

# Diagnostyka ultrasonograficzna nadciśnienia naczyniowo-nerkowego

**Jerzy Chudek**

Katedra i Klinika Nefrologii, Endokrynologii i Chorób Przemiany Materii Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach

Ultrasonografia dopplerowska jest jedną z podstawowych metod wykrywania zwężenia tętnicy nerkowej w diagnostyce wtórnych przyczyn nadciśnienia tętniczego. Podstawą rozpoznania zwężenia tętnicy nerkowej są kryteria poza- i wewnątrznerkowe. Kryteria pozanerkowe obejmują przyspieszenie szczytowego przepływu skurczowego (PSV, *peak systolic velocity*) nad miejscem zwężenia pnia tętnicy nerkowej powyżej 1,8 (2,0) m/s oraz wartość współczynnika nerkowo-aortalnego (RAR, *renal-aortic ratio*) przekraczającą 3,5. Ich ocena jest możliwa tylko przy dobrej wizualizacji pnia tętnicy nerkowej, co nie zawsze się udaje, z takich względów jak znaczna otyłość pacjenta, obecność gazu w pętlach jelit czy niemożność dłuższego utrzymania powietrza na wdechu. Z powodu wymienionych ograniczeń zaczęto stosować kryteria wewnątrznerkowe charakteryzujące „małe–leniwe” spektrum przepływu za istotnym zwężeniem. Do tych kryteriów należą wydłużony czas akceleracji ponad 70 ms, obniżona wartość wskaźnika akceleracji poniżej 3,0 m/s<sup>2</sup>, zniesienie szczytu wczesnoskurczowego, obniżenie współczynnika oporowości (RI, *resistive index*) poniżej 0,45 lub różnica wartości RI między nerkami lewą i prawą przekraczająca 0,05.

Zastosowanie powyższych kryteriów łącznie lub oddzielnie pozwala na rozpoznanie ponad 60–70% zwężeń tętnicy nerkowej z czułością i swoistością nieprzekraczającą 90%, jeśli badanie wykonuje doświadczony ultrasonografista. Wprowadzenie ultrasonograficznych środków kon-

trastowych i obrazowania harmonicznego poprawiło wizualizację pni tętnic nerkowych oraz zwiększyło cenę badania, ale nie spowodowało istotnego przełomu. W obrazowaniu tętnic ponadliczbowych i dodatkowych ultrasonografia dopplerowska wciąż ustępuje angiografii metodą tomografii komputerowej i rezonansu magnetycznego.

*Choroby Serca i Naczyń 2008, 5 (1), 31–36*

**Słowa kluczowe:** zwężenie tętnicy nerkowej, nadciśnienie naczyniowo-nerkowe, duplex Doppler, ultrasonografia

## WSTĘP

Badanie ultrasonograficzne (USG) wykonuje się jako jedno z podstawowych badań diagnostycznych u chorych z nadciśnieniem tętniczym. W pierwszej kolejności obejmuje ono obrazowanie w trybie *B-mode*, pozwalające na uwidocznienie małej nerki i wysunięcie podejrzenia zwężenia tętnicy nerkowej, które może być przyczyną nefropatii niedokrwiennej i objawowego nadciśnienia. Niestety, badanie USG charakteryzuje się małą czułością w rozpoznawaniu wczesnych zmian niedokrwiennych. Wykrywane są dopiero późne następstwa zwężenia tętnicy nerkowej pod postacią istotnego zmniejszenia wymiaru, zwłaszcza długiego, jednej z nerek oraz ścięnięcia warstwy korowej. U osoby dorosłej za istotną klinicznie przyjmuje się różnicę wymiarów długich nerek przekraczającą 1,0 cm w przypadku stwierdzenia mniejszej nerki lewej lub 1,5 cm w przypadku stwierdzenia mniejszej nerki prawej. Drugim kryterium, stosunkowo mało precyzyjnym, jest pomiar grubości warstwy korowej nerki.

Na początku lat 80. ubiegłego stulecia do diagnostyki wprowadzono badanie metodą Dopplera (dopler ciągły

### Adres do korespondencji:

dr hab. med. Jerzy Chudek  
Katedra i Klinika Nefrologii, Endokrynologii  
i Chorób Przemiany Materii  
Śląskiego Uniwersytetu Medycznego  
ul. Francuska 20–24, 40–027 Katowice  
tel.: 0 32 255 26 95, faks: 0 32 255 37 26  
e-mail: chj@poczta.fm

**Tabela 1. Parametry oceniane w badaniu dopplerowskim — zakres prawidłowy oraz wartości charakterystyczne dla zwężenia tętnicy nerkowej**

Parametry	Zakres prawidłowy	Istotne hemodynamiczne zwężenie tętnicy nerkowej		
		Zakres	Czułość (%)	Swoistość (%)
<b>Pozanerkowe</b>				
Szczytowy przepływ skurczowy (PSV, <i>peak systolic velocity</i> ) [m/s]	0,6–1,0	> 1,8 (2,0)	87–98	62–98
Współczynnik nerkowo-aortalny (RAR, <i>renal-aortic ratio</i> )	< 3,0	> 3,5	84–92	62–97
<b>Wewnątrznerkowe</b>				
Współczynnik oporowości (RI, <i>resistive index</i> )	0,56–0,70	< 0,45		
Współczynnik pulsacyjności (PI, <i>pulsatility index</i> )	0,7–1,4	< 0,7		
Czas akceleracji (AT, <i>acceleration time</i> ) [ms]	40–60	> 70	78	94
Wskaźnik akceleracji (AI, <i>acceleration index</i> ) [m/s <sup>2</sup> ]	> 3,0	< 3,0	89	83
Różnica RI między nerkami lewą i prawą	< 0,05 lub < 5%	> 0,05 lub > 5%	65	80

i pulsacyjny), które następnie udoskonalono na przełomie lat 80. i 90. o obrazowanie metodą *duplex Doppler*. Badanie to pozwala na równoczesne uwidocznienie tętnicy dzięki kodowaniu przepływu kolorem i nałożeniu bramki doplera pulsacyjnego. Wprowadzenie metody *duplex Doppler* zmniejszyło odsetek badań niediagnostycznych spowodowanych trudnościami technicznymi. Kolejną innowacją było zastosowanie ultrasonograficznych środków kontrastowych. Minusem tej metody jest wzrost kosztu tych badań mimo skrócenia czasu ich wykonywania.

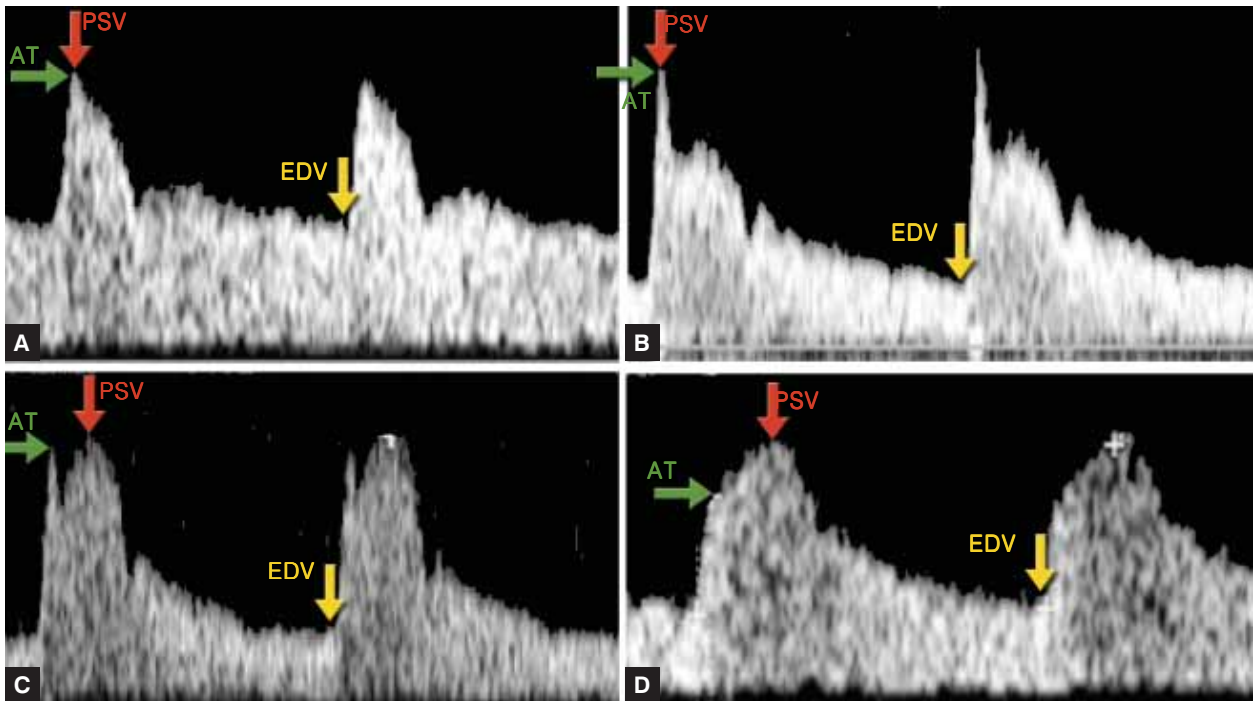
### BADANIE DOPLEROWSKIE

Badanie dopplerowskie tętnic nerkowych obejmuje ich uwidocznienie, optymalnie na całej długości, aż po wnękę, oraz pomiar prędkości przepływu w początkowych odcinkach tych naczyń. Drugi etap badania to analiza spektrum przepływu w rozgałęzieniach wewnątrznerkowych. O ile ocena spektra przepływów w rozgałęzieniach wewnątrznerkowych jest możliwa do wykonania u prawie każdego chorego, o tyle ocena odcinków przyaortalnych jest znacznie trudniejsza i nie zawsze możliwa. Należy pamiętać o dużej zmienności unaczynienia nerek i częstym występowaniu tętnic ponadliczbowych oraz dodatkowych. Tętnice dodatkowe są znacznie drobniejsze i charakteryzują się mniejszym przepływem, dlatego bardzo często nie zostają uwidocznione w badaniu dopplerowskim [1].

Podczas badania dopplerowskiego ocenia się szczytowy przepływ skurczowy (PSV, *peak systolic velocity*) w odcinkach przyaortalnych pni tętnic nerkowych, gdzie najczęściej są zlokalizowane zwężenia o etiologii miażdżycowej.

Wartość PSV w pniu tętnicy nerkowej wynosi średnio 0,6–1,0 m/s [2]. Prędkość tę odnosi się również do wartości w aorcie brzusznej, obliczając współczynnik nerkowo-aortalny (RAR, *renal-aortic ratio*; tab. 1), aby zmniejszyć wpływ międzyosobniczej zmienności wartości PSV [1, 2]. Charakterystyczną cechą zwężenia tętnicy nerkowej przekraczającego 60% pola powierzchni jest przyspieszenie przepływu w miejscu zwężenia. Za wartość wskazującą na zwężenie przyjmuje się PSV powyżej 1,8 (2,0) m/s [3] i RAR ponad 3,5 [3]. Otyłość, trudności w dłuższym zatrzymaniu oddychania na wdechu oraz wzdęcie utrudniają wizualizację tętnic nerkowych w badaniu dopplerowskim [1, 2]. Z tego powodu do badania wprowadzono ocenę spektra przepływów w rozgałęzieniach wewnątrznerkowych, którą łatwiej przeprowadzić.

Układ tętniczy nerki charakteryzuje się widmem niskooporowym, bez przepływu wstecznego (ryc. 1). Prawidłowe spektra przepływów są znacznie zróżnicowane ze względu na różnice w podatności aorty i naczyń wewnątrznerkowych oraz czynność skurczową (upośledzoną kurczliwość) mięśnia lewej komory serca, często przerośniętego w przebiegu nadciśnienia tętniczego [4]. Szczyt przepływu skurczowego może się nakładać na odbitą od obwodu falą tętna (ryc. 1A) albo odbita fala tętna pojawia się z mniejszym lub większym opóźnieniem względem fali przepływu (ryc. 1B–D). Analiza spektrum obejmuje pomiar PSV, wartości przepływu końcoworozkurczowego (EDV, *end-diastolic velocity*), a także — często prowadzony automatycznie — pomiar średniej prędkości przepływu (MV, *mean velocity*). Na podstawie zmierzono-



**Rycina 1.** Zróżnicowanie prawidłowych spektrów przepływu w rozgałęzieniach wewnątrznerkowych: **A.** Spektrum, w którym ESV pokrywa się z PSV; **B.** Spektrum z silnie zaznaczonym ESV > PSV; **C.** Spektrum z zaznaczonym ESV < PSV; **D.** Spektrum ze słabo zaznaczonym ESV; ESV (*early systolic velocity*) — maksymalny przepływ wczesnoskurczowy; PSV (*peak systolic velocity*) — szczytowy przepływ skurczowy; EDV (*end-diastolic velocity*) — przepływ późnorozkurczowy; AT (*acceleration time*) — czas akceleracji)

$$\text{RAR (współczynnik nerkowo-aortalny)} = \frac{\text{PSV w tętnicy nerkowej}}{\text{PSV w aorcie}}$$

$$\text{RI (współczynnik oporowości)} = \frac{\text{PSV} - \text{EDV}}{\text{PSV}}$$

$$\text{PI (współczynnik pulsacji)} = \frac{\text{PSV} - \text{EDV}}{\text{MV}}$$

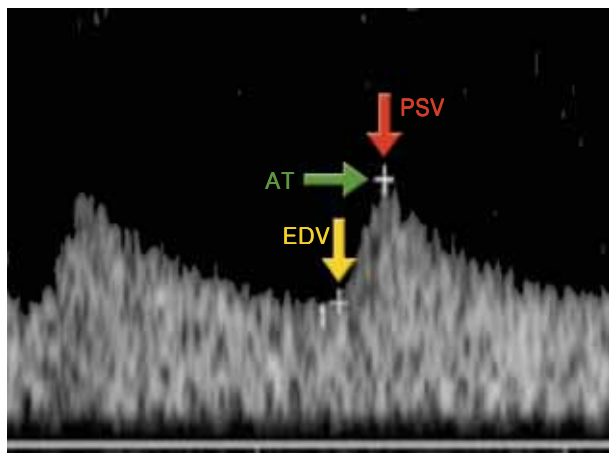
$$\text{AI (współczynnik akceleracji)} = \frac{\text{ESV} - \text{EDV}}{\text{AT}}$$

**Rycina 2.** Wzory; EDV (*end-diastolic velocity*) — przepływ późnorozkurczowy; ESV (*early systolic velocity*) — maksymalny przepływ wczesnoskurczowy; MV (*mean velocity*) — przepływ średni; PSV (*peak systolic velocity*) — szczytowy przepływ skurczowy; AT (*acceleration time*) — czas akceleracji

nych wartości oblicza się wskaźnik pulsacji (PI, *pulsatility index*) lub, częściej, współczynnik oporowości (RI, *resistive index*) [2]. Opisujemy również początkową fazę narastania przepływu we wczesnej fazie skurczu, mierząc czas akceleracji (AT, *acceleration time*), przepływ we wczesnej fazie skurczu (ESV, *early systolic velocity*) i obliczając na tej podstawie wskaźnik akceleracji (AI, *acceleration index*), czyli nachylenie krzywej narastania przepływu we wczesnej

fazie skurczu (ryc. 2) [2]. Analiza czasu trwania AT i ESV nie zawsze jest łatwa ze względu na duże zróżnicowanie obserwowanych spektrów przepływu (ryc. 1).

Wykrywanie zwężenia na podstawie wskaźników wewnątrznerkowych zakłada pojawienie się zmian fali tętna opisywanych jako „tętno małe–leniwe” (z łac. *tardus–parvus*) — wydłużenie AT, zmniejszenie AI, zanik załamka wczesnoskurczowego (ESP, *early systolic peak*) (ryc. 3)



**Rycina 3.** Spektrum przepływu w rozgałęzieniach wewnątrznerkowych typowe dla istotnego zwężenia tętnicy nerkowej; zwraca uwagę wydłużony czas akceleracji (AT, *acceleration time*) i brak wczesnoskurczowego załamka

oraz mała różnica między PSV i EDV objawiająca się zmniejszeniem zarówno RI, jak i PI [5, 6]. Zmiany te występują w przypadku zwężenia tętnicy nerkowej przekraczającego 70% pola powierzchni. Odzwierciedleniem zmniejszenia prędkości przepływu obwodowego może być również iloraz PSV w pniu tętnicy nerkowej i tętnicy międzypłatowej. Jeśli wskaźnik przekracza wartość 5, wskazuje to na ponad 70-procentowe zwężenie pnia tętnicy [7].

Wystąpienie charakterystycznych postenotycznych zmian spektrum przepływu zależy od podatności naczyń wewnątrznerkowych, nasilenia włóknienia mięszu nerkowego i — prawdopodobnie — odpowiedzi tętniczek oporowych na hipoperfuzję [8]. Dlatego w rozgałęzieniach wewnątrznerkowych u chorych z istotnym hemodynamicznym zwężeniem można obserwować przepływ niskooporowy ( $RI < 0,55$ ), prawidłowy, jak również wysokooporowy ( $RI > 0,80$ ) [9, 10].

Ostatnim ocenianym w badaniu dopplerowskim parametrem jest średnia różnica RI z 3–6 pomiarów między nerkami, która w warunkach prawidłowych nie przekracza 5% [2]. W przypadku zwężenia tętnicy nerkowej wynoszącego ponad 70% różnica ta może się zwiększyć ze względu na zmniejszenie RI po stronie ze zwężeniem [11].

### CZUŁOŚĆ I SWOISTOŚĆ DOPLEROWSKICH KRYTERIÓW DIAGNOSTYCZNYCH

Czułość i swoistość kryteriów diagnostycznych zależy od doświadczenia osoby wykonującej badanie (tab. 1). Czułość i swoistość metody nie przekracza 90% nawet w przypadku zastosowania kilku kryteriów. Zwiększenie

czułości można uzyskać, wykonując badanie po podaniu kaptoprilu [12].

Najlepszym kryterium diagnostycznym zwężenia tętnicy nerkowej przekraczającego 60% pozostaje PSV [3]. Tym samym, ultrasonografia dopplerowska ustępuje angiografii metodą tomografii komputerowej i rezonansu magnetycznego, których czułość i swoistość wynosi ponad 95%.

Metoda ta, ze względu na swoją nieinwazyjność, jest wysoce użyteczna w monitorowaniu chorych po zabiegach angioplastyki w celu wykrywania restenozy [13].

### BADANIE DOPLEROWSKIE Z ZASTOSOWANIEM ULTRASONOGRAFICZNYCH ŚRODKÓW KONTRASTOWYCH

Ultrasonograficzne środki kontrastowe to mikropęcherzyki gazu o średnicy 10–50 nm zamknięte w cienkiej otoczce substancji stabilizującej, które bez trudu przedostają się przez kapilary krążenia obwodowego i płucnego. Wiązka ultradźwięków odbija się całkowicie na granicy dwóch ośrodków krew/gaz o dużej różnicy impedancji akustycznej. Dlatego po dożylnym podaniu ultrasonograficznego środka kontrastowego zwiększa się echogenność krwi przepływającej w naczyniach. Kontrolowane badania wieloośrodkowe z zastosowaniem Levovistu wskazują na poprawę wizualizacji tętnic nerkowych (z 75 do 90%) oraz wzrost skuteczności wykrywania zwężeń tętnic nerkowych z 65 do 78% [14]. Zastosowanie środków kontrastowych II generacji w połączeniu z obrazowaniem harmonicznym pozwoliło na uzyskanie dalszej poprawy wizualizacji pni tętnic nerkowych oraz ponad 90-procentowej skuteczności w wykrywaniu zwężeń tętnic nerkowych [14].

### WSKAŹNIK OPOROWOŚCI — MITY I FAKTY

Najczęściej stosowanym parametrem ultrasonograficznym charakteryzującym przepływ wewnątrznerkowy jest wskaźnik RI. Wzbudził on wielkie oczekiwania klinicystów w odniesieniu do oceny nieodwracalności uszkodzenia mięszu nerkowego [8]. Był stosowany jako jedno z podstawowych kryteriów wewnątrznerkowych w diagnostyce zwężenia tętnicy nerkowej oraz jako czynnik rokowniczy w kwalifikacji do angioplastyki. Przeprowadzone badania wskazują jednak, że RI nie jest tylko wskaźnikiem uszkodzenia mięszu nerkowego, ale w znacznym stopniu zależy od podatności tętnic przednerkowych (aorty) i wewnątrznerkowych (zmiany

miażdżycowe) [15]. Wykazano, że RI zwiększa się z wiekiem oraz ze wzrostem grubości kompleksu błony śródkowej i wewnętrznej (IMT, *intima-media thickness*) tętnicy szyjnej [8]. W mniejszym stopniu RI jest zależny od częstości rytmu serca [8]. Wraz z wydłużeniem okresu rozkurczu maleje przepływ końcoworozkurczowy w tętnicy nerkowej i tym samym zwiększa się wartość RI. Próba Valsalvy nie pozostaje bez wpływu na RI. Długie zatrzymanie oddechu na wdechu podczas badania powoduje zmniejszenie przepływu końcoworozkurczowego [8]. Przyczyną zwiększonego oporu wewnątrznerkowego może być ostra obturacja dróg moczowych [16].

Obniżenie wartości RI za miejscem zwężenia tętnicy nerkowej jest charakterystyczne w przypadku zwężenia o etiologii zwyrodnienia włóknisto-mięśniowego [9]. Zmniejszenie RI za zwężeniem jest natomiast mniej znaczone u chorych z miażdżycową etiologią zwężenia [9]. Prawdopodobnie jest to spowodowane słabszą podatnością naczyń i progresją nefropatii niedokrwiennej (nastaniem włóknienia w niedokrwionej nerce).

Według Radermachera i wsp. [17] wartość RI większa lub równa 0,80 świadczy o znacznym, nieodwracalnym uszkodzeniu nerki, powodującym brak poprawy kontroli ciśnienia tętniczego i czynności wydalniczej po rewaskularyzacji. Obserwacji tej nie potwierdzają badania Zeller i wsp. [18]. Roczna obserwacja 39 chorych z RI wynoszącym ponad 0,80 poddanych angioplastyce wykazała obniżenie zarówno ciśnienia tętniczego, jak i stężenia kreatyniny w surowicy u części tych pacjentów. Podobnie obserwacje García-Criado i wsp. [19] nie potwierdzają celowości odstąpienia od angioplastyki i stentowania w przypadku RI powyżej 0,80.

## ULTRASONOGRAFICZNE BADANIE ŚRÓDNACZYNIOWE

Miniaturyzacja sond ultrasonograficznych umożliwiła wyprodukowanie sond śródnaczyńowych, które — wprowadzone w trakcie zabiegów angioplastyki i stentowania — umożliwiają precyzyjną ocenę poszerzonego miejsca zwężenia, wizualizację blaszek miażdżycowych i ocenę restenozy w trakcie badań kontrolnych [20]. Metoda ta nie służy jednak do rozpoznawania zwężenia tętnicy nerkowej; jest inwazyjna i kosztowna.

Ostatnio na rynek wprowadzono również śródnaczyńowe sondy dopplerowskie. Przeprowadzone badania wskazują, że pomiary PSV, EDV i RI wykonane z użyciem tych sond są zbliżone do wartości pomiarów uzyskanych klasyczną metodą *duplex Doppler* [21].

## METODY DIAGNOSTYCZNE W PRZYPADKU PODEJRZENIA NADCIŚNIENIA NACZYNIOWO-NERKOWEGO W ŚWIETLE AKTUALNYCH ZALECEŃ

W zaleceniach Grupy Roboczej Polskiego Towarzystwa Nadciśnienia Tętniczego [22] dotyczących nadciśnienia naczyniowo-nerkowego wśród badań diagnostycznych wymieniono:

- badanie ultrasonograficzne metodą *duplex Doppler*;
- angiografię metodą tomografii komputerowej (angio-CT);
- angiografię metodą rezonansu magnetycznego (angio-MR);
- scyntyografię nerek po podaniu kaptoprilu.

Autorzy zaleceń nie wskazują jednoznacznie, która z metod powinna być preferowana, tym bardziej że wszystkie metody mają pewne ograniczenia medyczne bądź organizacyjne. Badanie dopplerowskie jest tańsze, nie obciąża chorego podażą radiologicznych środków cieniujących i nie naraża go na kontakt z promieniowaniem jonizującym. Wiarygodność tego badania zależy od umiejętności i doświadczenia wykonującej je osoby. Badania angio-CT i angio-MR są droższe, ale bardziej obiektywne (czułość i swoistość > 95%) i mniej zależne od doświadczenia wykonującego. Badanie angio-CT jest obciążone nefrotoksycznością środków kontrastowych, a możliwość wykonania angio-MR może być ograniczona ze względu na wszczepione ferromagnetyczne protezy i klaustrofobię. Scyntygrafia nerek po podaniu kaptoprilu wymaga 2-krotnego przeprowadzenia badania oraz odstawienia inhibitorów konwertazy angiotensyny i sartańców na co najmniej kilka dni. Badanie można przeprowadzić jedynie w pracowni izotopowej, a otrzymany wynik dodatni wymaga potwierdzenia w badaniach z wizualizacją tętnic nerkowych.

## PIŚMIENNICTWO

1. Lee H-Y., Grant E.G. Sonography of renovascular hypertension. *J. Ultrasound Med.* 2002; 21: 431–441.
2. Zubarev A.V. Ultrasound of renal vessels. *Eur. Radiol.* 2001; 11: 1902–1915.
3. Miralles M., Cairols M., Cotillas J., Giménez A., Santiso A. Value of Doppler parameters in the diagnosis of renal artery stenosis. *J. Vasc. Surg.* 1996; 23: 428–435.
4. Soulez G., Oliva V.L., Turpin S. i wsp. Imaging of renovascular hypertension: respective values of renal scintigraphy, renal Doppler US, and MR angiography. *Radiographics* 2000; 20: 1355–1368.
5. Kliever M.A., Tupler R.H., Carroll B.A. i wsp. Renal artery stenosis: analysis of Doppler waveform parameters and tardus-parvus pattern. *Radiology* 1993; 189: 779–787.
6. Karasch T., Rubin J. Diagnosis of renal artery stenosis and renovascular hypertension. *Eur. J. Ultrasound.* 1998; 7 (supl. 3): S27–S39.
7. Li J-C., Wang L., Jiang Y.-X. i wsp. Evaluation of renal artery stenosis with velocity parameters of Doppler sonography. *J. Ultrasound Med.* 2006; 25: 735–742.

8. Krumme B. Renal Doppler sonography—update in clinical nephrology. *Nephron Clin. Pract.* 2006; 103: c24–c28.
9. Li J.C., Yuan Y., Qin W. i wsp. Evaluation of the tardus-parvus pattern in patients with atherosclerotic and nonatherosclerotic renal artery stenosis. *J. Ultrasound Med.* 2007; 26: 419–426.
10. Zucchelli P.C. Hypertension and atherosclerotic renal artery stenosis: diagnostic approach. *J. Am. Soc. Nephrol.* 2002; 13 (supl. 3): S184–S186.
11. Schwerek W.B., Restrepo I.K., Stellwaag M., Klose K.J., Schade-Brittinger C. Renal artery stenosis: grading with image-directed Doppler US evaluation of renal resistive index. *Radiology* 1994; 190: 785–790.
12. Oliva V.L., Soulez G., Lesage D. i wsp. Detection of renal artery stenosis with Doppler sonography before and after administration of captopril: value of early systolic rise. *AJR Am. J. Roentgenol.* 1998; 170: 169–175.
13. Bakker J., Beutler J.J., Elgersma O.E. i wsp. Duplex ultrasonography in assessing restenosis of renal artery stents. *Cardiovasc. Intervent. Radiol.* 1999; 22: 475–480.
14. Lencioni R., Pinto S., Napoli V., Bartolozzi C. Noninvasive assessment of renal artery stenosis: current imaging protocols and future directions in ultrasonography. *J. Comput. Assist. Tomogr.* 1999; 23 (supl. 1): S95–S100.
15. Ohta Y., Fujii K., Arima H. i wsp. Increased renal resistive index in atherosclerosis and diabetic nephropathy assessed by Doppler sonography. *J. Hypertens.* 2005; 23: 1905–1911.
16. Platt J.F., Rubin J.M., Ellis J.H., DiPietro M.A. Duplex Doppler US of the kidney: differentiation of obstructive from nonobstructive dilatation. *Radiology* 1989; 171: 515–517.
17. Radermacher J., Chavan A., Bleck J. i wsp. Use of Doppler ultrasonography to predict the outcome of therapy for renal-artery stenosis. *N. Engl. J. Med.* 2001; 344: 410–417.
18. Zeller T., Müller C., Frank U. i wsp. Stent angioplasty of severe atherosclerotic ostial renal artery stenosis in patients with diabetes mellitus and nephrosclerosis. *Catheter. Cardiovasc. Interv.* 2003; 58: 510–515.
19. García-Criado A., Gilabert R., Nicolau C. i wsp. Value of Doppler sonography for predicting clinical outcome after renal artery revascularization in atherosclerotic renal artery stenosis. *J. Ultrasound Med.* 2005; 24: 1641–1647.
20. Dangas G., Laird J.R., Mehran R. i wsp. Intravascular ultrasound-guided renal artery stenting. *J. Endovasc. Ther.* 2001; 8: 238–247.
21. Duong M.H., Mackenzie T.A., Zwolak R.M. i wsp. Correlation of invasive Doppler flow wire with renal duplex ultrasonography in the evaluation of renal artery stenosis: the Renal Artery Stenosis Invasive Doppler (RAIDER) study. *J. Vasc. Surg.* 2007; 45: 284–288.
22. Gluszek J., Januszewicz A., Więcek A. Zalecenia dotyczące diagnostyki i leczenia chorych z nadciśnieniem tętniczym spowodowanym zwężeniem tętnicy nerkowej (nadciśnieniem naczyniowo-nerkowym). *Nadciśnienie Tętn.* 2006; 10: 489–500.