

Artículo de revisión

Aplicaciones clínicas de doppler transcraneal en neurología y cuidados neurocríticos

DOI: [10.5377/alerta.v3i2.9219](https://doi.org/10.5377/alerta.v3i2.9219)

Susana Lissette Peña Martínez^{1*}, Manuel Enrique Bello Quezada², Gabino Antonio Cueli³.

1. Hospital Nacional Rosales. San Salvador, El Salvador.
2. Hospital Nacional San Rafael. Santa Tecla, La Libertad.
3. Hospital López y Planes, General Rodríguez de Argentina. Buenos Aires Argentina.

*Correspondencia

✉ supeamart@yahoo.com

📞 0000-0001-8127-6321



ACCESO ABIERTO

Clinical applications of Transcranial Doppler in Neurology and Critical care

Citación recomendada:

Peña Martínez SL¹, Bello Quezada ME², Cueli GA³. Aplicaciones clínicas de Doppler transcraneal en neurología y cuidados neurocríticos. Alerta. 2020;3(2):108-115
DOI: [10.5377/alerta.v3i2.9219](https://doi.org/10.5377/alerta.v3i2.9219)

Contribución de autoría:

SLPM¹: Organización del proceso de revisión, toma de los exámenes, elaboración de artículo. MEBQ² y GAC³: Búsqueda y selección de artículos, revisión y aprobación del manuscrito.

Recibido:

13 de enero de 2020

Aceptado:

17 de julio de 2020

Publicado:

31 de julio de 2020

Conflicto de intereses:

Las autoras declaran no tener conflictos de interés con ninguna organización.

Resumen

En la actualidad el ultrasonido permite obtener en forma no invasiva imágenes de la mayoría de estructuras. A nivel cerebral, se puede acceder a la vasculatura y evaluar la hemodinamia. Es un estudio seguro, no utiliza radiación y se puede realizar a la cabecera del paciente, las veces necesarias, hasta en monitoreo continuo. La limitación es que necesita un operador y cerca del 5-20 % de las personas poseen ventanas óseas temporales poco accesibles, por el grosor del hueso. Durante la realización del Doppler transcraneal, se debe seguir una serie de pasos. Tras localizar los vasos esperados, según la ventana y profundidad, se siguen las ondas espectrales en al menos dos puntos en cada arteria y se miden las velocidades de cada una. El objetivo de esta revisión es describir las generalidades del doppler transcraneal y destacar las principales utilidades como herramienta diagnóstica en enfermedades cerebrovasculares y otras enfermedades neurológicas. Se realizó búsqueda con la palabra clave "Transcranial doppler" en PUBMED, MEDLINE y EMBASE. Se encontraron 13 000 publicaciones, en inglés y español, con menos de 10 años de antigüedad. Se sintetizaron las principales aplicaciones neurológicas del doppler transcraneal, como herramienta auxiliar en la detección de la presión endocraneana y la muerte cerebral.

Palabras clave

Ultrasonografía, doppler transcraneal, accidente vascular cerebral.

Summary

Nowadays, ultrasound allows non-invasive imaging of most structures. At the brain level, the vasculature can be accessed and hemodynamics assessed. It is a safe study, does not use radiation, and can be performed at the patient's bedside, as many times as necessary, even in continuous monitoring. The limitation is that it requires an operator and about 5-20% of people have temporary bone windows that are poorly accessible due to the thickness of the bone. During the transcranial Doppler, a series of steps must be followed, after locating the expected vessels, according to the window and depth, the spectral waves are followed at least two points in each artery and the velocities of each are measured. The objective of this review was to describe the most frequent uses of transcranial Doppler in people with neurological diseases and in patients in neuro-critical care. A search with the keyword "Transcranial doppler" was carried out in PUBMED, MEDLINE and EMBASE. 13,000 publications of less than 10 years old in English and Spanish were found. The main neurological applications of transcranial Doppler were synthesized, as an auxiliary tool in the detection of endocranial pressure and brain death.

Keywords

Ultrasonography, doppler, transcranial, stroke

Introducción

En 1842, el físico y matemático austríaco, Christian Doppler, formuló el principio del efecto doppler, donde se registra el aumento o disminución de la frecuencia de una

onda sonora cuando la fuente que la produce se aleja o aproxima del transductor que lo capta¹. Fue hasta 1982 que Rune Aslid introdujo la aplicación del efecto doppler como herramienta no invasiva para evaluar la hemodinamia cerebral¹.

En doppler transcraneal se utilizan dos técnicas o modalidades sonográficas: el modo B (bidimensional) en tiempo real y el efecto doppler que permite calcular la velocidad de la sangre en las distintas arterias, pudiendo ser continuo y pulsado, con obtención de la representación gráfica en tiempo real del espectro de frecuencias².

El objetivo de esta revisión es describir las generalidades del doppler transcraneal y destacar las principales utilidades como herramienta diagnóstica en enfermedades cerebrovasculares y otras enfermedades neurológicas.

Discusión de temática

El uso de doppler transcraneal permite evaluación de estructuras vasculares intra y extracraneales, evaluación de velocidades de flujos y resistencias en las arterias que conforman el polígono de Willis, arterias carótidas, circulación posterior intra y extracraneal identificando arterias vertebrales y basilar. Además, el modo B permite la medición de la vaina del nervio óptico, para determinar hallazgos que pueden correlacionarse con hipertensión endocraneana³.

Para realizar doppler transcraneal, se realiza abordaje a través de denominadas «ventanas» óseas, por las cuales se insonan diversas estructuras de predominio vascular. Es así como por la ventana transtemporal se detecta el flujo de la arteria cerebral media, arteria cerebral anterior, arteria cerebral posterior y porción terminal de la arteria carótida interna. A través de la ventana transorbital se insona la arteria oftálmica y el sifón de la arteria carótida interna. Otra ventana utilizada es la suboccipital, que permite abordar las porciones terminales e intracraneales de las arterias vertebrales y la arteria basilar. La ventana submandibular es usada para medir las velocidades del flujo de las arterias carótida interna, así como para el cálculo del índice de Lindergaard, que se obtiene al dividir la velocidad de la arteria cerebral media (ACM) entre la velocidad de la arteria carótida interna (ACI)^{4,5} (Figura 1).

La identificación de cada vaso intracraneal se basa en la identificación de la velocidad y dirección, ventana que se está insonando, profundidad de la señal, relación espacial con otros vasos y respuesta a maniobra de compresión carotídea homo y contralateral¹. Las profundidades a las que se insonan las diversas arterias y su morfología varían según las ventanas. Para la arteria cerebral media, el segmento M1, a profundidad de 40-65 mm, la dirección de la onda es positiva, con velocidad promedio de 30-80 cm/s. La arteria cerebral anterior se identifica a profundidad de

60-75 mm, dirección negativa de la onda, con velocidad promedio de 30-80 cm/s; la arteria cerebral posterior se encuentra a profundidad entre 55-75 mm, con dirección positiva de la onda en el segmento P1 y negativo el segmento P2, con velocidad promedio entre 20-60 cm/s. La porción temporal del sifón carotídeo se identifica a 55-65 mm, bidireccional, con velocidad entre 20-70 cm/s; la arteria vertebral esta a profundidad de 40-75 mm, dirección negativa, con velocidad promedio de 20-50 cm/s y la arteria basilar se identifica entre 80-105 mm de profundidad, dirección negativa, con velocidad promedio de 20-60 cm/s² (Figura 2).

Además de las velocidades de flujo y el análisis espectral de las ondas registradas, se miden otros parámetros como índices de resistencia vascular periférica como los índices de pulsatilidad y de resistencia. El índice de pulsatilidad (IP) se calcula con los valores de velocidad sistólica menos la velocidad diastólica entre la velocidad media (VM) de la arteria. El IP se relaciona con varios estados patológicos; su valor normal es entre 0.6-1.16. En su interpretación, índice de baja pulsatilidad (IP <0.6) se asocia a vasoespasmo, hiperemia o estenosis de grado alto. La alta pulsatilidad (IP entre 1.2-1.6) se asocia con hipertensión intracraneana moderada o microangiopatía. Índices de pulsatilidad muy alta (IP entre 1.7-3) se asocia a hipertensión endocraneana severa y valores de IP mayores de 3 se correlacionan con severa hipertensión endocraneana y asistolia cerebral⁶.

El índice de resistencia se calcula como velocidad sistólica menos la velocidad diastólica entre la velocidad sistólica. Este se puede incrementar en etapas tempranas de hipertensión endocraneana y en edades avanzadas³.

Aplicaciones clínicas en neurología y neurointensivismo del doppler transcraneal

Actualmente el DTC tiene una aplicación claramente demostrada en el manejo de las siguientes condiciones: detección de vasoespasmo en hemorragia subaracnoidea (HSA) reflejado en aumento de la velocidad de flujo de la arteria afectada, detección no invasiva de estenosis intracraneal en el adulto con registro de aumento focal de la velocidad de flujo por ateromatosis intracraneal o hemoglobinopatías en el niño, monitoreo intraoperatorio para detección de micro émbolos en cirugía cardiovascular o endarterectomía carotídea y en el diagnóstico de muerte encefálica como método complementario⁷. Sin embargo, actualmente se utiliza en otras indicaciones neurológicas como trauma cra-



Figura 1. a) Polígono de Willis en el plano mesencefálico transtemporal en Modo B. b) Doppler pulsado de la Arteria cerebral media. Imágenes tomadas en equipo doppler color Mindray M7 premium.

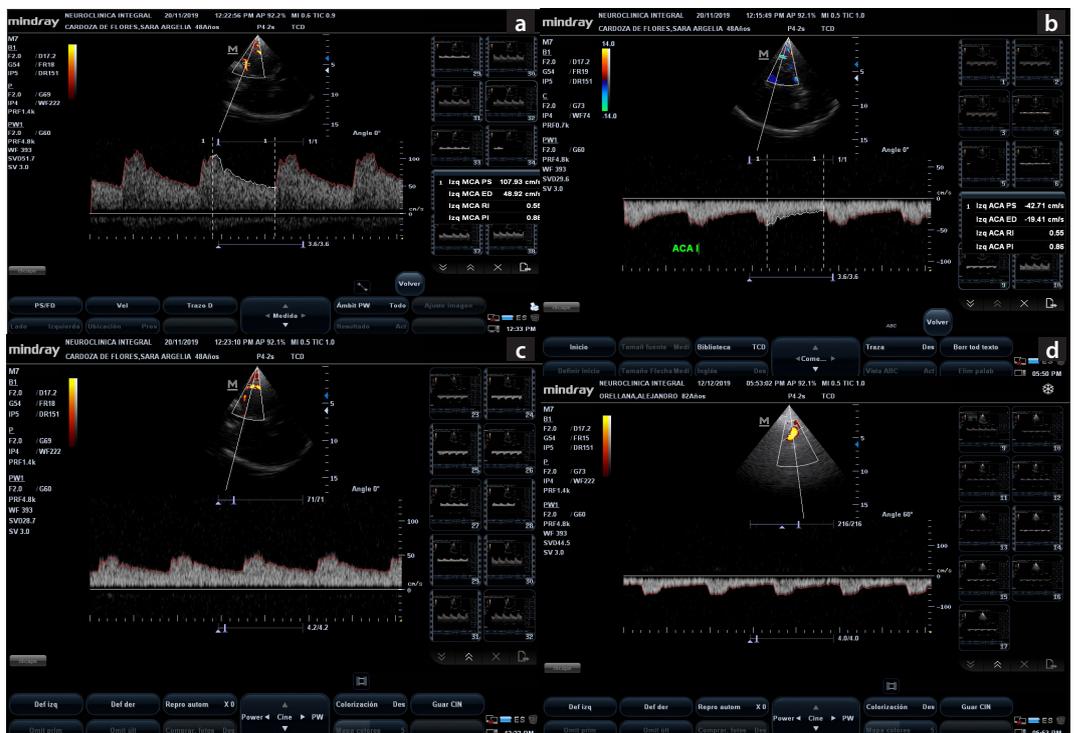


Figura 2. Morfología de ondas según arteria insonada. a) ACM (arteria cerebral media) b) ACA (Arteria cerebral anterior) c) ACP (arteria cerebral posterior) d) AV (arteria vertebral). Imágenes tomadas en equipo doppler color Mindray M7 premium.

neocéfálico grave y malformaciones arteriovenosas cerebrales, entre otras⁶.

La utilización de esta herramienta diagnóstica requiere interpretación de los datos obtenidos a través del examen vascular cerebral e integrar los diferentes hallazgos para lograr mejores resultados de las diversas aplicaciones del DTC⁸.

Evento cerebrovascular

En enfermedad cerebrovascular oclusiva o estenótica se describe el uso de DTC para detectar cambios hemodinámicos asociados a variación del calibre de los vasos intracraneales del polígono de Willis. En enfermedad vascular oclusiva para la arteria cerebral media se describe sensibilidad de

85-95 % y sensibilidad de 90-98 % y para arterias carótidas internas, arterias vertebrales y arteria basilar sensibilidad de 55-81 % y especificidad de 96 %⁹.

Los hallazgos más relevantes en DTC son ausencia o disminución del flujo sanguíneo en arterias de gran calibre e índice de asimetría en las velocidades de flujo de >21 % con respecto a la arteria contralateral. Además de permitir detectar la localización de la obstrucción¹⁰.

A través de la técnica doppler se pueden identificar estenosis y oclusión del sifón de la arteria carótida interna, arteria cerebral media, porción intracraneal de la arteria vertebral y segmentos proximales de la arteria cerebral posterior, detectándose aumento focal de la velocidad de flujo.

Tabla 1. Descripción de grados de oclusión evaluadas por doppler

Grado de oclusion	Descripción
Grado 0: Ausente	Ausencia de señal de flujo
Grado 1: mínimo	Espículas sistólicas de duración y velocidad variable, flujo reverberante como tipo de flujo mínimo, sin señal diastólica.
Grado 2: Aplanado	Aceleración sistólica aplanada, velocidad diastólica positiva e índice de pulsatilidad menor a 1.2.
Grado 3: Atenuado	Aceleración sistólica normal, velocidad diastólica positiva, velocidades medias menor a 30 % respecto al lado contralateral.
Grado 4: Estenótico	Velocidad media mayor 30 % respecto al lado contralateral y signos de turbulencia o mayor a 80 % cm/s de velocidad media.
Grado 5: Normal	Señal comparable al lado contralateral sano.

Para diagnosticar estenosis de la arteria cerebral media, se consideran parámetros como el incremento focal de las velocidades medias mayor de 100 cm/s, con diferencia interlado de las velocidades mayor de 30 %¹¹. Se pueden identificar patrones de flujo turbulento, con oscilaciones o soplos sugestivos de estenosis; con morfología de onda de baja pulsatilidad que sugiere estenosis proximal u ondas aplanadas con alta pulsatilidad que sugiere obstrucciones más distales¹².

En la evaluación inicial de pacientes con infarto cerebral, el doppler transcraneal también se está utilizando para determinar si la obstrucción es a nivel proximal, es decir, segmento terminal de arteria carótida interna o segmento M1 de la arteria cerebral media o estenosis del segmento distal o M2 de arteria cerebral media¹³. Por lo tanto, el DTC se convierte en una herramienta diagnóstica auxiliar en el análisis de la severidad, pronóstico y para toma de decisiones terapéuticas, como qué tipo de vía utilizar en la trombólisis para recanalizar la arteria obstruida¹⁴.

Cuando se utiliza el DTC durante procedimientos terapéuticos como trombolisis farmacológica se identifican hallazgos sonográficos que reflejan obstrucción intraarterial, con estudios control posterior a la administración de trombolíticos en los que se debería identificar recanalización de oclusiones agudas; ejemplo: la arteria cere-

bral media, que emite patrones específicos de lesiones oclusivas, con base en lo cual se clasifica el grado de oclusión¹⁴ (Tabla 1).

En el tratamiento de evento cerebrovascular isquémico, se ha utilizado asociado a la trombólisis endovenosa con activador tisular del plasminógeno (alteplasa). El estudio CLOTBUST describe el efecto del tratamiento con alteplasa endovenoso monitorizado con DTC, para combinar el efecto y potenciar la lisis del trombo¹⁵.

Hemorragia subaracnoidea (HSA)

En HSA, el uso de DTC tiene como principal aplicación la identificación de vasoespasmo en los segmentos basales de las arterias intracraneales; complicación que puede desarrollarse las primeras dos semanas¹⁶, teniendo el estudio doppler para su detección, sensibilidad para la arteria cerebral media de 39-94 % y especificidad de 70-100 %, para la arteria cerebral anterior sensibilidad de 13-71 % y especificidad de 65-100 %, para arterias cerebrales posteriores sensibilidad de 48-60 % y especificidad de 78-87 %, para arterias vertebrales sensibilidad de 44-100 % y especificidad de 82-88 % y para arteria basilar sensibilidad de 77-100 % y especificidad de 42-79 %⁹. En HSA los hallazgos de las velocidades de flujo de las arterias detectadas por DTC se correlaciona con el grado clínico y localización radiológica por neuroimagen del vasoespasmo¹⁶.

El DTC, en el monitoreo del vasoespasmo arterial en la HSA, permite detectar cambios de flujo según la ubicación del vasoespasmo en relación al segmento examinado, registrándose cambios similares a patrónestenótico que se corresponde con el llamado vasoespasmo proximal; mientras que el patrón preestenótico se identifica en el vasoespasmo distal. Asimismo, hay que considerar la posibilidad de estar examinando un flujo postestenótico en casos en los que la reducción del calibre del vaso, se encuentre proximal al sitio de insonación, tal y como ocurre en los casos de VE de arteria carótida interna terminal (Ej.: sifón carotídeo)⁸.

Clásicamente, un patrón de vasoespasmo proximal puede definirse con los siguientes criterios: VM elevada, IP bajo, ausencia de aumento concomitante de VM extra craneanas detectadas por el Índice de Lindergaard (IL). El vasoespasmo distal, en cambio, puede ser sospechado en casos de presentarse VM normales o bajas, IP elevado ausencia de otras causas de aumento de las RC (MPIC, Ψ paCO₂, Propofol, etc.). Otros de los criterios diagnósticos de vasoespasmo son detección en un mismo vaso de elevación segmentaria y evolutiva de VM, rápida elevación de VM

superiores a 50 cm/s en 24 horas. A nivel de la carótida interna, se considera vasoespasmo posible con velocidades de >80 cm/s, vasoespasmo probable con velocidades >110 cm/s y vasoespasmo definitivo con velocidades >130 cm/s. En la arteria cerebral anterior, se considera vasoespasmo posible con velocidades mayores a 90 cm/s, vasoespasmo probable con velocidades arriba de 110 cm/s, y vasoespasmo definitivo con velocidades mayores a 120 cm/s. Para la arteria cerebral posterior, se considera vasoespasmo posible con velocidades mayores a 60 cm/s, vasoespasmo probable con velocidades arriba de 80 cm/s y vasoespasmo definitivo con velocidades mayores a 90 cm/s. Para la arteria vertebral, se considera vasoespasmo posible con velocidades arriba de 60 cm/s, vasoespasmo probable con velocidades arriba de 80 cm/s y vasoespasmo definitivo con velocidades arriba de 90 cm/s⁸.

Para verificar y graduar el vasoespasmo se determinan velocidades de la arteria carotídea ipsilateral, relación que recibe el nombre de Índice de IL. Se cataloga vasoespasmo leve de la arteria cerebral media con Índice de IL mayor a 3, moderado con índice entre 4 a 6 y severo con índice mayor a 6. Para correlacionar severidad de vasoespasmo de la arteria basilar, se divide velocidad media de la arteria basilar entre la velocidad media de la arteria vertebral y se considera vasoespasmo leve con índice mayor a 2, moderado con índice mayor de 2.5 y vasoespasmo severo con índice mayor a 3.8. Además, el neuromonitoreo de las velocidades de flujo de los vasos intracraneales, también permite detección oportuna de otras complicaciones, como la hidrocefalia, que puede sospecharse con elevaciones bilaterales y progresivas de los IP⁸.

En la actualidad, se propone la evaluación temprana de la autorregulación cerebral en pacientes con hemorragia subaracnoidea, ya que se ha asociado al resultado funcional después del egreso. Dicha evaluación se realiza con Doppler transcraneal, midiendo los cambios en la velocidad del flujo sanguíneo cerebral después de breve compresión de la arteria carótida común ipsilateral, catalogándose como normal cuando se verifica aumento mayor del 9 % de la velocidad sistólica basal. Se ha descrito menores resultados funcionales al alta hospitalaria cuando se registró deterioro de la autorregulación cerebral en las primeras 72 horas de ingreso¹⁸.

Anemia de células falciformes

Es una forma hereditaria de anemia, que se caracteriza por glóbulos rojos con forma

irregular de hoz, que se aglutinan en los vasos cerebrales de pequeño calibre, lo que lleva a hipo perfusión cerebral y riesgo de ictus isquémico por oclusión¹⁹. El doppler transcraneal permite identificar en niños con edades entre 4-20 años el riesgo de ictus, determinando las velocidades medias, determinándose la relación de aumento de riesgo entre mayor es la velocidad. Se ha descrito una sensibilidad de 86 % y especificidad del 91 %⁹.

Comunicación cardíaca derecha a izquierda

Se ha descrito una sensibilidad de 70-100 % y especificidad de más de 95 %⁹. La causa más frecuente es el embolismo paradójico a través de un foramen oval persistente, que es causa de evento cerebrovascular en adultos jóvenes²⁰. La presencia de aneurisma septal auricular incrementa el riesgo cuando hay paso de flujo de derecha a izquierda, lo cual se identifica en ecocardiograma específicamente transesofágico²¹. A través de la técnica doppler, se puede identificar dicha comunicación anómala, realizando una prueba utilizando 10 ml de SSN agitada, se administra y luego se pide al paciente realizar maniobras de Valsalva; si hay shunt derecha a izquierda, se evidencian artefactos en el registro de la señal doppler que indica el shunt²¹.

Evaluación de reactividad vasomotora

A través del DTC se puede identificar cómo se mantiene constante el diámetro de los vasos durante fluctuaciones de presión o cambios en la función de la microvasculatura, lo que permite determinar un índice de cambios de flujo, que se denomina autorregulación y reactividad vasomotora del lecho arterial cerebral distal²².

Se evalúan en forma estática (en reposo) y en forma dinámica (después de maniobras de activación). Se miden cambio de las velocidades posterior a estímulos hemodinámicos como maniobras de Valsalva, respiración profunda, ejercicio ergométrico, movimiento cefálico, cambios ortostáticos, cambios en la frecuencia y a la presión arterial. Se puede medir la vasoreactividad ante cambios de concentración de dióxido de carbono (CO₂) por hipercapnia/hiperventilación hipocapnia. Se utiliza en la evaluación de pacientes con estenosis u oclusión extracraneal sintomática o asintomática, enfermedad cerebral de pequeño vaso, trauma cerebral y hemorragia subaracnoidea²².

Se han descrito tres mecanismos que influyen en la hemodinamia cerebral con el

objetivo de adaptar el flujo sanguíneo cerebral a la demanda metabólica del cerebro: la autorregulación cerebral, la reactividad vasomotora y el acoplamiento neurovascular²³. Ante esto, la autorregulación cerebral asegura una perfusión estable del cerebro, independientemente de la presión arterial sistémica.

Monitoreo transquirúrgico en endarterectomía carotídea, para detección de micro émbolos

Mientras se realiza el procedimiento, se puede evaluar con DTC del mismo lado y monitorear variaciones de las velocidades del flujo y si presentan cambios como disminución por hipoperfusión o falla de la circulación colateral, que indicaría isquemia secundaria a ruptura de trombos que embolizan a la circulación distal²⁴.

Detección de microembolización cerebral

El DTC permite identificación de señales micro embólicas de alta intensidad (HITS). Estas señales micro embólicas han sido detectadas en pacientes con estenosis de la arteria carótida interna, válvulas cardíacas protésicas, fibrilación auricular, ateromas del arco aórtico, síndrome de embolismo grasa, enfermedad cerebral en general. Se puede utilizar monitoreo durante cateterismo coronario, angioplastia coronaria, cardioversión, angiografía cerebral, endarterectomía carotídea, angioplastia carotídea y bypass cardiopulmonar. Los hallazgos por doppler de señales embolígenas son de carácter transitorio (menos 300 ms), duración dependiente del tiempo que tarda en pasar el volumen del émbolo, señales de alta intensidad (amplitud mayor de 3 dB), unidireccionales y sonido característico²⁵.

Traumatismo encéfalo-craneano (TCE)

En esta entidad la utilización del DTC provee datos de importancia en lo referente a aspectos diagnósticos, pronósticos y terapéuticos. Permite detección de patrones circulatorios que se pueden categorizar básicamente en dos. Patrón con bajas VM con elevados IP, identificado en hipertensión endocraneana, lesiones focales y disección arterial con isquemia/infarto distal. La primera puede diferenciarse de la segunda por la bilateralidad de los hallazgos del patrón descrito, mientras que la segunda sólo lo presentará del mismo lado de la lesión. Otro patrón es con altas VM con IP bajos, identi-

ficado en hiperemia, vasoespasmo y fístula arteriovenosa postraumática⁸.

Es así como en el monitoreo con doppler transcraneal se utiliza como indicado pronóstico, que permite detectar aumento de presión intracraneal y vasoespasmo cerebral asociado a la lesión cerebral traumática²⁶.

Hipertensión endocraneana

A través del doppler transcraneal se puede determinar en forma no invasiva la presión endocraneana, con técnicas como la medición de la vaina del nervio óptico y la detección del cambio de la morfología de la onda espectral del flujo sanguíneo intracraneal.

En pacientes con patología intracraneal, incluso comatosos, el DTC permite determinar en forma no invasiva la presión intracraneana, con unos de los parámetros como el índice de pulsatilidad, el cual varía con presiones de perfusión ≤ 70 mmHg²⁷. Se propone la ecuación para la medición de presión intracraneana de PIC= $10.927 \times PI - 1.284$.

Además, el DTC permite identificar alteración de la morfología de las ondas detectadas por DTC, seguido de reducción progresiva en las velocidades de flujo diastólica y reducción de las velocidades medias. A medida se incrementa ya sea en forma regional o global la presión endocraneana, la velocidad diastólica llega a cero, seguido de un patrón de flujo alternante con flujo diastólico retrogrado, desaparece el flujo diastólico, aparecen espigas sistólicas pequeñas y eventualmente cesa el flujo³.

Otra técnica utilizada, es la medición del diámetro de la vaina del nervio óptico con ultrasonido bidimensional y transductor lineal de 7.5 MHz, que permite la detección de presión endocraneana mayor de 20 mmHg, con valor de corte de 0.48 mm, con sensibilidad y especificidad 94 y 96 % respectivamente²⁸.

Evaluación de arresto circulatorio cerebral y uso en muerte cerebral

El DTC es una técnica no invasiva que, al permitir evaluar la circulación sanguínea intracraneal, permite detectar cambios como en casos posteriores a arresto circulatorio. Se ha descrito sensibilidad de 91-100 % y especificidad de 97-100 %⁹. En los cambios hemodinámicos posterior a arresto circulatorio («síndrome posparada cardíaca»), se identifican intervalos en los cuales se reflejan disfunción cerebral y metabólica que se reflejan en las velocidades y morfología del flujo de las arterias cerebrales²⁹. Entre los cambios descritos están la reducción de las velocidades diastólicas, flujos retrógrados, reducción

de hasta el 80 % de las velocidades medias, que de no ser revertido puede progresar a ausencia de flujo. En la evolución, la evaluación por DTC es de valor pronóstico; de persistir patrones sonográficos de hipodinamia, con velocidades medias bajas e IP elevados, indican pérdida grave de vaso regulación, lo cual se considera signo de mal pronóstico³⁰.

El diagnóstico de muerte cerebral es clínico y puede ser complementado por evidencia de ausencia de flujo cerebral al insonar³¹. En la fase previa al cese circulatorio, se documenta un patrón de alta resistencia, en que los valores de la presión intracraneal se acercan a los de la presión arterial media, descendiendo el flujo sanguíneo cerebral. Cuando se da la fase de cese circulatorio, se identifica inicialmente patrón de separación diástole-sístole, que se caracteriza por la presencia de onda sistólica de flujo anterógrado («picos sistólicos»), asociados con la existencia de una onda de flujo, también anterógrado, de escasa duración durante el periodo meso diastólico. Posterior se presenta el patrón de flujo reverberante, con picos sistólicos positivos, seguido de una onda diastólica retrógrada. En etapas finales, se caracteriza por una onda de flujo de muy corta duración y baja velocidad, hasta llegar a cese circulatorio con ausencia de detección de flujo³².

Conclusiones

El uso de doppler transcraneal en la evaluación de enfermedades cerebrovasculares está en creciente desarrollo, al ser una herramienta accesible, no invasiva, que se puede utilizar a la cabecera del paciente, aunque operador dependiente. Se utiliza, además, como herramienta auxiliar en detección de incremento de presión endocraneana y de muerte cerebral.

Agradecimientos

Al Dr. Víctor Segura y Dr. Luis Computaro por su apoyo y enseñanzas.

Referencias bibliográficas

1. Fernández JD, Martínez PS, García RR, Marcos VM, Valdueza JM. El ecodoppler color transcraneal en el estudio vascular cerebral. *Neurol Arg.* 2012;4(3):132-143. doi.org/10.1016/j.neuarg.2012.02.002
2. Alexandrov AV, Sloan MA, Wong LKS, Douville C, Razumovsky AY, Koroshetz W, et al. Practice standards for transcranial Doppler ultrasound: Part I—test performance. *J Neuroimaging*

- 2007;17:11-18. doi.org/10.1111/j.1552-6569.2006.00088.x
3. Blanco P, Abdo CA. Transcranial Doppler ultrasound in neurocritical care. *J Ultrasound.* 2018;21(1):1-16. doi.org/10.1007/s40477-018-0282-9
4. Connolly F, Schreiber SJ, Leithner C, Bohner G, Vajkoczy P, Valdueza JM. Assessment of intracranial venous blood flow after subarachnoid hemorrhage: a new approach to diagnose vasospasm with transcranial color-coded duplex sonography. *J Neurosurg.* 2018;129(5):1136-1142. doi.org/10.3171/2017.5.jns.17232
5. D'Andrea A, Conte M, Scarafilo R, Riegler L, Coccia R, Pezzulo E, et al. Transcranial Doppler ultrasound: physical principles and principal applications in neurocritical care unit. *J Cardiovasc Echography.* 2016;26(2):28-41. doi.org/10.4103/2211-4122.183746
6. Lau VI, Arntfield RT. Point-of-care transcranial Doppler by intensivists. *Crit Ultrasound J.* 2017;9(1):21. doi.org/10.1186/s13089-017-0077-9
7. Coeli G, Bello M, Computaro L, Cantillano E. Manual de Medicina Neurocrítica. 1ª Edición. Argentina. Grupo Distribuna; 2019. 89-103.
8. Sloan MA, Alexandrov AV, Tegeler CH, Spencer MP, Caplan LR, Feldmann E, et al. Assessment: Transcranial Doppler ultrasonography. Report of the therapeutics and technology assessment Subcommittee of the American Academy of Neurology. *Neurology.* 2004;62:1468-1481. doi.org/10.1212/wnl.62.9.1468
9. Antipova D, Eadie L, Macaden AS, Wilson P. Diagnostic value of transcranial ultrasonography for selecting subjects with large vessel occlusion: a systematic review. *Ultrasound J.* 2019;11(1):29. doi.org/10.1186/s13089-019-0143-6
10. Kim JS, Caplan LR, Wong KS. Intracranial Atherosclerosis: Pathophysiology, Diagnosis and Treatment. *Front Neurol Neurosci.* 2016; 40:124-140.
11. Christou I, Felberg RA, Demchuk AM, et al. A broad diagnostic battery for bedside transcranial Doppler to detect flow changes with internal carotid artery stenosis or occlusion. *J Neuroimaging* 2001;11:236-242. doi.org/10.1111/j.1552-6569.2001.tb00040.x
12. Kalanuria A, Nyquist PA, Armonda RA, Razumovsky A. Use of Transcranial Doppler (TCD) ultrasound in the Neurocritical Care Unit. *Neurosurg Clin N Am.* 2013;24(3):441-456. doi.org/10.1016/j.nec.2013.02.005
13. Sobrino Garcia P, Garcia Pastor A, Garcia Arratibel A, Domínguez Rubio R, Rodríguez Cruz PM, et al. Diagnostic, prognostic and therapeutic implications of Transcranial color coded duplex sonography in acute ischemic Stroke: TIBI and COGIF scores

- validation. *Rev Neurol*. 2016;63(8):351-357. doi.org/10.33588/rn.6308.2016060
14. Demchuk AM, Burgin S, Christou I, Felberg RA, Barber PA, Hill, MD, et al. Thrombolysis in brain ischemia (TIBI) transcranial doppler flow grades predict clinical severity, early recovery and mortality in patients treated with intravenous tissue plasminogen activator. *Stroke*. 2001;32:89-93. doi.org/10.1161/01.str.32.1.89
 15. Alexandrov AV, Wojner AW, Grotta JC, CLOTBUST Investigators. CLOTBUST: design of a randomized trial of ultrasound enhanced thrombolysis for acute ischemic stroke. *J Neuroimaging*. 2004;14(2):108-12. doi.org/10.1111/j.1552-6569.2004.tb00225.x
 16. Dankbaar JW, Rijdsdijk M, van der Schaaf IC, Velthuis BK, Wermer MJ, Rinkel GJ. Relationship between vasospasm, cerebral perfusion, and delayed cerebral ischemia after aneurysmal subarachnoid hemorrhage. *Neuroradiology*. 2009;51(12):813-9. doi.org/10.1007/s00234-009-0575-y
 17. Raya AK, Diringner MN. Treatment of subarachnoid hemorrhage. *Crit Care Clin*. 2014;30(4):719-733. doi.org/10.1016/j.ccc.2014.06.004
 18. Rynkowski CB, de Oliveira Manoel AL, Dos Reis MM, et al. Early Transcranial Doppler Evaluation of Cerebral Autoregulation Independently Predicts Functional Outcome After Aneurysmal Subarachnoid Hemorrhage. *Neurocrit Care*. 2019;31(2):253-262. doi.org/10.1007/s12028-019-00732-5
 19. LaRovere KL. Transcranial Doppler ultrasound in children with stroke and cerebrovascular disorders. *Curr Opin Pediatr*. 2015;27(6):712-718. [doi:10.1097/MOP.0000000000000282](https://doi.org/10.1097/MOP.0000000000000282)
 20. Ekker MS, Boot EM, Singhal AB, et al. Epidemiology, aetiology, and management of ischaemic stroke in young adults. *Lancet Neurol*. 2018;17(9):790-801. [doi.org/10.1016/s1474-4422\(18\)30233-3](https://doi.org/10.1016/s1474-4422(18)30233-3)
 21. Perkovic-Benedik M, Zaletel M, Pecaric-Meglic N, et al. A right-to-left shunt and prothrombotic disorders in pediatric patients presenting with transient ischemic attack. *Eur J Pediatr* 2013;172:239-245. doi.org/10.1007/s00431-012-1875-5
 22. Alexandrov AV, Sloan MA, Tegeler CH, Newell DN, Lumsden A, et al. Practice standards for transcranial Doppler (TCD) ultrasound. Part II. Clinical indications and expected outcomes. *J Neuroimaging*. 2012;22(3):215-24. doi.org/10.1111/j.1552-6569.2010.00523.x
 23. Wolf ME. Functional TCD: regulation of cerebral hemodynamics--cerebral autoregulation, vasomotor reactivity, and neurovascular coupling. *Front Neurosci*. 2015;36:40-56. doi.org/10.1159/000366236
 24. Edmonds HL, Isley MR, Sloan TB, Alexandrov AV, Razumovsky AY. American Society of neurophysiologic monitoring and American society of neuroimaging joint guidelines for transcranial Doppler ultrasonic monitoring. *J Neuroimaging*. 2011;21:177-183. doi.org/10.1111/j.1552-6569.2010.00471.x
 25. Babikian VL, Feldmann E, Wechsler LR et al. Transcranial Doppler ultrasonography: Year 2000 update. *J Neuroimaging*. 2000;10:101-115. doi.org/10.1111/jon2000102101
 26. Fatima N, Shuaib A, Chughtai TS, Ayyad A, Saqqur M. The Role of Transcranial Doppler in Traumatic Brain Injury: A Systemic Review and Meta-Analysis. *Asian J Neurosurg*. 2019;14(3):626-633. doi.org/10.4103/ajns.ajns_42_19
 27. Bellner J, Romner B, Reinstrup P, et al. Transcranial doppler sonography pulsatility index reflects intracranial pressure. *Surg Neurol*. 2004;62:45-51. doi.org/10.1016/j.surneu.2003.12.007
 28. Rajajee V, Vanaman M, Fletcher JJ, et al. Optic nerve ultrasound for detection of raised intracranial pressure. *Neurocrit Care*. 2011;15:506-515. doi.org/10.1007/s12028-011-9606-8
 29. Álvarez-Fernández JA, Martín-Velasco MM, Igeño-Cano JC, Pérez-Quintero R. Utilidad del Doppler transcraneal en la resucitación de la parada cardíaca. *Med Intensiva*. 2010;34(8):550-558. doi.org/10.1016/j.medin.2009.12.007
 30. Álvarez-Fernández JA. Doppler transcraneal en el coma tras parada cardíaca. *Rev Neurol*. 2011;53(9):545-554. doi.org/10.33588/rn.5309.2010686
 31. Wessels T, Harrer JU, Jacke C, Janssens U, Klotzsch C. The prognostic value of early transcranial doppler ultrasound following cardiopulmonary resuscitation. *Ultrasound Med Biol*. 2006;32(12):1845-51. doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2006.06.023
 32. Nebra AC, Virgos B, Santos S, Tejero C, Larraga J, Araiz JJ, Sánchez JI, Suarez MA, Millastre. Diagnóstico clínico de muerte encefálica y empleo del Doppler transcraneal, con ecografía de las arterias cerebrales medias y el segmento intracraneal de las arterias vertebrales. Concordancia con los hallazgos de la gammagrafía cerebral. *Rev Neurol*. 2001;33(10):916-920. doi.org/10.33588/rn.3310.2001260