

L'ÉCHO-DOPPLER TRANSCRÂNIEN DANS LA PRISE EN CHARGE DES STÉNOSES ARTÉRIELLES CERVICALES ET INTRACRÂNIENNES

L. SCHOYSMAN (1, 2), J-F. TSHIBANDA (3), B. OTTO (4), M. SPRYNGER (5), A. NCHIMI (3)

RÉSUMÉ : Le progrès technique en imagerie a permis le développement de l'écho-Doppler transcrânien en mode duplex ou triplex. A côté des autres techniques de neuro-imagerie, son intérêt dans la pathologie vasculaire cérébrale va grandissant. Le présent article a pour but de présenter cette technique en détaillant ses indications actuelles chez les patients présentant des sténoses artérielles cervicales et intra-crâniennes.

MOTS-CLÉS : *Echo-Doppler transcrânien - Sténoses cervicales - Sténoses intra-crâniennes - Polygone de Willis*

TRANSCRANIAL COLOR-CODED SONOGRAPHY IN THE MANAGEMENT OF PATIENTS WITH CERVICAL AND INTRACRANIAL ARTERIAL STENOSIS
SUMMARY : Technological innovations have endowed the development of powerful tools in medical imaging, such as transcranial color-coded sonography. In addition to other imaging techniques, its relevance in cerebrovascular disorders is increasing. This article aims to describe the technique through specification of its current indications in patients with arterial cervical and intracranial stenosis.

KEYWORDS : *Transcranial color-coded sonography - Cervical stenosis - Intracranial stenosis - Circle of Willis*

INTRODUCTION

L'obstruction des artères cervicales ou intracrâniennes est une des causes principales d'accident vasculaire cérébral (AVC). Par conséquent, chez les patients victimes d'un AVC ischémique, les lésions vasculaires cervicales (le plus souvent carotidiennes) sont systématiquement recherchées étant donné leur incidence élevée dans les syndromes neurologiques déficitaires antérieurs complets ou partiels. Dans ces indications, l'échographie Doppler constitue l'examen de première ligne. La recherche de lésions en aval du réseau vasculaire cervical s'effectue par des méthodes d'angiographie en coupes telles que l'angioscanner ou l'angio-IRM, depuis le retrait progressif de l'angiographie par cathétérisme intra-artériel qui n'est plus indiquée qu'à visée préthérapeutique. Grâce aux progrès des appareillages, la faisabilité de l'écho-Doppler transcrânien (EDTC) s'est améliorée à tel point que cet examen permet d'évaluer l'anatomie et la compétence du polygone de Willis, la portion intracrânienne des artères vertébrales et l'origine du tronc basilaire, ainsi que les répercussions hémodynamiques en aval des lésions artérielles cervicales.

Le présent article a pour but de discuter les indications actuelles et potentielles de l'EDTC

dans la prise en charge des patients présentant un AVC ischémique.

TECHNIQUE

L'échographie présente comme avantage intrinsèque son innocuité, sa rapidité et sa disponibilité. La traversée des structures contenant de l'air ou des interfaces hautement réfléchissantes tels que l'os en a été pendant longtemps une limitation. L'existence de zones d'amincissement osseux au niveau de la voûte crânienne, autrement appelées fenêtres acoustiques, a permis l'utilisation progressive de cette technique au niveau de l'encéphale (en transcrânien). Pour franchir ces fenêtres acoustiques, il faut utiliser de faibles fréquences (2MHz). En-dessous d'une certaine limite, celles-ci peuvent cependant être insuffisantes pour générer une image. C'est la raison pour laquelle le Doppler transcrânien fut utilisé « à l'aveugle » (Doppler transcrânien de type crayon) pendant des années pour procurer des informations hémodynamiques sur les vaisseaux intracrâniens. L'évolution technologique a permis le développement de l'EDTC, superposant en temps réel l'image en mode B, l'image Doppler couleur et le spectre vélocimétrique. L'EDTC permet, en plus des données du Doppler transcrânien de type crayon, d'identifier avec plus de précision le segment vasculaire étudié et d'obtenir un détail de la configuration du polygone de Willis et des artères qui en dépendent ainsi que la portion intracrânienne du système vertébro-basilaire. Il donne la possibilité de corriger l'angle de tir du Doppler, améliorant la précision de la

(1) Assistant, (3) Chef de Clinique, (4) Consultant, Service de Radiologie, CHU de Liège.

(2) Chercheur, Service de Génétique Humaine, GIGA-R, Université de Liège.

(5) Chef de Clinique, Service de Cardiologie, CHU de Liège.

mesure des vitesses sanguines par rapport au Doppler crayon (1, 2).

Il n'y a pas de contre-indication à l'EDTC qui reste parfois limitée par le manque d'échogénéicité de la boîte crânienne. En effet, la qualité de la fenêtre temporale est variable d'un individu à l'autre. Cette limitation, qui concerne un patient sur dix environ, intéresse aussi bien l'EDTC que le Doppler crayon (3). Elle peut actuellement presque toujours être surmontée par l'injection d'un agent de contraste échographique (4).

La technique d'examen nécessite, de la part de l'opérateur, une maîtrise combinée du Doppler, de l'échographie, de la neuroanatomie et de la physiopathologie vasculaire. Le niveau d'expérience est déterminant pour la qualité et la reproductibilité du recueil des données.

En 2009, un groupe d'experts a établi un consensus sur la méthodologie qui permet de diagnostiquer les sténoses et de mesurer les vitesses avec le moins de variabilité intra- et inter-observateurs (5). Lorsque ces conditions méthodologiques sont respectées, le spectre Doppler permet avec fiabilité une analyse des flux, la détection des microembolies et l'étude de la collatéralité.

En 2012, un autre groupe d'experts au sein de la société Américaine de neuro-imagerie a établi les indications cliniques spécifiques du Doppler transcrânien en évaluant la force des preuves dans la littérature. L'importance de l'indication lors d'un AVC ou d'un AIT a été soulignée, de même que la suggestion de réaliser un EDTC après mise au point en angio-CT ou angio-MR ou dans le même temps que l'examen Doppler des artères cervicales. Toutefois, le rapport coût/efficacité n'a pas encore été l'objet d'une évaluation (6).

STÉNOSES ARTÉRIELLES CERVICALES

Lors de l'évaluation des lésions vasculaires cervicales, et du suivi sous traitement médical seul ou après traitement chirurgical ou endovasculaire, l'EDTC présente plusieurs intérêts potentiels documentés dans la littérature. En cas de rétrécissement artériel cervical, le risque ischémique cérébral dépend notamment : (A) de la collatéralité au niveau du polygone de Willis (7), (B) du débit sanguin en aval de la sténose (8), (C) de la réserve perfusionnelle cérébrale (9), (D) du caractère emboligène des lésions cervicales (10), et (E) de l'existence d'une seconde lésion.

A. La perméabilité des artères communicantes antérieures ou postérieures en aval d'une sténose serrée ou d'une occlusion d'artère carotide interne est déterminante pour le risque ischémique cérébral (11).

La connaissance de la collatéralité a un impact important sur le risque de complication ischémique après sanction chirurgicale nécessitant un clampage préopératoire dans les centres où le by-pass n'est pas réalisé de manière systématique (12, 13). Le polygone de Willis n'étant complet que chez une minorité des gens (14), son étude revêt donc une importance particulière dans le raisonnement hémodynamique à tenir face à une lésion artérielle cervicale.

B. La morphologie du spectre Doppler enregistré dans la première portion de l'artère cérébrale moyenne (M1) traduit le retentissement et la sévérité (4) des lésions carotidiennes en tenant compte de la participation du polygone de Willis (8). Le Doppler caractérise une lésion insuffisamment suppléée par le polygone de Willis via une diminution ipsilatérale de la vitesse systolique maximale ou de la moyenne des vitesses maximales, un allongement du temps d'ascension systolique et une diminution de l'index de résistance (IR de Pourcelet = Vitesse Systolique Maximale – Vitesse Télédiastolique Maximale / Vitesse Systolique Maximale) si le territoire menacé compense la perte de débit par une vasodilatation (mise en jeu de la réserve vasomotrice).

C. La réserve vasomotrice cérébrale correspond à la capacité du système vasculaire de compenser par une vasodilatation l'abaissement du débit sanguin. Elle peut être évaluée par plusieurs méthodes : Breath Holding Test lors d'une apnée de 20 à 30 secondes, hyperventilation pendant 15 à 20 secondes, inhalation de carbogène (5% CO₂ et 95% O₂) ou test au Diamox® (acétazolamide).

D. Le caractère emboligène d'une lésion vasculaire peut s'étudier en EDTC. Le passage d'embolies provenant d'une lésion carotidienne au niveau d'un vaisseau intracrânien s'entend à l'enregistrement sonore comme un grésillement appelé «HITS» (High Intensity Transient Signal) sur le spectre vélocimétrique, similaire à celui que l'on entend sur les ondes radios en modulation de fréquence. En raison de leur «rareté», la recherche de HITS en cas de plaque carotidienne emboligène nécessite un monitoring d'au moins 1 heure (2 HITS/h dans l'artère cérébrale moyenne = risque neurologique accru).

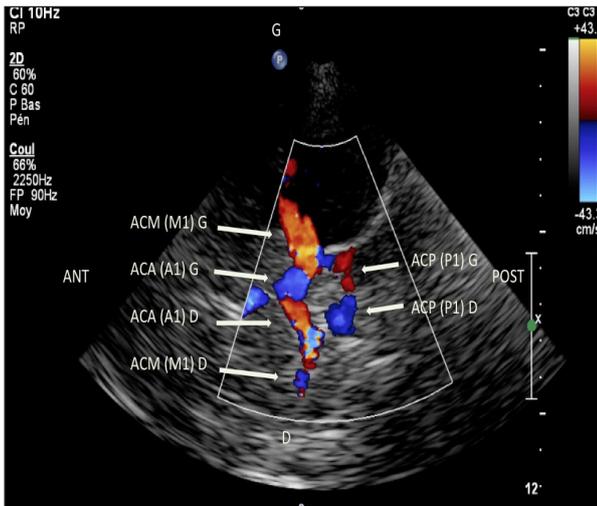


Figure 1. Polygone de Willis en écho-Doppler couleur par abord temporal gauche, avec annotation des premiers segments de ses trois principales artères efférentes (M1, A1, P1). Le flux de l'artère cérébrale moyenne gauche est dirigé vers la sonde (le haut de l'image) et apparaît par convention en rouge, contrairement au flux de l'artère cérébrale antérieure gauche qui s'éloigne de la sonde et apparaît, donc, en bleu. Le sens du flux au niveau des artères droites est en miroir. ACM : artère cérébrale moyenne; ACA : artère cérébrale antérieure; ACP : artère cérébrale postérieure; ANT : antérieur; POST : postérieur; G : gauche; D : droite.

La détection de microembolies et l'état de la réserve vasomotrice (15) sont fréquemment considérés comme des facteurs déterminant l'urgence d'un traitement chirurgical.

E. L'existence d'une lésion carotidienne intra-crânienne chez les patients ayant une lésion cervicale (lésions dites en tandem) est décrite dans environ 8% des cas et son identification peut significativement modifier la prise en charge (4). Pour le diagnostic des occlusions thrombotiques en aval des lésions cervicales, l'EDTC est comparable à l'angio-scanner (16). En effet, dans une cohorte de 31 patients, la sensibilité, la spécificité, la valeur prédictive positive et la valeur prédictive négative de l'EDTC, en considérant l'angio-scanner comme technique de référence, étaient respectivement de 92,3%, 94,4%, 92,3% et 94,4%.

Par ailleurs, après thromboendartériectomie ou stenting, les patients peuvent également bénéficier des avantages diagnostiques de l'EDTC. En effet, au-delà de la vérification du

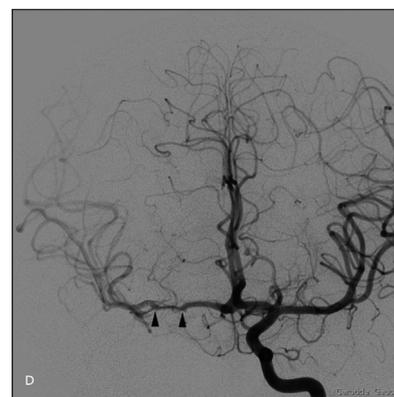
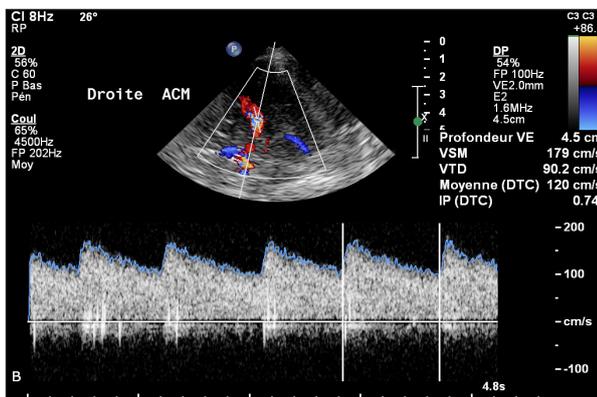
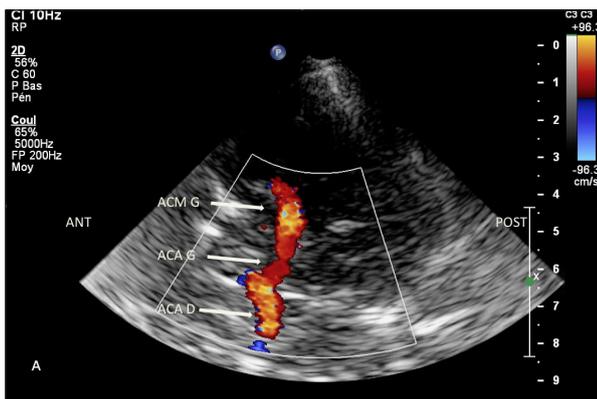


Figure 2 A-D. Echo-Doppler transcrânien par abord temporal droit chez une patiente de 11 ans présentant une hémiplégié gauche d'apparition brutale. A : Les deux segments précommunicants des artères cérébrales antérieures sont codés en rouge, de même que l'artère cérébrale moyenne droite, indiquant une perfusion rétrograde du segment A1 droit pour alimenter l'ACM homolatérale au travers de l'artère communicante antérieure. B : Le spectre vélocimétrique est anormal au niveau de l'artère cérébrale moyenne droite qui présente une augmentation des vélocités systoliques maximales (ici mesurées à 1,8 m/s) et une redistribution des vélocités sous la courbe, indiquant respectivement, l'existence d'une sténose et d'une turbulence du flux sanguin. C : L'artériographie intra-artérielle par cathétérisme carotidien droit confirme la sténose irrégulière de la portion distale de l'artère carotide interne et de l'artère cérébrale moyenne (entre les flèches), suggérant une dissection. D : L'artériographie intra-artérielle par cathétérisme carotidien gauche confirme la dissection par opacification élective de la fausse lumière (entre les têtes de flèche). ACM : artère cérébrale moyenne.

succès hémodynamique du geste, l'EDTC permet de détecter la survenue d'une complication fréquente qu'est le syndrome post-chirurgical d'hyperperfusion (17). Il se manifeste par une augmentation des vitesses systoliques supérieure à 150 % dans l'artère cérébrale moyenne par rapport à l'artère cérébrale moyenne controlatérale.

Cliniquement, ce syndrome est caractérisé par une céphalée généralement latéralisée du côté de la chirurgie, une hypertension artérielle, une éventuelle crise d'épilepsie et un syndrome neurologique déficitaire. Il doit être reconnu rapidement afin de prévenir les complications telles qu'une hémorragie cérébrale souvent fatale (18).

STÉNOSES INTRACRÂNIENNES

Les sténoses athéromateuses intracrâniennes figurent parmi les étiologies des accidents ischémiques, mais ces lésions sont souvent méconnues en raison de la difficulté à les diagnostiquer. Elles représentent environ 8% des causes d'infarctus cérébraux (19) et sont trois fois plus fréquentes chez les Africains et les Asiatiques que chez les caucasiens. L'EDTC représente une alternative diagnostique non invasive dénuée d'effets secondaires. Pour rappel, la technique Doppler permet d'objectiver une sténose en mettant en évidence une accélération et une turbulence locale du flux sanguin, un ralentissement de la montée systolique en aval et, parfois, une diminution du flux diastolique d'amont. L'intérêt majeur de l'EDTC, comparativement au Doppler transcrânien de type crayon, est qu'il permet d'identifier précisément le segment du vaisseau concerné par la sténose.

La valeur de 50% de sténose détermine la nécessité d'instaurer un traitement antiplaquettaire (20). Or, la détection en EDTC des sténoses $\geq 50\%$, au niveau des artères cérébrales moyennes et carotidiennes internes distales, présente d'excellentes performances diagnostiques par rapport aux techniques angiographiques (21, 22).

CONCLUSION

L'EDTC représente un complément idéal des examens angiographiques en coupe réalisés dans le bilan d'un accident vasculaire cérébral.

Il apporte des informations cruciales sur le retentissement hémodynamique des lésions artérielles cervicales et sur l'efficacité des

mécanismes de compensation en appréciant la compétence du polygone de Willis, l'existence de «sténose en tandem», et la réserve vasomotrice cérébrale. Il permet aussi de détecter d'éventuelles sténoses intracrâniennes.

L'EDTC se révèle être un outil précieux en urgence ou semi-urgence («stroke unit») aussi bien qu'en chronique, au sein de l'*armamentarium* diagnostique neurovasculaire; il connaît déjà d'autres indications telles que l'évaluation et le suivi des personnes atteintes de drépanocytose, le diagnostic de mort cérébrale, ou la recherche et le suivi de vasospasmes après hémorragie méningée.

BIBLIOGRAPHIE

1. Krejza J, Mariak Z, Babikian VL.— Importance of angle correction in the measurement of blood flow velocity with transcranial Doppler sonography. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2001, **22**, 1743-1747.
2. Schoning M, Buchholz R, Walter J.— Comparative study of transcranial color duplex sonography and transcranial Doppler sonography in adults. *J Neurosurg*, 1993, **78**, 776-784.
3. Krejza J, Swiat M, Pawlak MA, et al.— Suitability of temporal bone acoustic window: conventional TCD versus transcranial color-coded duplex sonography. *J Neuroimaging*, 2007, **17**, 311-314.
4. Gautier C, Deklunder, G.— Echo-Doppler transcrânien. *Méthodologie et applications cliniques*. Sauramps Médical, Montpellier-Paris, 2010.
5. Nedelmann M, Stolz E, Gerriets T, et al.— Consensus recommendations for transcranial color-coded duplex sonography for the assessment of intracranial arteries in clinical trials on acute stroke. *Stroke*, 2009, **40**, 3238-3244.
6. Alexandrov AV, Sloan MA, Tegeler CH, et al.— Practice standards for transcranial Doppler (TCD) ultrasound. Part II. Clinical indications and expected outcomes. *J Neuroimaging*, 2012, **22**, 215-224.
7. Hoksbergen AW, Legemate DA, Csiba L, et al.— Absent collateral function of the circle of Willis as risk factor for ischemic stroke. *Cerebrovasc Dis*, 2003, **16**, 191-198.
8. Bishop CC, Powell S, Rutt D, et al.— Transcranial Doppler measurement of middle cerebral artery blood flow velocity: a validation study. *Stroke*, 1986, **17**, 913-915.
9. Molina C, Sabin JA, Montaner J, et al.— Impaired cerebrovascular reactivity as a risk marker for first-ever lacunar infarction: A case-control study. *Stroke*, 1999, **30**, 2296-2301.
10. Zhang C, Qu S, Li H, et al.— Microembolic signals and carotid plaque characteristics in patients with asymptomatic carotid stenosis. *Scand Cardiovasc J*, 2009, **43**, 345-351.
11. Aaslid R, Markwalder TM, Nornes H.— Noninvasive transcranial Doppler ultrasound recording of flow velocity in basal cerebral arteries. *J Neurosurg*, 1982, **57**, 769-774.

12. Rutgers DR, Blankensteijn JD, van der Grond J.— Preoperative MRA flow quantification in CEA patients: flow differences between patients who develop cerebral ischemia and patients who do not develop cerebral ischemia during cross-clamping of the carotid artery. *Stroke*, 2000, **31**, 3021-3028.
13. Schneider PA, Ringelstein EB, Rossman ME, et al.— Importance of cerebral collateral pathways during carotid endarterectomy. *Stroke*, 1988, **19**, 1328-1334.
14. Riggs HE, Rupp C.— Variation in form of circle of Willis. The relation of the variations to collateral circulation : anatomic analysis. *Arch Neurol*, 1963, **8**, 8-14.
15. Gaunt ME.— Transcranial Doppler : preventing stroke during carotid endarterectomy. *Ann R Coll Surg Engl*, 1998, **80**, 377-387.
16. Bar M, Skoloudik D, Roubec M, et al.— Transcranial duplex sonography and CT angiography in acute stroke patients. *J Neuroimaging*, 2010, **20**, 240-245.
17. Fujimoto S, Toyoda K, Hirai Y, et al.— Serial evaluation of acute cerebral hyperperfusion by transcranial color-coded sonography. *Ultrasound Med Biol*, 2006, **32**, 659-664.
18. van Mook WN, Rennenberg RJ, Schurink GW, et al.— Cerebral hyperperfusion syndrome. *Lancet Neurol*, 2005, **4**, 877-888.
19. Sacco RL, Kargman DE, Gu Q, et al.— Race-ethnicity and determinants of intracranial atherosclerotic cerebral infarction. Northern Manhattan Stroke Study. *Stroke*, 1995, **26**, 14-20.
20. Chimowitz MI, Lynn MJ, Howlett-Smith H, et al.— Comparison of warfarin and aspirin for symptomatic intracranial arterial stenosis. *N Engl J Med*, 2005, **352**, 1305-1316.
21. 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.
22. Valaikiene J, Schuierer G, Ziemus B, et al.— Transcranial color-coded duplex sonography for detection of distal internal carotid artery stenosis. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2008, **29**, 347-353.

Les demandes de tirés à part sont à adresser au Dr A. Nchimi , Service de Radiologie, CHU de Liège, Belgique.
Email : anchimi@chu.ulg.ac.be