años	143-107	91-67	68-50
Arteria cerebral posterior (precomunicante)	1-2,9 años	85-49	67-33	49-23
	3-5,9 años	104-64	69-43	52-28
	6-9,9 años	93-71	66-48	49-35
	10-18 años	91-59	60-40	47-31
Arteria cerebral posterior (poscomunicante)	1-2,9 años	78-60	62-38	42-28
	3-5,9 años	97-65	59-37	44-26
	6-9,9 años	85-65	60-42	45-31
	10-18 años	76-56	54-36	40-26

El intervalo representa la media ± 1 desviación típica.

Adaptado de Bode H, Wais U. Age dependence of flow velocities in basal cerebral arteries. Arch Dis Child. 1988.

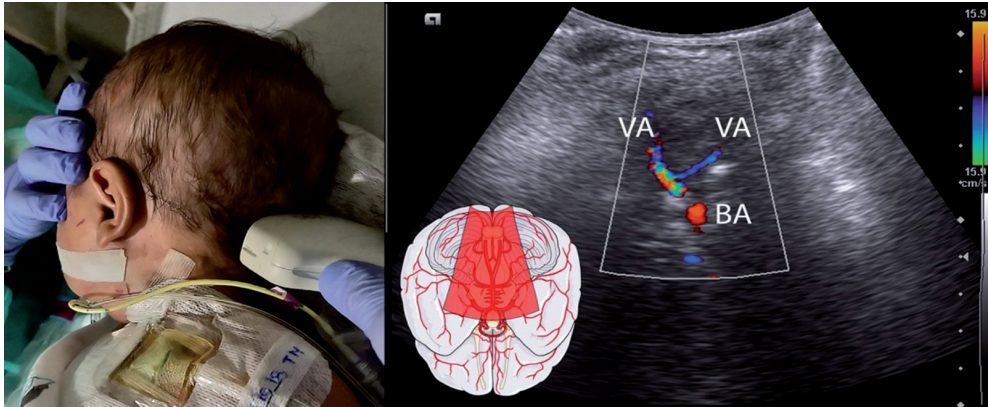
- Exploración: colocaremos la muesca indicadora hacia anterior y en la imagen en la parte superior izquierda de la pantalla. El polígono de Willis se identificará mediante el uso del modo color como una estructura pentagonal con flujo sanguíneo anterior a los pedúnculos cerebrales (con forma de corazón hipocóico empleando el modo B). La ACM en este punto se dirige hacia el transductor. La ACP se puede identificar como un vaso curvado que rodea los pedúnculos cerebrales de anterior a posterior.
- Ventana suboccipital (transforaminal) (Figura 4):
 - Su uso requiere repositionar al paciente, idealmente en decúbito lateral o prono, por lo que debe ser empleada con cautela

Figura 3. Ventana transtemporal y posición del transductor (arriba). Vista ecográfica en modo color de las principales ramas del polígono de Willis (abajo).



ACA: arteria cerebral anterior; **MCA:** arteria cerebral media; **PCA:** arteria cerebral posterior. Asteriscos: pedúnculos cerebrales (hipocóicos).

Figura 4. Ventana suboccipital (izquierda). Doppler modo color (derecha)



Se muestran las arterias vertebrales (VA) como una V invertida, con el flujo en dirección opuesta al transductor, y uniéndose para formar el tronco basilar (BA).

en pacientes inestables o intubados. Permite explorar las arterias vertebrales (AV) y la arteria basilar (AB).

- Localización: parte posterior del cuello, justo a nivel suboccipital.
- Metodología: se le flexiona la cabeza, con el mentón tocando el pecho, y se insonará la arteria a estudiar a través del foramen magno, con el transductor en la línea media de la nuca apuntando hacia los ojos con la muesca hacia la derecha. Las AV se identifican formando un ángulo (V invertida), confluyendo para formar el tronco basilar (AB). El flujo se aleja del transductor.

• Ventana transorbitaria (oftálmica) (Figura 5):

- Especialmente útil en pacientes con mala ventana temporal. Habitualmente permite insonar el sífon carotídeo (ACI) y la arteria oftálmica (AO) y, en ocasiones, tam-

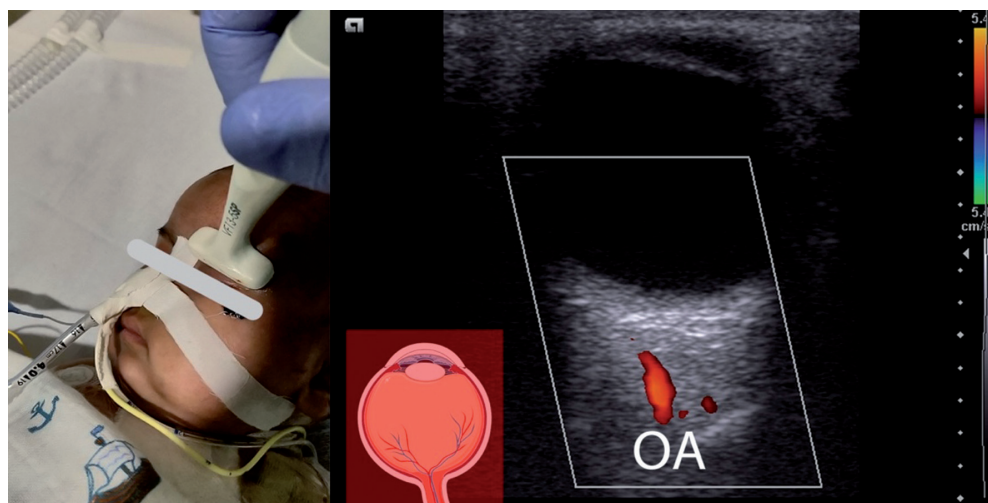
bién la ACM y la ACA. Se usa también para medir el diámetro de la vaina del nervio óptico (DVNO).

- Localización: a nivel del párpado desde posición lateral (aproximación oblicua) o superior (aproximación anteroposterior).
- Metodología: se aplicará una abundante capa de gel sobre el párpado cerrado y posteriormente se colocará el transductor sin ejercer presión. La AO entra en la órbita en posición lateral e inferior al nervio óptico, para luego cruzar superior y medial al nervio óptico y las ramas de la arteria central de la retina. La aproximación anteroposterior permite identificar la ACI y la AO, y la oblicua, la ACM y la ACA.

• Fontanela anterior (Figura 6):

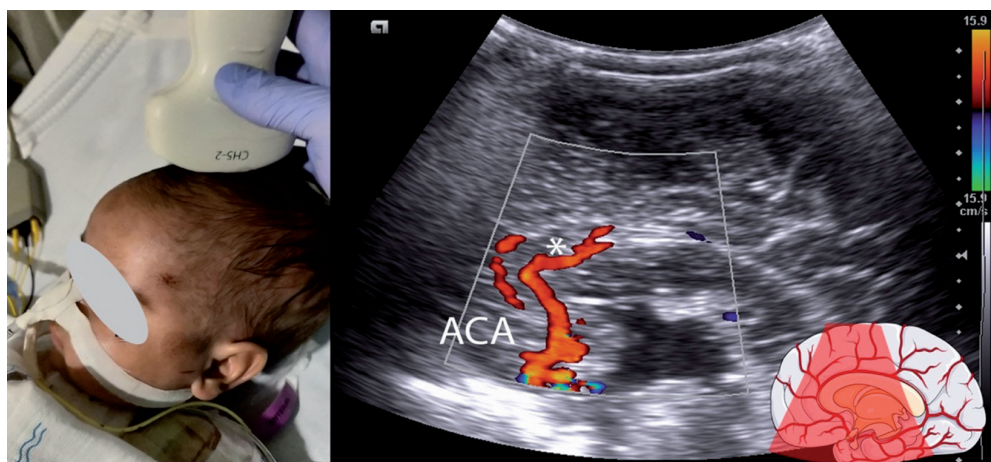
- Las ramas del polígono de Willis y la ACI pueden insonarse a través de la fontanela anterior en niños con la fontanela abierta.

Figura 5. Ventana transorbital



Se coloca la sonda sobre el párpado superior. En la imagen se observa la imagen de la órbita con el globo ocular hipoeicoico (forma redondeada) y la arteria oftálmica (OA) dirigiendo su flujo hacia el transductor.

Figura 6. Ventana transfontanelar



Colocación del transductor en un plano sagital con la marca dirigida hacia la frente (izquierda). Vista de Doppler color de la ACA a través de la ventana transfontanelar (derecha). Asterisco: rama pericallosa.

- Localización: fontanela anterior.
- Metodología: se emplearán transductores convexos o lineales (habitualmente de

5 a 10 MHz) realizando planos sagitales y coronales para identificar los vasos. Para estimar la existencia de hipertensión intracraneal (HIC) en pacientes con fonta-

nela abierta se registran las velocidades en la rama pericallosa de la ACA, antes y después de realizar una compresión ligera de la fontanela anterior. Los valores del IR e IP por encima de 0,65 sin compresión pueden sugerir la existencia de HIC. Los valores del IR e IP por encima de 0,8 durante la compresión de la fontanela también son sugerentes de HIC.

1.4. Interpretación de las mediciones del DTC

Todas las mediciones de flujo sanguíneo cerebral mediante el DTC deben interpretarse siempre en el contexto clínico de cada paciente. Deben tenerse especialmente en cuenta en pacientes pediátricos críticos la presencia de fontanelas abiertas, la existencia de inestabilidad hemodinámica, los cortocircuitos extracardiacos y la patología aórtica. Otras condiciones como la frecuencia cardíaca, el nivel de pCO₂, la anemia, la hiperviscosidad sanguínea o el uso de drogas vasoactivas también deben tenerse en cuenta. Además, cuando el flujo sistémico de sangre depende de dispositivos, como en pacientes sometidos a oxigenación de membrana extracorpórea o dispositivos de asistencia ventricular, la interpretación de las velocidades por el DTC es complicada.

Es de utilidad la realización de mediciones repetidas en el contexto específico de cada paciente, permitiendo evaluar la respuesta a las distintas medidas terapéuticas.

1.4.1. Patrones del DTC fácilmente reconocibles

Se recogen en la **Figura 7**.

- Presión intracraneal (PIC) elevada:
 - La medición de las velocidades pico y diastólicas, IP e IR es de utilidad en patologías

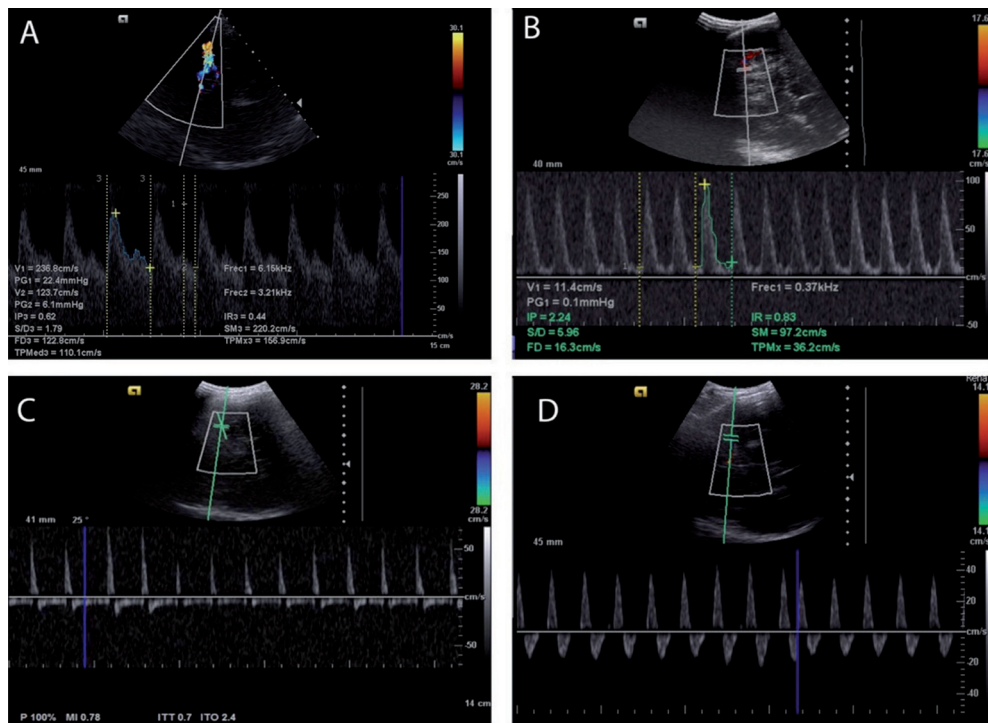
en las que la PIC puede elevarse, provocando anomalías de la perfusión cerebral.

- A medida que la PIC aumenta, la velocidad diastólica disminuye, lo cual resulta en un IP e IR elevados.
- Según progresa la elevación de la PIC, el flujo diastólico se atenúa aún más e incluso desaparece, suponiendo la pérdida de flujo anterógrado diastólico.

- Isquemia:
 - Puede aparecer tras la primera fase de un TCE. Se caracteriza por velocidades diastólicas bajas con un IP elevado.
- Hiperemia:
 - Puede aparecer tras un TCE o tras eventos hipóxicos. Habitualmente se aprecia pocas horas tras el insulto y puede durar varios días. Puede favorecer la aparición de sangrado intracerebral.
 - Se caracteriza por velocidades sistólicas y diastólicas elevadas con IR e IP bajos, y suele ir asociada al desarrollo de edema cerebral y la pérdida de autorregulación cerebral.
 - A medida que el edema progresa, se eleva la PIC, lo que modifica el patrón de flujos aumentando el IR e IP.

- Vasoespasmo:
 - Ocurre con frecuencia en relación con sangrados subaracnoideos (ruptura de un aneurisma o en contexto de TCE), normalmente en torno al segundo día de evolu-

Figura 7. Distintos patrones anormales del DTC en la ACM. A: patrón de hiperemia con velocidades sistólicas y diastólicas elevadas; B: patrón de isquemia con velocidades diastólicas bajas e IP elevado; C: espigas sistólicas pequeñas; D: patrón de onda de flujo oscilante con flujo diastólico reverso. Los patrones C y D se observan en la parada circulatoria cerebral.



ción. También se ha descrito en niños con infecciones del sistema nervioso central.

- Se identifica como un aumento en la velocidad media en la ACM. A pesar de que las velocidades deben considerarse en relación con la edad del niño, velocidades medias superiores a 120 cm/s se consideran indicativas de vasoespasmos.
- Un IL mayor de 3 confirma el diagnóstico de vasoespasmos y, si es mayor de 6, debe considerarse como grave.
- Para la circulación posterior, se considera la existencia de vasoespasmos cuando la

velocidad media en el tronco basilar alcanza 90 cm/s.

- Las mediciones repetidas permiten valorar la respuesta al tratamiento y definir el pronóstico de los pacientes que lo desarrollan. Un incremento diario de la velocidad media en la ACM de 25 cm/s se ha relacionado con mal pronóstico.
- Parada circulatoria cerebral:
 - El DTC es útil ante la sospecha de muerte cerebral y puede evitar la realización de pruebas más invasivas o que requieran traslados y acortar los tiempos de

evaluación. Generalmente se evalúa la parte proximal de la ACM y el tronco basilar para realizar el diagnóstico en pacientes con una causa para un daño neurológico grave y con una exploración compatible. Cada país puede tener sus propias regulaciones en relación con el uso del DTC como una prueba diagnóstica ante la sospecha de muerte cerebral.

- La interpretación de estos patrones de flujo debe realizarse con cautela, ya que algunos de ellos no son exclusivos de la parada circulatoria cerebral y pueden observarse en algunos tipos de cardiopatías congénitas.
- Los siguientes patrones son compatibles con el diagnóstico de parada circulatoria cerebral:
 - Espigas sistólicas pequeñas (duración <200 ms y VS <50 cm/s) (**Figura 7C**).
 - Flujo diastólico reverso de forma mantenida u onda de flujo oscilante (mismo flujo sistólico anterógrado que diastólico reverso) (**Figura 7D**).
 - Desaparición de todo flujo intracraneal (pérdida de flujo sistólico y diastólico cuando se había demostrado flujo intracraneal previamente y que persiste a nivel extracraneal): ausencia de flujo en la ACM, con flujo diastólico reverso en la ACI extracraneal o con una velocidad media menor de 10 cm/s en la ACM mantenida durante más de 30 min.

2. Evaluación ecográfica de la desviación de la línea media

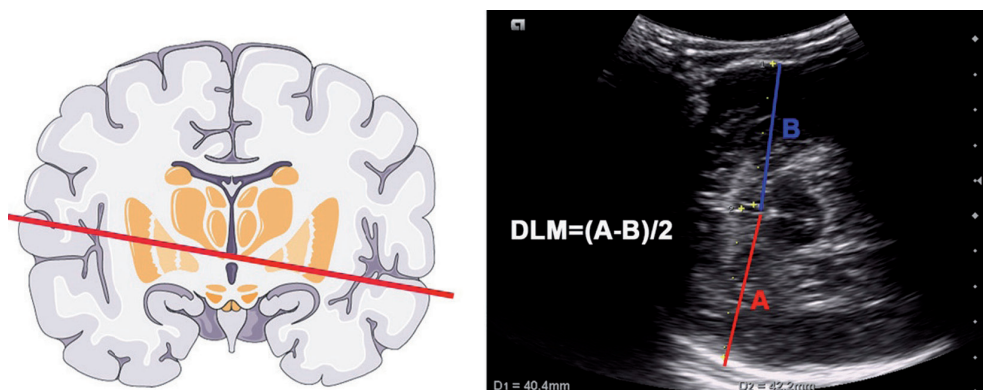
2.1. Introducción

Se ha descrito como, en diferentes contextos neurocríticos, la DLM cerebral puede estar asociada con un peor pronóstico. La ecografía a pie de cama permite constatar si la línea media se ha desplazado con respecto a su posición anatómica normal.

2.2. Metodología

- Se recomienda realizar la medición con el paciente en decúbito supino empleando la ventana transtemporal (previamente descrita en el apartado de Doppler transcraneal).
- Se utilizará una sonda de baja frecuencia (tipo sectorial o convex) colocada de manera paralela a la base del cráneo con la muesca colocada hacia anterior.
- Deben identificarse en este plano los pedúnculos cerebrales como una imagen hipocóica con forma de corazón. Posteriormente, se debe angular la dirección de la sonda hacia craneal en un ángulo aproximado de 10°.
- La posición de la línea media se debe medir en un plano ecográfico en el que se identifique la posición del tercer ventrículo (que será el punto que emplearemos como referencia para la medición) (**Figura 8**, izquierda).
- Identificaremos el tercer ventrículo como una imagen hipocóica definida por dos líneas paralelas hiperecóicas. Una vez identificado, congelaremos la imagen y realizaremos las mediciones (**Figura 8**, derecha).

Figura 8. Evaluación de la desviación de la línea media (DLM)



El plano de insonación se angula cranealmente unos 10°.

- Para calcular el desplazamiento de la línea media mediremos la distancia existente desde la cortical externa del hueso temporal sobre el que tenemos apoyado el transductor hasta el punto medio del tercer ventrículo (distancia A). También mediremos la distancia desde el punto medio del tercer ventrículo hasta la cortical externa del lado contralateral siguiendo el mismo eje (distancia B). El grado de DLM resulta al dividir entre dos la diferencia entre las dos distancias ($DLM = (A - B)/2$) (Figura 8, derecha).

2.3. Interpretación de la medición de la DLM

Habitualmente se ha definido la existencia de DLM cuando el grado de desplazamiento de esta era superior a 0,5 cm en pacientes adultos. Aunque no existen estudios específicos en niños sobre la evaluación de la DLM cerebral mediante ecografía, en pacientes neuroquirúrgicos adultos se ha asociado la existencia de DLM con un peor pronóstico. Indudablemente, la existencia de DLM mayor a 0,5 cm objetivada mediante ecografía en pacientes pediátricos debe ser considerada como un signo de alarma.

3. MEDICIÓN ECOGRÁFICA DEL DIÁMETRO DE LA VAINA DEL NERVO ÓPTICO EN LA HIPERTENSIÓN INTRACRANEAL

La elevación persistente de la PIC se asocia a mal pronóstico, y la mortalidad aumenta cuanto más altas sean las cifras de la PIC. Así pues, la monitorización de la PIC en el paciente neurocrítico es fundamental.

La ecografía puede ser una herramienta potencialmente útil para valorar de manera no invasiva la presencia de la PIC elevada sin necesidad de realizar pruebas de imagen que puedan precisar la movilización del paciente. Concretamente, el DTC y la medición ecográfica del DVNO son las herramientas no invasivas más útiles en Pediatría para predecir la existencia de HIC de forma precoz.

3.1. Recuerdo anatómico

El nervio óptico está rodeado de una vaina que se comunica con el espacio subaracnoideo intracraneal. Las variaciones de presión del líquido cefalorraquídeo (LCR) modifican el DVNO, a

nivel del compartimento retrobulbar anterior, a unos 3 mm detrás del globo ocular. Por tanto, un aumento de la PIC se puede traducir en un aumento precoz del DVNO, a diferencia del papiledema que ocurre en horas o incluso días después del aumento de la PIC. Esta correlación positiva entre el DVNO y la PIC se ha descrito ampliamente. Sin embargo, la precisión diagnóstica y los valores de corte óptimos aún no están claros, particularmente en niños.

3.2. Recomendaciones para la exploración

Para realizar una ecografía ocular, se deben ajustar la ganancia, el foco y la potencia siguiendo el principio ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*: tan poco como sea razonablemente posible). Para ello se intentará realizar la exploración empleando un índice térmico (IT) ≤ 1 y un índice mecánico (IM) $\leq 0,23$, y se minimizará el tiempo de exploración. En caso de que el ecógrafo disponga de preajuste oftálmico, este debe emplearse. Además, se recomienda la desinfección de la sonda, la realización de la higiene de manos, la utilización de guantes por parte del operador, así como emplear abundante gel no irritante para evitar presionar con el transductor.

El transductor debe ser lineal, con frecuencias generalmente entre 7-14 MHz, del menor tamaño posible y que enfoque bien a profundidades mayores a 2 cm.

3.3. Técnica

El paciente debe estar en decúbito supino, tener los ojos cerrados y, si es posible, con la mirada hacia abajo. El transductor se coloca encima del párpado superior, lateral a la cór-

nea, para evitar las estructuras anteriores del ojo (**Figura 9**).

Figura 9. Colocación del transductor sobre el párpado superior para la medición del DVNO



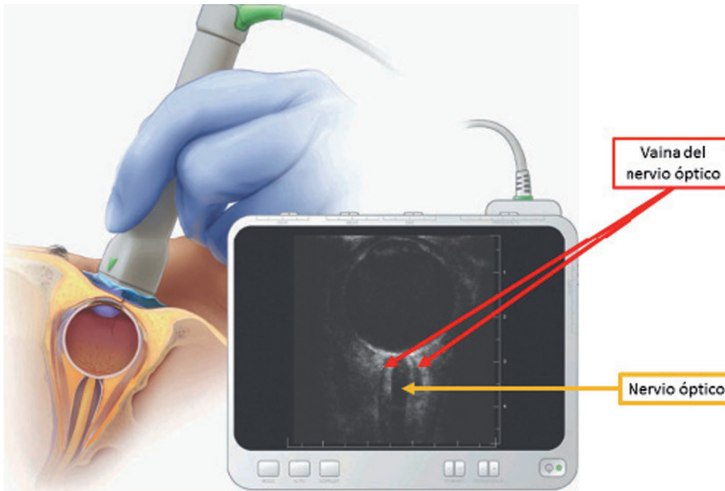
Se ajustarán la profundidad y el foco. Se debe obtener, vasculando el transductor, una imagen axial oblicua del globo ocular. El nervio óptico se visualiza posterior al globo ocular como una estructura lineal hipoeoica de bordes paralelos. Una vez obtenida la imagen, esta se congelará para realizar la medición (**Figura 10**).

La medición del DVNO se realiza a 3 mm de la unión vitreoretiniana, trazando una línea de medición perpendicular a la dirección del nervio óptico desde la vaina (**Figura 11**). Es recomendable la medición en ambos ojos.

3.4. Interpretación de las mediciones

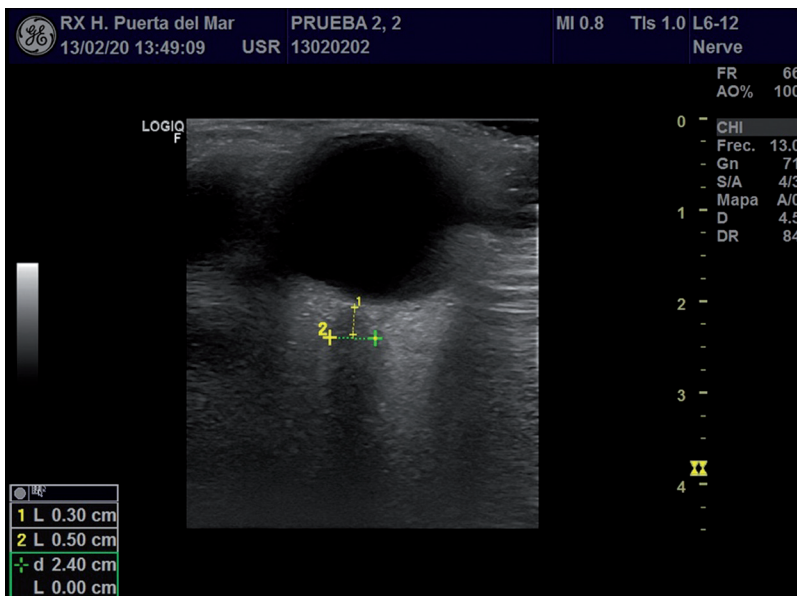
La medición del DVNO pretende establecer si existe riesgo de que exista una PIC elevada. Para la mayoría de los autores, en pacientes adultos, el punto de corte propuesto a partir del cual se considera que existe riesgo de HIC es 5 mm. En niños ≤ 1 año, el límite aproximado es 5 mm (la correlación entre el DVNO y la PIC es menor si la fontanela está abierta). En niños >1 año varía entre 5,75-5,92 mm. Consideramos que es necesario ser prudentes a la hora de tomar una decisión clínica con base en este

Figura 10. Imagen axial oblicua del globo ocular



Posterior al mismo se observa el nervio óptico (flecha amarilla) rodeado por la vaina (flechas rojas). Imagen adaptada de: Koziarz A, Sne N, Kegel F, et al. Bedside Optic Nerve Ultrasonography for Diagnosing Increased Intracranial Pressure: A Systematic Review and Meta-analysis. Ann Intern Med. 2019;171:896-905.

Figura 11. Medición del DVNO a 3 mm de la unión vitreoretiniana



Desde esta localización se traza, a partir de la vaina, una línea perpendicular al eje longitudinal del nervio óptico.

valor umbral, pues existe heterogeneidad en los estudios, falta estandarización y precisión en las mediciones, la mayoría de los estudios se han llevado a cabo con un pequeño tamaño muestral y solo unos pocos están realizados en pacientes pediátricos. Además, es necesario valorar el DVNO en el contexto clínico y según la patología que presenta cada paciente.

Según la literatura publicada actualmente, consideramos que la medición del DVNO es un método útil para descartar la presencia de HIC gracias a su alto valor predictivo negativo y alta sensibilidad. Si el DVNO alcanza valores umbrales en un contexto clínico sospechoso, puede indicar un aumento de la PIC y la necesidad de confirmar el diagnóstico mediante pruebas de imagen o medición invasiva. En el caso de que los valores del DVNO sean menores a los umbrales establecidos, permite tomar medidas más conservadoras, considerando en estos casos un riesgo bajo de existencia de HIC.

La medición seriada del DVNO a lo largo del tiempo puede ayudar a aumentar la precisión diagnóstica de HIC y, además, a valorar la respuesta al tratamiento antihipertensivo. En caso de que la monitorización invasiva no esté disponible o esté contraindicada, la medición del DVNO podría ser una alternativa.

4. EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA PUPILAR MEDIANTE ECOGRAFÍA

4.1. Introducción

La observación periódica del estado de las pupilas tiene valor diagnóstico y pronóstico en determinadas circunstancias, como es en el TCE moderado-grave, la HIC, la intoxicación por

fármacos u otras sustancias o en el periodo de posparada cardiorrespiratoria. Si se sospecha muerte encefálica resulta indispensable comprobar la ausencia de reflejos del tallo, incluyendo los reflejos pupilares.

La ecografía pupilar es especialmente útil en aquellas circunstancias en las que no es posible la visión directa de la pupila (edema-hematoma orbitario, opacidad corneal, hipema, etc.) y se precisa de su valoración para completar el estudio neurológico del paciente. Es aquí donde la utilización de los ultrasonidos juega un papel único al posibilitar la evaluación de la pupila y del reflejo pupilar de forma rápida, segura y a pie de cama.

4.2. Aparatos y sondas

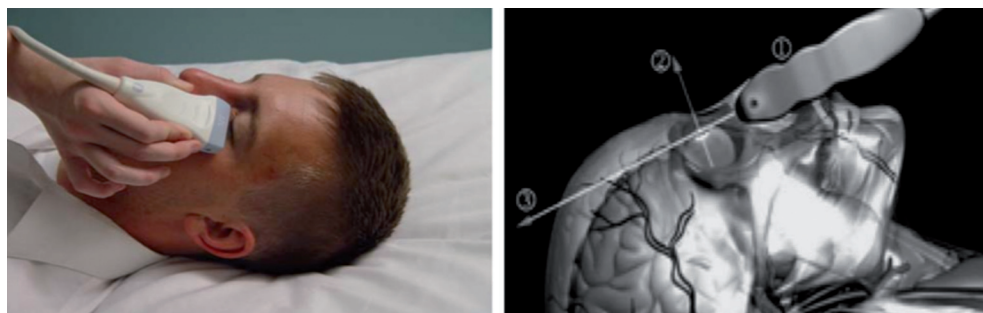
En caso del globo ocular tendremos que tener en cuenta el IM y el IT. El último representa el calentamiento tisular, mientras que el IM es la capacidad de cavitación o formación explosiva de burbujas microscópicas en los tejidos, y es secundario a las fluctuaciones abruptas de la presión. A la hora de programar nuestro ecógrafo, limitaremos el IM a valores inferiores o iguales a 0,23, y el IT, menor o igual a 1.

Si el ecógrafo del que disponemos no tiene estos parámetros ajustados, se puede realizar un preajuste con el objetivo de minimizar este tiempo en las siguientes exploraciones.

4.3. Técnica

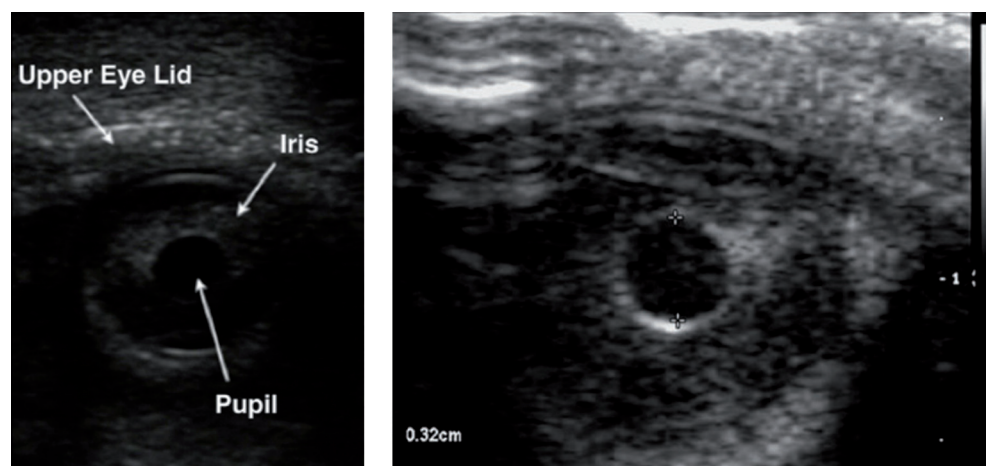
Las frecuencias que emplearemos serán las más altas (transductores lineales de 12 a 14-15 MHz), dada la escasa profundidad de las estructuras, el pequeño volumen de la región de interés y la atenuación tan baja de los medios oculares.

Figura 12. Colocación de la sonda para obtener una imagen coronal del iris-pupila, usando un transductor lineal de alta frecuencia (izquierda). Planos de trayecto del haz de ultrasonidos sobre el globo ocular para obtener una imagen en plano coronal (derecha)



Fuente: cortesía de Butler Graphics, Inc.

Figura 13. Modo 2D. Plano coronal del globo ocular a nivel de la pupila e iris

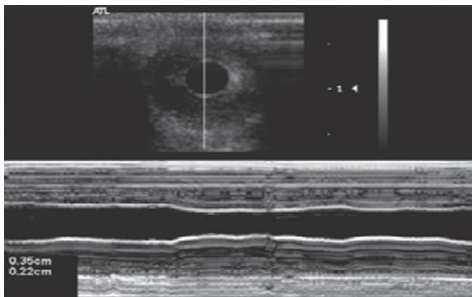


Debemos recordar que es muy importante el uso de abundante gel en la ecografía ocular para minimizar los espacios de aire que aparecen, dada la forma cóncava de la órbita, y que nos pueden dificultar la correcta visualización de las estructuras a estudio. Después de la aplicación del gel, colocaremos la sonda lineal sobre la zona orbitaria tomando un plano trans-

versal, lateral al hueso cigomático (Figura 12). Es muy importante aplicar la mínima presión posible. Si el paciente colabora, se le pedirá que fije la mirada hacia el plano superior (por ejemplo, el techo) y entonces bascularemos la sonda unos 45° hacia la zona superior de la órbita del paciente. Una vez que la pupila se visualice en la pantalla del ecógrafo (circunferencia ane-

coica, modo 2D, la imagen que aparecerá a la izquierda de la pantalla se corresponderá con la derecha del paciente) (Figura 13), se aplicará una luz intensa sobre el ojo a explorar y, si el reflejo pupilar directo está conservado, se observará una disminución del diámetro pupilar. Del mismo modo y sin retirar la sonda de ese ojo, se iluminará el contralateral para comprobar así el reflejo consensuado (Figura 14). La sala donde se realice la técnica ha de estar en penumbra para un mejor resultado de la técnica.

Figura 14. Imagen simultánea en modo 2D y M del reflejo consensuado pupilar



El modo M muestra el diámetro de la pupila como una banda central de color negro que se estrecha como respuesta al estímulo luminoso.

5. Guía rápida

1. Ecografía Doppler transcraneal.

a. Técnica:

- Transductores de baja frecuencia. Usar modalidad de CW.
- Una vez localizado el flujo, realizar corrección con ángulo de insonación.
- Registrar VS, VM, VD, IP e IR (+ IL, si se sospecha de vasoespasmos).

- Valores normales de velocidades ajustados por edad (Tabla 1).

b. Ventanas:

- Transtemporal: entre la oreja y la ceja. Tomar como referencia los pedúnculos cerebrales; el polígono de Willis (ACI, ACM, ACA y ACP) es anterior.
- Suboccipital: decúbito lateral o supino. Explorar desde suboccipital a través del foramen magno. Permite evaluar AV (V invertida) y AB.
- Transorbitaria: abundante gel sobre párpado cerrado. Permite ver AO y ACI.
- Transfontanelar: desde fontanela anterior. Evaluar rama pericallosa de ACA. Comparar valores pre- y poscompresión suave.

c. Interpretación:

- Siempre es necesario tener en cuenta la situación clínica completa en el contexto del paciente.
- PIC elevada: IP e IR elevados, atenuación progresiva del flujo diastólico.
- Isquemia: velocidad diastólica baja con IP elevado.
- Hiperemia: VS y VD elevadas. IP e IR bajos.
- Vasoespasmos: elevación de velocidad media. Aumento del índice de Lindgaard (>3).

- Parada circulatoria cerebral: evaluar territorio anterior y posterior. Espigas sistólicas, flujo diastólico reverso o desaparición de flujo son compatibles.
2. Evaluación ecográfica de la DLM.
- a. Metodología:
- Decúbito supino, ventana transtemporal. Sonda de baja frecuencia.
 - Identificar pedúnculos cerebrales. Angular cefálico 10° hasta localizar el tercer ventrículo (línea media).
 - Medir distancia desde ambas corticales externas al tercer ventrículo.
 - Si la mitad de la diferencia entre distancias es >0,5 cm: riesgo elevado.
3. Medición del DVNO en HIC.
- a. Metodología:
- Minimizar el tiempo de exploración y energía.
 - Transductor lineal sobre el párpado con abundante gel y sin presionar.
 - Imagen axial oblicua del globo ocular con la vaina del nervio óptico definiendo dos líneas paralelas.
 - Medir distancia a 3 mm del polo posterior.
 - Por debajo de 5 mm: el riesgo de HIC es bajo (alto valor predictivo negativo).
4. Evaluación de la respuesta pupilar mediante ecografía.
- a. Metodología:
- Sonda lineal. Abundante gel. No presionar. Limitar energía.
 - Abordaje desde lateral, plano transversal. Bascular la sonda hasta visualizar la pupila.
 - Aplicar luz intensa sobre el párpado (reflejo fotomotor directo) y sobre el ojo contralateral (reflejo consensuado).
- Evaluar siempre en el contexto clínico del paciente (sensibilidad más pobre).

Bibliografía

1. Aaron Harries MD, Sachita Shah MD, Nathan Teismann MD, *et al.* Ultrasound assessment of extraocular movements and pupillary light reflex in ocular trauma. *Am J Emerg Med.* 2010;28:956-9.
2. American College of Radiology (ACR), Society for Pediatric Radiology (SPR), Society of Radiologists in Ultrasound (SRU). AIUM practice guideline for the performance of a transcranial Doppler ultrasound examination for adults and children. *J Ultrasound Med.* 2012;31(9):1489-500.
3. Bellner J, Romner B, Reinstrup P, *et al.* Transcranial Doppler sonography pulsatility index (PI) reflects intracranial pressure (ICP). *Surg Neurol.* 2004;62(1):45-51; discussion 51.
4. Bode H, Wais U. Age dependence of flow velocities in basal cerebral arteries. *Arch Dis Child.* 1988;63(6):606-11.

5. Bonow RH, Young CC, Bass DI, *et al.* Transcranial Doppler ultrasonography in neurological surgery and neurocritical care. *Neurosurg Focus.* 2019;47(6):E2.
6. Cruz Portelles, A, Marrero-Reyes Y, Fernández B, *et al.* Examen de las pupilas en el neuromonitoreo clínico del paciente con trauma craneoencefálico. *Medicina Intensiva.* 2012;29(1).
7. Goh D, Minns RA, Hendry GM, *et al.* Cerebrovascular resistive index assessed by duplex Doppler sonography and its relationship to intracranial pressure in infantile hydrocephalus. *Pediatr Radiol.* 1992;22(4):246-50.
8. Guyton AC, Hall JE. The eye: III. Central neurophysiology of vision. En: *Textbook of Medical Physiology.* Filadelfia: Elsevier Saunders; 2006. p. 640-9.
9. Kerscher SR, Schöni D, Hurth H, *et al.* The relation of optic nerve sheath diameter (ONSD) and intracranial pressure (ICP) in pediatric neurosurgery practice — Part I: Correlations, age-dependency and cut-off values. *Childs Nerv Syst.* 2020;36:99-106.
10. Komut E, Kozaci N, Sönmez BM, *et al.* Bedside sonographic measurement of optic nerve sheath diameter as a predictor of intracranial pressure in ED. *Am J Emerg Med.* 2016;34:963-7.
11. Koziarz A, Sne N, Kegel F, *et al.* Bedside Optic Nerve Ultrasonography for Diagnosing Increased Intracranial Pressure: A Systematic Review and Meta-analysis. *Ann Intern Med.* 2019;171:896-905. doi: 10.7326/M19-0812.
12. LaRovere KL, O'Brien NF. Transcranial Doppler Sonography in Pediatric Neurocritical Care: A Review of Clinical Applications and Case Illustrations in the Pediatric Intensive Care Unit. *J Ultrasound Med.* 2015;34(12):2121-32.
13. Lau VI, Arntfield RT. Point-of-care transcranial Doppler by intensivists. *Crit Ultrasound J.* 2017;9(1):21.
14. Llompарт Pou JA, Abadal Centellas JM, Palmer Sans M, *et al.* Monitoring midline shift by transcranial color-coded sonography in traumatic brain injury. A comparison with cranial computerized tomography. *Intensive Care Med.* 2004;30(8):1672-5. doi: 10.1007/s00134-004-2348-8.
15. Lovett ME, Maa T, Moore-Clingenpeel M, *et al.* Transcranial Doppler ultrasound findings in children with moderate-to-severe traumatic brain injury following abusive head trauma. *Childs Nerv Syst.* 2020;36(5):993-1000.
16. Mirjalili H, Raee-Ezzabadi A, Yazdiyousefi Y, *et al.* The Value of Ultrasonography in determining Pupillary Light Reflex in Patients with Traumatic Ocular Injuries; a Letter to Editor. *Arch Acad Emerg Med.* 2019;7(1):e62.
17. Narayan V, Mohammed N, Savardekar AR, *et al.* Noninvasive Intracranial Pressure Monitoring for Severe Traumatic Brain Injury in Children: A Concise Update on Current Methods. *World Neurosurg.* 2018;114:293-300.
18. Newman WD, Hollman AS, Dutton GN, *et al.* Measurement of acute raised intracranial pressure in hydrocephalus. *Br J Ophthalmol.* 2002;86:1109-13.
19. O'Brien NF. Reference values for cerebral blood flow velocities in critically ill, sedated children. *Childs Nerv Syst.* 2015;31(12):2269-76.
20. Padayachy LC, Padayachy V, Galal U, *et al.* The relationship between transorbital ultrasound measurement of the optic nerve sheath diameter (ONSD) and invasively measured ICP in children. Part I: repeatability, observer varia-

- bility and general analysis. *Childs Nerv Syst.* 2016;32(10):1769-78.
21. Padayachy LC, Padayachy V, Galal U, *et al.* The relationship between transorbital ultrasound measurement of the optic nerve sheath diameter (ONSD) and invasively measured ICP in children. Part II: age-related ONSD cut-off values and patency of the anterior fontanelle. *Childs Nerv Syst.* 2016;32(10):1779-85.
22. Robba C, Santori G, Czosnyka M, *et al.* Optic nerve sheath diameter measured sonographically as non-invasive estimator of intracranial pressure: a systematic review and meta-analysis. *Intensive Care Med.* 2018;44:1284-94.
23. Robba C, Taccone FS. How I use Transcranial Doppler. *Crit Care.* 2019;23(1):420.
24. Sargsyan A, Hamilton D, Melton S, *et al.* Ultrasonic evaluation of pupillary light reflex. *Crit Ultrasound J.* 2009;1:53-7.
25. Steinborn M, Friedmann M, Hahn H, *et al.* Normal values for transbulbar sonography and magnetic resonance imaging of the optic nerve sheath diameter (ONSD) in children and adolescents. *Ultraschall Med.* 2015;36(1):54-8. doi: 10.1055/s-0034-1385012.
26. Verlhac S. Transcranial Doppler in children. *Pediatr Radiol.* 2011;41(Suppl. 1):S153-65.
27. Yoshizuka T, Kinoshita M, Iwata S, *et al.* Estimation of elevated intracranial pressure in infants with hydrocephalus by using transcranial Doppler velocimetry with fontanel compression. *Sci Rep.* 2018;8(1):11824.