

Evaluación no invasiva de pacientes con eventos isquémicos cerebrales

C. R. GOMEZ

The Souers Stroke Institute, Saint Louis University Medical Center, St. Louis, Missouri, USA

Trabajo recibido para su publicación: 8/94 Aceptado: 9/94

Dirección para separatas: Camilo R. Gómez, MD. Souers Stroke Institute, Saint Louis University Medical Center, 3635 Vista Ave at Grand Boulevard, PO Box 15250, St. Louis, MO 63110-0250, USA

Se revisan las técnicas de evaluación no invasiva de la circulación cerebral incluyendo el ultrasonido dúplex, el Doppler color, el Doppler transcraneano y la angiografía por resonancia magnética. Se resumen los fundamentos técnicos, los aportes al diagnóstico anatomopatológico y etiopatogénico, las ventajas y limitaciones de dichas pruebas para contribuir al manejo de los pacientes con accidente cerebrovascular. Rev Arg Cardiol 1995; 63 (4): 379-383.

Palabras clave: Accidente cerebrovascular - Diagnóstico - Métodos no invasivos

Para poder elegir las estrategias adecuadas de tratamiento de un paciente que presenta un trastorno cerebrovascular (*stroke*), los clínicos tienen la responsabilidad de definir con precisión dicho evento y su causa. Para el estudio de estos casos, se cuenta hoy con numerosos procedimientos diagnósticos. Ellos incluyen pruebas que permiten una definición anatomopatológica del accidente cerebrovascular (ACV), otras que permiten determinar su etiopatogenia, y un tercer grupo de pruebas de aplicación aún no definida (Tabla 1).

Algunos de estos procedimientos se conocen como no invasivos porque su realización no requiere introducir instrumentos en el cuerpo. Aunque tradicionalmente el término "no invasivo" ha sido vinculado a estudios por ultrasonido, hemos elegido ampliar el concepto a técnicas no ultrasónicas que permiten una evaluación vascular etiopatogénica de los pacientes con accidente cerebrovascular (ACV). La siguiente es una revisión de las más importantes de estas técnicas.

ULTRASONIDO DUPLEX

La técnica de combinar imágenes de ultrasonido vascular en tiempo real con Doppler pulsado se conoce como ultrasonido duplex. (1) Reúne la sensibilidad para detectar placas pequeñas que tienen las imágenes de tiempo real de modo B de alta resolución, con la precisión del Doppler pulsado para medir las características de la velocidad de flujo en puntos específicos de los vasos sanguíneos. Aunque es

teóricamente imposible comparar ultrasonido con angiografía, muchos estudios han mostrado una correlación del 85-95% entre dichos procedimientos. (1) El estudio de las placas carotídeas puede ser hecho para evaluar: a) el grado de estenosis que causan, b) las características de su superficie, y c) su histopatología. (2) Con el ultrasonido duplex las placas pueden ser estudiadas en profundidad mediante visualización directa, tanto sagital como transversalmente. Dado que la angiografía no permite la visualización de la pared vascular, ni aporta imágenes transversales, existe la probabilidad de que ciertas placas sean subestimadas. (1) Las que estrechan el diámetro de la carótida en más del 70% (correspondiente a una reducción del 90% del área de la luz) se han asociado a una incidencia más alta de ACV. (2) Estas placas pueden detectarse fácilmente por dúplex del siguiente modo: la imagen modo B despliega la relación espacial entre la placa y los vasos, mientras que el Doppler pulsado muestra la turbulencia y aceleración del flujo que provoca. (1) Esta aceleración, acompañada por una disrupción del flujo laminar normal, se incrementa progresivamente a medida que la luz del vaso se estrecha, llega a su máximo cuando la estenosis es del 70% y luego cae rápidamente.

Concurrentemente, el flujo cae progresivamente a partir de una estenosis del 50-60%. Mediante la utilización de criterios que incluyen las velocidades sistólica y diastólica, es posible estimar con cierta aproximación el grado de estenosis causado por una placa.

Tabla 1
Aplicación de las técnicas de evaluación no invasiva en los
pacientes con accidente cerebrovascular

—Definición anatomopatológica	
—	Tomografía computada (TC)
—	Resonancia magnética nuclear (RMN)
—Determinaciones etiopatogénicas	
Lesiones vasculares:	
—	Estudios neurosonográficos:
—	Ultrasonido duplex
—	Doppler color (IDC)
—	Doppler transcraneano (DTC)
—	Angiografía cerebral
—	Angiografía por resonancia magnética
Lesiones cardíacas:	
—	Electrocardiograma y monitoreo Holter
—	Ecocardiograma transtorácico
—	Ecocardiograma transesofágico
—	Tomografía computada cardíaca de alta velocidad
Desórdenes hematológicos:	
—	Hemoglobina - Hematocrito
—	Electroforesis de hemoglobina
—	Tiempo de protrombina
—	Recuento de plaquetas
—	Tiempo de sangría
—	Fibrinógeno
—	Proteína C
—	Proteína S
—	Antitrombina III
—	Anticuerpos antifosfolípidos
—Pruebas de aplicación no determinada	
—	Tomografía computada de emisión de fotones (SPECT)
—	Tomografía de emisión de positrones (PET)
—	Centellografía nuclear de plaquetas con Indio III
—	Resonancia magnética por difusión
—	Resonancia magnética de perfusión
—	Espectroscopía por resonancia magnética

Las imágenes modo B también mostrarán si la placa es blanda (fibrograsa), fibrosa o cálcica, dependiendo de sus características ecogénicas (por ejemplo, las placas fibrograsas son ecotranslúcidas, mientras las calcificadas son ecodensas). (3)

La hemorragia intraplaca, que es estimada como un factor de riesgo de ACV, (2) también puede ser definida ultrasónicamente. El propósito de evaluar las características de la superficie de la placa es el de determinar si la misma está ulcerada. Estas ulceraciones, que algunos consideran un factor de riesgo de ACV, implican una interrupción de la continuidad del endotelio, y deben ser distinguidas de las frecuentes irregularidades de la superficie endotelial ("cráteres") con endotelio intacto. (3)

En general no se considera que la sensibilidad para distinguir estas dos lesiones sea óptima, a juzgar por las variaciones en las series publicadas. Hay una instancia en particular en que el dúplex no es confiable, y ésta es en la diferenciación entre una oclusión completa y una estenosis de más del 99%. Este pequeño flujo graficado como "signo de cuer-

da" angiográfico es difícil de localizar para el ecografista.

Debe destacarse que las arterias vertebrales pueden también ser estudiadas mediante esta técnica.

DOPPLER COLOR

El paso tecnológico que seguía al ultrasonido dúplex era imaginativo aunque improbable: las imágenes por Doppler color (IDC). (4, 5) En principio, para que las imágenes por ultrasonido modo B sean adecuadas, la relación entre el vaso en estudio y la corriente ultrasónica debe ser lo más cercana posible a 90°. (6) Por otro lado, los ángulos mayores de 60° hacen que el cálculo de las velocidades de flujo basado en las frecuencias del Doppler sea muy impreciso. (6) Esta discrepancia aparente hizo que la superposición del Doppler color dinámico sobre la imagen en escala de grises del estudio en modo B resultara dificultosa.

De todos modos se logró, gracias a la habilidad de los procesadores modernos para calcular a alta velocidad, la amplitud, fase y frecuencia de las señales de ultrasonido reflejadas por los tejidos. Las señales tisulares estacionarias o de movimiento lento son procesadas por amplitud en el mismo modo que las imágenes convencionales de modo B. Se les asigna una intensidad de escala de grises proporcional a su amplitud. Simultáneamente, los cambios de fase de las señales ecográficas proveen información acerca de la presencia y dirección del movimiento. Se asigna una escala de colores a los cambios fásicos, en la que los colores más claros representan las velocidades más rápidas. (4, 5) Cada pixel es luego registrado múltiples veces por segundo, creando imágenes dinámicas del flujo sanguíneo.

Recientemente se han introducido aparatos capaces de registrar imágenes directas del flujo. (7) Las ventajas del IDC sobre el dúplex son: 1) permite una identificación más fácil de las imágenes vasculares, acortando el tiempo de estudio; 2) es útil para diferenciar las estenosis por placas de otros problemas, tales como los *kinks* o bucles; 3) permite la apreciación de los trastornos del flujo, aun en ausencia de estenosis; 4) ayuda a identificar pequeños flujos (por ejemplo estenosis críticas o "signo de la cuerda"); 5) identifica rápidamente placas ecotranslúcidas basándose en la ausencia de flujo, y 6) permite una mejor determinación de las características de la superficie. (7) En general, las aplicaciones del IDC no se limitan al registro de la aterosclerosis carotídea. Se ha mostrado útil en el estudio de pacientes con otras formas menos comunes de patología vascular, como los tumores carotídeos, la fibrodisplasia de la íntima y las disecciones. Finalmente, ha aumentado la posibilidad de evaluar la arteria vertebral extracraneana.

Tabla 2
Criterios para identificar las lesiones vasculares con Doppler transcraneano

Ventana	Vaso	Profundidad	Velocidad del flujo (cm/s)	Dirección del flujo*
Transtemporal	MCA	45-55	60 ± 12	hacia
	ACA	55-75	50 ± 12	desde
	PCA	65-80	40 ± 11	hacia/desde
Transorbital	OA	30-55	20 ± 10	hacia
	ICA	55-70	50 ± 15	hacia/desde
Transforaminal	VA	65-85	40 ± 10	desde
	BA	> 85	40 ± 10	desde

* En relación al transductor. MCA: arteria cerebral media. ACA: arteria cerebral anterior. PCA: arteria cerebral posterior. OA: arteria oftálmica. ICA: arteria carótida interna. VA: arteria vertebral. BA: arteria basilar.

DOPPLER TRANSCRANEANO (DTC)

El principio del DTC es que un haz de ultrasonido Doppler pulsado con una frecuencia de 2 MHz atraviesa la calota craneana adulta en puntos denominados ventanas. Rebota en los eritrocitos que fluyen dentro de las arterias basales del cerebro, permitiendo la determinación de la velocidad del flujo sanguíneo, su dirección, patrones de circulación colateral, y el estado de vasorreactividad cerebral. (8, 9)

Estudiando varios vasos sanguíneos es posible identificar patrones que señalan lesiones intra o extracraneanas. La identificación específica de las arterias intracraneanas se logra cumpliendo algunos criterios estrictos que incluyen: 1) ventana utilizada; 2) profundidad de la muestra; 3) dirección del flujo, y 4) medidas de velocidad (Tabla 2). Hay también instrumentos con capacidad de mapear los vasos en tres dimensiones.

Las velocidades de flujo superiores a dos desvíos estándar del normal en alguno de los vasos accesibles por DTC señalan un estrechamiento de su luz vinculable con cualquier causa (por ejemplo, aterosclerosis, espasmo). Además de estenosis locales que incrementan las velocidades en el vaso afectado, pueden identificarse otros patrones de colateralización. El vaso más fácil y frecuentemente estudiado es la arteria cerebral media, en la que se han descrito patrones de estenosis e incluso de oclusión. (10) Los hallazgos típicos de oclusión son la falla para obte-

ner la señal y las velocidades incrementadas en las arterias cerebral anterior y posterior ipsilaterales. (10) En algunos casos de embolia también ha podido documentarse recanalización de la arteria previamente ocluida. (10) Las lesiones extracraneanas causan disminución de la velocidad del flujo. El grado del decremento depende de la existencia de flujo colateral a través de las arterias comunicantes. Este patrón, a su vez, se caracteriza por un incremento en la velocidad del flujo del vaso que aporta la circulación colateral. Además, es posible demostrar vasorreactividad reducida en el hemisferio ipsilateral a la estenosis.

La técnica de DTC no carece de limitaciones, incluyendo el hecho de que en aproximadamente 15% de los individuos el hueso temporal es demasiado grueso como para permitir el registro intracraneano. Sin embargo, en los pacientes con ACV agudo debido a una oclusión de grandes vasos, en los que se pueden obtener registros de DTC técnicamente buenos, los hallazgos suelen correlacionar bien con las arteriografías. Ultimamente, el interés en el estudio de los vasos intracraneanos con DTC en adultos ha ido *in crescendo*. (11) Los transductores de baja frecuencia, originalmente utilizados para estudios ultrasonicos cardíacos o abdominales, permiten obtener imágenes de estructuras intracraneanas, incluyendo los vasos sanguíneos. Los trabajos en curso podrían descubrir los usos potenciales de esta técnica.

Tabla 3
Técnicas para visualizar los vasos cerebrales por resonancia magnética nuclear

Método	Angulo de enfoque	TE (ms)	TR (ms)	Principio	Tipo de imagen	Imagen óptima	Problemas
Tiempo de vuelo (TOF)	< 60	< 10	30-50	Realce vinculado al flujo	2D 3D	Flujo rápido	Superposición de arterias y venas
Contraste de fase	< 20	< 10	25	Cambios de fase inducidos por la velocidad	2D 3D	Flujo lento	Aliasing

ANGIOGRAFIA POR RESONANCIA MAGNETICA (RMN)

La discusión inicial acerca de la utilidad de la RMN para evaluar la irrigación cerebral sólo se aplicaba a las secuencias *spin eco*. Estas producen imágenes en las que los vasos sanguíneos cerebrales se observan en "negativo" debido a su ausencia de señal característica. (12) Esto fue reconocido hace tiempo, pero no parecía un método confiable para el estudio de la vasculatura cerebral. El advenimiento de la RMN por secuencias de *scanning* pulsado rápido, en particular el eco-gradiente y el gradiente de registro bipolar, han permitido un registro directo de imágenes vasculares, lo que resultó en el desarrollo de la angiografía por RMN.

La visualización de la vasculatura cerebral por RMN implica el uso de una de dos técnicas diferentes: la de tiempo de vuelo (TOF) o la de contraste de fase (PC). La técnica de angiografía por TOF se basa en el fenómeno de realce vinculado al flujo, y puede ser hecho con adquisiciones bi o tridimensionales. Utiliza ángulos de menos de 60° y un pulso de reenfoque de 180° (el eco es reenfocado revirtiendo el gradiente de lectura). Esta técnica, también conocida como eco de gradiente de reenfoque, puede ser hecha utilizando uno de varios métodos, incluyendo el disparo rápido de bajo ángulo, la precesión de estado de reposo de libre inducción, y el estudio de adquisición de gradiente.

Por otra parte, la angiografía por PC se basa en la detección de cambios de fase inducidos por la velocidad, para distinguir la sangre que fluye del tejido estacionario circundante. Utilizando gradientes bipolares sensibles al flujo es posible sustraer las dos adquisiciones de polaridad opuesta, sin fase neta, del tejido estacionario. Los datos remanentes reflejan el cambio de fase inducido por el flujo sanguíneo. El uso del gatillado con la actividad cardíaca ayuda a superar la sensibilidad de la PC al flujo pulsátil y no uniforme. Desde este punto de vista, la PC es impracticable para imágenes tridimensionales. En la Tabla 3 se ve una comparación de las ventajas y desventajas de ambos métodos.

El sistema de las carótidas externas puede ser estudiado mediante la angiografía por RMN, obteniendo información adecuada acerca de cambios morfológicos y de estenosis. (13) Por otra parte, el incremento de la sensibilidad de las técnicas ultrasónicas y la publicación reciente de los criterios angiográficos que indican intervención, junto a la información detallada provista por la angiografía por sustracción, hacen que la angiografía por RMN sea menos útil en la evaluación de vasculopatías cerebrales extracraneanas. La angiografía por RMN aparece como particularmente útil para el estudio de los trastornos vasculares intracraneanos, ya que per-

mite la detección de lesiones estenóticas de vasos de primer orden, así como la identificación de los patrones de flujo colateral que se desarrolla en este contexto. En nuestro centro, las experiencias preliminares con la RMN en pacientes con ACV han sido alentadoras, en particular al complementarla con otras técnicas no invasivas.

SUMMARY

NON-INVASIVE EVALUATION OF PATIENTS WITH CEREBRAL ISCHEMIC EVENTS

Clinicians evaluating patients with cerebrovascular disorders (stroke) are charged with the responsibility of precisely defining the event that afflicted the patient and its cause, in order to properly select the necessary treatment strategies. Numerous diagnostic procedures are currently available for the assessment of these patients. They include, tests which allow the anatomopathologic definition of the stroke, those which assist in the determination of its etiopathogenesis, and a third group of tests of unknown application. Some of these tests are known as non-invasive because their performance does not require entrance into the body with instrumentation. Although traditionally the term non-invasive has referred to ultrasonic tests, it has been our choice to expand the concept to non-ultrasonic techniques which assist in the vascular etiopathogenic evaluation of stroke patients. The following is an overview of the most important of these techniques.

Key words Stroke - Diagnosis - Non-invasive methods

BIBLIOGRAFIA

1. Zweibel WJ, Austin CW, Sackett JF y col. Correlation of high-resolution, B-mode and continuous-wave Doppler sonography with arteriography in the diagnosis of carotid stenosis. *Radiology* 1983; 149: 523.
2. Gómez CR. Carotid plaque morphology and the risk for stroke. *Stroke* 1990; 21 (1): 148.
3. Wolverson MK, Bashiti HM, Peterson CJ. Ultrasonic tissue characterization of atheromatous plaques using a high resolution real time scanner. *Ultrasound Med Biol* 1989; 6: 669.
4. Merritt CRB. Doppler blood flow imaging: integrating flow with tissue data. *Diag Imaging* 1986; 11: 146.
5. Gómez CR, Fischer AQ, Gómez SM. Color flow imaging in neurosonology: technical background and clinical applications. *JIMA* 1988; 20 (8): 1412.
6. Kremkau FW. *Diagnostic Ultrasound: Principles, Instrumentation and Exercises* (2nd ed). Grune & Stratton, Inc. New York, 1984.
7. Tegeler CH, Kremkau FW, Hitchings LP. Color velocity imaging: introduction to a new ultrasound technology. *J Neuroimaging* 1990; 1: 81.
8. Asslid R, Marwalder TM, Nornes H. Noninvasive transcranial Doppler ultrasound recording of flow velocity in basal cerebral arteries. *J Neurosurg* 1982; 57: 769.
9. Caplan LR, Brass LM, DeWitt LD y col. Transcranial ultra-

- sound: present status. *Neurology* 1990; 40: 696.
10. Gómez CR, Burger SK, Smith RR y col. Transcranial Doppler findings in acute spontaneous recanalization of middle cerebral artery embolism. *J Neuroimaging* 1991; 1: 63.
 11. Bogdahn U, Becker G, Winkler J y col. Transcranial color-coded real-time sonography in adults. *Stroke* 1990; 21: 1680.
 12. Gómez CR. Mapping the cerebral blood vessels with high-field MRI: technical and anatomic review. *Angiology* 1989; 40 (5): 436.
 13. Ross JS, Masaryk TJ, Modic MT y col. Magnetic resonance angiography of the extracranial carotid arteries and intracranial vessels: a review. *Neurology* 1989; 39: 1369.