

# Postępy w diagnostyce obrazowej tętnic dogłowych

Magdalena Bujak, Katarzyna Mazur

Zakład Radiologii Ogólnej, Zabiegowej i Neuroradiologii Akademickiego Szpitala Klinicznego we Wrocławiu

## STRESZCZENIE

Wobec ogromnego postępu w nieinwazyjnej i minimalnie inwazyjnej diagnostyce obrazowej tętnic dogłowych zaistniała potrzeba zmiany istniejącego algorytmu diagnostycznego. Mimo że cyfrowa angiografia subtrakcyjna nadal pozostaje „złotym standardem”, to ze względu na swoją inwazyjność jest coraz rzadziej wykonywana w celach diagnostycznych i stała się ostatnim badaniem w algorytmie diagnostycznym. Obecnie pierwsze i podstawowe badanie to ultrasonografia w skali szarości oraz dopplerowska. Badaniami uzupełniającymi są angiografia metodą tomografii komputerowej i angiografia rezonansu magnetycznego.

*Polski Przegląd Neurologiczny 2010; 6 (1): 17–21*

**Słowa kluczowe:** tętnice dogłowe, ultrasonografia dopplerowska, angiografia TK, angiografia MR

## Wprowadzenie

W ostatnich kilkunastu latach nastąpił ogromny rozwój nieinwazyjnej i minimalnie inwazyjnej diagnostyki naczyń, w tym tętnic dogłowych. „Złotym standardem” pozostaje inwazyjna cyfrowa angiografia subtrakcyjna (DSA, *digital subtraction angiography*), jednak ze względu na coraz większą skuteczność badań nieinwazyjnych jest ona coraz rzadziej stosowana do celów diagnostycznych. Obecnie główne zastosowanie DSA to pla-

nowanie i kontrola zabiegów wewnątrzczaszkowych, a także rozstrzygnięcie rozbieżności między wynikami nieinwazyjnych metod obrazowania. Zmianie uległ w związku z tym algorytm diagnostyczny obrazowania tętnic dogłowych.

Pierwszym i często wystarczającym badaniem do oceny tętnic dogłowych w odcinku przedczaszkowym jest obecnie ultrasonografia w skali szarości, wzbogacona o opcję kolorowego i spektralnego Dopplera (DUS, *Doppler ultrasonography*). Metodami uzupełniającymi są angiografia metodą tomografii komputerowej (CTA, *computed tomography angiography*) i angiografia rezonansu magnetycznego (MRA, *magnetic resonance angiography*) [1].

## Diagnostyka ultrasonograficzna

Badanie ultrasonograficzne (USG) jest metodą powszechnie dostępną, tanią i całkowicie nieinwazyjną, co stwarza możliwość wielokrotnego powtarzania badań. Pozwala na szczegółową ocenę zarówno morfologii ściany naczynia, jak i przepływu krwi w jego świetle. Nie jest to jednak metoda całkowicie pozbawiona wad. Wada podstawowa to duża zależność wyniku od doświadczenia badającego, a kolejne ograniczenie — niejednokrotnie trudny dostęp do początkowych odcinków naczyń dogłowych i brak możliwości oceny segmentów wewnątrzczaszkowych [2, 3].

Badanie USG odcinków zewnątrzczaszkowych wykonuje się przede wszystkim u chorych z przemijającymi napadami niedokrwiennymi, nagłym zaniewiedzeniem, po przebytych udarach niedokrwiennych mózgowia i w przewlekłym niedokrwienu mózgowia, a także przed planowanymi dużymi zabiegami chirurgicznymi (wszczepienie

**Adres do korespondencji:** lek. Magdalena Bujak  
 Zakład Radiologii Ogólnej, Zabiegowej i Neuroradiologii  
 Akademicki Szpital Kliniczny we Wrocławiu  
 ul. Borowska 213, 50-556 Wrocław  
 tel.: 71 73 31 660  
 e-mail: mag.bu@wp.pl  
 Polski Przegląd Neurologiczny 2010, tom 6, 1, 17–21  
 Wydawca: „Via Medica sp. z o.o.” sp.k.  
 Copyright © 2010 Via Medica

pomostów aortalno-wieńcowych, operacje tętniaków aorty, przeszczepienie narządów). Następnym wskazaniem są kontrole po przebytych zabiegach chirurgicznych na tętnicach szyjnych (zarówno po endarterektomii, jak i zabiegach wewnątrznacyniowych), a także podejrzenie zespołu podkradania tętnic podobojczykowych. Jako metoda przesiewowa USG jest wykorzystywana również u chorych z grup podwyższonego ryzyka rozwoju chorób naczyniowych.

Do głównych patologii wykrywanych w badaniu USG należą zwężenia i niedrożność naczyń z uwzględnieniem zespołu podkradania tętnicy podobojczykowej; rzadziej stwierdzane są anomalie naczyniowe czy choroby zapalne naczyń.

Celem wykonywania USG jest wyodrębnienie grupy chorych zagrożonych wystąpieniem udaru niedokrwiennego mózgu, którzy mogą odnieść korzyści z leczenia operacyjnego lub wewnątrznacyniowego tętnic. Udowodniono przewagę leczenia zabiegowego nad zachowawczym u pacjentów ze zwężeniem tętnicy szyjnej wewnętrznej (ICA, *internal carotid artery*) powyżej 70% oraz, jak wskazują dane z literatury, u chorych ze zwężeniem powyżej 50% w przypadku obecności objawów klinicznych [4, 5]. Dlatego w DUS niezbędne jest dokładne określenie w procentach zwężenia tętnicy. Badanie to pozwala zróżnicować zwężenie subtotalne od niedrożności naczyń, stanowiącej przeciwwskazanie do interwencji chirurgicznej (ryc. 1, 2).

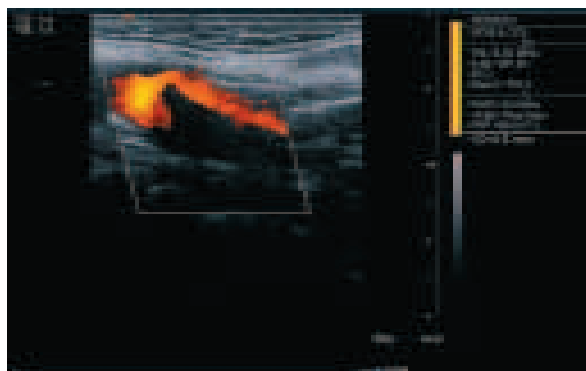
W badaniu USG ocenia się grubość kompleksu *intima-media* (IM) oraz obecność, rozmieszczenie, grubość i morfologię blaszek miażdżycowych. Grubość kompleksu IM powyżej 0,8 mm i jego narastanie w czasie jest czynnikiem prognostycznym wystąpienia udaru mózgu oraz schorzeń tętnic wieńcowych i zawału serca [6].

Istnieje wiele klasyfikacji blaszek miażdżycowych, w których uwzględnia się echogeniczność blaszki (stopień jej uwapnienia), jej strukturę wewnętrzną oraz powierzchnię. Należy podkreślić rolę badania USG w wykrywaniu tak zwanych blaszek niestabilnych, czyli hipoechogennych, niejednolitych, o nierównej powierzchni.

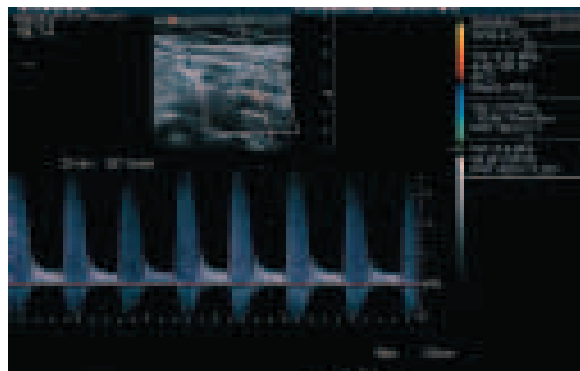
Analizę stopnia zwężenia naczynia przeprowadza się na podstawie pomiarów planimetrycznych oraz oceny dopplerowskiej hemodynamiki przepływu krwi. Ocena planimetryczna polega na określeniu stosunku średnicy kanału przepływu krwi do średnicy naczynia w miejscu zwężenia lub na określeniu stosunku pola powierzchni kanału przepływu krwi do pola powierzchni naczynia w miejscu jego zwężenia. Ocena hemodynamiczna uwzględnia ilościowy pomiar wartości prędkości przepływu krwi w miejscu zwężenia oraz jakościową analizę widma przepływu krwi w odcinku za zwężeniem. Czułość badania dopplerowskiego w ocenie zwężeń okolicy podziału tętnicy szyjnej wspólnej w odniesieniu do DSA wynosi 86%, a specyficzność — 87% [2].

### Angiografia TK

Angiografia metodą tomografii komputerowej należy do metod minimalnie inwazyjnych, ponieważ wymaga podania środka kontrastowego dożylnie, za pomocą automatycznej strzykawki. W ostatnich latach nastąpił ogromny rozwój tej metody związany z wprowadzeniem kolejnych generacji aparatów TK — z coraz większą liczbą detektorów i rozdzielczością czasową oraz przestrzenną, a także lepszym oprogramowaniem do przetwarzania obrazów. Większa dostępność do aparatów TK oraz bardzo krótki czas badania (w aparatach 64-rzędowych czas skanowania nie przekracza 5 s) pozwa-



**Rycina 1.** Badanie dopplerowskie w opcji PD — niedrożność tętnicy szyjnej wewnętrznej (ICA, *internal carotid artery*)



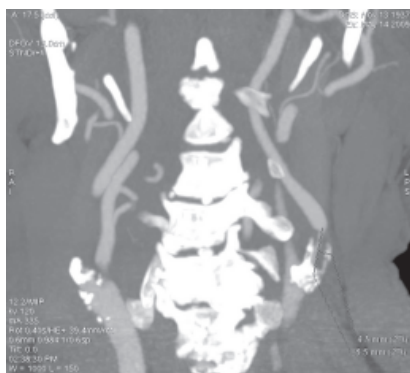
**Rycina 2.** Badanie dopplerowskie — obraz widma przepływu krwi w krytycznym zwężeniu tętnicy szyjnej wewnętrznej (ICA, *internal carotid artery*)

lają na diagnostykę chorych w ciężkim stanie, także w warunkach ostrego dżyzuru.

Wady CTA to, wspomniana już, konieczność podania dożylnie środka kontrastowego w dawce około 60 ml (ryzyko wystąpienia reakcji uczuleniowych oraz nefropatii indukowanej środkiem kontrastowym) oraz znaczna dawka promieniowania rentgenowskiego. Przeciwwskazaniem do badania jest niewydolność nerek. Duże nadzieje na zmniejszenie dawki promieniowania i środka kontrastowego budzi wprowadzenie aparatów dwuenergetycznych, w których można wykonać akwizycję jedynie po podaniu środka kontrastowego, a obrazy uzyskuje się zarówno przed podaniem kontrastu, jak i po jego zastosowaniu. Ponadto aparaty te znacznie zwiększają możliwość oceny blaszki miażdżycowej.

Badanie CTA dostarcza dokładnych informacji o anatomii tętnic szyjnych i kręgowych na całym ich przebiegu — począwszy od łuku aorty, przez część zewnątrz- i wewnątrzczaszkową, aż do koła tętniczego Wilizjusza. Uzyskane w badaniu surowe obrazy są poddawane rekonstrukcjom na stacjach roboczych. Do oceny tętnic dogłowych wykorzystuje się trzy podstawowe rodzaje rekonstrukcji obrazów:

- projekcję najwyższych natężeń (MIP, *maximum intensity projection*) — charakteryzuje się obrazami najbardziej zbliżonymi do klasycznej angiografii, zapewnia optymalny kontrast między naczyniem i tłem, najlepiej obrazuje drobne naczynia (ryc. 3);
- rekonstrukcję po krzywej (CPR, *curved planar reconstruction*) — pozwala prześledzić naczynie wzdłuż jego naturalnych krzywizn, jest czuła w ocenie twardych i miękkich blaszek miażdżycowych oraz zmian położonych ekscentrycznie;



**Rycina 3.** Angiografia metodą tomografii komputerowej (CTA, *computed tomography angiography*), projekcja najwyższych natężeń (MIP, *maximum intensity projection*) — krytyczne zwężenie lewej tętnicy szyjnej wewnętrznej (ICA, *internal carotid artery*)

- rekonstrukcję objętościową (VR, *volume rendering*) — obrazowanie trójwymiarowe z możliwością usunięcia struktur kostnych (ryc. 4) [7].

Angiografia metodą tomografii komputerowej jest wykonywana w przypadku niejednoznacznego wyniku badania USG jako kwalifikacja do zabiegów wewnątrznaczyniowych i endarterektomii, a także jako kontrolne badanie pooperacyjne. Szczególnie należy podkreślić rolę CTA w diagnostyce patologii na poziomie podstawy czaszki i w obrębie koła tętniczego, a więc w odcinkach tętnic niedostępnych w badaniu USG oraz w diagnostyce zwężeń tandemowych i waskulopatii różnego pochodzenia.

Badanie CTA umożliwia dokładną ocenę liczby, grubości i rozmieszczenia blaszek miażdżycowych, a także ocenę ich struktury przez pomiar wartości współczynnika osłabienia promieniowania rentgenowskiego (gęstości), mierzonej w jednostkach Hounsfielda (j. H). Blaszka tłuszczowa charakteryzuje się najmniejszą gęstością (< 50 j. H), blaszka włóknista ma gęstość między 50 a 150 j. H, a blaszka uwapniona — ponad 150 j. H.

Metoda CTA umożliwia dokładne pomiary światła naczynia w miejscu zwężenia. Jej czułość i specyficzność w odniesieniu do DSA to odpowiednio 95% i 98% [8].

Podstawą ilościowej oceny zwężenia są kryteria *North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial* (NASCET) i *European Carotid Surgery Trial* (ECST). W metodzie wprowadzonej przez NASCET porównuje się średnicę światła naczynia w miejscu zwężenia ze średnicą prawidłowej ICA w odcinku dystalnym. Z kolei zgodnie z zaleceniami ECST porównuje się średnicę światła zwężenia z całkowitą średnicą naczynia w miejscu



**Rycina 4.** Angiografia metodą tomografii komputerowej (CTA, *computed tomography angiography*), rekonstrukcja objętościowa (VR, *volume rendering*) — krytyczne zwężenie lewej tętnicy szyjnej wewnętrznej (ICA, *internal carotid artery*)

zwężenia. Podobnie jak w diagnostyce USG za zwężenie istotne hemodynamicznie uznaje się zwężenie światła naczynia przekraczające 70%.

Należy podkreślić przewagę CTA nad DUS w diagnostyce rozwarstwienia ściany ICA i tętnicy kręgowej oraz różnych typów waskulopatii [2, 8].

### Angiografia MR

Badanie MRA to metoda alternatywna w stosunku do CTA, jednak z powodu mniejszej dostępności w Polsce jest rzadziej wykorzystywana w diagnostyce tętnic dogłowych.

Podstawową zaletą MRA jest brak narażenia na promieniowanie jonizujące oraz — podobnie jak w badaniu CTA — możliwość zobrazowania tętnic szyjnych i kręgowych na całym ich przebiegu. Główną wadą jest konieczność stosowania w większości przypadków gadolinowego środka kontrastowego (ryzyko nerkopochodnego zwłóknienia systemowego [NSF, *nephrogenic systemic fibrosis*], w przypadku niewydolności nerek). Ponadto dłuższy niż w przypadku CTA czas badania oraz konieczność współpracy chorego ogranicza wykorzystanie MRA w warunkach ostrego dyżuru. Kwalifikując chorych do badania, należy również pamiętać o ogólnych przeciwwskazaniach do badania MR (np. rozruszniki serca, ciała obce w gałce ocznej).

Badanie MRA można wykonać bez podania środka kontrastowego (sekwencje czasu przelotu [TOF, *time-of-flight*] lub kontrastu fazowego [PC, *phase-contrast*]) albo po dożylnym podaniu gadolinowego środka kontrastowego.

Obecnie obrazy MRA mają na ogół gorszą rozdzielczość czasową i przestrzenną niż CTA, jednak może się to zmienić w związku z postępowaniem technologicznym w postaci wprowadzania aparatów wysokopolowych (3-teslowych), poprawy jakości cewek powierzchniowych oraz oprogramowania do przetwarzania obrazów.

Jak wyżej wspomniano, do oceny tętnic dogłowych są wykorzystywane dwa rodzaje sekwencji echa gradientowego, które nie wymagają podania środka kontrastowego: metoda czasu przelotu (TOF) oraz angiografia kontrastu fazowego (PC). W zależności od tego, czy obrazy w tych dwóch technikach są zbierane w sposób sekwencyjny czy też w całej objętości, badanie określa się jako angiografię dwuwymiarową (2D) lub trójwymiarową (3D). Podobnie jak w CTA istnieją dwa sposoby prezentacji obrazów: częściej stosowana MIP i rzadziej wykorzystywana obróbka powierzchniowej sonogramów (SR, *surface rendering*).

Pierwsza z wyżej wymienionych metod — TOF — jest oparta na amplitudzie sygnału protonów, a parametry badania dobiera się tak, aby uwidocznic napływ krwi z poruszającymi się protonami (obszary hiperintensywne) na tle tkanek zawierających stacjonarne protony (obszary hipointensywne).

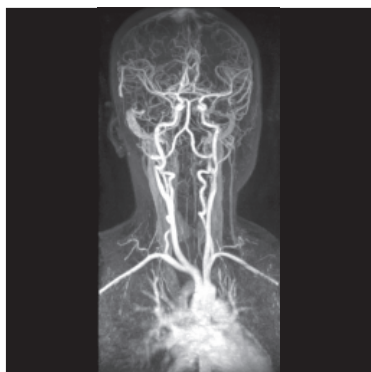
Główną wadą sekwencji 2D TOF MRA jest tendencja do przeszacowania wartości zwężenia, co dotyczy zwłaszcza zwężeń dużego stopnia (ze zwolnionym przepływem). Metoda 3D TOF jest bardziej obiektywna w ocenie tych zwężeń, jednak również jest obciążona marginesem błędu.

Druga z metod — PC — jest oparta na różnicach w fazie poruszających się w płynącej krwi protonów oraz protonów tkanek stacjonarnych. Różnicowanie to przeprowadza się za pomocą dwubiegunowych gradientów kodowanych przepływem. Ten typ sekwencji MRA pozwala lepiej wykrywać wolne prędkości przepływu krwi w miejscu znacznego (subtotalnego) zwężenia naczynia.

Trzecią metodą jest angio-MR po podaniu środka kontrastowego (CE MRA, *contrast-enhanced MRA*). Wymaga ona podania paramagnetycznego środka kontrastowego i pozwala na uzyskanie anatomicznych obrazów tętnic szyjnych, kręgowych i podobojczykowych w trzech płaszczyznach [9, 10]. Użycie środka kontrastowego polepsza jakość obrazu przez zwiększenie stosunku sygnału do szumu, a redukując artefakty ruchowe, znacznie skraca czas skanowania. Badanie CE MRA umożliwia znacznie dokładniejsze określenie stopnia zwężenia tętnicy niż techniki TOF i PC. Według danych z literatury czułość i specyficzność CE MRA w diagnostyce zwężeń przekraczających 70% wynosi odpowiednio 100% i 99,3% [11].

Badanie MRA, podobnie jak CTA, pozwala na ocenę tętnic dogłowych na całej długości — od łuku aorty, do wysokości koła tętniczego, i rozpoznanie zarówno wad wrodzonych, jak i nabytych chorób: zwężeń czy niedrożności. Kolejną zaletą tej metody, zwłaszcza z podaniem środka kontrastowego, jest możliwość oceny morfologii niestabilnej blaszki miażdżycowej, to znaczy zawartości tłuszczu, obecności martwicy, krwawienia, aktywnego stanu zapalnego oraz przerwania ciągłości jej powierzchni [12] (ryc. 5, 6).

Przewagą badania MRA nad CTA jest możliwość rozpoznania zespołów podkradania tętnicy podobojczykowej. W tym celu wykorzystuje się sekwencję TOF z użyciem saturacji, w której w górnym zakresie badania tłumiony jest sygnał przepływu krwi w tętnicy kręgowej po stronie zwężenia (niedrożności) tętnicy podobojczykowej. W sekwencji TOF



**Rycina 5.** Angiografia rezonansu magnetycznego wzmocniona środkiem kontrastowym (CE MRA, *contrast-enhanced MR*), projekcja najwyższych natężeń (MIP, *maximum intensity projection*) — prawidłowy obraz tętnic dogłowych



**Rycina 6.** Angiografia rezonansu magnetycznego wzmocniona środkiem kontrastowym (CE MRA, *contrast-enhanced MR*), projekcja najwyższych natężeń (MIP, *maximum intensity projection*) — choroba Takayashu

bez saturacji możliwe jest uwidocznienie odwrócenia kierunku przepływu krwi w tętnicy kręgowej.

## PIŚMIENNICTWO

1. Cinat M.E., Casalme C., Wilson S.E. i wsp. Computed tomography angiography validates duplex sonographic evaluation of carotid stenosis. *Am. Surg.* 2003; 69: 842–847.
2. Nederkoom P.J., van der Graaf Y., Hunink M.G. Duplex ultrasound and magnetic resonance angiography compared with digital subtraction angiography in carotid artery stenosis: systematic review. *Stroke* 2003; 34: 1324–1332.
3. Criswell B.K., Langsfeld M., Tullis M.J., Marek J. Evaluating institutional variability of duplex scanning in the detection of carotid artery stenosis. *Am. J. Surg.* 1998; 176: 591–597.
4. North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial (NASCET) Collaborators. Beneficial effect of carotid endarterectomy in symptomatic patients with high-grade carotid stenosis. *N. Engl. J. Med.* 1991; 325: 445–453.
5. North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial Collaborators. The benefit of carotid endarterectomy in symptomatic patients with moderate and severe stenosis. *N. Engl. J. Med.* 1998; 339: 1415–1426.
6. Kitamura A., Iso H., Ohira T. i wsp. Carotid intima-media thickness and plaque characteristics as a risk factor for stroke in Japanese elderly men. *Stroke* 2005; 36: 32–37.
7. Prokop M., Galansky M. *Spiralna i wielorzędowa tomografia komputerowa człowieka.* Medipage, Warszawa 2007.
8. Hollinworth W., Nathens A.B., Kanne J.P. i wsp. The diagnostic accuracy of computed tomography angiography for traumatic or atherosclerotic lesions of the carotid and vertebral arteries: a systematic review. *Eur. J. Radiol.* 2003; 48: 88–102.
9. Scarabino T., Carriero A., Giannatempo G.M. i wsp. Contrast-enhanced MR angiography (CE MRA) in the study of the carotid stenosis: comparison with digital subtraction angiography (DSA). *J. Neuroradiol.* 1999; 26: 87–91.
10. Randoux B., Marro B., Koskas F. i wsp. Proximal great vessels of aortic arch: comparison of three-dimensional gadolinium-enhanced MR angiography and digital subtraction angiography. *Radiology* 2003; 229: 697–702.
11. U-King-Im J., Hollingworth W., Trivedi R. i wsp. Contrast-enhanced MR angiography vs intra-arterial digital subtraction angiography for carotid imaging: activity-based cost analysis. *Eur. Radiol.* 2004; 14: 730–735.
12. Yuan C., Mitsumori L.M., Beach K.W. i wsp. Carotid atherosclerotic plaque: non-invasive MR characterisation and identification of vulnerable lesions. *Radiology* 2001; 221: 285–299.