

Aplicaciones del dúplex transcraneal codificado en color en la monitorización del enfermo neurocrítico

J.M. ABADAL, J.A. LLOMPART-POU, J. HOMAR, J. PÉREZ-BÁRCENA Y J. IBÁÑEZ

Servicio de Medicina Intensiva. Hospital Universitario Son Dureta. Palma de Mallorca. Islas Baleares. España.

La sonografía transcraneal constituye una herramienta de monitorización habitual en el paciente neurocrítico. El dúplex transcraneal codificado en color permite un estudio hemodinámico y estructural del parénquima cerebral de estos pacientes. Sus ventajas sobre la sonografía convencional son evidentes, y se deben a una visualización directa del vaso que se quiere estudiar y a un correcto ajuste del volumen de muestra y del ángulo de insonación. La utilización de ecopotenciadores supone realizar estudios concluyentes prácticamente en el 100% de los casos, y permite estudiar de modo semicuantitativo la perfusión cerebral a la cabecera del paciente. El objetivo de esta revisión es exponer las aplicaciones del dúplex transcraneal codificado en color en la monitorización del enfermo neurocrítico en la Unidad de Cuidados Intensivos.

PALABRAS CLAVE: *dúplex transcraneal codificado en color, paciente neurocrítico, monitorización.*

APPLICATIONS OF TRANSCRANIAL COLOR-CODED DUPLEX SONOGRAPHY IN MONITORING NEUROCRITICAL PATIENTS

Transcranial sonography is a common tool for monitoring neurocritical patients. Transcranial color-coded duplex ultrasonography enables hemodynamic and structural study of the cerebral parenchyma in these patients. Its advantages over conventional ultrasonography are evident

and are derived from direct visualization of the vessel to be studied and appropriate adjustment of the sample volume and angle of insonation. The use of ultrasonographic contrast agents enables conclusive findings in practically 100% of cases and allows cerebral perfusion to be studied at the bedside using semiquantitative methods. This review aims to show the applications of transcranial color-coded duplex ultrasonography for monitoring neurocritical patients in intensive care units.

KEY WORDS: *transcranial color-coded duplex sonography, neurocritical patient, monitoring.*

INTRODUCCIÓN

La sonografía doppler transcraneal (DTC) constituye una herramienta de uso cotidiano en numerosas Unidades de Cuidados Intensivos (UCI) en la monitorización del paciente neurocrítico^{1,2}. Su principal limitación consiste en que se trata de una técnica ciega en la que la interpretación de los datos obtenidos depende en gran medida de la experiencia del operador y de unas referencias anatómicas ideales^{1,3,4}.

En los últimos años, y como consecuencia del desarrollo tecnológico, se ha producido la aparición de nuevas técnicas sonográficas. Entre ellas se encuentra el dúplex transcraneal codificado en color (DTCC). Su utilización en la fase aguda del paciente neurocrítico, particularmente en el traumatismo craneoencefálico (TCE), está poco extendida debido a la escasa implantación de la técnica en las UCI. Se trata de una técnica ultrasonográfica que, en tiempo real y de modo simultáneo, permite el estudio ecográfico bidimensional del cerebro, la visualización en color de los vasos arteriales y venosos basales y el análisis del espectro doppler de los mismos. Se realiza a la cabe-

Correspondencia: Dr. J.A. Llompart-Pou.
Servicio de Medicina Intensiva.
Hospital Universitario Son Dureta.
Palma de Mallorca. Illes Balears.
C/ Andrea Doria, 55.
07014 Palma de Mallorca.
Correo electrónico: jallompart@hsd.es; ja_llompart@hotmail.com

Manuscrito aceptado el 20-XI-2006.

TABLA 1. Aplicaciones del dúplex transcraneal codificado en color en la Unidad de Cuidados Intensivos

Estudio de la hemodinámica cerebral Estudio del sistema ventricular Evaluación de la desviación de la línea media Enfermedad cerebrovascular aguda isquémica Valoración de estenosis y oclusiones arteriales Estudio de hematomas intra y extraaxiales espontáneos y traumáticos Diagnóstico y seguimiento tras tratamiento de aneurismas y malformaciones arteriovenosas Vasoespasmismo cerebral Detección de fístula carotidocavernosa postraumática Paro circulatorio cerebral Estudio semicuantitativo de la perfusión cerebral

cera del paciente, es inocua y repetible cuantas veces sea necesario. Las características necesarias en los distintos equipos que permiten esta exploración, las diferentes ventanas de estudio y los principios físicos que rigen los distintos métodos de exploración han sido detalladas con anterioridad^{3,4,5}.

El objetivo de esta revisión es exponer las posibles aplicaciones del DTCC en la UCI, que resumimos en la tabla 1. Los estudios utilizados en este artículo han sido seleccionados de la base bibliográfica MEDLINE utilizando las siguientes palabras clave: *Transcranial color-coded sonography, transcranial color sonography, transcranial duplex sonography*. Además, se han incluido algunos artículos no pertenecientes a esta base bibliográfica que forman parte de un archivo de artículos de monitorización del enfermo neurocrítico de los propios autores.

PARÁMETROS HEMODINÁMICOS DE NORMALIDAD

La medida de las velocidades y de los índices de pulsatilidad (IP) y de resistencia (IR) son los parámetros más frecuentemente valorados en las arterias basales del cerebro. La visualización de los vasos permite su identificación de un modo más rápido, eficaz y seguro respecto al DTC convencional. Estas ventajas se deben a las propias características de la técnica. Las referencias anatómicas permiten insonar con seguridad el vaso deseado. Éstas pueden resumirse en el mesencéfalo y su imagen típica en alas de mariposa para la localización de la arteria cerebral posterior (ACP); el cuerpo del esfenoides para la localización de la arteria cerebral media (ACM), arteria cerebral anterior (ACA) y arteria carótida interna (ACI), y el foramen magnum para el estudio de la arteria basilar (AB) y las arterias vertebrales. De este modo, nos alejamos de zonas de curvatura y salida de colaterales que pueden interferir en la valoración de la hemodinámica; las mediciones se realizan siempre a la misma profundidad y ajustamos el volumen de muestra al diámetro del vaso insonado. Además, el empleo del modo angio y la utilización de ecopotenciadores permite conseguir un porcentaje muy elevado de identificaciones, superior a las obtenidas mediante la sonografía doppler convencional^{6,9}.

Los valores de las velocidades obtenidos con el DTCC son superiores a los manejados con el DTC,

debido a la corrección del ángulo de incidencia y a la adecuada colocación del volumen de muestra, adaptándolo al diámetro del vaso^{3,6-10}. El DTC convencional no mide el ángulo de incidencia y trabaja con la presunción de que éste se encuentra entre 0-30°. La realidad, sin embargo, es que, salvo en el caso de la arteria basilar, las demás tienen unos ángulos superiores y que, una vez corregidos, las velocidades reales son más altas^{8,11}. Además, existen sensibles diferencias relacionadas con la edad, descendiendo las velocidades progresivamente alrededor de un 8% en cada década, y son ligeramente mayores en la mujer, que ofrece peores ventanas acústicas⁸. Este hecho ha supuesto la necesidad de nuevas tablas de referencia en voluntarios sanos¹².

El sistema venoso cerebral profundo también ha sido estudiado mediante DTCC^{13,14}. El abordaje se realiza por vía transtemporal o transoccipital¹³⁻¹⁵. El diagnóstico de las trombosis venosas profundas, tanto por la imagen directa como por los patrones hemodinámicos obtenidos, muestra resultados satisfactorios^{16,17}. La concordancia inter e intraobservador hallada en el estudio arterial y venoso ha sido satisfactoria^{18,19}.

ECOPOTENCIADORES

En los últimos años se ha introducido el uso de ecopotenciadores en el estudio mediante DTCC. Los ecopotenciadores son soluciones de microburbujas de galactosa, perfluorohexano o de hexafluoruro sulfúrico estabilizadas con fosfolípidos que se inyectan por vía endovenosa. Su tamaño oscila entre 1-10 µm, lo que junto a la estabilidad permite que atraviesen la barrera pulmonar²⁰. Aumentan la señal doppler unos 25-30 dB al tener una alta impedancia acústica (1.000 veces superior a la de los hematíes) e incrementar la relación señal/artefacto. Su utilización aumenta el número de vasos detectados, así como el rendimiento diagnóstico del DTCC, permitiendo exámenes concluyentes prácticamente en el 100% de los casos^{21,22}. En nuestra experiencia, SonoVue® (Bracco International BV, Amsterdam) se puede utilizar en el paciente neurocrítico. En estos años no hemos experimentado ningún efecto adverso relacionado con su empleo.

Los ecos generados por los haces de ultrasonidos no solamente se propagan de forma especular o lineal



Figura 1. Imagen en modo bidimensional del sistema ventricular. Se destacan las astas frontales (flechas).

con la misma frecuencia emitida, sino que también tienen la propiedad de la propagación no lineal o dispersión a una frecuencia múltiple de la frecuencia de emisión, llamándose a estos ecos armónicos. El segundo armónico es el recibido a una frecuencia doble de la original, que aumenta la relación señal/ artefacto y produce una resolución ecográfica mejor que los ecos fundamentales, ya sea en las modalidades de color o en 2D^{23,24}. Las microburbujas de las sustancias de contraste sometidas a una presión acústica ultrasónica intermitente y programada, experimentan unos procesos de contracción y explosión que generan unos ecos armónicos propios. Estos principios permitirán el desarrollo de las técnicas de estudio de la perfusión cerebral, que se detallarán más adelante.

ESTUDIO DEL SISTEMA VENTRICULAR

El tercer ventrículo (3V) se identifica en el plano mesencefálico desde la ventana temporal como una doble línea hiperecogénica en el centro de la imagen. Al angular cefálicamente 10° el transductor se identifica el asta frontal de los ventrículos laterales (VLf), determinación que debe realizarse desde el lado contralateral, ya que ésta es la proyección en la que aparece la máxima anchura del ventrículo (fig. 1)^{3,4,25}.

Seidel et al²⁵ demostraron que las medidas por DTCC desde la ventana temporal de los diámetros del 3V y de los VLf y su reproducibilidad intra e interobservador tienen una buena correlación con las tomadas por la tomografía axial computarizada (TAC). Los valores de normalidad tomados en voluntarios sanos fueron, en menores de 60 años, de $4,8 \pm 1,9$ mm para el 3V y de $16 \pm 2,3$ mm para VLf, y en mayores de 60 años, de $7,6 \pm 2,1$ mm y $19 \pm 2,9$ mm respectivamente²⁵.

TRAUMATISMO CRANEOENCEFÁLICO

El TCE ha sido poco estudiado mediante DTCC, fundamentalmente debido a la escasa introducción de

la técnica en las UCI. Shiogai et al²⁶ estudiaron a 17 pacientes con TCE a los que se les realizó un DTCC en la fase aguda. Describieron, de modo preliminar, las características hemodinámicas en estos pacientes y los hallazgos sonográficos de las contusiones intraparenquimatosas y hematomas extraaxiales, como otros autores notificaron posteriormente²⁷. El estudio parenquimatoso en dos dimensiones ha permitido evaluar diferentes parámetros, como la hidrocefalia y el efecto masa, fundamentalmente basándonos en la desviación de la línea media (DLM)²⁸, que constituye un factor pronóstico en estos enfermos²⁹. Su determinación se realiza desde la ventana temporal, dirigiendo el haz de ultrasonidos perpendicularmente a las paredes del 3V, que aparece como una doble línea hiperecogénica en el centro del plano, y midiendo la distancia desde el transductor hasta el centro del 3V bilateralmente (distancias A y B). Posteriormente se aplica la fórmula: $DLM = A-B/2$. Así, determinamos la correlación entre la DLM evaluada por DTCC y TAC craneal en una población de 41 enfermos con TCE, consiguiéndose una correlación de 0,88 ($p < 0,0001$)²⁸. Además, Mursch et al³⁰ observaron que la reducción del tamaño del 3V medido por DTCC durante aumentos de la presión intracraneal en pacientes con TCE puede tener un significado pronóstico respecto de la mortalidad. De esta manera, se consigue un seguimiento del paciente traumático a pie de cama, evitando traslados innecesarios que siempre comportan un riesgo en los pacientes ingresados en UCI³¹.

Un estudio de nuestro grupo demostró, en una población de 30 enfermos con TCE moderado y severo, una tasa de insonación de los vasos del polígono de Willis muy superior con DTCC que con DTC, y además se obtuvieron valores de velocidades medias sensiblemente superiores mediante DTCC que con DTC⁹. Por estos motivos, quizá deberían redefinirse los límites clásicos de hipoperfusión e hiperemia. Más recientemente, Kochanowicz et al³² estudiaron la hemodinámica cerebral en 36 pacientes con TCE moderado y severo en la fase aguda, y observaron que la existencia de bajas velocidades diastólicas e IR disminuidos se asoció con un peor pronóstico. Además, el estudio hemodinámico nos permite un diagnóstico de sospecha de la fístula carótido-cavernosa (FCC) postraumática³³. Su diagnóstico se realiza habitualmente por medio de una angiografía cuando se presentan los síntomas clásicos de exoftalmos, quemosis conjuntival, soplo ocular y diplopía. El DTCC se ha revelado como una buena técnica coadyuvante en su diagnóstico, incluso en una fase asintomática, con signos directos como la presencia de flujo en mosaico en el interior del seno cavernoso, altas velocidades e $IR < 0,45$ y signos indirectos, como la detección de drenajes venosos de alto flujo³³⁻³⁶. Creemos necesario para el diagnóstico un patrón evolutivo de estos hallazgos sonográficos en las sucesivas exploraciones³³.

En la experiencia de los autores, la presencia de craniectomías, grandes cefalohematomas o extensas lesiones faciales, habituales en los enfermos con TCE, son casi siempre fácilmente soslayables³.

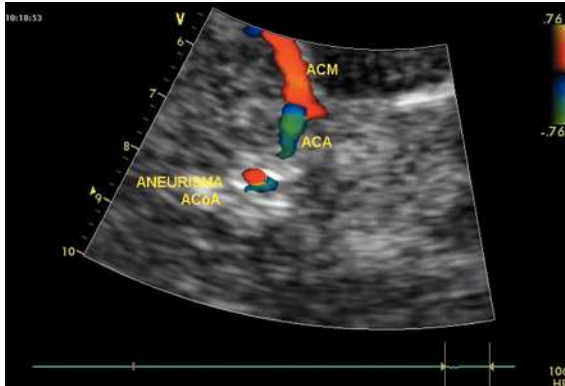


Figura 2. Imagen circular típica de aneurisma cerebral. En modo color se identifican doble color con línea separadora con ausencia del mismo. ACM: arteria cerebral media; ACA: arteria cerebral anterior; ACoA: arteria comunicante anterior.

flujo⁴⁴, y los de las estenosis, por la aparición de un flujo en mosaico en una zona circunscrita del vaso con aumento de las velocidades sistólicas, relleno del espectro doppler y aparición de flujos sistólicos retrógrados de baja frecuencia en la zona estenótica^{45,46}. Las máximas velocidades sistólicas que en cada una de las arterias basales delimitarían el grado de estenosis han sido estudiadas, así como los índices de asimetría respecto de la velocidad en el mismo vaso del hemisferio contralateral. Diferencias de entre un 20-30% entre la Vs de ambas ACM o valores absolutos superiores a 220 cm/s indicarían estenosis superiores al 50% y de entre 145-220 cm/s estenosis < 50%⁴⁶⁻⁴⁸. Mediante el uso de ecopotenciadores se consiguen excelentes resultados en el diagnóstico de estenosis, oclusiones, hipoperfusiones y flujos colaterales comparándolos con métodos angiográficos. De este modo se pueden evitar las maniobras de compresión cervical que podrían provocar isquemia secundaria^{48,49}.

ENFERMEDAD CEREBROVASCULAR AGUDA

Hemorragia cerebral e infarto isquémico

La sangre intraparenquimatosa ofrece una imagen hiperecogénica, con una densidad parecida a la de la hoz del cerebro y a la de los plexos coroideos en la primera fase (1-5 días). En la fase intermedia (6-10 días) la degradación precoz de los hematíes de la zona central del hematoma dibuja una hipodensidad en el centro, rodeada por un halo más ecogénico en la periferia. En la fase capsular (> 10 días), la menor ecogenicidad del hematoma respecto a los tejidos circundantes se refleja por una zona central hipodensa delimitada por una fina banda ecodensa³⁷⁻³⁹.

El infarto isquémico no tiene representación ecográfica directa. Sin embargo, en un adecuado contexto clínico, diversos hallazgos sonográficos nos pueden orientar hacia la sospecha de un evento isquémico cerebral. Éstos son la ausencia de sangre intraparenquimatosa, la demostración de una oclusión arterial, el efecto masa evaluado por la desviación de la línea media, la presencia de patrones de flujo colateral y la menor pulsatilidad de la zona cerebral infartada^{38,40}. Con ellos el acierto diagnóstico respecto a la TAC se sitúa en el 95%³⁸⁻⁴⁰. Las complicaciones como la desviación de la línea media por efecto masa⁴¹, que se ha revelado un factor pronóstico en estos enfermos, y la transformación hemorrágica de un infarto isquémico pueden seguirse a pie de cama⁴², así como el control de la terapia trombolítica (diagnóstico de la oclusión y posterior reperusión). La evacuación de sangre al interior del sistema ventricular es fácilmente reconocible por la presencia de ecos intensos en un medio hipoecoico^{40,43}.

Estenosis y oclusiones intracraneales

Los criterios de oclusión se definen en el DTCC por la existencia de una imagen hiperecoica en el trayecto arterial y la ausencia de relleno del color y de

Hemorragia subaracnoidea

Los aneurismas se reconocen con el DTCC en modo color por la presencia de una formación circular u ovalada adyacente a un vaso, y en cuyo interior el flujo está dividido en dos zonas, una azul y la otra roja con una zona intermedia de flujo cero y sin turbulencias (fig. 2). Aneurismas mayores de 5 mm y no trombados pueden localizarse en un 47-85% de las ocasiones, dependiendo su visualización del tamaño, de la localización y de la morfología del aneurisma^{50,51}, mejorando los resultados con la utilización de ecopotenciadores⁵². Con la reconstrucción tridimensional (3D), el porcentaje de aneurismas diagnosticados llega al 97%⁵³. De todos modos, el DTCC no parece aún la técnica idónea para descartar la presencia de un aneurisma⁵⁴ aunque es útil en el seguimiento posembolización de estos enfermos, especialmente en la comprobación de la ausencia de flujo dentro del aneurisma o en su reaparición en caso de recanalizaciones espontáneas^{55,56} y descartando los posibles desplazamientos de los coils⁵⁷.

Las malformaciones arteriovenosas (MAV) muestran en el modo bidimensional del DTCC una imagen hiperecogénica con irregularidades en los ecos del interior y en modo color, una típica imagen en mosaico con aparición de todos los colores de la escala, debido a la circunvalación bidireccional de los vasos que la forman. En las arterias aferentes se detecta un aumento de las velocidades, fundamentalmente diastólicas, y un descenso de los IR. Las venas de drenaje tienen un flujo arterializado⁵⁸⁻⁶⁰. Las MAV menores de 2 cm no son detectables en su totalidad, y el estudio de la hemodinámica de los vasos aferentes es una ayuda para su localización, así como para el seguimiento de los cambios hemodinámicos tras el tratamiento⁶⁰. Debe considerarse que las MAV corticales presentan una menor tasa de insonación respecto de las basales⁵⁹. En cualquier caso, desaconsejamos el DTCC como la técnica de elección para el diagnóstico de MAV, al igual que otros autores⁵⁹.

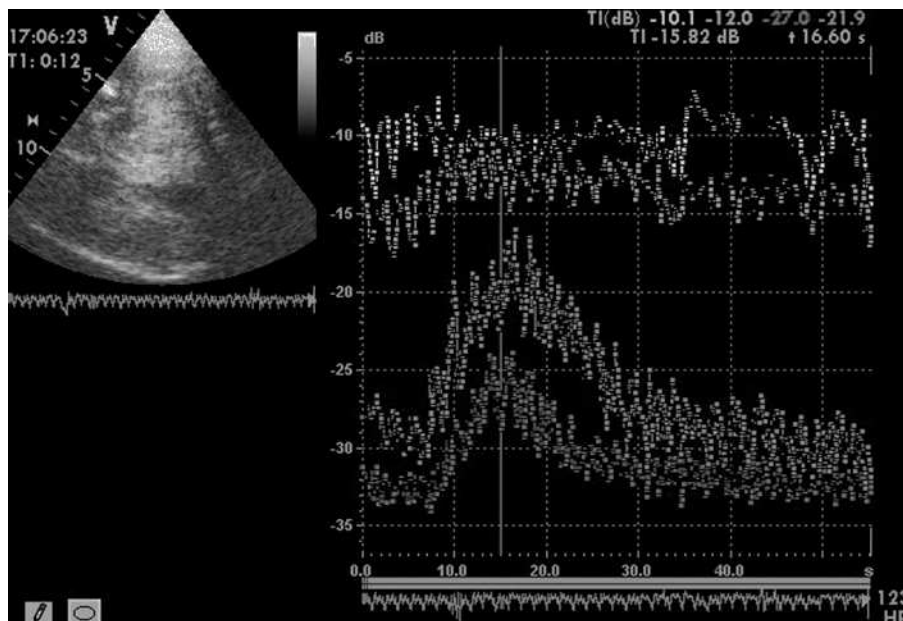


Figura 3. Imagen en modo perfusión de paciente con hematoma cerebral espontáneo. Los 2 trazados superiores corresponden a las curvas de tiempo-intensidad en dos regiones de interés colocadas en el seno del hematoma. Se aprecia ausencia de captación de contraste comparándolo con los trazados de la parte inferior, que corresponden a áreas de interés en hemisferio sano y presentan una curva de captación de contraste normal.

En el seguimiento y detección de las complicaciones tras una hemorragia subaracnoidea (HSA), el DTCC muestra resultados prometedores en el diagnóstico de la hidrocefalia y en el estudio del vasoespasmio cerebral. En cuanto a la hidrocefalia, y como se ha reseñado previamente, se ha demostrado una buena correlación entre las mediciones del sistema ventricular por DTCC y TAC²⁵. Los criterios de hidrocefalia han sido también definidos, considerándose patológicos valores superiores a 9 mm y 19 mm para el 3V y los VLf respectivamente⁶¹. Los mismos autores observaron que las ondulaciones en el septum pellucidum producidas por la rotación rítmica de 20° de la cabeza del paciente desaparecen al aumentar la presión intracraneal por encima de 17 cm H₂O, lo que permitiría diferenciar las hidrocefalias hipertensivas de las normotensivas⁶¹. En nuestra experiencia se puede realizar rutinariamente un seguimiento diario y a pie de cama en estos enfermos, evitando traslados innecesarios a la sala de radiología.

Los estudios con DTCC sobre vasoespasmio son escasos. Visualmente el vasoespasmio se reconoce por DTCC por la presencia de un flujo en mosaico que indica un aumento de las velocidades en los segmentos o vasos afectados, añadido a los criterios hemodinámicos descritos en el DTC⁶²⁻⁶⁴. Se ha intentado, además, medir el diámetro de la ACM en estos enfermos, consiguiéndose resultados negativos con la tecnología actual⁶⁵.

El grupo de Krejza ha realizado los trabajos más interesantes. En dichos estudios, realizados sobre unas poblaciones de 214, 100 y 120 pacientes⁶⁶⁻⁶⁸, analizándose los resultados mediante la curva ROC,

se concluyó que el pico de velocidad sistólica y el cociente entre velocidad en ACM/velocidad en ACI ipsilateral son los parámetros que evalúan con mayor exactitud la presencia de un vasoespasmio⁶⁸. Ajustar dichos parámetros por edad y género permite obtener un mejor rendimiento diagnóstico⁶⁷.

PARO CIRCULATORIO CEREBRAL

La realización de la DTC como prueba precoz de ausencia de flujo cerebral en el diagnóstico del paro circulatorio cerebral, ante la presencia de sustancias depresoras del sistema nervioso central, permite disminuir el tiempo de diagnóstico de muerte cerebral⁶⁹. Sin embargo, son conocidas las limitaciones del doppler ciego y las dificultades que a veces concurren en su realización e interpretación, siendo quizás el caso más claro la ausencia de señal acústica, que precisa para ser concluyente la existencia de una exploración previa. Ello ha motivado la búsqueda de ventanas de insonación alternativas en aquellos casos en que los estudios no sean concluyentes⁷⁰.

Basándonos en la práctica adquirida durante 4 años podemos asegurar que muchas de estas dificultades se resuelven adecuadamente con el DTCC. Las marcas anatómicas de referencia en el estudio bidimensional nos indican dónde centrar la búsqueda. Además, la utilización del modo angio-DTCC es muy útil cuando la señal de color está ya muy debilitada por las bajas velocidades y los ecopotenciadores aumentan la localización de flujos de mínima intensidad³. Los patrones sonográficos utilizados son los mismos que en el DTC convencional^{71,72}, pero su ob-

tención resulta mucho más sencilla. De esta manera, un artículo recientemente publicado ha demostrado una concordancia diagnóstica entre el DTCC y la angiografía cerebral del 100% en la confirmación del paro circulatorio cerebral⁷³.

ESTUDIOS DE PERFUSIÓN CEREBRAL

Los principios biofísicos descritos en la introducción constituyen la base para el desarrollo de las diversas técnicas sonográficas empleadas en la evaluación de la perfusión cerebral⁷⁴. De todas ellas, la que presenta resultados más prometedores es la denominada *phase inversion harmonic imaging*. Dicha técnica se basa en el cálculo de los parámetros de perfusión cerebral en regiones de interés predeterminadas a partir de las curvas de tiempo-intensidad tras el uso de un bolo de ecocontraste⁷⁵. Los parámetros estudiados a través de la curva obtenida son fundamentalmente el tiempo-pico, la intensidad del pico y la amplitud del pico de captación tisular de contraste⁷⁶, permitiendo diferenciar áreas isquémicas o no perfundidas de áreas con buena perfusión (fig. 3). Estos estudios permiten establecer el pronóstico en enfermos con ECVA aguda⁷⁷, e incluso recientemente se ha demostrado su utilidad en la detección de tejido en riesgo de evolución a necrosis isquémica⁷⁸. En nuestra opinión, el trasladar estos hallazgos al enfermo con TCE puede ser de gran interés en el estudio del área de penumbra pericontusional y en la prevención de la isquemia secundaria.

REFLEXIÓN SOBRE EL USO ACTUAL DEL DÚPLEX TRANSCRANEAL CODIFICADO EN COLOR EN LA UNIDAD DE CUIDADOS INTENSIVOS

La escasa implantación que todavía tiene en las UCI que habitualmente manejan el doppler transcranial en el paciente neurocrítico puede entenderse por la relativa novedad de la técnica y, a nuestro entender, por un mal cálculo del coste/beneficio de los equipos, comparándolos con los de doppler ciego. Un ecógrafo convencional con el software de transcranial (la mayoría de los actuales modelos disponen de ello) y una sonda de 2 MHz (la misma que se utiliza para ecocardiografía transtorácica) son el equipo básico. La multifuncionalidad de la ecografía en un Servicio de Medicina Intensiva permite el uso (y la compra) compartido entre varios Servicios. Además existen varios modelos portátiles que ofrecen las mismas prestaciones y pueden ser muy útiles en los Servicios de Urgencias.

Los estudios en 2D no sustituyen a la TAC, sino que la complementan, y en los TCE las indicaciones para la tomografía inicial se mantienen sin cambios, siendo en el seguimiento diario de las desviaciones de la línea media, tamaño del sistema ventricular, variaciones en las dimensiones de masas intra o extraxiales o en la aparición de midriasis inesperadas donde mejor apreciaremos su ayuda para la indicación o no de nueva prueba de imagen. El resultado es un ahorro

seguro de los complicados traslados al Servicio de Radiología para escáneres de control y una mayor seguridad en el seguimiento de los pacientes. El reconocimiento en el propio Servicio de Urgencias de una trombosis de la ACM puede permitir una indicación más racional y rápida de la fibrinólisis y la certificación o no de la reperfusión.

La crítica tradicional que se hace acerca de la gran experiencia que se requiere por parte del explorador para identificar correctamente los vasos del polígono de Willis con el doppler ciego pierde su razón de ser, por cuanto aquí los identificamos visualmente, lo que además permite unas mediciones hemodinámicas mucho más fiables. Por todo ello, y basándonos también en nuestra experiencia personal de 4 años de utilización del DTCC, pensamos que para aquellos intensivistas que creemos en la utilización del doppler en la neuromonitorización de nuestros pacientes es aconsejable la sustitución del doppler ciego por la nueva tecnología del DTCC.

Declaración de conflicto de intereses

Los autores han declarado no tener ningún conflicto de intereses.

BIBLIOGRAFÍA

1. White H, Venkatesh B. Applications of transcranial doppler in the ICU: a review. *Intensive Care Med.* 2006;32:981-94.
2. Aaslid R, Markwalder TM, Nornes H. Non-invasive transcranial doppler ultrasound recording of flow velocity in basal cerebral arteries. *J Neurosurg.* 1982;52:769-74.
3. Abadal JM, Homar J. Contribución de la sonografía dúplex transcranial codificada en color a la neuromonitorización del paciente crítico. En: Net A, Marruecos-Sant L, editores. *El Paciente Neurocrítico*. 1st ed. Barcelona: Ars Medica; 2006. p.109-34.
4. Bartels E. Color-coded duplex ultrasonography of the cerebral vessels. *Atlas and Manual*. Stuttgart: F.K.Schattauer Verlagsgesellschaft mbH; 1999.
5. Krejza J, Baumgartner RW. Clinical applications of transcranial color-coded sonography. *J Neuroimaging.* 2004;14:215-25.
6. Bartels E, Flugel KA. Quantitative measurements of blood flow velocity in basal cerebral arteries with transcranial duplex color-flow imaging. A comparative study with conventional transcranial doppler sonography. *J Neuroimaging.* 1994;4:77-81.
7. Schoning M, Buchholz R, Walter J. Comparative study of transcranial color duplex sonography and transcranial doppler sonography in adults. *J Neurosurg.* 1993;78:776-84.
8. Tsuchiya T, Yasaka M, Yamaguchi T, Kimura K, Omae T. Imaging of the basal cerebral arteries and measurement of blood flow velocity in adults by using transcranial real-time color flow doppler sonography. *AJNR Am J Neuroradiol.* 1991;12:497-502.
9. Homar J, Abadal JM, Llompert Pou JA, Pérez Bárcena J, Ibáñez J. Hemodinámica cerebral en pacientes con traumatismo craneoencefálico evaluada por doppler transcranial y dúplex transcranial con codificación en color. Estudio comparativo. *Neurocirugía (Astur).* 2007;18:221-6.
10. Bartels E. Transcranial color-coded duplex ultrasound-possibilities and limits of this method in comparison with conventional transcranial doppler ultrasound. *Ultraschall Med.* 1993;14:272-8.
11. Bartels E, Fuchs HH, Flugel KA. Color doppler imaging of basal cerebral arteries: normal reference values and clinical applications. *Angiology.* 1995;46:877-84.
12. Krejza J, Mariak Z, Walecki J, Szydlik P, Lewko J, Ustymowicz A. Transcranial colour doppler sonography of basal

cerebral arteries in 182 healthy subjects: age and sex variability and normal references values for blood flow parameters. *AJR Am J Roentgenol.* 1999;172:213-8.

13. Becker G, Bogdahn U, Gehlberg C, Frohlich T, Hofmann E, Schlieff MD. Transcranial color-coded real-time sonography of intracranial veins. Normal values of blood flow velocities and findings in superior sagittal sinus thrombosis. *J Neuroimaging.* 1995;5:87-94.
14. Stolz E, Kaps M, Kern A, Babacan SS, Dorndorf W. Transcranial color-coded duplex sonography of intracranial veins and sinuses in adults. Reference data from 130 volunteers. *Stroke.* 1999;30:1070-5.
15. Baumgartner RW, Nirkko AC, Muri RM, Gonner F. Transcranial power-based color-coded duplex sonography of cerebral sinuses and veins. *Stroke.* 1997;28:1319-23.
16. Ries S, Steinke W, Neff KW, Hennerici M. Echocontrast-enhanced transcranial color-coded sonography for the diagnosis of transverse sinus venous thrombosis. *Stroke.* 1997;28:696-700.
17. Stolz E, Gerriets T, Bodeker RH, Hugens-Penzel M, Kaps M. Intracranial venous hemodynamics is a factor related to a favourable outcome in cerebral venous thrombosis. *Stroke.* 2002;33:1645-50.
18. Stolz E, Babacan SS, Bodeker RH, Gerriets T, Kaps M. Interobserver and intraobserver reliability of venous transcranial color-coded flow velocity measurements. *J Neuroimaging.* 2001;11:385-92.
19. Schoning M, Scheel P. Color duplex measurement of cerebral blood flow volume: intra- and interobserver reproducibility and habituation to serial measurements in normal subjects. *J Cerebr Blood Flow Metab.* 1996;16:523-31.
20. Deklunder G. Role of ultrasounds and contrast-enhanced ultrasound in patients with cerebrovascular disease. *European Heart J.* 2002 Suppl;4:C51-5.
21. Gerriets T, Seidel G, Fiss I, Modrau B, Kaps M. Contrast-enhanced transcranial color-coded duplex sonography: efficiency and validity. *Neurology.* 1999;52:1133-7.
22. Droste DW, Boehm T, Ritter MA, Dittrich R, Rigelstein EB. Benefit of echocontrast-enhanced transcranial arterial color-coded duplex ultrasound. *Cerebrovasc Dis.* 2005;20:355-61.
23. Seidel G, Kaps M. Harmonic imaging of the vertebrobasilar system. *Stroke.* 1997;28:1610-3.
24. Seidel G, Christoph A, Algermissen C, Kutzer T, Claesen L, Vidal-Langwasser M. Transcranial harmonic power duplex sonography for the evaluation of cerebral arteries. *J Neuroimaging.* 2000;10:216-20.
25. Seidel G, Kaps M, Gerriets T, Hutzelmann A. Evaluation of the ventricular system in adults by transcranial duplex sonography. *J Neuroimaging.* 1995;5:105-8.
26. Shiohara T, Nagayama K, Damrinjap G, Saruta K, Hara M, Saito I. Morphological and hemodynamic evaluations by means of transcranial power doppler imaging in patients with severe head injury. *Acta Neurochir Suppl (Wien).* 1998;71:94-100.
27. Llompарт-Pou JA, Sánchez Pérez S, Rosselló Ferrer A. Seguimiento de un hematoma extraaxial postraumático por dúplex transcranial con codificación de color. *Med Intensiva.* 2005;29:494.
28. Llompарт Pou JA, Abadal Centellas JM, Palmer Sans M, Pérez Bárcena J, Casares Vivas M, Homar Ramírez J, et al. Monitoring midline shift by transcranial color-coded sonography in traumatic brain injury. A comparison with cranial computerized tomography. *Intensive Care Med.* 2004;30:1672-5.
29. Fearnside MR, Cook R, McDougall P, McNeil RL. The westmead head injury project outcome in severe head injury. A comparative analysis of prehospital, clinical and CT variables. *Br J Neurosurg.* 1993;7:267-79.
30. Mursch K, Vogelsang JP, Zimmerer B, Ludwig HC, Behnke J, Markakis E. Bedside measurement of the third ventricle's diameter during episodes of arising intracranial pressure after head trauma. Using transcranial real-time sonography for a non-invasive examination of intracranial compensation mechanisms. *Acta Neurochir (Wien).* 1995;137:19-23.
31. Beckmann U, Gillies DM, Berenholtz SM, Wu AW, Pronovost P. Incidents relating to the intra-hospital transfer of critically ill patients. An analysis of the reports submitted to the Australian Incident Monitoring Study in Intensive care. *Intensive Care Med.* 2004;30:1579-85.
32. Kochanowicz J, Krejza J, Mariak Z, Bilello M, Lyson T, Lewko J. Detection and monitoring of cerebral hemodynamic disturbances with transcranial color-coded duplex sonography in patients after head injury. *Neuroradiology.* 2006;48:31-6.
33. Llompарт-Pou JA, Abadal JM, Pérez-Bárcena J, Homar J, Rodríguez A, Ibáñez J. Diagnóstico precoz de la fístula carótido-cavernosa postraumática por dúplex transcranial color. Análisis de 4 pacientes. *Med Intensiva.* 2007;31:46-9.
34. Molnar LJ, Caldas JG, García RG, Cerri GG. Doppler mapping of direct carotid-cavernous fistulae (DCCF). *Ultrasound Med Biol.* 2001;27:367-71.
35. Chen YW, Jeng JS, Liu HM, Hwang BS, Lin WH, Yip PK. Carotid and transcranial color-coded duplex sonography in different types of carotid-cavernous fistula. *Stroke.* 2000;31:701-6.
36. Duan Y, Liu X, Zhou X, Cao T, Ruan L, Zhao Y. Diagnosis and follow-up study of carotid cavernous fistulas with color doppler sonography. *J Ultrasound Med.* 2005;24:739-45.
37. Seidel G, Kaps M, Dorndorf W. Transcranial color-coded duplex sonography of intracerebral hematomas in adults. *Stroke.* 1993;24:1519-27.
38. Becker G, Winkler J, Hofmann E, Bogdahn U. Differentiation between ischemic and hemorrhagic stroke by transcranial color-coded real-time sonography. *J Neuroimaging.* 1993;3:41-7.
39. Tang SC, Huang SJ, Jeng JS, Yip PK. Third ventricle midline shift due to spontaneous supratentorial intracerebral hemorrhage evaluated by transcranial color coded-sonography. *J Ultrasound Med.* 2006;25:203-9.
40. Maurer M, Shambal S, Berg D, Woydt M, Hofmann E, Georgiadis D, et al. Differentiation between intracerebral hemorrhage and ischemic stroke by transcranial color-coded duplex-sonography. *Stroke.* 1998;29:2563-7.
41. Gerriets T, Stolz E, König S, Babacan S, Fiss I, Jaus M, et al. Sonographic monitoring of midline shift in space-occupying stroke: an early outcome predictor. *Stroke.* 2001;32:442-7.
42. Seidel G, Cangur H, Albers T, Meyer-Wiethe K. Transcranial sonographic monitoring of hemorrhagic transformation in patients with acute middle cerebral infarction. *J Neuroimaging.* 2005;15:326-30.
43. Bertram M, Khoja W, Ringleb P, Schwab S. Transcranial colour-coded sonography for the bedside evaluation of mass effect after stroke. *Eur J Neurol.* 2000;7:639-46.
44. Kadimi S, Terry JB, Gómez CR. Hyperechoic middle cerebral artery: acute occlusion detected by transcranial duplex ultrasonography. *J Neuroimaging.* 2000;10:228-30.
45. Griewing B, Schminke U, Motsch L, Brassel F, Kessler C. Transcranial duplex sonography of middle cerebral artery stenosis: a comparison of colour-coding techniques-frequency- or power-based Doppler and contrast enhancement. *Neuroradiology.* 1998;40:490-5.
46. Tian JW, Sun LT, Zhao ZW, Gao J. Transcranial color doppler flow imaging in detecting severe stenosis of the intracranial vertebral artery: a prospective study. *Clin Imaging.* 2006;30:1-5.
47. Baumgartner RW, Mattle HP, Schroth G. Assessment of $\geq 50\%$ and $< 50\%$ intracranial stenoses by transcranial color-coded duplex sonography. *Stroke.* 1999;30:87-92.
48. Martin PJ, Pye IF, Abbott RJ, Naylor AR. Color-coded ultrasound diagnosis of vascular occlusion in acute ischemic stroke. *J Neuroimaging.* 1995;5:152-6.
49. Baumgartner RW, Arnold M, Gonner F, Staikow I, Herrmann C, Rivoir A, et al. Contrast-enhanced transcranial color-coded duplex sonography in ischemic cerebrovascular disease. *Stroke.* 1997;28:2473-8.
50. Baumgartner RW, Mattle HP, Kothbauer K, Schroth G. Transcranial color-coded duplex sonography in cerebral aneurysms. *Stroke.* 1994;25:2429-34.
51. Klotzsch C, Nahser HC, Fischer B, Henkes H, Kuhne D, Berlitz P. Visualisation of intracranial aneurysms by transcranial duplex sonography. *Neuroradiology.* 1996;38:555-9.
52. Turner CL, Kirkpatrick PJ. Detection of intracranial aneurysms with unenhanced and echo contrast enhanced transcranial power Doppler. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 2000;68:489-95.
53. Klotzsch C, Bozzato A, Lammers G, Mull M, Lennartz B, Noth J. Three-dimensional transcranial color-coded sonography of cerebral aneurysms. *Stroke.* 1999;30:2285-90.

54. Baumgartner RW. Transcranial color duplex sonography in cerebrovascular disease: a systematic review. *Cerebrovasc Dis.* 2003;16:4-13.
55. Schuknecht B, Chen JJ, Valavanis A. Transcranial color-coded doppler sonography of intracranial aneurysms before and after endovascular occlusion with Guglielmi detachable coils. *AJNR Am J Neuroradiol.* 1998;19:1659-67.
56. Turner CL, Higgins NP, Kirkpatrick PJ. Assessment of transcranial color-coded duplex sonography for the surveillance of intracranial aneurysms treated with Guglielmi detachable coils. *Neurosurgery.* 2003;53:866-71.
57. Abadal Centellas JM, Llompou JA, Miralbé Celma S, Pérez Barcena J, Homar Ramírez J, Ibáñez Juvé J. Diagnosis of a displacement of Guglielmi detachable coils by transcranial color-coded sonography. *J Ultrasound Med.* 2005;24:235-8.
58. Becker G, Pérez J, Krone A, Demuth K, Lindner A, Hofmann E, et al. Transcranial color-coded-real-time sonography in the evaluation of intracranial neoplasms and arteriovenous malformations. *Neurosurgery.* 1992;31:420-8.
59. Bartels E. Evaluation of arteriovenous malformations (AVMs) with transcranial color-coded duplex sonography: does the location of an AVM influence its sonographic detection? *J Ultrasound Med.* 2005;24:1511-7.
60. Baumgartner RW, Mattle HP, Schroth G. Transcranial colour-coded duplex sonography of cerebral arteriovenous malformations. *Neuroradiology.* 1996;38:734-7.
61. Becker G, Bogdahn U, Strassburg HM, Lindner A, Hassel W, Meixensberger J, et al. Identification of ventricular enlargement and estimation of intracranial pressure by transcranial color-coded real-time sonography. *J Neuroimaging.* 1994;4:17-22.
62. Becker G, Greiner K, Kaune B, Winkler J, Brawanski A, Warmuth-Metz M, et al. Diagnosis and monitoring of subarachnoid hemorrhage by transcranial color-coded real-time sonography. *Neurosurgery.* 1991;28:814-20.
63. Aaslid R, Huber P, Normes H. Evaluation of cerebrovascular spasm with transcranial Doppler ultrasound. *J Neurosurg.* 1984;60:37-41.
64. Lindegaard KF, Normes H, Bakke SJ, Sorteberg W, Nakstad P. Cerebral vasospasm after subarachnoid haemorrhage investigated by means of transcranial doppler ultrasound. *Acta Neurochir Suppl (Wien).* 1988;42:81-4.
65. Muller M, Schwerdtfeger K, Zieroth S. Assessment of middle cerebral artery diameter after aneurysmal subarachnoid hemorrhage by transcranial color-coded duplex sonography. *Eur J Ultrasound.* 2000;11:15-9.
66. Mariak Z, Krejza J, Swiercz M, Kordecki K, Lewko J. Accuracy of transcranial color doppler ultrasonography in the diagnosis of middle cerebral artery spasm determined by receiver operating characteristic analysis. *J Neurosurg.* 2002; 96:323-30.
67. Krejza J, Mariak Z, Lewko J. Standardization of flow velocities with respect to age and sex improves the accuracy of transcranial color Doppler sonography of middle cerebral artery spasm. *AJR Am J Roentgenol.* 2003;181:245-52.
68. Krejza J, Kochanowicz J, Mariak Z, Lewko J, Melhem ER. Middle cerebral artery spasm after subarachnoid hemorrhage: detection with transcranial color-coded duplex US. *Radiology.* 2005;236:621-9.
69. López Navidad A, Caballero F, Domingo P, Marruecos L, Estorch M, Kulisevsky J, et al. Early diagnosis of brain death in patients with central nervous system depressant drugs. *Transplantation.* 2000;70:131-5.
70. Domínguez Roldán JM, Jiménez González PI, García Alfaro C, Rivera Fernández V, Hernández Hazanas F. Diagnosis of brain death by transcranial doppler sonography: solutions for cases of difficult sonic windows. *Transplant Proc.* 2004;36:2896-7.
71. Ducrocq X, Hassler W, Moritake K, Newell DW, von Reutern GM, Shiogai T, et al. Consensus opinion on diagnosis of cerebral circulatory arrest using Doppler sonography: Task Force Group on cerebral death of the Neurosonology Research Group of the World Federation of Neurology. *J Neurol Sci.* 1998;159:145-50.
72. Domínguez Roldán JM, Barrera Chacón JM, Rivera Fernández MV, García Alfaro C. Sonografía doppler transcranial: su utilidad en el diagnóstico de la parada circulatoria cerebral que acompaña a la muerte encefálica. *Med Intensiva.* 2000;24:151-60.
73. Poularas J, Karakitsos D, Kouralis G, Kostalis A, De Groot E, Kalogeromitros A, et al. Comparison between transcranial color doppler ultrasonography and angiography in the confirmation of brain death. *Transplant Proc.* 2006;38:1213-7.
74. Eyding J, Wilkening W, Postert T. Brain perfusion and ultrasonic imaging techniques. *Eur J Ultrasound.* 2002;16:91-104.
75. Eyding J, Krogias C, Wilkening W, Meves S, Ermert H, Postert T. Parameters of cerebral perfusion in phase-inversion harmonic imaging (PIHI) ultrasound examinations. *Ultrasound Med Biol.* 2003;29:1379-85.
76. Krogias C, Postert T, Meves S, Wilkening W, Przuntek H, Eyding J. Semiquantitative analysis of ultrasonic cerebral perfusion imaging. *Ultrasound Med Biol.* 2005;31:1007-12.
77. Seidel G, Meyer-Wiethe K, Berdien G, Hollstein D, Toth D, Aach T. Ultrasound perfusion imaging in acute middle cerebral artery infarction predicts outcome. *Stroke.* 2004;35:1107-11.
78. Eyding J, Krogias C, Schollhammer M, Eyding D, Wilkening W, Meves S, et al. Contrast-enhanced ultrasonic parametric perfusion imaging detects dysfunctional tissue at risk in acute MCA stroke. *J Cereb Blood Flow Metab.* 2006;26:576-82.