



SECIP

SOCIEDAD Y FUNDACIÓN ESPAÑOLA DE CUIDADOS INTENSIVOS PEDIÁTRICOS

PROTOCOLO DE NEUROECOGRAFÍA: ECOGRAFÍA DOPPLER TRANSCRANEAL, EVALUACIÓN DE LA DESVIACIÓN DE LÍNEA MEDIA, DIAMETRO DE LA VAINA DEL NERVIO ÓPTICO Y EVALUACIÓN DE REFLEJOS PUPILARES

	REALIZADO	REVISADO	APROBADO
FECHA	FEBRERO 2020		
NOMBRE	RAUL MONTERO YÉBOLES ¹ JUAN MAYORDOMO COLUNGA ² MARTA MUÑOYERRO SESMERO ³ JOSE MÁRIA GÓMEZ LUQUE ⁴ PATRICIA RODRÍGUEZ CAMPOY ⁵ RAFAEL GONZÁLEZ CORTÉS ⁶		
CARGO	¹ Médico Adjunto UCIP Hospital Universitario reina Sofía (Córdoba) ² Médico Adjunto UCIP Hospital Universitario Central de Asturias (Oviedo) ³ Complejo Asistencial Universitario De Salamanca (Salamanca) ⁴ Médico Adjunto Hospital Universitario Virgen de las Nieves (Granada). ⁵ Médico Adjunto UCIP Hospital Universitario Puerta del Mar (Cádiz) ⁶ Médico Adjunto UCIP Hospital General Universitario Gregorio Marañón (Madrid).		Grupo de Trabajo De Ecografía
REVISION		FEBRERO 2023	



SECIP

SOCIEDAD Y FUNDACIÓN ESPAÑOLA DE CUIDADOS INTENSIVOS PEDIÁTRICOS

PROTOCOLO DE NEUROECOGRAFÍA: ECOGRAFÍA DOPPLER TRANSCRANEAL, EVALUACIÓN DE LA DESVIACIÓN DE LÍNEA MEDIA, DIAMETRO DE LA VAINA DEL NERVIO ÓPTICO Y EVALUACIÓN DE REFLEJOS PUPILARES

Justificación del protocolo

La evaluación del paciente pediátrico neurocrítico es en muchas ocasiones una situación altamente compleja. El uso de medicación sedoanalgésica, así como las dificultades inherentes al transporte intrahospitalario para la realización de estudios de imagen y los riesgos que estas técnicas conllevan limitan en muchas ocasiones las herramientas con las que el pediatra intensivista cuenta. Por su posible aplicación a pie de cama, por su reproducibilidad y por los bajos riesgos biológicos que atañen, las técnicas ecográficas empleadas por el propio médico intensivista pediátrico han demostrado ser servir útiles como guía clínica en el manejo de pacientes pediátricos críticos con patología neurológica y neuroquirúrgica.

Índice

1. ECOGRAFÍA DOPPLER TRANSCRANEAL
2. EVALUACIÓN ECOGRÁFICA DE LA DESVIACIÓN DE LA LÍNEA MEDIA
3. MEDICIÓN ECOGRÁFICA DEL TAMAÑO DE LA VAINA DEL NERVIO ÓPTICO EN LA HIPERTENSIÓN INTRACRANEAL
4. EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA PUPILAR MEDIANTE ECOGRAFÍA
5. GUÍA RÁPIDA
6. BIBLIOGRAFÍA



1. ECOGRAFÍA DOPPLER TRANSCRANEAL

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), quedando fuera de su ámbito el DTC ciego.

El flujo sanguíneo cerebral se puede ver alterado en diferentes situaciones clínicas. Las variaciones de la presión intracraneal y de la resistencia vascular se traduce 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.

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.

Técnica:

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.

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 vez identificada la arteria se activará la modalidad de doppler continuo (CW) 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 corrección del ángulo de insonación para alinearlo con la dirección del flujo. 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



PROTOCOLO DE NEUROECOGRAFÍA: ECOGRAFÍA DOPPLER TRANSCRANEAL, EVALUACIÓN DE LA DESVIACIÓN DE LÍNEA MEDIA, DIAMETRO DE LA VAINA DEL NERVIO ÓPTICO Y EVALUACIÓN DE REFLEJOS PUPILARES

seriadas. Se registrarán para cada vaso explorado la velocidad pico sistólica (VS), 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, 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 corresponde con el trazado correspondiente al observado, sin existencia de artefactos. En caso de existir artefactos que impidan el correcto análisis automático, se recomienda 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.

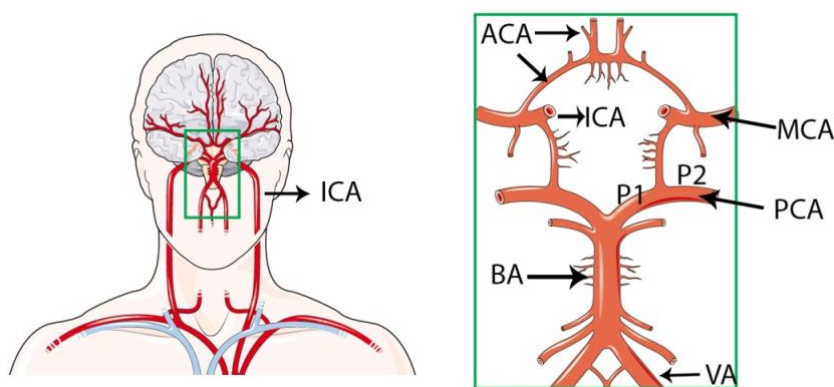


Figura 1: Diagrama de la circulación cerebral con las principales arterias. MCA: arteria cerebral media. ACA: arteria cerebral anterior. ICA: arteria carótida interna. BA: arteria basilar. VA: arteria vertebral. PCA: arteria cerebral posterior. P1: segmento pre-comunicante de la arteria cerebral posterior. P2: segmento post-comunicante de la arteria cerebral posterior.

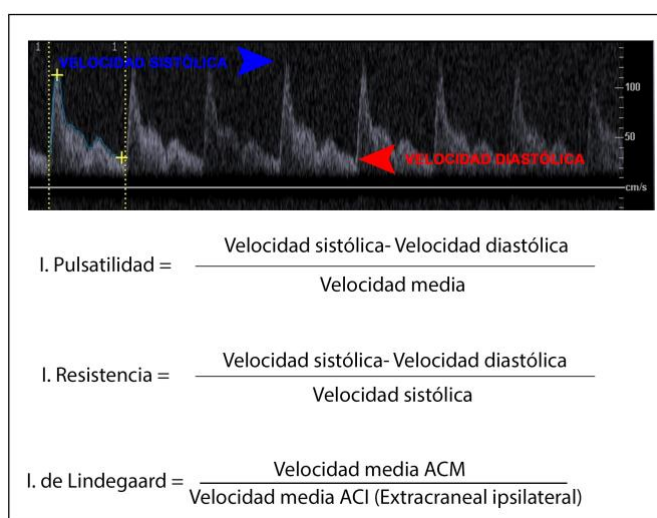


Figura 2: Trazado de doppler transcraneal en el que se señalan las velocidades diastólica y sistólica, y se muestra debajo las fórmulas de los índices de pulsatilidad, resistencia y de Lindegaard.



PROTOCOLO DE NEUROECOGRAFÍA: ECOGRAFÍA DOPPLER TRANSCRANEAL, EVALUACIÓN DE LA DESVIACIÓN DE LÍNEA MEDIA, DIAMETRO DE LA VAINA DEL NERVIO ÓPTICO Y EVALUACIÓN DE REFLEJOS PUPILARES

	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 (pre-comunicante)	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 (post-comunicante)	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

Tabla 1: Velocidades de flujo en las diferentes arterias cerebrales ajustadas por edad (adaptado de Bode H, Wais U. Age dependence of flow velocities in basal cerebral arteries. Arch Dis Child. 1988). El intervalo representa la media +/- 1 desviación típica.



SECIP

SOCIEDAD Y FUNDACIÓN ESPAÑOLA DE CUIDADOS INTENSIVOS PEDIÁTRICOS

PROTOCOLO DE NEUROECOGRAFÍA: ECOGRAFÍA DOPPLER TRANSCRANEAL, EVALUACIÓN DE LA DESVIACIÓN DE LÍNEA MEDIA, DIAMETRO DE LA VAINA DEL NERVIÓ ÓPTICO Y EVALUACIÓN DE REFLEJOS PUPILARES

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 cerebral a nivel del tercer ventrículo.
 - Localización: anterior a la oreja, y dorsal a la cola de la ceja, por encima del arco zigomático.
 - 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.

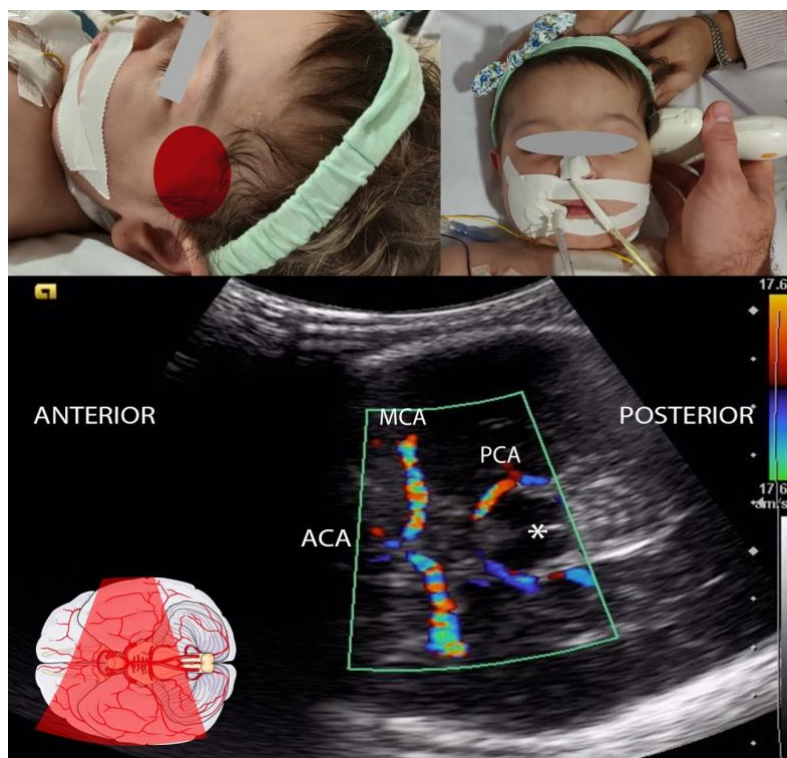


Figura 3 Ventana transtemporal y posición del transductor (arriba). Vista ecográfica en modo color de las principales ramas del polígono de Willis (abajo). Los pedúnculos cerebrales (hipocóicos) están señalados con un asterisco. ACA: arteria cerebral anterior. MCA: arteria cerebral media. PCA: arteria cerebral posterior.



SECIP

SOCIEDAD Y FUNDACIÓN ESPAÑOLA DE CUIDADOS INTENSIVOS PEDIÁTRICOS

PROTOCOLO DE NEUROECOGRAFÍA: ECOGRAFÍA DOPPLER TRANSCRANEAL, EVALUACIÓN DE LA DESVIACIÓN DE LÍNEA MEDIA, DIAMETRO DE LA VAINA DEL NERVIÓ ÓPTICO Y EVALUACIÓN DE REFLEJOS PUPILARES

- 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 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 los flexiona la cabeza, con el mentón tocando el pecho y se insonará la arteria a estudio 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.

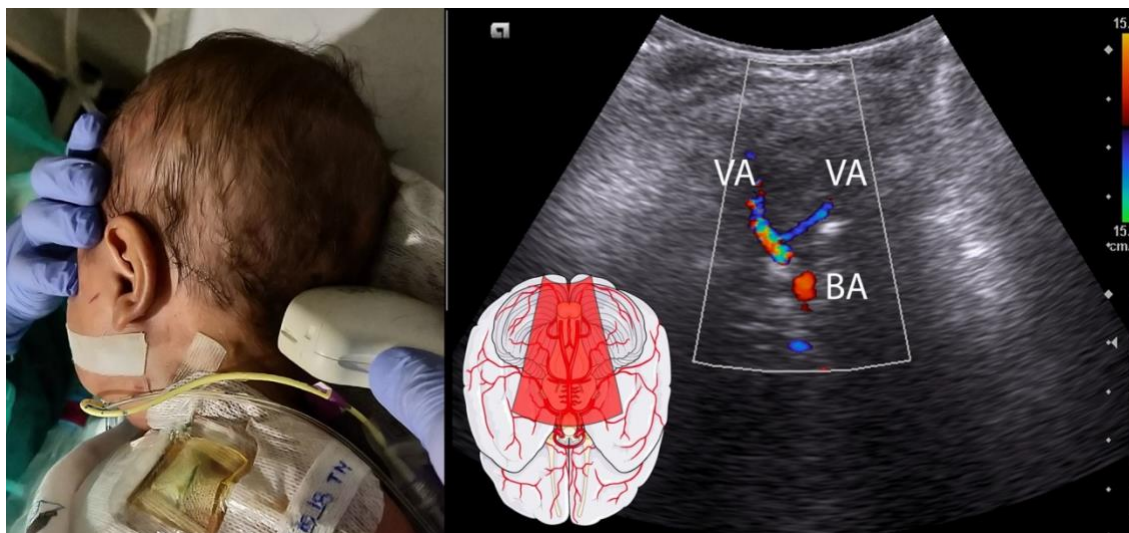


Figura 4: Ventana suboccipital (izquierda). Doppler modo color (derecha) mostrando las arterias vertebrales (VA) como una V invertida, con el flujo en dirección opuesta al transductor, y uniéndose para formar el tronco basilar (BA).

- Ventana transorbitaria (oftálmica): (Figura 5)
 - Especialmente útil en pacientes con mala ventana temporal. Habitualmente permite insonar el sifón carotídeo (ACI) y la arteria oftálmica (AO) y en ocasiones también la ACM y la ACA. Se usa también para medir el diámetro de la vaina del nervio óptico.
 - 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 colocará el transductor sin ejercer presión. La arteria oftálmica entra en la órbita en posición lateral e inferior al nervio óptico, para luego cruzar superior y medial



SECIP

SOCIEDAD Y FUNDACIÓN ESPAÑOLA DE CUIDADOS INTENSIVOS PEDIÁTRICOS

PROTOCOLO DE NEUROECOGRAFÍA: ECOGRAFÍA DOPPLER TRANSCRANEAL, EVALUACIÓN DE LA DESVIACIÓN DE LÍNEA MEDIA, DIAMETRO DE LA VAINA DEL NERVIÓ ÓPTICO Y EVALUACIÓN DE REFLEJOS PUPILARES

al nervio óptico y las ramas de la arteria central de la retina. La aproximación anteroposterior permite identificar la ACI, AO y la oblicua la ACM y las ACA.

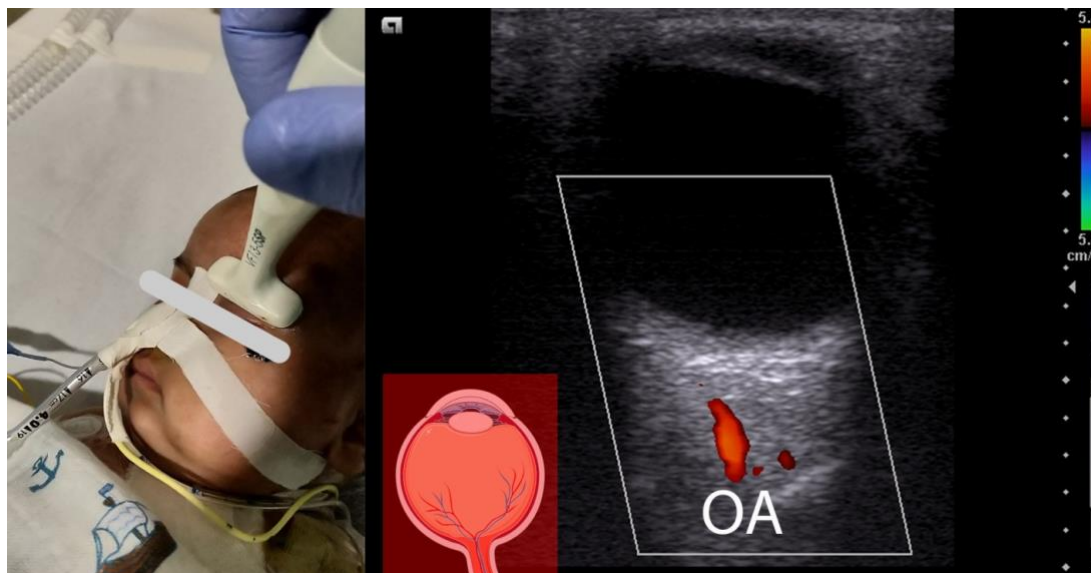


Figura 5 Ventana transorbital: Se coloca la sonda sobre el párpado superior. En la imagen se observa la imagen de la órbita con el globo ocular hipoeoico con forma redondeado y la arteria oftálmica dirigiendo su flujo hacia el transductor.

- 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.
 - 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 en pacientes con fontanela abierta se registran las velocidades en la rama pericallosa de la ACA, antes y después de realizar una compresión ligera de la fontanela anterior. Sin compresión valores del IR e IP por encima de 0,65 pueden sugerir la existencia de hipertensión intracraneal. Valores de IR e IP por encima de 0,8 durante la compresión de la fontanela también son sugerentes de hipertensión intracraneal.



SECIP

SOCIEDAD Y FUNDACIÓN ESPAÑOLA DE CUIDADOS INTENSIVOS PEDIÁTRICOS

PROTOCOLO DE NEUROECOGRAFÍA: ECOGRAFÍA DOPPLER TRANSCRANEAL, EVALUACIÓN DE LA DESVIACIÓN DE LÍNEA MEDIA, DIAMETRO DE LA VAINA DEL NERVIÓ ÓPTICO Y EVALUACIÓN DE REFLEJOS PUPILARES

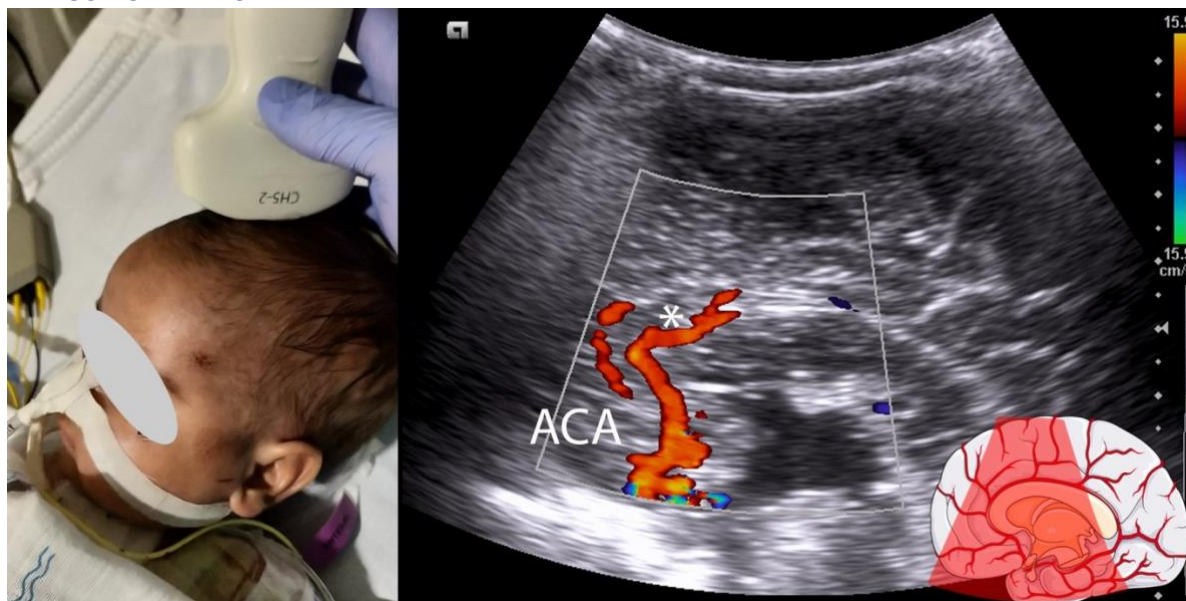


Figura 6 Ventana transfontanelar. Se coloca el transductor en un plano sagital con la marca dirigida hacia la frente (izquierda). Vista de doppler color de la ACA a través de la ventana transfontanelar. La rama pericallosa está señalada con un asterisco.

Interpretación de las mediciones de DTC:

Todas las mediciones de flujo sanguíneo cerebral mediante DTC debe 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, cortocircuitos extracardiacos y patología aórtica. Otras condiciones como la frecuencia cardiaca, el nivel de pCO_2 , 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 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.

Patrones de DTC fácilmente reconocibles: (figura 7)

- 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.



PROTOCOLO DE NEUROECOGRAFÍA: ECOGRAFÍA DOPPLER TRANSCRANEAL, EVALUACIÓN DE LA DESVIACIÓN DE LÍNEA MEDIA, DIAMETRO DE LA VAINA DEL NERVIO ÓPTICO Y EVALUACIÓN DE REFLEJOS PUPILARES

- Según progresa la elevación de 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 asociado al desarrollo de edema cerebral y la pérdida de autorregulación cerebral.
 - A medida que el edema progresa, se eleva la PIC, lo cual modifica el patrón de flujos aumentando el IR e IP.
- **Vasoespasmó:**
 - Ocurre con frecuencia en relación con sangrados subaracnoideos (ruptura de un aneurisma o en contexto de TCE). Normalmente en torno al segundo día de evolución. 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 a la edad del niño, velocidades medias superiores a 120 cm/s se consideran indicativas de vasoespasmó.
 - Un IL mayor de 3 confirma el diagnóstico de vasoespasmó y si es mayor de 6 debe considerarse como grave.
 - Para la circulación posterior, se considera la existencia de vasoespasmó cuando la velocidad media en el tronco basilar alcanza 90 cm/s.
 - Mediciones repetidas permiten valorar la respuesta al tratamiento y para 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. Pudiendo 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



SECIP

SOCIEDAD Y FUNDACIÓN ESPAÑOLA DE CUIDADOS INTENSIVOS PEDIÁTRICOS

PROTOCOLO DE NEUROECOGRAFÍA: ECOGRAFÍA DOPPLER TRANSCRANEAL, EVALUACIÓN DE LA DESVIACIÓN DE LÍNEA MEDIA, DIAMETRO DE LA VAINA DEL NERVIO ÓPTICO Y EVALUACIÓN DE REFLEJOS PUPILARES

exploración compatible. Cada país puede tener sus propias regulaciones en relación al 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 exclusivas 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 velocidad sistólica < 50 cm/s). (Figura 7C)
 - Flujo diastólico reverso de forma mantenida u onda de flujo oscilante (mismo flujo sistólico anterógrado que diastólico reverso) (figura 7 D).
 - 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 minutos.

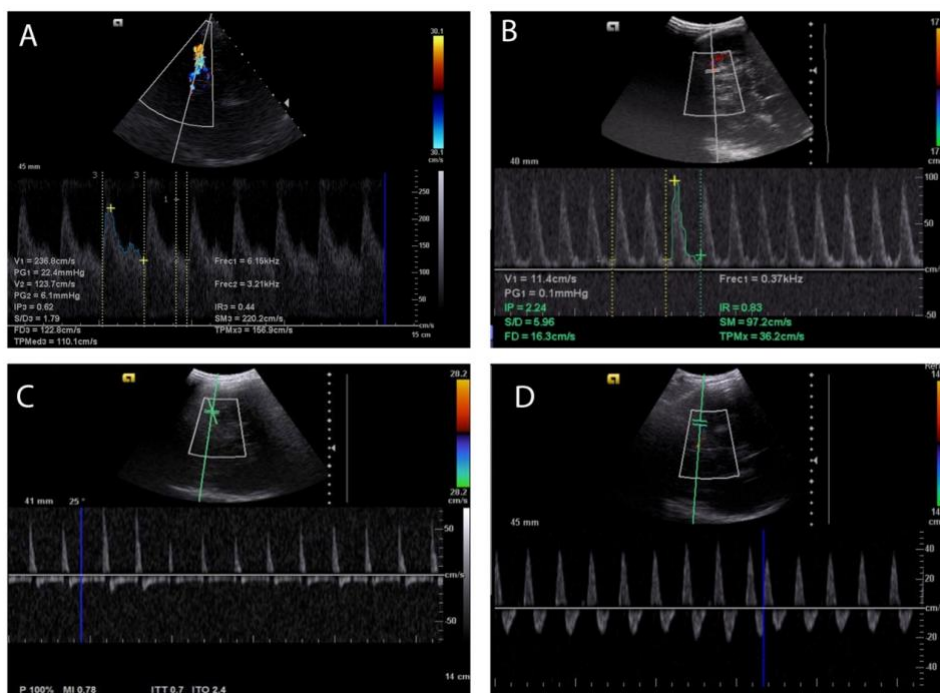


Figura 7: Distintos patrones anormales de DTC en la ACM. A: patrón de hiperemia, con velocidades sistólicas y diastólicas elevadas. B: patrón de isquemia, con velocidades diastólicas bajas e IP elevado. C: espigas sistólicas pequeñas. D: patrón de onda de flujo oscilante con flujo diastólico reverso.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



2. Evaluación ecográfica de la desviación de la línea media

Introducción:

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

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 hipoeoica 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 hipoeoica definida por dos líneas paralelas hiperecoicas. Una vez identificado, congelaremos la imagen y realizaremos las mediciones. (Figura 8 - derecha)
- 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 en hasta la cortical externa del lado contralateral siguiendo el mismo eje (Distancia B). El grado de DLM resulta de dividir entre dos la diferencia entre las dos distancias ($DLM=(A-B)/2$). (Figura 8 - derecha)

Interpretación de la medición de 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 adultos, en pacientes neuroquirúrgicos 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.



SECIP

SOCIEDAD Y FUNDACIÓN ESPAÑOLA DE CUIDADOS INTENSIVOS PEDIÁTRICOS

PROTOCOLO DE NEUROECOGRAFÍA: ECOGRAFÍA DOPPLER TRANSCRANEAL, EVALUACIÓN DE LA DESVIACIÓN DE LÍNEA MEDIA, DIAMETRO DE LA VAINA DEL NERVIÓ ÓPTICO Y EVALUACIÓN DE REFLEJOS PUPILARES

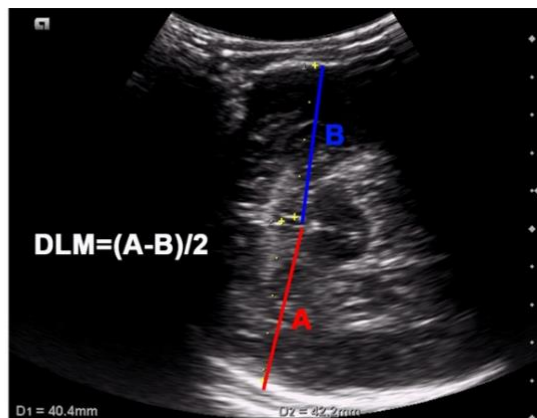
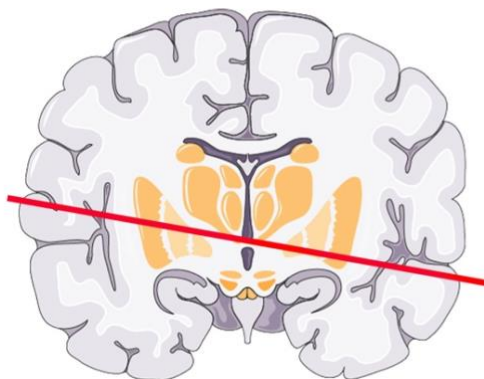


Figura 8: Evaluación de la desviación de la línea media, el plano de insonación se angula cranealmente unos 10°.

3. MEDICIÓN ECOGRÁFICA DEL DIAMETRO DE LA VAINA DEL NERVIÓ ÓPTICO EN LA HIPERTENSIÓN INTRACRANEAL.

La elevación persistente de la presión intracranial (PIC) se asocia a mal pronóstico y la mortalidad aumenta cuanto más alta sean las cifras de 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 PIC elevada sin necesidad de realizar pruebas de imagen que puedan precisar la movilización del paciente. Concretamente, el doppler transcranial y la medición ecográfica del diámetro de la vaina del nervio óptico (DVNO) son las herramientas no invasivas más útiles en pediatría para predecir la existencia de hipertensión intracranial (HIC) de forma precoz.

Recuerdo anatómico:

El nervio óptico está rodeado de una vaina que se comunica con el espacio subaracnoideo intracranial. Las variaciones de presión del 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.

Recomendaciones para la exploración:

Para realizar una ecografía ocular, se debe 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 ≤ 1 y un índice mecánico $\leq 0,23$ y se



SECIP

SOCIEDAD Y FUNDACIÓN ESPAÑOLA DE CUIDADOS INTENSIVOS PEDIÁTRICOS

PROTOCOLO DE NEUROECOGRAFÍA: ECOGRAFÍA DOPPLER TRANSCRANEAL, EVALUACIÓN DE LA DESVIACIÓN DE LÍNEA MEDIA, DIAMETRO DE LA VAINA DEL NERVIO ÓPTICO Y EVALUACIÓN DE REFLEJOS PUPILARES

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 higiene de manos y utilización de guantes por parte del operador y emplear abundante gel no irritante evitando presionar con el transductor.

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

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 córnea, evitando así las estructuras anteriores del ojo (figura 9).



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

Se ajustará 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).

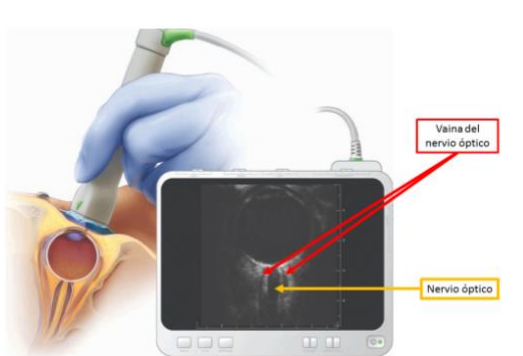


Figura 9 Imagen axial oblicua del globo ocular. Posterior al mismo se observa nervio óptico (flecha amarilla) rodeado por la vaina (flechas rojas). Imagen adaptada de: Koziarz A, Sne N, Kegel F, et al. Bedside Optic Nerve Ultrasonography for Diagnosing Increased Intracranial Pressure: A Systematic Review and Meta-analysis. Ann Intern Med. 2019;171:896–905.



SECIP

SOCIEDAD Y FUNDACIÓN ESPAÑOLA DE CUIDADOS INTENSIVOS PEDIÁTRICOS

PROTOCOLO DE NEUROECOGRAFÍA: ECOGRAFÍA DOPPLER TRANSCRANEAL, EVALUACIÓN DE LA DESVIACIÓN DE LÍNEA MEDIA, DIAMETRO DE LA VAINA DEL NERVIÓ ÓPTICO Y EVALUACIÓN DE REFLEJOS PUPILARES

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.

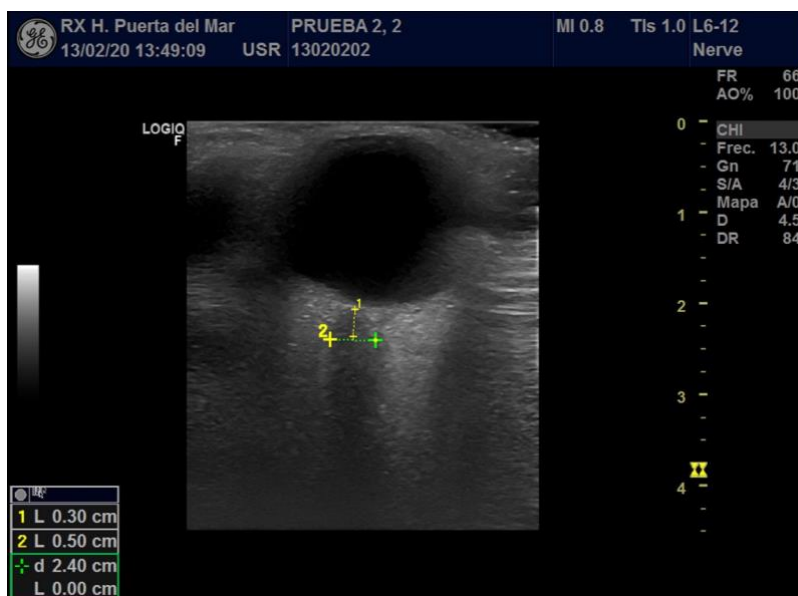


Figura 10: medición del DVNO a 3 mm de la unión vítreo-retiniana. Desde esta localización se traza, desde la vaina, una línea perpendicular al eje longitudinal del nervio óptico

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 de edad, el límite aproximado es 5 mm (la correlación entre 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 en base a este valor umbral, pues existe heterogeneidad en los estudios, falta estandarización y precisión en las mediciones, la mayoría son estudios con 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



SECIP

SOCIEDAD Y FUNDACIÓN ESPAÑOLA DE CUIDADOS INTENSIVOS PEDIÁTRICOS

PROTOCOLO DE NEUROECOGRAFÍA: ECOGRAFÍA DOPPLER TRANSCRANEAL, EVALUACIÓN DE LA DESVIACIÓN DE LÍNEA MEDIA, DIAMETRO DE LA VAINA DEL NERVIÓ ÓPTICO Y EVALUACIÓN DE REFLEJOS PUPILARES

de que los valores de 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:

INTRODUCCIÓN.

La observación periódica del estado de las pupilas tiene valor diagnóstico y pronóstico en determinadas circunstancias como es en el traumatismo craneo-encefálico moderado-grave, hipertensión intracraneal, intoxicación por fármacos u otras sustancias o en el periodo post-parada 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, hifema...) 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.

APARATOS Y SONDAS.

En caso del globo ocular tendremos que tener en cuenta, el índice mecánico (IM) y el índice térmico (IT). El último representa el calentamiento tisular mientras que el IM es la capacidad de cavitación ó formación explosiva de burbujas microscópicas en los tejidos, 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 ellos con el objetivo de minimizar este tiempo en las siguientes exploraciones.

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.



SECIP

SOCIEDAD Y FUNDACIÓN ESPAÑOLA DE CUIDADOS INTENSIVOS PEDIÁTRICOS

PROTOCOLO DE NEUROECOGRAFÍA: ECOGRAFÍA DOPPLER TRANSCRANEAL, EVALUACIÓN DE LA DESVIACIÓN DE LÍNEA MEDIA, DIAMETRO DE LA VAINA DEL NERVIÓ ÓPTICO Y EVALUACIÓN DE REFLEJOS PUPILARES

Debemos recordar que es muy importante el uso de abundante gel en la ecografía ocular, con el objetivo de minimizar los espacios de aire que aparecen dada la estructura 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 transversal, lateral al hueso zigomático (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 (ej. 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 anecoica, 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 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. La sala donde se realice la técnica ha de estar en penumbra para un mejor resultado de la técnica.

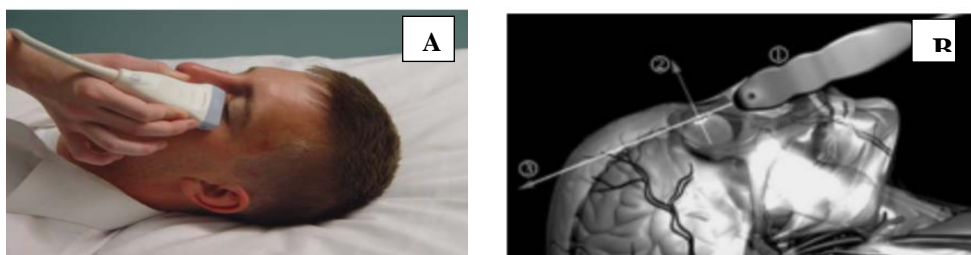


Figura 12: A. Colocación de la sonda para obtener una imagen coronal del iris-pupila, usando un transductor lineal de alta frecuencia. B. Planos de trayecto del haz de ultrasonidos sobre el globo ocular para obtener imagen en plano coronal. (Courtesy of Butler Graphics, Inc.)

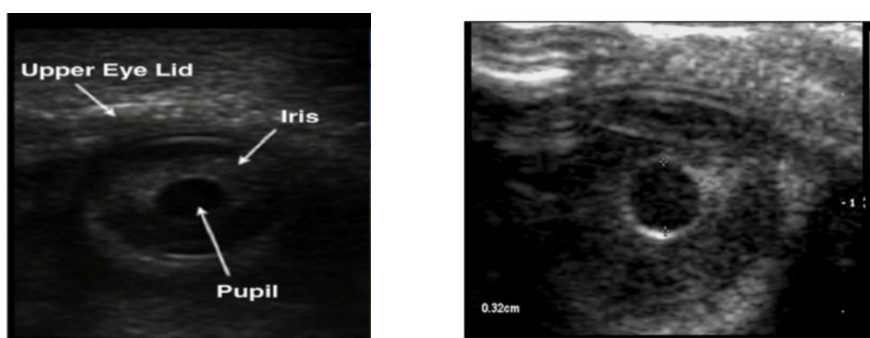


Figura 13. Modo 2D. Plano coronal del globo ocular a nivel de la pupila e iris.

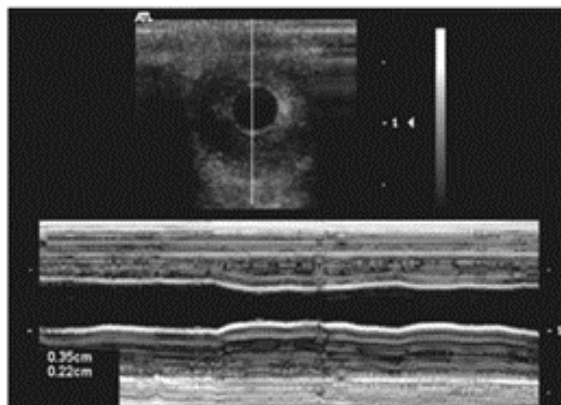


Figura 11 Imagen simultánea en modo 2D y M del reflejo consensuado pupilar. El modo M muestra el diámetro de la pupila como una banda central de color negro que se estrecha como respuesta al estímulo luminoso.

5. Guía rápida

1) Ecografía doppler transcraneal:

a) Técnica:

- i) Transductores de baja frecuencia. Usar modalidad de doppler continuo (CW).
- ii) Una vez localizado el flujo realizar corrección ángulo de insonación.
- iii) Registrar VS, VM, VD, IP e IR (+ Índice de Lindegaard si sospecha de vasoespasmo).
- iv) Valores normales de velocidades ajustados por edad (Tabla 1)

b) Ventanas:

- i) Transtemporal: Entre la oreja y la ceja. Tomar como referencia los pedúnculos cerebrales, el polígono de Willis (ACI, ACM, ACA y ACP) es anterior.
- ii) Suboccipital: Decúbito lateral o supino. Explorar desde suboccipital a través del foramen magno. Permite evaluar AVs (V invertida) y AB.
- iii) Transorbitaria: Abundante gel sobre párpado cerrado. Permite ver AO y ACI.
- iv) Transfontanelar: Desde fontanela anterior. Evaluar rama pericallosa de ACA. Comparar valores pre y post compresión suave.

c) Interpretación:

- i) Siempre en el contexto del paciente, es necesario tener en cuenta la situación clínica completa.
- ii) PIC elevada: IP e IR elevados, atenuación progresiva del flujo diastólico.



SECIP

SOCIEDAD Y FUNDACIÓN ESPAÑOLA DE CUIDADOS INTENSIVOS PEDIÁTRICOS

PROTOCOLO DE NEUROECOGRAFÍA: ECOGRAFÍA DOPPLER TRANSCRANEAL, EVALUACIÓN DE LA DESVIACIÓN DE LÍNEA MEDIA, DIAMETRO DE LA VAINA DEL NERVIÓ ÓPTICO Y EVALUACIÓN DE REFLEJOS PUPILARES

- iii) Isquemia: Velocidad diastólica baja con IP elevado.
 - iv) Hiperemia: VS y VD elevadas. IP e IR bajos.
 - v) Vasoespasmo: elevación de velocidad media. Aumento de Índice de Lindeegard (>3).
 - vi) Parada circulatoria cerebral: Evaluar territorio anterior y posterior. Espigas sistólicas, flujo diastólico reverso o desaparición de flujo son compatibles.
- 2) Evaluación ecográfica de la desviación de la línea media:
- a) Metodología:
 - i) Decúbito supino, ventana transtemporal. Sonda de baja frecuencia.
 - ii) Identificar pedúnculos cerebrales, angular cefálico 10º hasta localizar 3º ventrículo (línea media).
 - iii) Medir distancia desde ambas corticales externas al 3º ventrículo.
 - iv) Si la mitad de la diferencia entre distancias es >0,5 cm riesgo elevado.
- 3) Medición del diámetro de la vaina del nervio óptico en hipertensión intracraneal.
- a) Metodología:
 - i) Minimizar tiempo de exploración y energía.
 - ii) Transductor lineal sobre el párpado con abundante gel y sin presionar.
 - iii) Imagen axial oblicua del globo ocular con la vaina del nervio óptico definiendo dos líneas paralelas.
 - iv) Medir distancia a 3 mm del polo posterior.
 - v) Por debajo de 5 mm el riesgo de HTIC es bajo (alto valor predictivo negativo). Evaluar siempre en el contexto clínico del paciente (sensibilidad más pobre).
- 4) Evaluación de la respuesta pupilar mediante ecografía.
- a) Metodología:
 - i) Sonda lineal. Abundante gel. No presionar. Limitar energía.
 - ii) Abordaje desde lateral, plano transversal. Bascular sonda hasta visualizar pupila.
 - iii) Aplicar luz intensa sobre el párpado (reflejo fotomotor directo) y sobre el ojo contralateral (reflejo consensuado).

9. Bibliografía

- 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



SECIP

SOCIEDAD Y FUNDACIÓN ESPAÑOLA DE CUIDADOS INTENSIVOS PEDIÁTRICOS

PROTOCOLO DE NEUROECOGRAFÍA: ECOGRAFÍA DOPPLER TRANSCRANEAL, EVALUACIÓN DE LA DESVIACIÓN DE LÍNEA MEDIA, DIAMETRO DE LA VAINA DEL NERVIO ÓPTICO Y EVALUACIÓN DE REFLEJOS PUPILARES

- ultrasound examination for adults and children. *J Ultrasound Med Off J Am Inst Ultrasound Med.* septiembre de 2012;31(9):1489-500.
- Bellner J, Romner B, Reinstrup P, Kristiansson K-A, Ryding E, Brandt L. Transcranial Doppler sonography pulsatility index (PI) reflects intracranial pressure (ICP). *Surg Neurol.* julio de 2004;62(1):45-51; discussion 51.
 - Verlhac S. Transcranial Doppler in children. *Pediatr Radiol.* mayo de 2011;41 Suppl 1:S153-165.
 - Bode H, Wais U. Age dependence of flow velocities in basal cerebral arteries. *Arch Dis Child.* junio de 1988;63(6):606-11.
 - Lau VI, Arntfield RT. Point-of-care transcranial Doppler by intensivists. *Crit Ultrasound J.* 13 de octubre de 2017;9(1):21.
 - 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 Off J Am Inst Ultrasound Med.* diciembre de 2015;34(12):2121-32.
 - O'Brien NF. Reference values for cerebral blood flow velocities in critically ill, sedated children. *Childs Nerv Syst ChNS Off J Int Soc Pediatr Neurosurg.* diciembre de 2015;31(12):2269-76.
 - Lovett ME, Maa T, Moore-Clingenpeel M, O'Brien NF. Transcranial Doppler ultrasound findings in children with moderate-to-severe traumatic brain injury following abusive head trauma. *Childs Nerv Syst ChNS Off J Int Soc Pediatr Neurosurg.* 28 de noviembre de 2019;
 - Bonow RH, Young CC, Bass DI, Moore A, Levitt MR. Transcranial Doppler ultrasonography in neurological surgery and neurocritical care. *Neurosurg Focus.* 1 de diciembre de 2019;47(6):E2.
 - Robba C, Taccone FS. How I use Transcranial Doppler. *Crit Care Lond Engl.* 23 de diciembre de 2019;23(1):420.

 - Yoshizuka T, Kinoshita M, Iwata S, Tsuda K, Kato T, Saikusa M, et al. Estimation of elevated intracranial pressure in infants with hydrocephalus by using transcranial Doppler velocimetry with fontanel compression. *Sci Rep.* 07 de 2018;8(1):11824
 - Llompart 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):1672–1675. doi:10.1007/s00134-004-2348-8



SECIP

SOCIEDAD Y FUNDACIÓN ESPAÑOLA DE CUIDADOS INTENSIVOS PEDIÁTRICOS

PROTOCOLO DE NEUROECOGRAFÍA: ECOGRAFÍA DOPPLER TRANSCRANEAL, EVALUACIÓN DE LA DESVIACIÓN DE LÍNEA MEDIA, DIAMETRO DE LA VAINA DEL NERVIO ÓPTICO Y EVALUACIÓN DE REFLEJOS PUPILARES

- 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.
- Newman WD, Hollman AS, Dutton GN, et al. Measurement of acute raised intracranial pressure in hydrocephalus. *Br J Ophthalmol.* 2002; 86:1109-1113.
- 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. [Epub ahead of print 19 November 2019]. doi: <https://doi.org/10.7326/M19-0812>.
- Kerscher, S.R., 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* 36, 99–106 (2020).
- Narayan V, Mohammed N, Savardekar AR, Patra DP, Notarianni C, Nanda A. Noninvasive Intracranial Pressure Monitoring for Severe Traumatic Brain Injury in Children: A Concise Update on Current Methods. *World Neurosurg.* 2018;114:293-300. doi: 10.1016/j.wneu.2018.02.159. Epub 2018 Mar 8.
- Padayachy LC, Padayachy V, Galal U, Gray R, Fieggen AG. The relationship between transorbital ultrasound measurement of the optic nerve sheath diameter (ONSD) and invasively measured ICP in children : Part I: repeatability, observer variability and general analysis. *Childs Nerv Syst.* 2016;32(10):1769–1778. doi:10.1007/s00381-016-3067-5
- Padayachy LC, Padayachy V, Galal U, Pollock T, Fieggen AG. 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):1779–1785. doi:10.1007/s00381-016-3068-4.
- 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* 44, 1284–1294 (2018).
- 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):54–58. doi:10.1055/s-0034-1385012
- The eye: III. Central neurophysiology of vision. *Textbook of Medical Physiology.* En: Guyton AC, Hall JE, editors. 11 Ed, 2006. Elsevier Saunders. p 640-9.



SECIP

SOCIEDAD Y FUNDACIÓN ESPAÑOLA DE CUIDADOS INTENSIVOS PEDIÁTRICOS

PROTOCOLO DE NEUROECOGRAFÍA: ECOGRAFÍA DOPPLER TRANSCRANEAL, EVALUACIÓN DE LA DESVIACIÓN DE LÍNEA MEDIA, DIAMETRO DE LA VAINA DEL NERVIO ÓPTICO Y EVALUACIÓN DE REFLEJOS PUPILARES

- Cruz Portelles, A, Marrero-Reyes Y, et al. Examen de las pupilas en el neuromonitoreo clínico del paciente con trauma craneoencefálico. *Medicina Intensiva*. 2012; 29 Nº 1.
- Sargsyan A, Hamilton D, et al. Ultrasonic of pupillary light reflex. *Critical Ultrasound Journal*. 2009; 1:53-57.
- HamidMirjalili, Ali Rae Ezzabadi, Yeganeh Yazdiyousefi, et al. The Value of Ultrasonography in determining Pupillary Light Reflex in Patients with Traumatic Ocular Injuries; *Archives of Academic Emergency Medicine*. 2019; 7 (1): e62.
- Erdal Komut MD , Nalan Kozaci PhD, et al. Bedside sonographic measurement of optic nerve sheath diameter as a predictor of intracranial pressure in ED. *American Journal of Emergency Medicine*. 2016; 34: 963-967.
- Ashot E. Sargsyan, Douglas R. Hamilton, et al. Ultrasonic evaluation of pupillary light reflex. *Crit Ultrasound J* (2009) 1:53–57.
- Aaron Harries MD, Sachita Shah MD, Nathan Teismann MD, et al. Ultrasound assessment of extraocular movements and pupillary light reflex in ocular trauma. *American Journal of Emergency Medicine* (2010) 28, 956–959