

# Ultrasonografia dopplerowska tętnic nerkowych

Łukasz Stryczyński

Katedra Hipertensjologii, Klinika Hipertensjologii, Angiologii i Chorób Wewnętrznych,  
Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu

## STRESZCZENIE

Ultrasonografia dopplerowska tętnic nerkowych (RDUS) jest badaniem pierwszego wyboru w diagnostyce nadciśnienia naczyniowonerkowego oraz cennym narzędziem pozwalającym zoptymalizować opiekę na chorymi ze zwężeniem tętnic nerkowych. W prezentowanym artykule w sposób praktyczny przedstawiono najważniejsze informacje dotyczące badania: wskazania, sposób przeprowadzenia, elementy opisu, kliniczne podstawy jego interpretacji oraz ograniczenia metody.

**Słowa kluczowe:** USG doppler tętnic nerkowych; duplex tętnic nerkowych; zwężenie tętnic nerkowych; nadciśnienie naczyniowonerkowe; wskaźnik oporowości; współczynnik nerkowo-aortalny

*Nadciśnienie Tętnicze w Praktyce 2022, tom 8, nr 4, strony: 186-199*

## Wprowadzenie

W poniższym opracowaniu przedstawiono podstawowe informacje o ultrasonografii dopplerowskiej tętnic nerkowych [RDUS, *renal doppler/duplex ultrasonography*; kod 88.751 wg International Classification of Diseases, Ninth Revision (ICD-9)], które w zamierzeniu autora mogą być pomocne w interpretacji badania.

Najczęstszą przyczynę nadciśnienia naczyniowonerkowego stanowią zwężenia tętnicy nerkowej (ZTN) o etiologii miażdżycowej (ok. 90%) oraz dysplazji włóknisto-mięśniowej (FMD, *fibromuscular dysplasia*) (ok. 10%). Do rzadszych przyczyn należą: zmiany zapalne o typie arteritis, zmiany tętniakowate tętnicy nerkowej, zator tętnicy nerkowej, neurofibromatosis, przetoka tętniczo-żylna, zwężenie tętnicy nerki przeszczepionej, uszkodzenie tętnicy nerkowej — jatrogenne, pourazowe, popromienne; zmiany w obrębie nerek lub poza nimi, uciskające tętnice nerkowe lub ich gałęzie (torbiel, guz, pasma włókniste).

## Wskazania do badania RDUS

Badanie RDUS stanowi podstawowe nieinwazyjne badanie diagnostyczne w celu wykrywania ZTN oraz narzędzie do monitorowania pacjentów z już rozpoznany ZTN oraz po zabiegach rewaskularyzacji tętnic nerkowych.

Biorąc pod uwagę szybkość wykonania badania, jego nieinwazyjność oraz dodatkowe informacje płynące z badania [1], nie będzie błędem wykonanie RDUS przynajmniej jeden raz u każdego pacjenta z rozpoznaniem nadciśnienia tętniczego (NT). Niestety dostępność RDUS jest w warunkach naszego kraju znacznie niższa niż chociażby echokardiografii. Częstość występowania ZTN stanowi ok. 1% w niewyselekcjonowanej populacji hipertoniczków oraz 2-30% w określonych grupach ryzyka pacjentów z NT. Biorąc to pod uwagę, diagnostyka ZTN powinna być przeprowadzana u wszystkich osób z NT, spełniających przynajmniej jedno z kryteriów wymienionych w tabeli 1.

**Adres do korespondencji:** Dr n. med. Łukasz Stryczyński, Katedra Hipertensjologii, Klinika Hipertensjologii, Angiologii i Chorób Wewnętrznych Uniwersytetu Medycznego im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu, Długa 1/2, 61-848 Poznań, Polska; e-mail: l.stryczynski@gmail.com

**Tabela 1.** Czynniki zwiększające prawdopodobieństwo rozpoznania zwężenia tętnicy nerkowej (ZTN) u osób z nadciśnieniem

Wywiad	Nadciśnienie tętnicze pojawiające się przed 30. rż. (szczególnie u kobiet) lub po 50. rż.
	Nagły początek lub pogorszenie kontroli nadciśnienie tętniczego
	Ciężki przebieg nadciśnienia tętniczego
	Oporność na leczenie hipotensyjne
	Nadciśnienie tętnicze złośliwe
	Rozwój niewydolności nerek po podaniu inhibitora konwertazy angiotensyny (ACE-I) lub antagonisty receptora angiotensyny II (ARB)
	Postępująca niewydolność nerek o niewyjaśnionej etiologii
	Nawracające obrzęki płuc
	Negatywny wywiad rodzinny w kierunku nadciśnienia tętniczego
Badanie fizykalne	Palenie tytoniu
	Bardzo wysokie wartości ciśnienia tętniczego
	Szmer naczyniowy w nadbrzuszu lub śródbrzuszu (skurczowo-rozkurczowy o wysokiej częstotliwości)
	Współistnienie zmian miażdżycowych w innym łożysku naczyniowym
Podstawowe badania laboratoryjne	Zaawansowane zmiany nadciśnieniowe w ocenie dna oka
	Potas w surowicy — stężenie obniżone lub przy dolnej granicy normy
	↑ stężenie kreatyniny w surowicy/↓ eGFR
	↑ stężenie reniny/aktywności reninowej osocza

eGFR (*estimated glomerular filtration rate*) — szacowany wskaźnik przesączania kłębuszkowego

Do wskazań do wykonywania RDUS u chorych z już rozpoznaniem ZTN zaliczają się: ocena istotności hemodynamicznej ZTN (razem z diagnostyką lub uzupełniająco u chorych z rozpoznaniem zwężeniem w innej metodzie), przewidywanie efektów rewaskularyzacji, monitorowanie pacjentów ze ZTN leczonym zachowawczo (ocena coroczna, rzadziej co 6 miesięcy). Po interwencjach na tętnicach nerkowych zaleca się wykonanie RDUS: wyjściowo po zabiegu przezskórnej angioplastyki (w ciągu pierwszego miesiąca po zabiegu), po 6–8 miesiącach, 9–12 miesiącach, następnie co 12 miesięcy oraz zawsze w przypadku klinicznego podejrzenia restenozy. Po rewaskularyzacji chirurgicznej kontrolne badanie RDUS wykonywanej jest tylko w przypadku klinicznego podejrzenia.

## Aspekty praktyczne RDUS

Badanie powszechnie uznaje się za trudne i jako takie powinno być wykonywane i opisywane tylko przez osoby z odpowiednim doświadczeniem. Główną zaletą badania jest niski koszt oraz nieinwazyjność (brak użycia kontrastu i promieniowania X).

Do badania pacjenci powinni być przygotowani jak do badania ultrasonograficznego (USG) jamy brzusznej, a więc pozostawać na czczo lub co naj-

mniej 6 godzin bez jedzenia po uprzednim posiłku. Pacjent może spożywać niegazowaną wodę, ale zaleca się przed badaniem opróżnienie pęcherza.

W skierowaniu na RDUS należy zawrzeć wszystkie istotne informacje kliniczne, między innymi znane patologie nerek oraz przebyte zabiegi, choroby mięszu nerek, w tym cukrzycę, obecność patologii aorty, tętnic nerkowych i zastawki aortalnej (gdzie stopień wady jest co najmniej umiarkowany), tętniaki aorty, zwężenia aorty, protezy naczyniowe, stenty naczyniowe), gdyż te informacje mogą wpłynąć na interpretację badania.

Cała procedura badania z opisem trwa przeciętnie 20–30 minut, w szczególnie trudnych przypadkach nawet powyżej 40 minut.

Badanie RDUS pozwala w sposób diagnostyczny w około 90–95% ocenić tętnice nerkowe w odcinkach zewnątrz- i wewnątrznerkowych. W opisie badania należy w sposób czytelny umieścić informację, które odcinki tętnicy zostały (a które nie) w ocenie ultrasonografisty w sposób diagnostyczny ocenione. Nie ma w zasadzie przeciwwskazań bezwzględnych do wykonania badania, należy jednak pamiętać, że wartość diagnostyczna będzie niższa u osób nieprzygotowanych do badania, otyłych, w ciężkim stanie ogólnym (brak współpracy), z ranami pooperacyjnymi (utrudniony dostęp) czy u długo leżących

(gazy jelitowe). Badanie RDUS można wykonywać u ciężarnych, ale tylko w przypadku stwierdzenia ewidentnych wskazań do jego przeprowadzenia.

Tętnice nerkowe odchodzą od aorty brzusznej na poziomie pierwszego lub drugiego kręgu lędźwiowego (L1–L2) 1–2 cm poniżej odejścia tętnicy kręzkowej górnej. U około 30% osób występują tętnice nerkowe ponadliczbowe, które w większości przypadków odchodzą od aorty, rzadko od innych tętnic trzewnych. W przypadku gdy tętnice ponadliczbowe wnikają do nerki przez jej wnękę zazwyczaj mówi się o mnogim unaczynieniu nerki. W przypadku zaś gdy ponadliczbowa tętnica dochodzi pozawnękowo, naczynia te nazywa się tętnicami dodatkowymi lub biegunowymi. Z uwagi na ich mniejszy rozmiar, wykrywalność tętnic ponadliczbowych w RDUS jest niższa i w porównaniu z angiografią metodą tomografii komputerowej (angio-TK) czy rezonansu magnetycznego (angio-MR) wynosi około 30–40%.

Prawidłowe spektrum przepływu w tętnicy nerkowej jest niskooporowe (podobne jak w tętnicach szyjnych wewnętrznych) ze stromym nachyleniem krzywej prędkości w fazie skurczu oraz łagodnym opadaniem fali w fazie rozkurczu [2–5].

## Raport z badania RDUS

Najważniejszą informacją z diagnostycznego badania RDUS stanowi potwierdzenie lub wykluczenie obecności zwężenia tętnicy nerkowej i zaplanowanie na tej podstawie dalszego postępowania, w szczególności konieczności wykonania badań potwierdzających. W przypadku niediagnostycznego badania należy rozważyć wykonanie innych badań obrazowych.

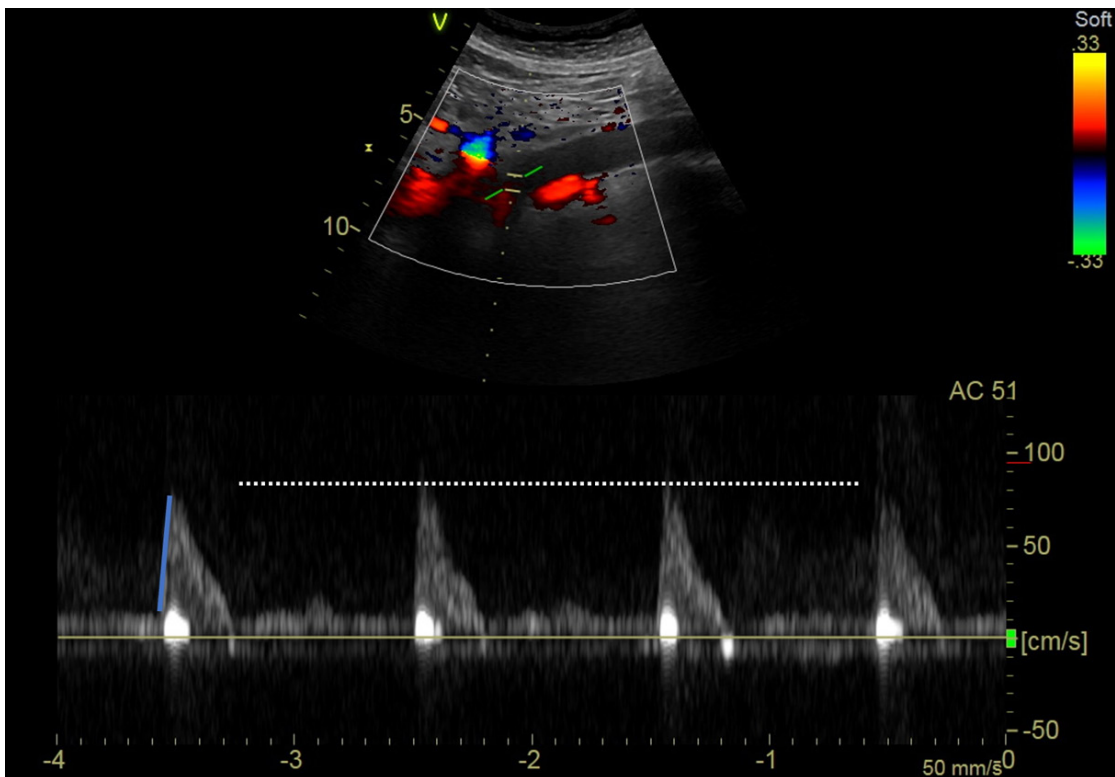
Do istotnych szczegółowych informacji raportowanych w RDUS należą:

### 1. Dotyczące aorty:

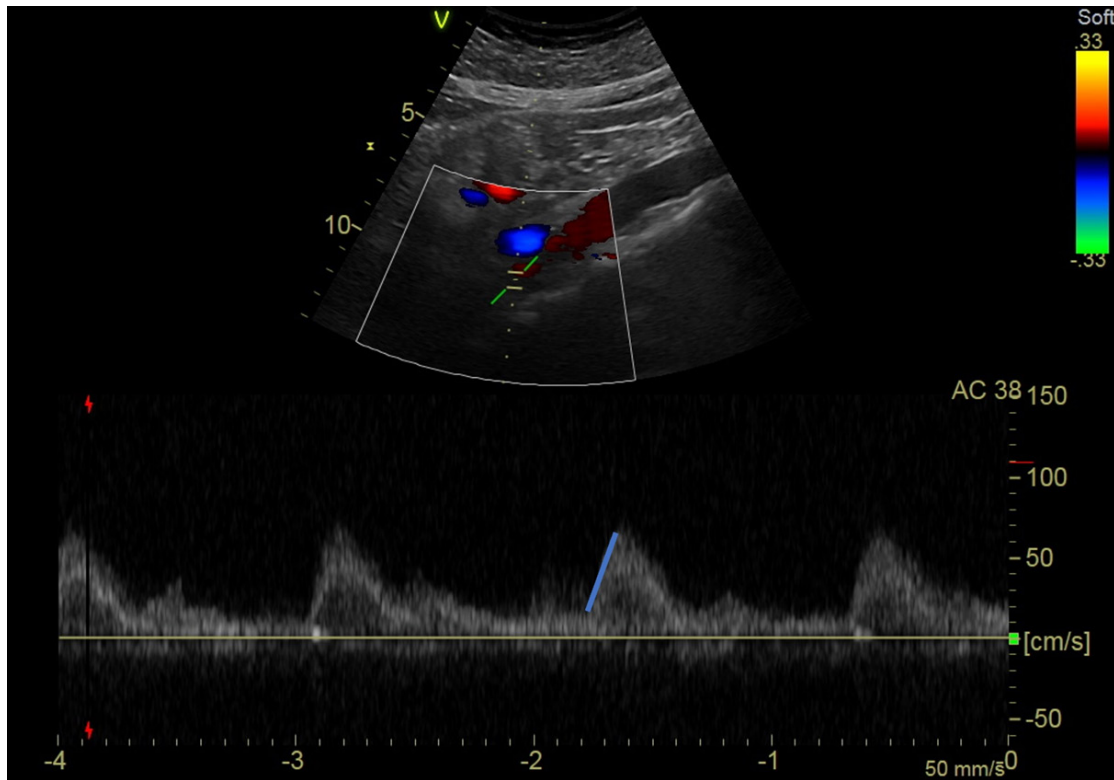
- parametry hemodynamiczne: szczytowa prędkość przepływu (PSV, *peak systolic velocity*) na wysokości odejścia tętnic nerkowych (ryc. 1);
- stwierdzone patologie aorty (jeśli mają znaczenie dla interpretacji badania) (ryc. 2).

### 2. Dotyczące nerek:

- długość (w osi długiej: < 9 cm — zmniejszenie wymiaru nerki; < 8 cm znaczne zmniejszenie wymiaru nerki; istotna różnica wielkości pomiędzy nerkami  $\geq 1,5$  cm; pozostałe wymiary nerki raportowane są rzadko) (ryc. 3);



**Rycina 1.** Spektrum przepływu w aorcie brzusznej i pomiar szczytowej prędkości przepływu (PSV). Pomiaru dokonuje się nieco dystalnie od miejsca odejścia tętnicy kręzkowej górnej. Wraz z wiekiem zwiększa się średnica aorty, a spada PSV

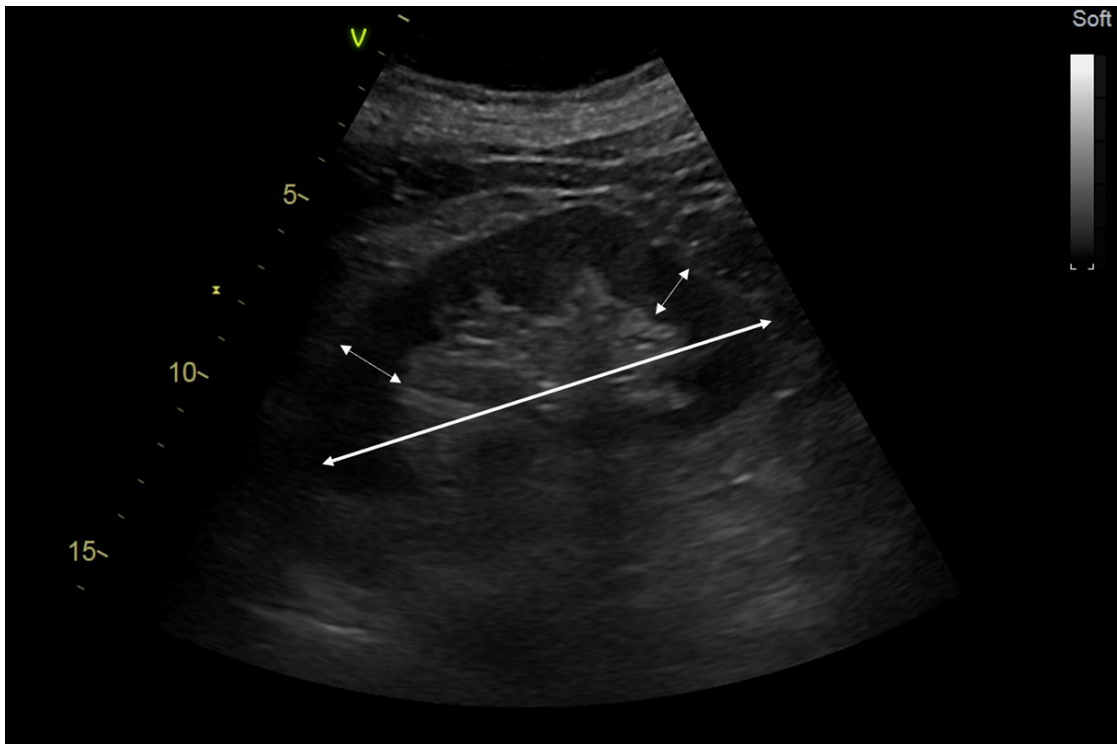


**Rycina 2.** Spektrum przepływu w aorcie brzusznej u chorego z koarktacją aorty. Spektrum przepływu w aorcie może być zmienione wtórnie do istniejącej patologii aorty (np. rozwarstwienie, koarktacja, zespół aorty brzusznej lub zastawki aortalnej)

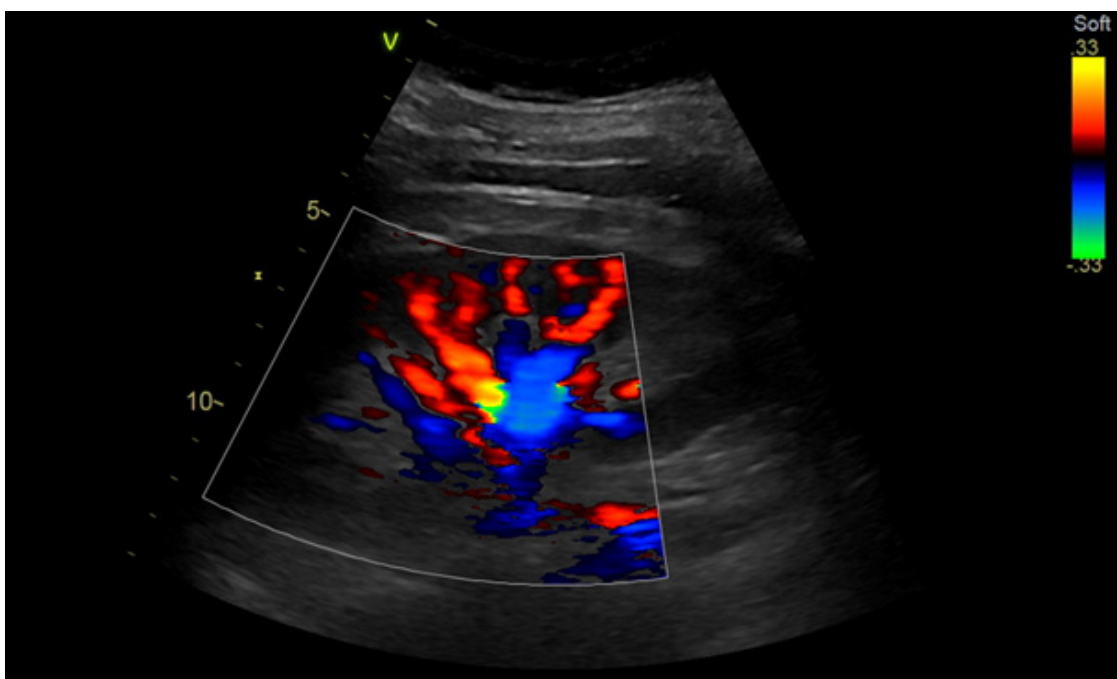
- grubości warstwy mięszowej (WM) — wartość podawana tylko w przypadku istotnej redukcji grubości (< 11 mm) (ryc. 3);
  - echogeniczność nerki (podwyższona zwykle świadczy niespecyficycznie o przewlekłej chorobie nerek).
3. Dotyczące unaczynienia nerek [6–10]:
- ocena globalnego unaczynienia nerki (raportowana głównie w przypadku zaobserwowanych istotnych zaburzeń unaczynienia, np. w niedrożności tętnicy) liczba tętnic nerkowych (ryc. 4);
  - parametry hemodynamiczne oceniane w RDUS tętnic nerkowych:
    - a) współczynnik nerkowo-aortalny (RAR, *renal-aortic ratio*): stosunek najwyższej szczytowej prędkości przepływu na przebiegu tętnicy nerkowej (ryc. 5, 6), zwykle w odcinku bliższym (PSVr) do najwyższej szczytowej prędkości w aorcie na poziomie odejścia tętnic nerkowych (PSVa) wyrażony wzorem  $RAR = PSVr/PSVa$ ; jest to parametr liczony osobno dla każdej nerki (ryc. 7, 8–10);
    - b) wskaźnik oporowości (RI, *resistive index*) (norma 0,50–0,70) oraz różnica RI pomię-

dzy nerkami. Wskaźnik oporowości stanowi wynik ilorazu różnicy PSV i prędkości końcowo-rozkurczowej (EDV, *end-diastolic velocity*) oraz PSV  $[(PSV - EDV)/PSV]$ , mierzonych wewnątrznerkowo zwykle w tętnicach międzypłatowych. W przypadku zwężenia jednostronnego różnica ta przekracza 0,05 (zmniejszenie RI po stronie zwężenia), a w przypadku zwężenia obustronnego porównywalnego stopnia następuje spadek RI poniżej normy wiekowej. Wysokie wartości RI w stosunku do wieku często świadczą niespecyficycznie o chorobie mięszu nerkowego (m.in. o nefropatii cukrzycowej czy nadciśnieniowej). Biorąc pod uwagę dużą liczbę czynników wpływających na wartości RI, ewentualne dodatkowe wnioski płynące z pomiaru RI powinny zostać ujęte w opisie (wnioskach) badania (ryc. 11).

c) czas akceleracji (AT, *acceleration time*) — zwykle nie przekracza 30–50 ms; wydłużenie jest pośrednim wskaźnikiem zaburzeń przepływu w odcinku przednerkowym (uwaga: jednostronnie występuje zwykle przy zwężeniu tętnicy nerkowej > 75%, obustronnie także w pa-

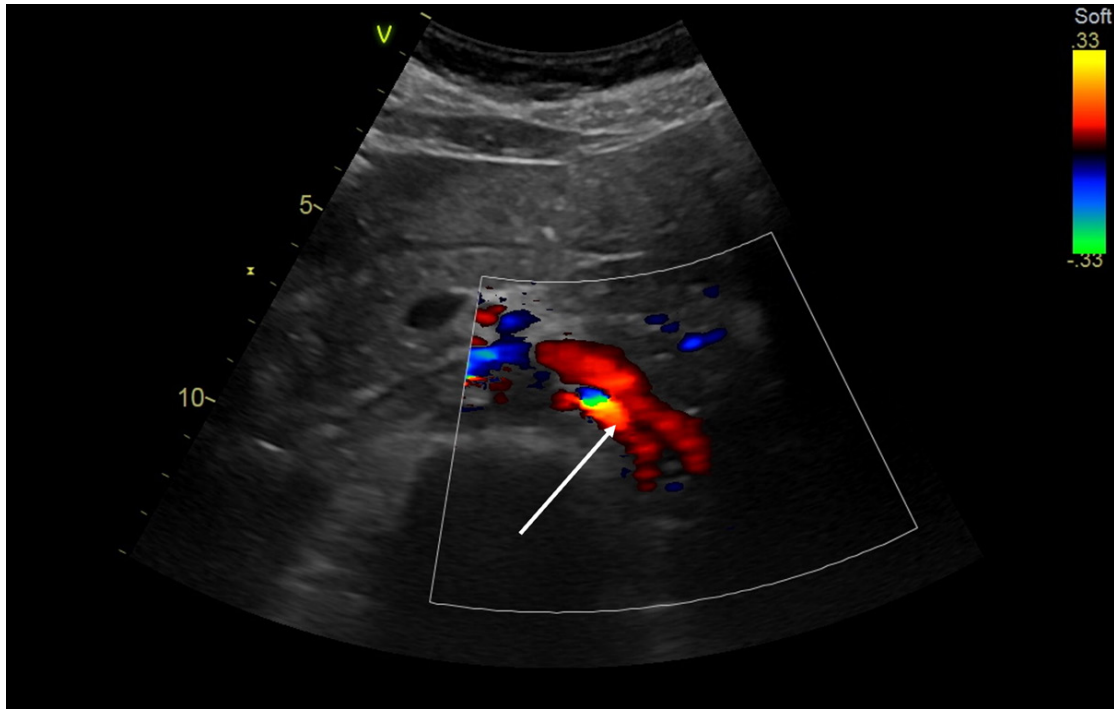


**Rycina 3.** Prawidłowa nerka — pomiar długości w osi długiej (długi znacznik, norma 9,0–12,5 cm) oraz warstwy miąższowej ( $\geq 11$  mm), prawidłowa echogeniczność nerki. Istotna różnica wielkości nerek — powyżej 10–15 mm (nerka lewa jest zwykle większa)

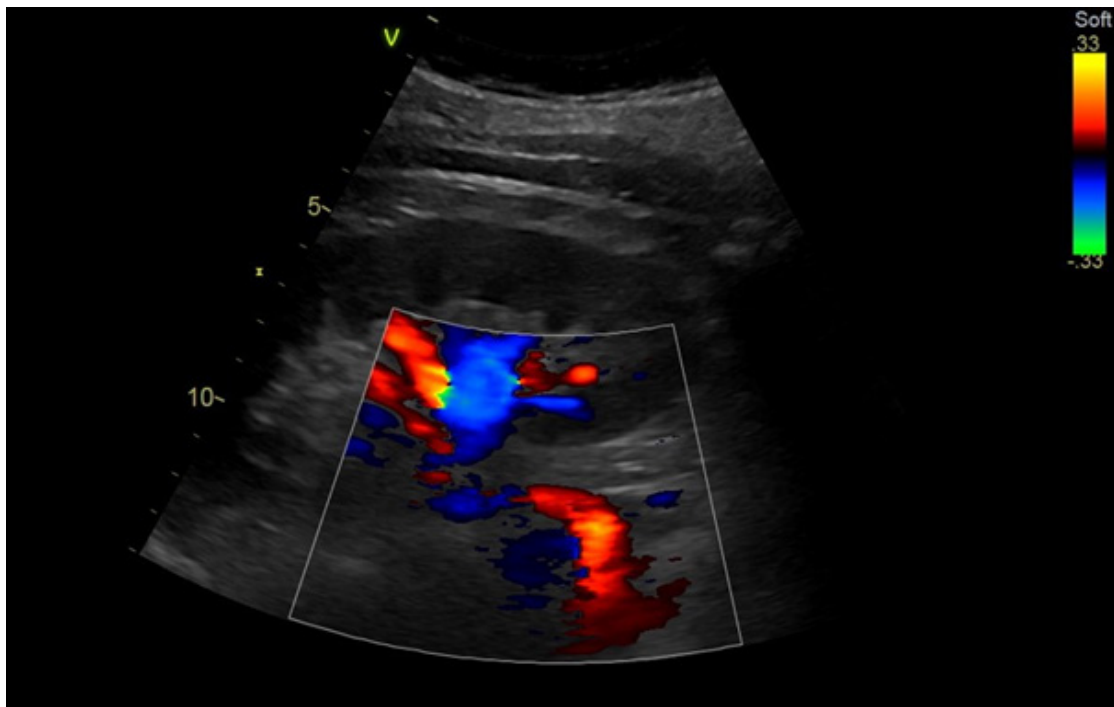


**Rycina 4.** W opcji kolorowego dopplera dobrze widoczne naczynia wewnątrznerkowe (kolory: czerwony — tętnice, niebieski — żyły). Zdarza się, że ocena ukrwienia w ultrasonografii dopplerowskiej tętnic nerkowych (RDUS) kończy się na ocenie jakościowej (prawidłowe/upośledzone/skąpe globalne unaczynienie nerki lub jego brak)

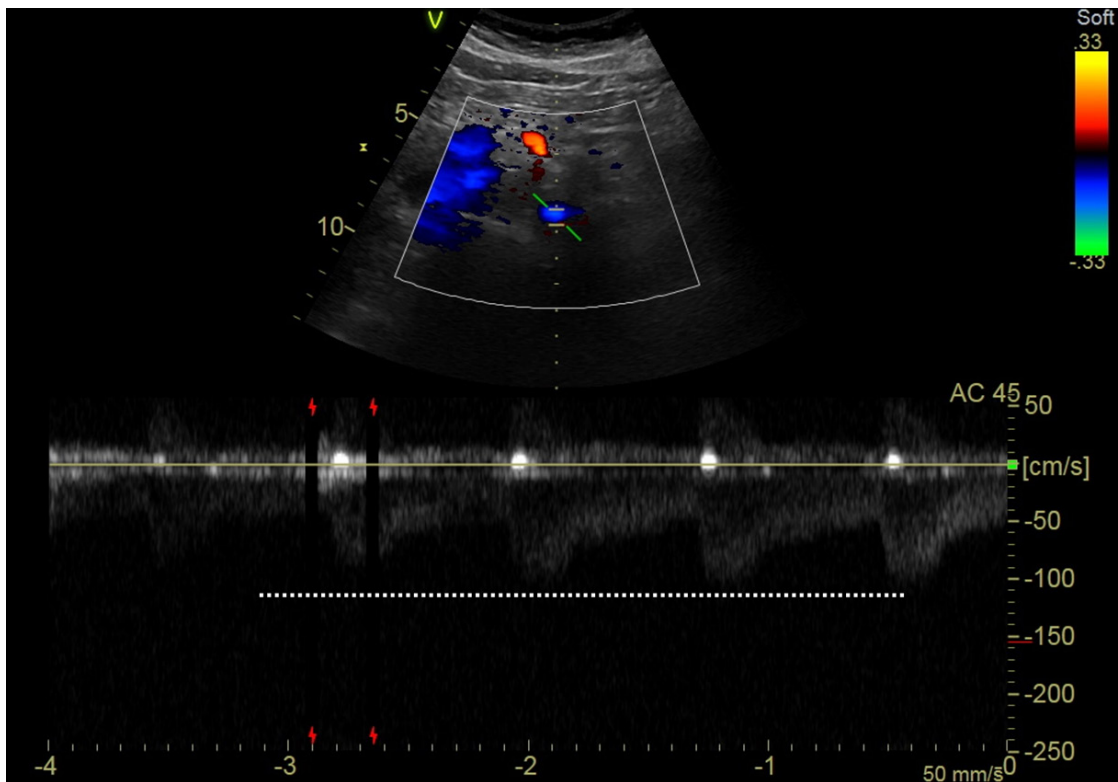




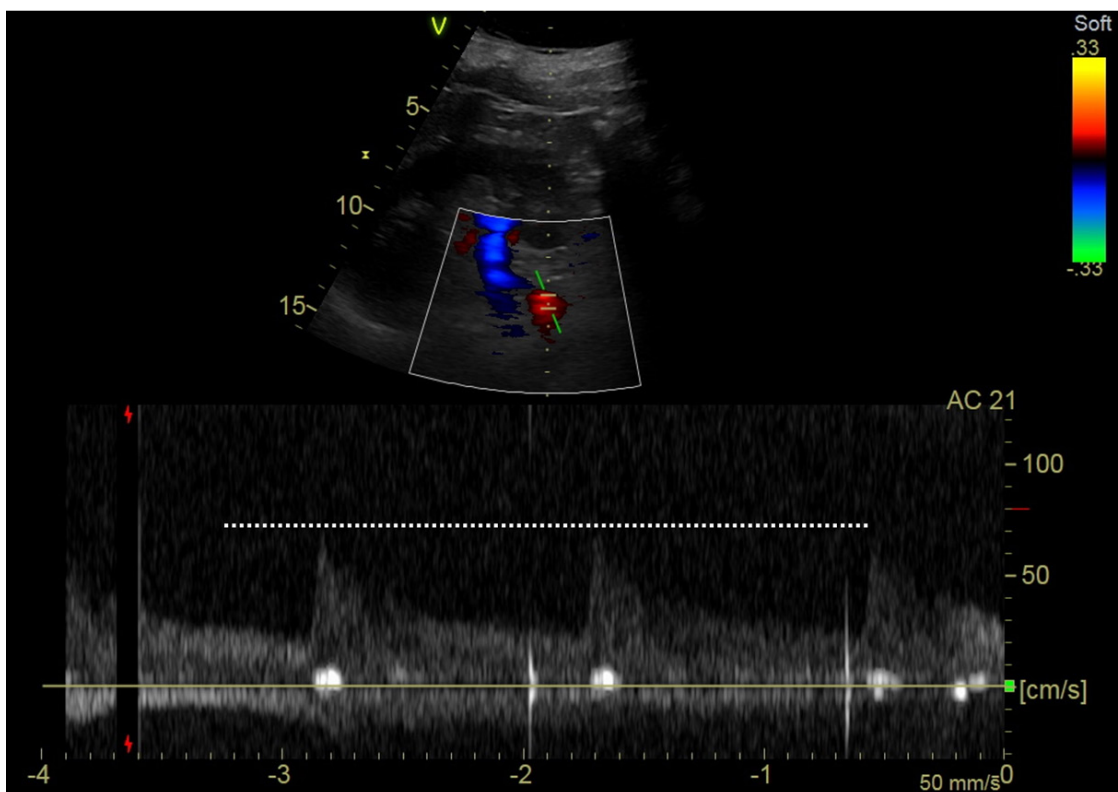
**Rycina 5.** Tętnica nerkowa lewa — w opcji kolorowego dopplera widoczne fragmenty początkowy i środkowy. Powyżej — żyła nerkowa lewa



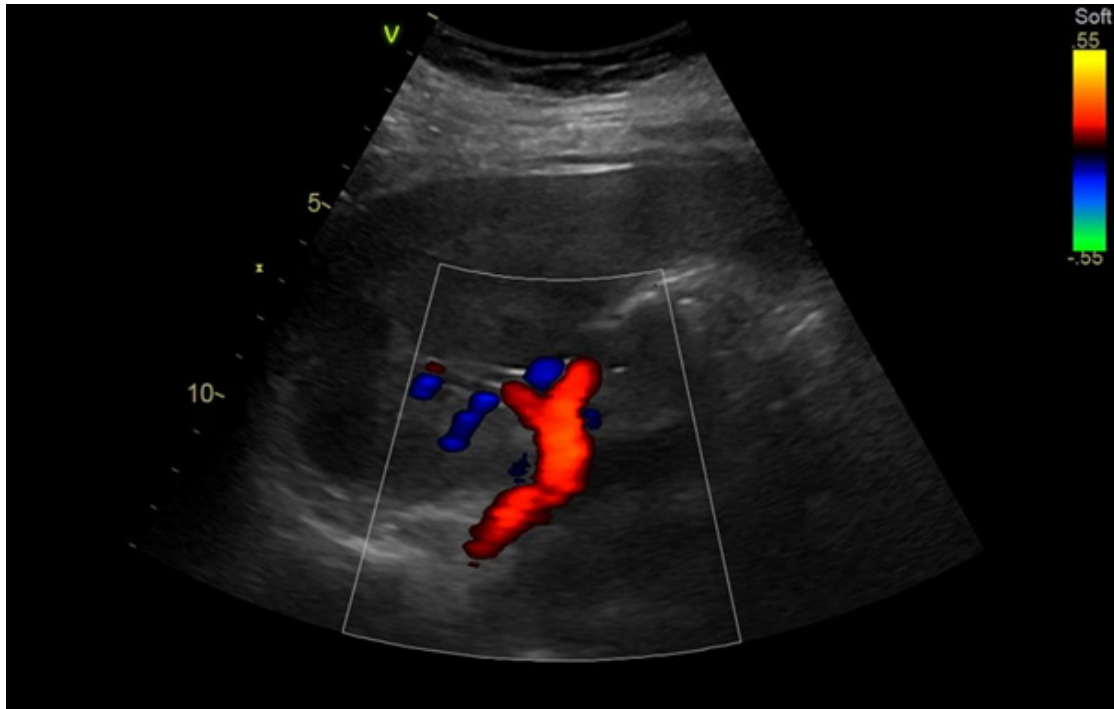
**Rycina 6.** Tętnica nerkowa — bardzo dobrze widoczny cały odcinek początkowy oraz gałęzie wewnątrznerkowe. Odcinek środkowy niemożliwy do oceny z uwagi na przebieg prostopadły do głowicy USG



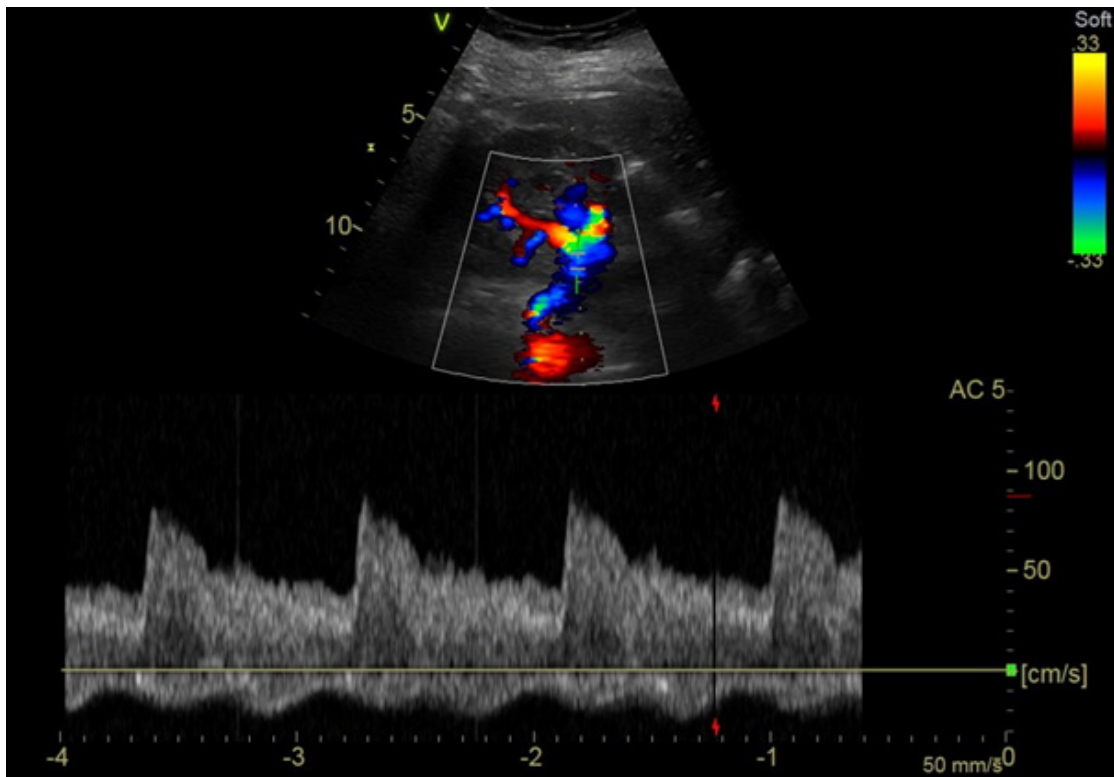
**Rycina 7.** Spektrum dopplerowskie z odcinka bliższego tętnicy nerkowej lewej. Pomiar szczytowej prędkości przepływu (PSV)



**Rycina 8.** Pomiar szczytowej prędkości przepływu (PSV) w odcinku bliższym tętnicy nerkowej (norma 60–140 cm/s). Przepływ laminarny, niskooporowy

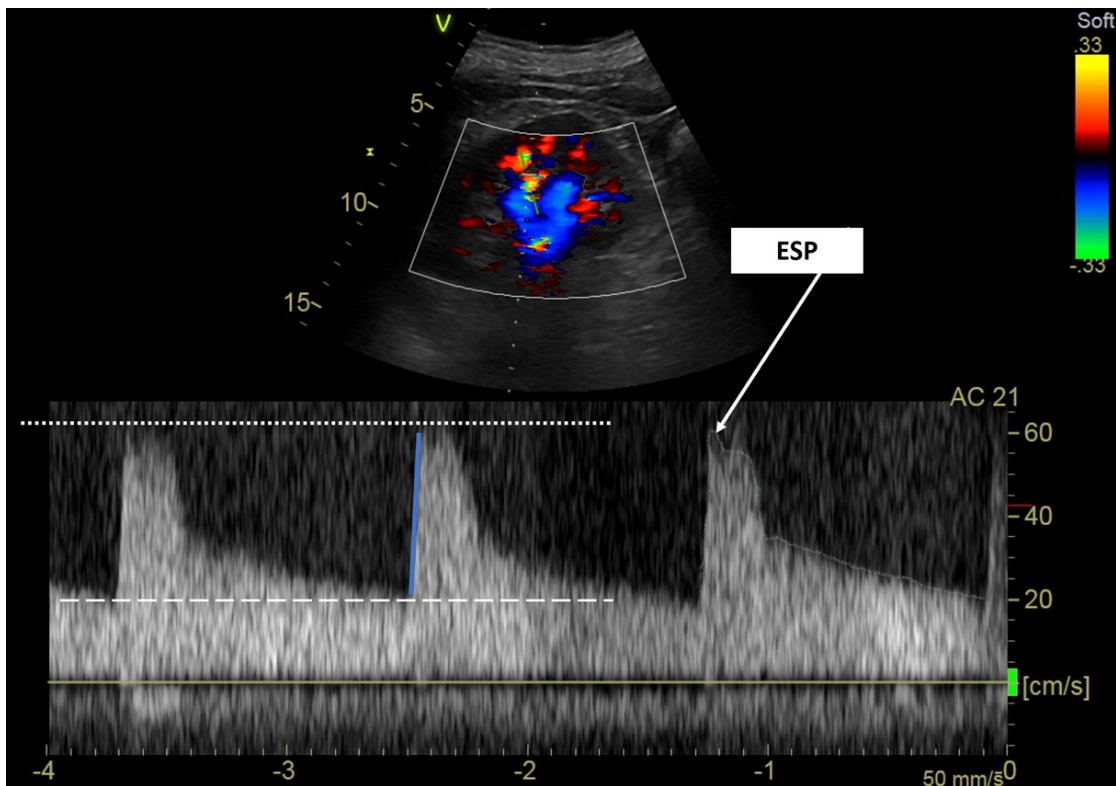


**Rycina 9.** Tętnica nerkowa — widoczny fragment odcinka bliższego, cały odcinek środkowy wraz podziałem tętnicy



**Rycina 10.** Tętnica nerkowa — odcinek środkowy. Podwyższona szczytowa prędkość przepływu (PSV) w tym odcinku może być wynikiem na przykład wydłużenia i krętości tętnicy (elongacja) lub dysplazji włóknisto-mięśniowej (FMD). Do postawienia diagnozy często konieczne jest wykonanie innego badania obrazowego, zwykle angiografii metodą tomografii komputerowej (angio-TK)





**Rycina 11.** Spektrum przepływu wewnątrznerkowego w tętnicy międzyprętowej — podstawowe pomiary. Linie przerywane: szczytowa prędkość przepływu (PSV) (górną) i końcowo-rozkurczowa prędkość przepływu (EDV) (dolną); linia ciągła — czas akceleracji (AT). Widoczny tak zwany wczesnoskurczowy szczyt (ESP). Wyniki powinny być średnią kilku pomiarów

tologiach zastawki aortalnej (zwężeniu), koarktacji aorty, zespole aorty brzusznej) (ryc. 2, 11);  
d) inne parametry, rzadziej stosowane: wskaźnik pulsacyjności (PI, *pulsatility index*), wskaźnik akceleracji (AI, *acceleration index*).

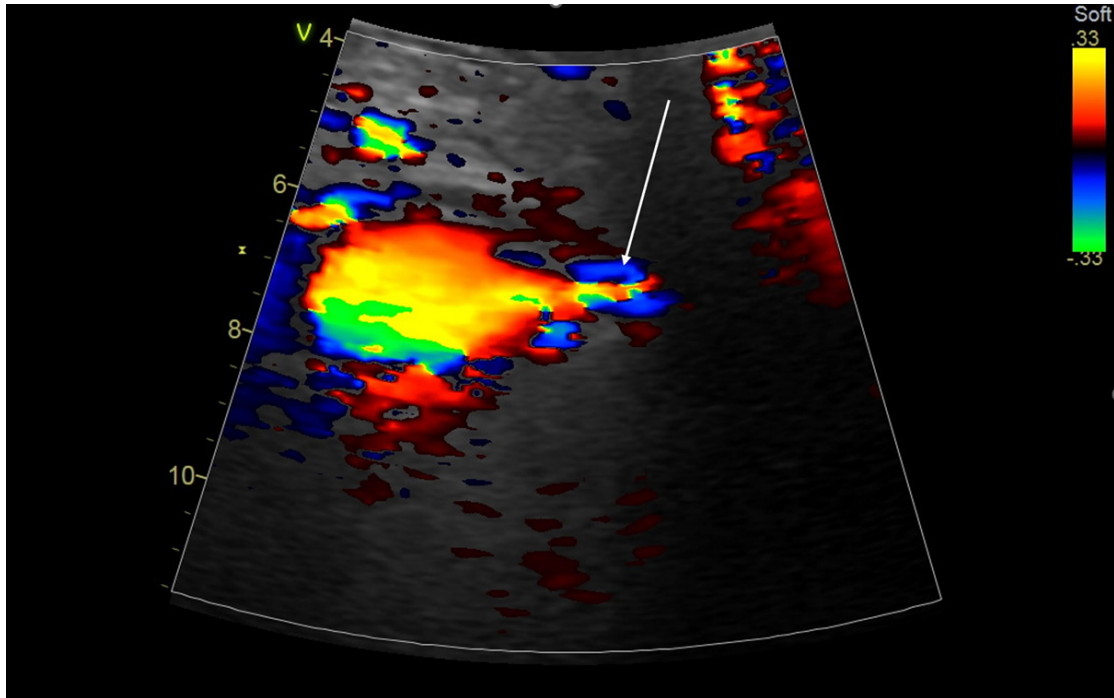
## Parametry przemawiające za istotnym ZTN

Za istotnym hemodynamicznie zwężeniem tętnicy nerkowej przemawiają:

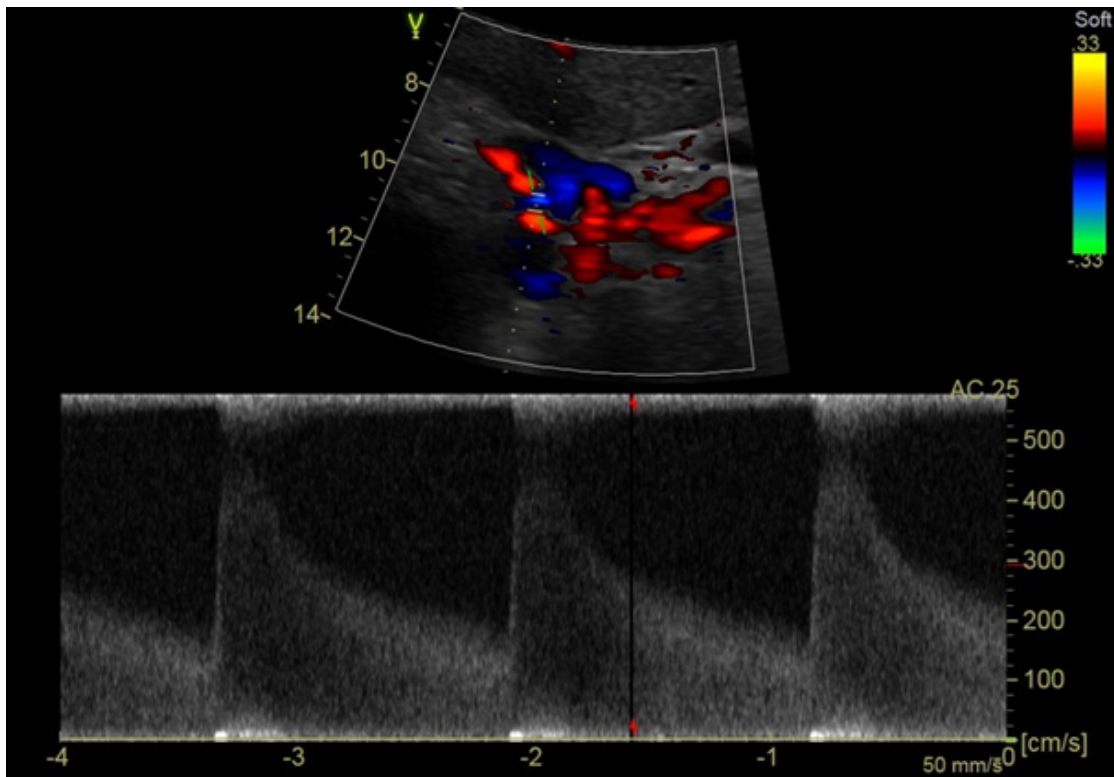
1. Parametry bezpośrednie — pomiary w miejscu zwężenia (dla zwężeń  $\geq 60\%$ ):
  - zmiany na przebiegu tętnicy w opcji badania dopplerowskiego kodowanego kolorem (kolorowy doppler) (istotna zmiana koloru, płomyk, aliasing, turbulencje) (ryc. 12);
  - $RAR \geq 3,0-3,5$ ;
  - PSV w miejscu zwężenia  $> 2 (1,8) \text{ m/s}$  (ryc. 13, 14);
  - w przypadku oceny po zabiegu rewaskularyzacji z wszczepieniem stentu (ryc. 15, 16): PSV w przedziale  $2,0-3,0 \text{ m/s}$  może, ale nie musi, świadczyć o obecności istotnej restenozy. Za istotną

restenozą przemawiają prędkości  $\geq 3 \text{ m/s}$  oraz obecność turbulencji przepływu i dystalnie zlokalizowanych zmian spektrum o typie „jak za zwężeniem”;

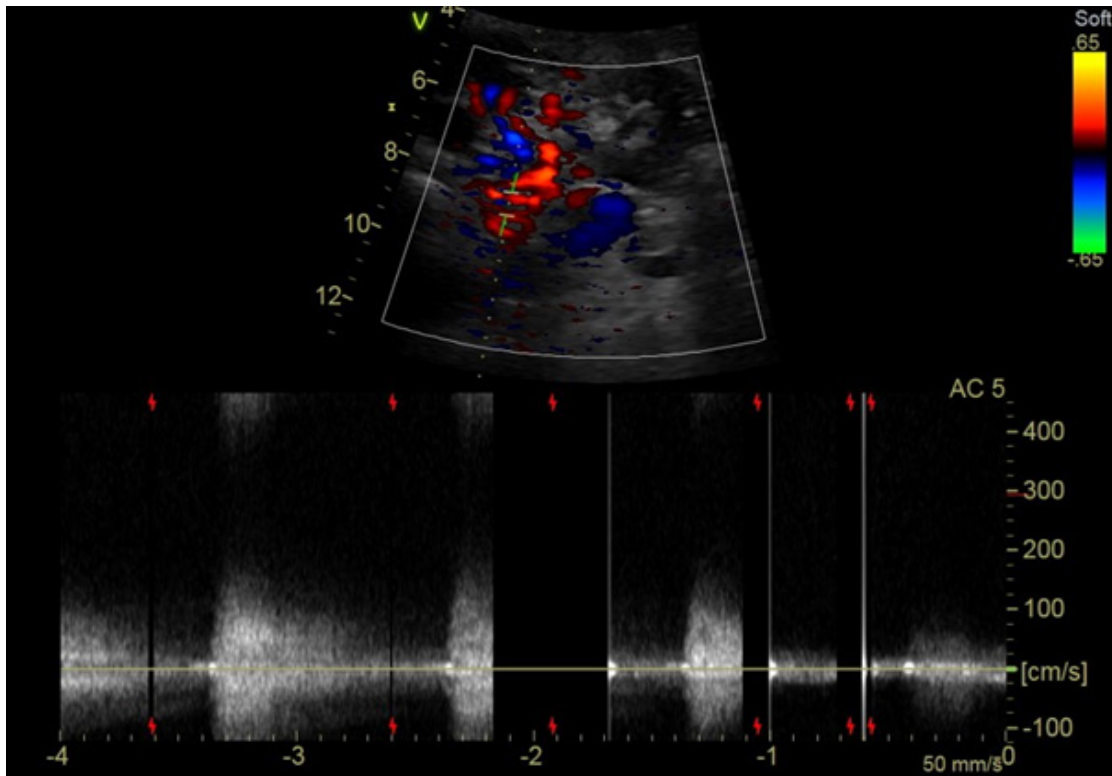
- wzrost prędkości przepływu na przebiegu tętnicy — co najmniej 2-krotny odcinkowy wzrost PSV;
  - przepływ turbulentny.
2. Parametry pośrednie — wewnątrznerkowe (dla zwężeń  $\geq 75-80\%$  oraz niedrożności):
    - RI — istotna ( $> 0,05$ ) różnica pomiędzy nerkami lub wartości RI istotnie niższe od oczekiwanych;
    - AT — wydłużony  $\geq 50-70\text{ms}$  (ryc. 17);
    - brak wczesnoskurczowego szczytu (ESP, *early systolic peak*) (ryc. 11);
    - jakościowe upośledzenie unaczynienia nerki;
    - niskie prędkości PSV (ryc. 18);
    - zmniejszenie wymiaru nerki — czasami nerka staje się tak mała i hiperechogeniczna, że w badaniu USG przestaje być odróżnialna od otaczających struktur („znika”) (ryc. 19). W przypadku mnogiego unaczynienia możliwe jest zaobserwowanie zmian tylko w części nerki. W przy-



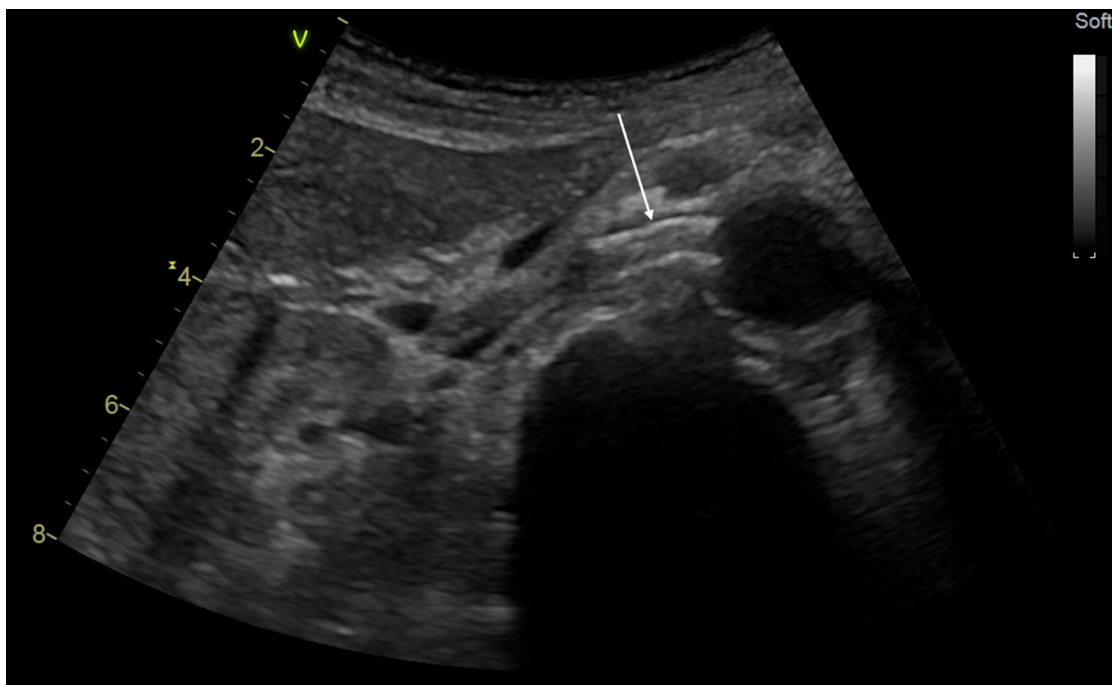
**Rycina 12.** Zwężenie tętnicy nerkowej lewej w odcinku bliższym (strzałka). Widoczne turbulencje przepływu



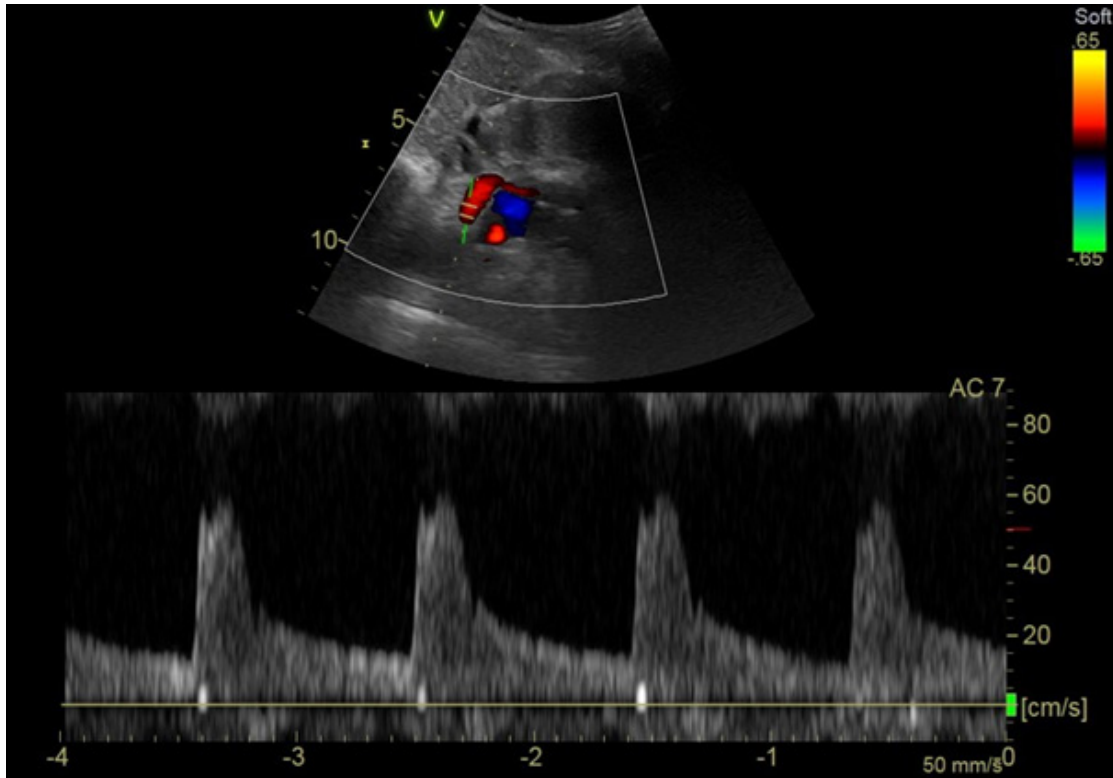
**Rycina 13.** Miażdżycowe zwężenie tętnicy nerkowej dotyczy najczęściej jej odcinka bliższego. Szczytowa prędkość przepływu (PSV) — 500 cm/s, końcowo-rozkurczowa prędkość przepływu (EDV) — 200 cm/s. W **[polskie rozwinięcie?] DSA** — zwężenie tętnicy nerkowej > 80%



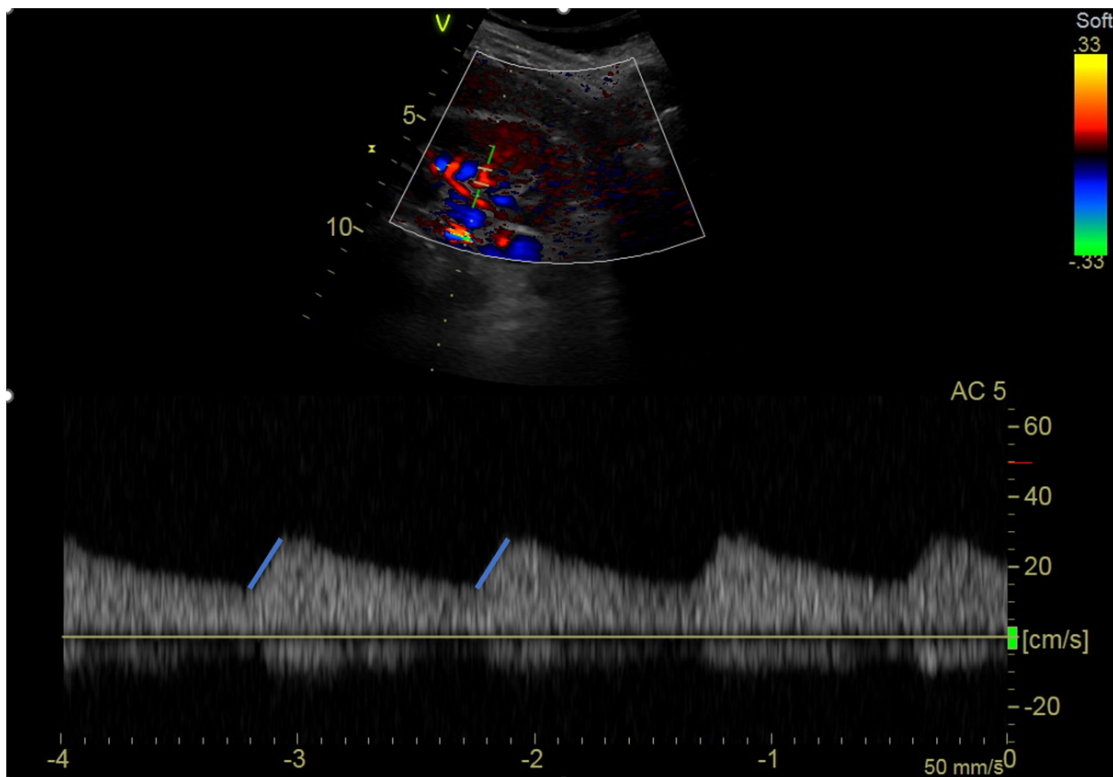
**Rycina 14.** Tętnica nerkowa prawa w odcinku środkowym u pacjentki z potwierdzoną dysplazją włóknisto-mięśniową (FMD) (postać wieloogniskowa). Poszukiwanie obecności krytycznego zwężenia tętnicy tuż przed podziałem tętnicy. Bardzo ciasne zwężenia stanowią duże wyzwanie diagnostyczne



**Rycina 15.** Stent (strzałka) w odcinku bliższym tętnicy nerkowej prawej. Proksymalny koniec stentu zwykle „wychodzi” z tętnicy nerkowej na 2–3 mm do światła aorty brzusznej. Pacjent szczupły — dobra wizualizacja stentu

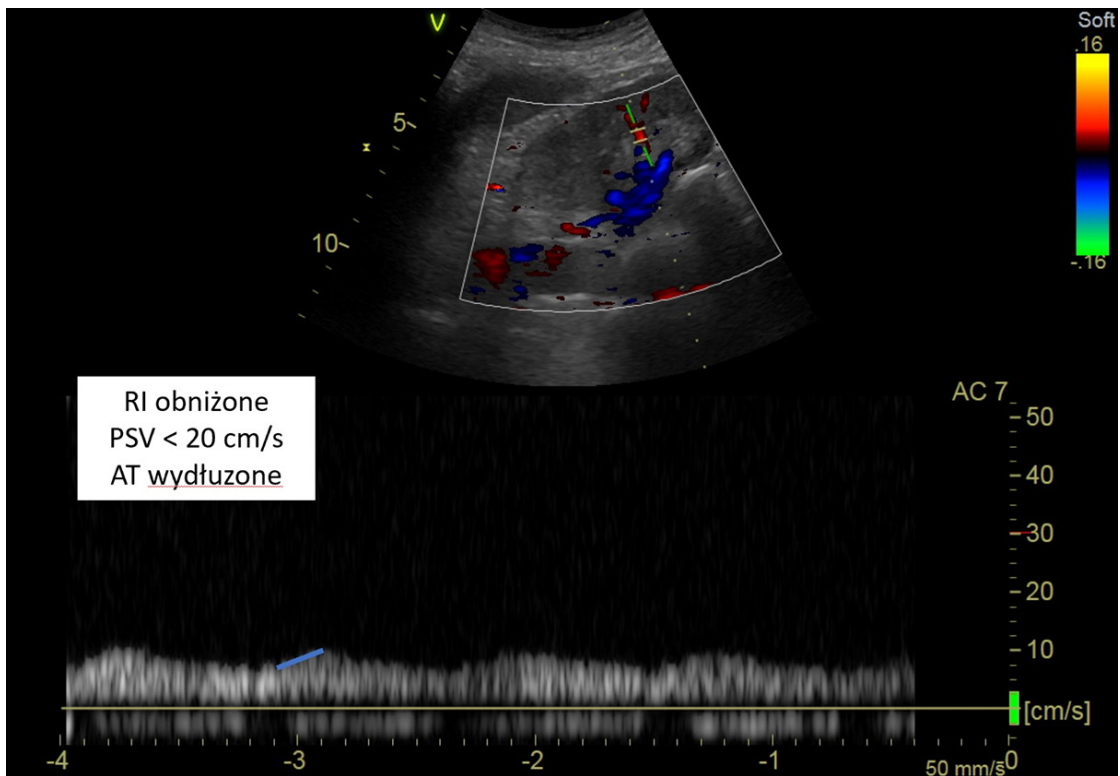


**Rycina 16.** Pomiar szczytowej prędkości przepływu (PSV) w stenciu w odcinku bliższym tętnicy. Ocena przepływu w stencji jest często znacznie trudniejsza po kilku miesiącach od wszczęcia stentu

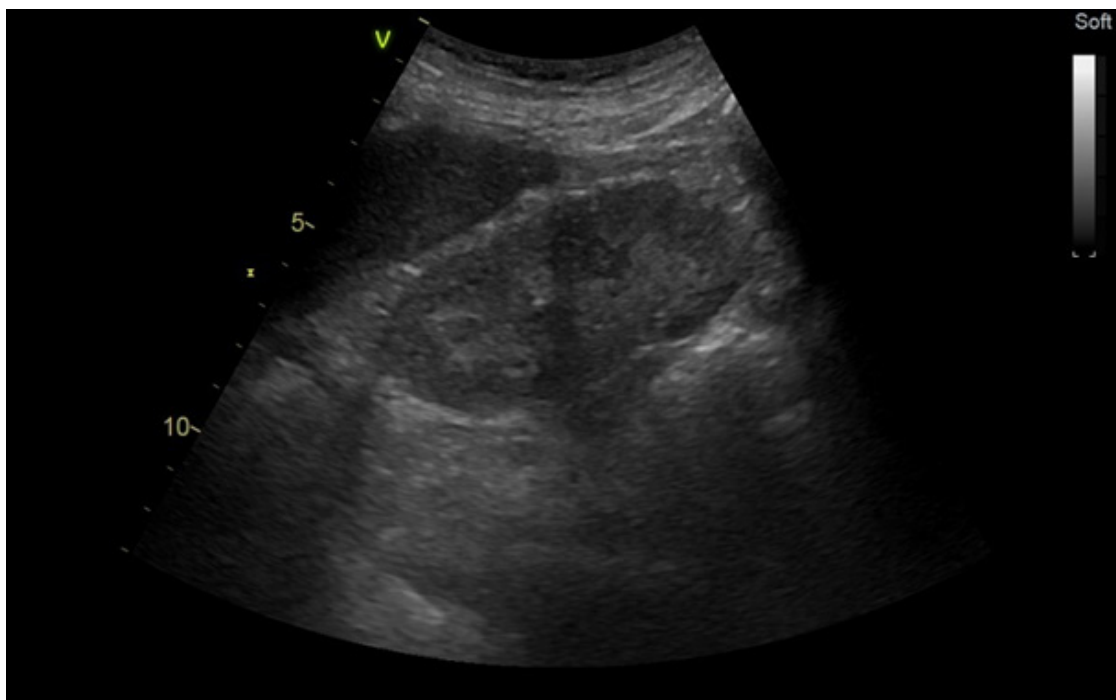


**Rycina 17.** Spektrum przepływu „jak za zwężeniem”. Zwracają uwagę: wydłużenie czasu akceleracji (AT) oraz obniżony wskaźnik oporowości (RI). Należy porównać kształt widma w aorcie oraz obu nerkach, co pozwala pośrednio wnosić o lokalizacji przeszkody





**Rycina 18.** Spektrum przepływu „jak za zwężeniem”. Bardzo skąpe globalne uczynienie nerki, niska szczytowa prędkość przepływu (PSV), znacznie wydłużony czas akceleracji (AT). Niedrożna tętnica nerkowa w ujściu. Niewydolne krążenie oboczne do odcinka środkowego tętnicy oraz od torebki nerki. RI — wskaźnik oporowości



**Rycina 19.** Mała nerka — około 7 cm w osi długiej, o nieco podwyższonej echogeniczności, zredukowana grubość warstwy mięśniowej. Potwierdzono niedrożność tętnicy nerkowej



padku jednostronnej patologii tętnicy nerkowej zwykle obserwuje się przerost kompensacyjny dróg nerkowych.

Analiza równoczesna parametrów bezpośrednich i pośrednich zwiększa czułość i specyficzność badania oraz pozwala w lepszy sposób ocenić stopień ZTN. Wszystkie te parametry oceniane osobno mają pewne istotne ograniczenia:

- ograniczenia RAR — istnieją stany kliniczne, które powodują w aorcie zarówno wzrost PSV (krążenie hiperkinetyczne, osoby młode, wąska lub zwężona aorta), jak i spadek (osoby starsze, poszerzenie aorty i tętniak, zwężenie zlokalizowane dystalnie od odejścia tętnic nerkowych), co może wpłynąć ostatecznie na RAR;
- ograniczenia oceny RI — poza wiekiem i ZTN na wskaźnik RI wpływają między innymi: częstość rytmu i jego miarowość (tachykardia — spadek RI, bradykardia — wzrost RI), parametry przepływu zależne od pracy serca (np. istotna niedomykalność aortalna — wzrost RI), funkcja nerek (spadek GFR — wzrost RI), czynniki genetyczne, miejsce pomiaru w nerce (RI maleje od wnęki do warstwy korowej) oraz niektóre stany kliniczne: ostra martwica cewek (wzrost RI), zakrzepica żyły nerkowej, nefropatia zaporowa (wzrost RI), ucisk z zewnątrz (np. krwiak, guz). Jeśli wymienione czynniki wpływają jednocześnie na obie nerki, nie zmienia to wartości parametru RI (różnicy RI pomiędzy nerkami) w diagnostyce zwężenia tętnicy nerkowej (głównie jednostronnej). Obniżenie RI po stronie zwężenia jest bardziej charakterystyczne dla zwężenia związanego z FMD, natomiast rzadziej obserwowane w przypadku etiologii miażdżycowej;
- ograniczenia oceny AT — wyraźnie wydłużenie AT częściej obserwuje się u osób młodych i ZTN o etiologii dysplazji włóknisto-mięśniowej; u osób starszych i w etiologii miażdżycowej ZTN,

jeśli wydłużenie AT występuje, zwykle jest bardziej dyskretne.

## Podsumowanie

Badanie RDUS jest bardzo dobrym oraz bezpiecznym narzędziem diagnostycznym i monitorującym pacjentów z rozpoznaniem ZTN. Znajomość ocenianych w badaniu parametrów pozwala na skuteczniejszą diagnostykę nadciśnienia naczyniowo-nerkowego oraz optymalizację opieki nad chorymi ze zwężeniami tętnic nerkowych.

## Piśmiennictwo

3. Tsioufis C, Andrikou I, Pruijm M, et al. Should renal color Doppler ultrasonography be a routine test in newly diagnosed hypertensive patient? *J Hypertens*. 2018; 36(1): 16–22, doi: [10.1097/HJH.0000000000001508](https://doi.org/10.1097/HJH.0000000000001508), indexed in Pubmed: [28817492](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28817492/).
4. Januszewicz M, Michałowska M. Metody obrazowania nerek i tętnic nerkowych. In: Januszewicz A. i wsp., ed. *Nadciśnienie naczyniowo-nerkowe. Patogeneza, diagnostyka i leczenie*. Medycyna Praktyczna, Kraków 2017.
5. Krzanowski M, Plichta A. *Atlas ultrasonografii naczyń*. Medycyna Praktyczna, Kraków 1996: 144–191.
6. Małek G, Januszewicz M. Ultrasonograficzne badanie naczyń nerkowych. In: Małek G. ed. *Ultrasonografia Dopplerowska. Zastosowania kliniczne*. Tom 2. Medipage, Warszawa 2003.
7. Textor SC. Renal Arterial Disease and Hypertension. *Med Clin North Am*. 2017; 101(1): 65–79, doi: [10.1016/j.mcna.2016.08.010](https://doi.org/10.1016/j.mcna.2016.08.010), indexed in Pubmed: [27884236](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27884236/).
8. Krumme B, Blum U, Schwertfeger E, et al. Diagnosis of renovascular disease by intra- and extrarenal Doppler scanning. *Kidney Int*. 1996; 50(4): 1288–1292, doi: [10.1038/ki.1996.440](https://doi.org/10.1038/ki.1996.440), indexed in Pubmed: [8887290](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8887290/).
9. Boddi M. Renal Ultrasound (and Doppler Sonography) in Hypertension: An Update. *Adv Exp Med Biol*. 2016: 191–208, doi: [10.1007/5584\\_2016\\_170](https://doi.org/10.1007/5584_2016_170), indexed in Pubmed: [27966109](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27966109/).
10. Cauwenberghs N, Kuznetsova T. Determinants and Prognostic Significance of the Renal Resistive Index. *Pulse (Basel)*. 2016; 3(3-4): 172–178, doi: [10.1159/000442445](https://doi.org/10.1159/000442445), indexed in Pubmed: [27195237](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27195237/).
11. Radermacher J, Chavan A, Bleck J, et al. Use of Doppler ultrasonography to predict the outcome of therapy for renal-artery stenosis. *N Engl J Med*. 2001; 344(6): 410–417, doi: [10.1056/NEJM200102083440603](https://doi.org/10.1056/NEJM200102083440603), indexed in Pubmed: [11172177](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11172177/).
12. Nazzari MM, Hoballah JJ, Miller EV, et al. Renal hilar Doppler analysis is of value in the management of patients with renovascular disease. *Am J Surg*. 1997; 174(2): 164–168, doi: [10.1016/s0002-9610\(97\)90076-3](https://doi.org/10.1016/s0002-9610(97)90076-3), indexed in Pubmed: [9293836](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9293836/).