



Dokładność diagnostyczna ultrasonografii dopplerowskiej w rozpoznaniu skurczu tętnicy środkowej mózgu

Diagnostic accuracy of the transcranial Doppler ultrasound in cases of the middle cerebral artery vasospasm

JAN KOCHANOWICZ¹, JAROSŁAW KREJZA^{2,3}, ANDRZEJ LEWSZUK²,
KAZIMIERZ KORDECKI², JANUSZ LEWKO¹, ZENON MARIAK¹

1. Kliniki Neurochirurgii Akademii Medycznej w Białymstoku
2. Zakładu Radiologii Akademii Medycznej w Białymstoku
3. Division of Neuroradiology, University of Pennsylvania, Philadelphia, USA

STRESZCZENIE. *Cel.* Autorzy pracy opisują rozwój przezczaszkowej ultrasonografii dopplerowskiej jako metody w diagnostyce skurczu tętnicy środkowej u pacjentów z krwotokiem podpajęczynówkowym.

Poglądy. Przedstawiono ograniczenia konwencjonalnej ultrasonografii będącej prekursorem ultrasonografii dopplerowskiej z kolorowym obrazowaniem przepływu krwi. W ocenie dokładności przezczaszkowej ultrasonografii dopplerowskiej (PUD) zastosowano analizę krzywej charakterystyki odbiornika (ROC). Ustalono też prędkości progowe dla rozpoznania skurczu tętnicy środkowej mózgu. Zastosowanie standaryzacji uwzględniającej wiek i płeć pacjentów oraz współczynnika V_{MCA}/V_{ICA} (Lindegaarda) zwiększa dokładność metody w diagnostyce skurczu szczególnie o małym nasileniu. **Wnioski.** Przedstawione wyniki wskazują, iż nowsza odmiana PUD z obrazowaniem przepływu w kolorze staje się podstawowym narzędziem diagnostycznym w neuroradiologii.

SUMMARY. Objectives. *The transcranial Doppler ultrasound development for use in the diagnosis of the middle cerebral artery vasospasm in patients with subarachnoid haemorrhage is described. Review.* Limitations of a conventional ultrasound, the precursor of the transcranial color Doppler ultrasound used for estimation of blood flow velocity are discussed. Transcranial Doppler ultrasound (TUD) accuracy is evaluated by analysis of the receiver-operating characteristic (ROC). The velocity threshold for recognition of the middle cerebral artery vasospasm is also established. Standardization taking into account patients' age and gender, as well as the Lindegaard score (V_{MCA}/V_{ICA}) make the method more precise, especially in the diagnosis of small intensity vasospasms. **Conclusion.** The results show that newer methods of transcranial Doppler ultrasound, using colour blood flow estimation are becoming an essential tool in the hands of the neuroradiologist.

Słowa kluczowe: przezczaszkowa ultrasonografia dopplerowska z kolorowym odwzorowaniem przepływu / skurcz naczyniowy / krwotok podpajęczynówkowy

Key words: transcranial color Doppler ultrasound / cerebral vasospasm / subarachnoid hemorrhage

Skurcz tętnic wewnątrzczaszkowych jest często spotykanym i groźnym powikłaniem u pacjentów z krwotokiem podpajęczynówkowym, ponieważ prowadzi do niedokrwienia i w konsekwencji do uszkodzenia mózgu [1, 2]. Skurcz w fazie zaawansowanej z reguły jest nieodwracalny, zatem wdrożenie leczenia

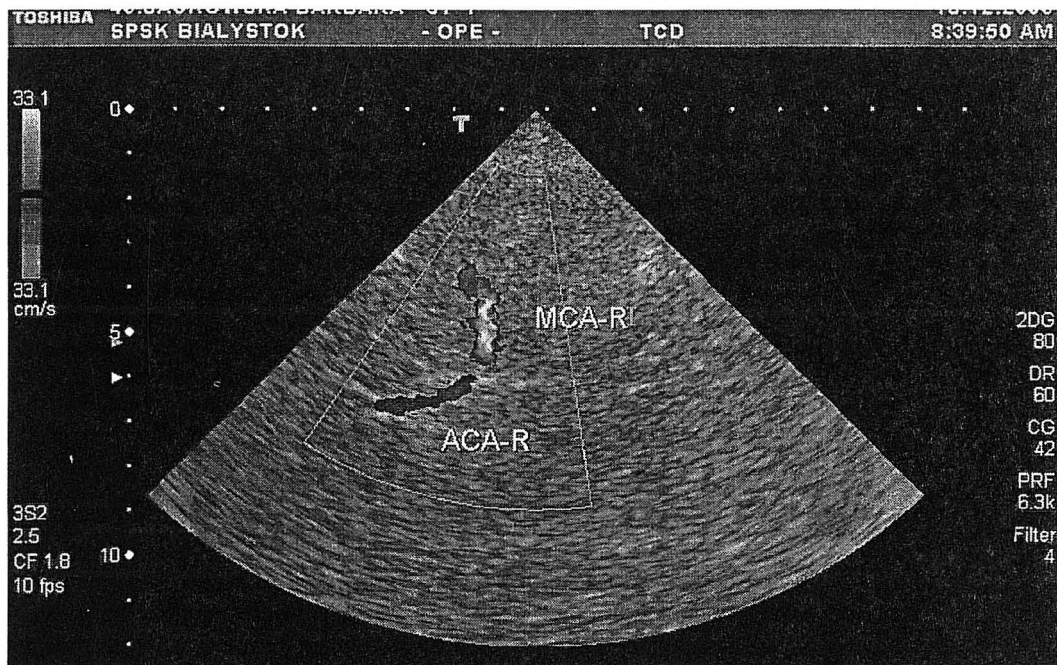
w jego fazie początkowej jest sprawą kluczową w zapobieganiu niedokrwieniu mózgu. Jednakże rozpoznanie skurczu o małym nasileniu nie jest proste, ponieważ przebiega najczęściej bezobjawowo [3, 4, 5, 6].

Angiografię kontrastową uważa się za „złoty standard” w ocenie naczyń mózgowych,

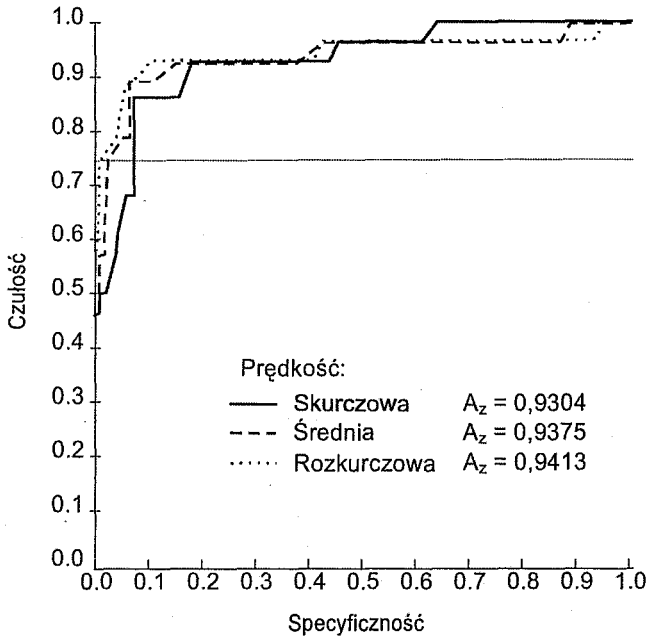
jednak w praktyce klinicznej metoda ta nie jest stosowana w rozpoznawaniu i monitorowaniu skurczu, ponieważ jest inwazyjna, niesie ryzyko udaru mózgu, a także jest bardzo kosztowna. Badanie angiograficzne może ponadto wyzwoić lub nasilić skurcz naczyń.

W latach osiemdziesiątych wprowadzono do praktyki klinicznej przezczaszkową ultrasonografię dopplerowską (PUD), za pomocą której można zmierzyć prędkość przepływu krwi w dużych tętnicach podstawy mózgu [7, 8]. Na podstawie podwyższonej prędkości przepływu krwi ponad pewną „progową” wartość można rozpoznać skurcz badanego naczynia [9]. Rozpoznanie skurczu na podstawie pomiarów prędkości przepływu nie jest jednak proste, ponieważ zarówno sama metoda PUD jak i zastosowanie jednego progu prędkości przepływu do diagnostyki skurczu wiąże się z szeregiem poważnych

ograniczeń. Na podstawie konwencjonalnej PUD nie można w sposób całkowicie pewny zidentyfikować badanego naczynia, a także określić dokładnie miejsca, w jakim dokonuje się pomiarów prędkości przepływu. Co więcej, nie można zmierzyć kąta (insonacji), pod jakim wiązka promieni ultradźwiękowych pada na badaną tętnicę [10, 11]. Ponieważ zmienność przebiegu tętnic wewnątrzczaszkowych, a więc i kąta, jest bardzo duża, to nieuwzględnienie korekty prędkości wynikającej z pomiarów kąta insonacji w sposób istotny obniża dokładność diagnostyczną ultrasonografii dopplerowskiej. Zastosowanie nowszej odmiany PUD z kolorowym obrazowaniem przepływu krwi zwiększyło dokładność diagnostyczną metody w rozpoznawaniu skurczu tętnic wewnątrzczaszkowych, ponieważ za jej pomocą można zobrazować badane naczynie oraz zmierzyć kąt insonacji [10, 11].



Rysunek 1. Kolorowe obrazowanie przepływu w aparacie ultrasonograficznym Toshiba Aplio SSA – 770A w tętnicy środkowej mózgu (MCA-R, kolor czerwony, przepływ krwi do sondy) i tętnicy przedniej mózgu (ACA-R, kolor niebieski, przepływ krwi od sondy)



Rysunek 2. Krzywa charakterystyki odbiornika ROC dla prędkości skurczowej, średniej i końcowo-rozkurczowej w diagnostyce skurczu zaawansowanego (zwiększenie naczyń powyżej 25%) [13]

Pomimo że wprowadzenie PUD z obrazowaniem przepływu krwi w kolorze wyeliminowało wiele ograniczeń metodologicznych, to jednak istotnym problemem nadal pozostaje wybór takiej prędkości progowej przepływu, która umożliwiałaby oddzielenie przypadków skurczu tętnicy od naczyń prawidłowych. Prędkość ta jak wiadomo, zależy od wielu czynników biologicznych i to zarówno u osób zdrowych jak i u pacjentów po krwotokach podpańczynówkowych.

Dokładność diagnostyczna PUD z obrazowaniem przepływu krwi w kolorze została oszacowana na podstawie pola pod krzywą charakterystyki odbiornika (ROC), które wyliczono dla pojedynczych prędkości przepływu krwi w badanym naczyniu [12] (rys. 2). Pole pod krzywą ROC jest uniwersalnym parametrem umożliwiającym porównanie dokładności diagnostycznej różnych testów, również w innych zastosowaniach. Na podstawie analizy ROC można wyliczyć także

pola częściowe, które pozwalają porównać czułość lub specyficzność testów, a także taką prędkość progową [12], która będzie charakteryzować się najwyższym odsetkiem trafnych rozpoznań. Publikacje zespołu neurochirurgiczno-radiologicznego z AM w Białymstoku sugerują bardzo wysoką (93%) dokładność PUD z obrazowaniem w kolorze w rozpoznawaniu zaawansowanego skurczu tętnicy środkowej mózgu [13].

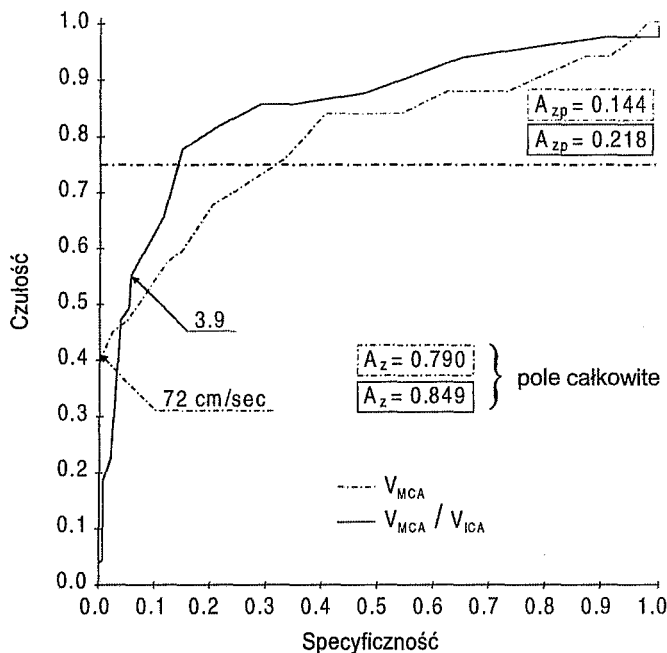
Okazało się, że przypadki zaawansowanego skurczu najlepiej rozpoznaje się na podstawie prędkości skurczowej i jej wartość progowej 182 cm/s. Jednakże w grupie pacjentów ze skurczami mniej zaawansowanymi, wartość diagnostyczna metody jest tylko zadowalająca, bowiem pole pod krzywą ROC wynosi 0,80 [13].

Ponieważ prędkość przepływu krwi spada wraz z wiekiem pacjenta, a także jest wyższa u kobiet w porównaniu do mężczyzn, to odniesienie uzyskiwanych parametrów

dopplerowskich przepływu do zakresu wartości prawidłowych w poszczególnych grupach wiekowych i płci mogłoby poprawić skuteczność diagnostyczną PUD z obrazowaniem przepływu krwi w kolorze [9, 14, 15]. Prace naszego zespołu sugerują, że standaryzacja wyników badań dopplerowskich do wieku i płci pacjenta rzeczywiście zwiększa dokładność diagnostyczną metody, szczególnie w rozpoznawaniu mniej zaawansowanego skurczu tętnicy środkowej mózgu (do 86%). Nasze badania objęły grupę 214 pacjentów, u których przed badaniem angiograficznym naczyń mózgowych przeprowadzono pomiary prędkości przepływu w tętnicach środkowych. Wprawdzie nie uzyskano znamiennej statystycznie poprawy dokładności w przypadku skurczu o dużym nasileniu, ale trudno takiej oczekiwać gdyż była ona i tak wysoka, bowiem wynosiła 93% [16].

Wyniki te wskazują na wysoką dokładność PUD z obrazowaniem przepływu w kolorze w rozpoznawaniu skurczu w fazie, w której możliwości terapeutyczne są większe. Ponadto, w diagnostyce skurczu powinniśmy raczej brać pod uwagę różne prędkości progowe – np. 156 cm/s dla osób po 60 roku życia i 213 cm/s u kobiet przed 40 rokiem życia, a nie jeden uniwersalny dla całej populacji [16].

Pomimo, że standaryzacja znacznie zwiększa dokładność PUD obrazowania przepływu w diagnostyce skurczu o małym nasileniu, to jednak istnieje jeszcze dalsza możliwość poprawy skuteczności metody dopplerowskiej. Taką poprawę można uzyskać wykorzystując współczynnik Lindegaarda i wsp., który wylicza się odnosząc wartość prędkości w tętnicy środkowej mózgu do wartości prędkości w tętnicy szyjnej wewnętrznej po tej samej



Rysunek 3. Krzywe ROC skonstruowane dla współczynnika V_{MCA}/V_{ICA} , wyliczonego w oparciu o prędkość końcowo-rozkurczową oraz samą prędkość końcowo-rozkurczową przepływu w tętnicy środkowej mózgu w diagnostyce skurczu tętnicy środkowej mózgu o małym nasileniu. A_z – całkowite pole pod krzywą ROC, A_{zp} – częściowe pole pod krzywą ROC [18]

stronie (V_{MCA}/V_{ICA}). Za pomocą tego współczynnika można zróżnicować wzrost prędkości przepływu spowodowanego przez skurcz od wzrostu prędkości przepływu w hiperemii. Lindegaard i wsp. zaproponowali wartość 3 współczynnika do diagnostyki skurczu o małym nasileniu. Współczynnik ten wyliczony był dla tradycyjnej ultrasonografii dopplerowskiej [17]. Pomimo, że wartość ta była wyliczona tylko na niewielkiej grupie pacjentów, to współczynnik ten jest powszechnie wykorzystywany przez wielu autorów i to bez sprawdzenia jego skuteczności diagnostycznej na dużej grupie pacjentów po krwotoku podpajęczynówkowym. Ponadto, przydatność tego współczynnika nigdy nie była oceniana dla PUD z obrazowaniem przepływu krwi w kolorze. Dlatego nasz zespół rozpoczął badania mające na celu oszacowanie wartości współczynnika V_{MCA}/V_{ICA} w diagnostyce skurczu tętnicy środkowej mózgu za pomocą analizy krzywej ROC. Nasze badania, przeprowadzone na dużej grupie pacjentów po krwotoku podpajęczynówkowym, wskazują, że zastosowanie współczynnika V_{MCA}/V_{ICA} poprawia skuteczność diagnostyczną PUD z obrazowaniem przepływu w kolorze w rozpoznaniu skurczu tętnicy środkowej mózgu o małym nasileniu [18, 19]. Wyliczona wartość progowa współczynnika V_{MCA}/V_{ICA} dla prędkości skurczowej, średniej i końcowo-rozkurczowej okazała się wyższa od dotychczas stosowanej (3,0) i wynosi odpowiednio 3,6; 3,7 i 3,9 [18]. Szczególnie przydatne jest zastosowanie do diagnostyki skurczu zarówno prędkości przepływu w tętnicy środkowej mózgu jak i współczynnika V_{MCA}/V_{ICA} w układzie tzw. „szeregowym” (rys 3).

Wprowadzenie do praktyki klinicznej PUD pozwoliło na nieinwazyjne, szybkie i tanie diagnozowanie zaburzeń przepływu u pacjentów z krwotokiem podpajęczynówkowym. Pomimo wielu zalet PUD z obrazowaniem przepływu w kolorze, jej możliwości diagnostyczne nie są jeszcze w pełni wykorzystywane. Główną przyczyną tego stanu rzeczy jest fakt, że do tej pory konwen-

cjonalną przezczaszkową ultrasonografią dopplerowską zajmowali się głównie neurologi. Nowszą odmianą PUD z obrazowaniem przepływu krwi w kolorze wymaga stosunkowo drogiej aparatury, która z reguły znajduje się w posiadaniu oddziałów radiologicznych. Radiolodzy jednak dopiero w ostatnich latach docenili wartość tej nowej metody. W ubiegłym roku, jeden z najlepszych na świecie, Oddział Neuroradiologii Szpitala Uniwersyteckiego w Filadelfii (*Hospital of the University of Pennsylvania*) utworzył pracownię nieinwazyjnych badań naczyń mózgowych. W pracowni tej jednym z podstawowych narzędzi diagnostycznych jest właśnie PUD z obrazowaniem przepływu krwi w kolorze [20].

PIŚMIENNICTWO

1. Dorsch NW. Cerebral arterial spasm – a clinical review. *Br J Neurosurg* 1995; 9: 403–12.
2. Solomon RA, Fink ME. Current strategies for the management of aneurysmal subarachnoid hemorrhage. *Arch Neurol* 1987; 44: 769–75.
3. Barker FG, Heros RC. Clinical aspects of vasospasm. *Neurosurg Clin N Am* 1990; 1: 227–31.
4. Kassell NF, Shaffrey ME, Shaffrey CI. Cerebral vasospasm following aneurysmal subarachnoid hemorrhage. W: Apuzzo MLJ, red. *Brain Surgery. Complication avoidance and management*. New York: Churchill Livingstone Inc; 1993: 847–57.
5. Al-Yamany M, Wallace MC. Management of cerebral vasospasm in patients with aneurysmal subarachnoid hemorrhage. *Intensive Care Med* 1999; 25: 1463–6.
6. Dorsch NW. Therapeutic approaches to vasospasm in subarachnoid hemorrhage. *Curr Opin Crit Care* 2002; 8: 128–33.
7. Aaslid R, Markwalder TM, Nornes H. Non-invasive transcranial Doppler ultrasound recordings of flow velocity in basal cerebral arteries. *J Neurosurg* 1982; 57: 769–74.
8. Poiseuille JLM. Recherches experimentales sur le mouvement des liquides dans les tubes de tres petits diametres. *Academie des Sciences, Comptes Rendes* 1840; 11: 961–67.

9. Aaslid R, Huber P, Nornes H. Evaluation of cerebrovascular spasm with transcranial Doppler ultrasound. *J Neurosurg* 1984; 60: 37–41.
10. 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: 1743–47.
11. Krejza J, Mariak Z, Melhem ER, Bert RJ. A guide to the identification of major cerebral arteries with transcranial color Doppler sonography. *AJR Am J Roentgenol* 2000; 174: 1297–303.
12. Zweig MH, Campbell G. Receiver-operating characteristic (ROC) plots: a fundamental evaluation tool in clinical medicine. *Clin Chem* 1993; 39: 561–77.
13. 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.
14. Grolimund P, Seiler W, Aaslid R, Huber P, Zurbrugg H. Evaluation of cerebrovascular disease by combined extracranial and transcranial Doppler sonography. Experience in 1,039 patients. *Stroke* 1987; 18: 1018–24.
15. Proust F, Callonec F, Clavier E, Lestrat JP, Hannequin D, Thiébot J, Fréger P. Usefulness of transcranial color-coded sonography in the diagnosis of cerebral vasospasm. *Stroke* 1999; 30: 1091–8.
16. Krejza J, Mariak Z, Lewko J. Standardization of flow velocities with respect to age and gender improves accuracy of transcranial color Doppler ultrasonography in the diagnosis of middle cerebral artery spasm. *AJR Am J Roentgenol* 2003; 181: 245–52.
17. Lindegaard KF, Nornes H, Bakke SJ, Sorteberg W, Nakstad P. Cerebral vasospasm diagnosis by means of angiography and blood velocity measurements. *Acta Neurochir (Wien)* 1989; 100: 12–24.
18. Kochanowicz J, Krejza J, Mariak Z, Lewko J. Ultrasonograficzna diagnostyka skurczu tętnicy środkowej mózgu za pomocą pomiarów prędkości przepływu krwi w tętnicach szyjnych i wewnątrzczaszkowych. *Neurol Neurochir Pol* (w druku).
19. Krejza J, Mariak Z, Kochanowicz J, Lewko J, Melhem ER. Transcranial color-coded duplex sonography in diagnosis of MCA spasm in patients after subarachnoid hemorrhage: accuracy of V_{MCA}/V_{ICA} ratio. *Radiology* 2004 (w druku).
20. Krejza J, Baumgartner R. Clinical applications of color-coded duplex sonography. *J Neuroimaging* 2004 (w druku).

*Adres: Dr Jan Kochanowicz, Klinika Neurochirurgii Akademii Medycznej,
ul. M. Curie-Skłodowskiej 24a, 15-276 Białystok, e-mail: janek13@op.pl*