

# Badanie dopplerowskie w diagnostyce zaburzeń erekcji

## Duplex sonography in erectile dysfunction diagnosis

Andrzej Gołubiński<sup>1</sup>, Aleksander Falkowski<sup>2</sup>, Bartłomiej Gliniewicz<sup>1</sup>, Andrzej Sikorski<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Katedra i Klinika Urologii Pomorskiej Akademii Medycznej w Szczecinie

<sup>2</sup>Klinika Radiologii Pomorskiej Akademii Medycznej w Szczecinie

### Streszczenie

Badanie dopplerowskie prącia wprowadzili do praktyki medycznej Lue i wsp. w 1985 roku, dzięki odkryciu, że iniekcja dojamista papaweryny powoduje wzwód [1]. Za pomocą techniki dopplerowskiej można zmierzyć przepływ krwi w tętnicach głębokich prącia po farmakologicznie wywołanym wzwodzie. Badanie powinno się przeprowadzać w komfortowych warunkach, zapewniających prywatność.

Preparaty o działaniu wazodylatacyjnym stosuje się w iniekcji do ciał jamistych. Odpowiedź na środki farmakologiczne obserwuje się po podaniu 20–40 mg papaweryny lub 5–20 µg prostaglandyny E1 (PGE1). Papaweryna i PGE1 działają na tętnice głębokie prącia, rozkurczając mięśniówkę gładką naczyń.

Aby uwidocznic tętnice głębokie penisa, ciała jamiste należy obrazować w przekrojach podłużnym i poprzecznym od podstawy po żołędź prącia. Analiza widma dopplerowskiego w tych tętnicach umożliwia pomiar prędkości szczytowo-skurczowej (PSV, peak systolic velocity) oraz końcowo-rozkurczowej (EDV, end-diastolic velocity) oraz współczynnika oporności (RI, resistive index) określanego na podstawie wzoru  $RI = (PSV - EDV)/EDV$ .

Prędkość szczytowo-skurczowa mierzona po iniekcji dojamistej preparatu o działaniu wazodylatacyjnym to najważniejszy parametr pozwalający rozpoznać impotencję o podłożu naczyniowym. Prędkość szczytowo-skurczowa o wartości niższej niż 25 cm/s wskazuje na utrudnienie w dopływie krwi do prącia. Wykluczenie patologii dopływu krwi do penisa sugeruje możliwość nadmiernego przecieku żylnego jako przyczyny zaburzeń wzwodu. Prędkość końcowo-rozkurczowa wyższa niż 7 cm/s jest typowa dla mężczyzn z zaburzeniami odpływu krwi z prącia.

Istnieje również grupa pacjentów z mieszanym typem dysfunkcji wzwodu, charakteryzujących się współistnieniem utrudnień w dopływie krwi oraz nadmiernym przeciekiem żylnym.

**Słowa kluczowe:** badanie dopplerowskie, zaburzenia erekcji

### Abstract

Duplex sonography of the penis was introduced to the medical practice by Lue et al. in 1985. It was possible after discovery that intracavernosal injection (ICI) of papaverine resulted in complete erection. The doppler technique measures velocity of blood flow in the cavernosal arteries during artificially induced erection. The examination should be performed in comfortable conditions.

The vasomotor agents are injected into the corpus cavernosum. Adequate response is being observed after injecting 20–40 mg papaverine or 5–20 µg prostaglandin E1 (PGE1). Papaverine and PGE1 are potent smooth muscle relaxants that act directly on the deep penile arteries.

To demonstrate deep penile arteries the corporal bodies should be scanned in the transverse and sagittal planes from base to the tip of the penis. Spectral analysis of doppler waveform in the cavernosal arteries enables measurement of peak systolic velocity (PSV), end-diastolic velocity (EDV) and resistive index (RI) calculated from the formula  $RI = (PSV - EDV)/EDV$ .

PSV after ICI of vasodilating agent is the most helpful parameter to evaluate arteriogenic impotence. The level of PSV in deep penile artery less than 25 cm/s is a strong evidence of arterial inflow disease.

---

#### Adres do korespondencji:

Andrzej Gołubiński

ul. Tkacka 59/11

70-556 Szczecin

tel.: (0 91) 466 11 01, 434 79 45

Nadesłano: 11.05.2003 Przyjęto do druku: 9.06.2003

*If arterial insufficiency is excluded, excessive venous leakage is the most probable source of erectile dysfunction. EDV exceeding 7 cm/s is characteristic for men with veno-occlusive disorders. There is also a group of patients with mixed type of ED with coexisting arterial inflow insufficiency and excessive venous leakage.*

**Key words:** duplex sonography, erectile dysfunction

W ostatnich latach ultrasonografia stała się powszechną, ogólnie dostępną techniką badania naczyń krwionośnych. Jej wartość jest nieoceniona zarówno w rozpoznawaniu chorób, jak i w kontroli wyników leczenia. Badanie dopplerowskie służące różnicowaniu zaburzeń erekcji (ED, *erectile dysfunction*) zastosował po raz pierwszy amerykański urolog Tom Lue w 1985 roku, dzięki odkryciu przez Viraga, że iniekcja dojamista papaweryny wywołuje wzwód [1].

## Ultrasonografia klasyczna

W diagnostyce ultrasonograficznej wykorzystuje się ultradźwięki o częstotliwości 1–10 MHz, które, wysyłane przez głowice, są częściowo pochłaniane przez tkanki, a częściowo ulegają odbiciu lub rozproszeniu. Fala odbija się na powierzchni granicznej, czyli na granicy dwóch tkanek o różnym oporze akustycznym (gęstości). Strukturami wytwarzającymi echo są zarysy narządów, a także znajdujące się wewnątrz nich naczynia krwionośne lub przegrody tkanki łącznej. Powracające do głowicy fale są przedstawiane na ekranie za pomocą jednego z 3 sposobów obrazowania:

- typ A (*amplitude*) — rzadko używany w medycynie; echo uwidaczniane jest na ekranie oscyloskopu w postaci bocznego wychYLENIA plamki;
- typ B (*brightness*) — najczęściej stosowany w tworzeniu dwuwymiarowych obrazów, przedstawia przekroje tkankowe w skali szarości;
- typ M (*motion*) — wykorzystywany w echokardiografii głównie do przedstawienia przekroju pracującego narządu (np. komorę mięśnia sercowego) [2].

## Badanie dopplerowskie

Badanie dopplerowskie polega na uwidocznieniu przepływu krwi w naczyniu i pomiarze jego prędkości, co jest możliwe dzięki temu, że fale emitowane przez głowicę rozpraszają się na elementach morfotycznych krwi płynących w naczyniach, zmieniając swą częstotliwość. Głowica odbiera powracające echo, które porównuje się z częstotliwością emitowanej fali. Zmiana częstotliwości jest proporcjonalna do prędkości przepływu krwi.

Połączenie obrazowania narządów i tkanek za pomocą prezentacji typu B z dopplerowskim pomiarem prędkości przepływu krwi określono mianem *duplex doppler*. Metoda ta umożliwiła ocenę hemodynamiczną w świetle wybranego naczynia badanego narządu. Początkowo uzyskiwany obraz był czarno-biały, zaś identyfikacja naczyń trudna i wymagająca dużego doświadczenia lekarza.

Postęp dokonał się, gdy wszystkim punktom obrazu wykazującym ruch przypisano dany kolor. Do oznaczania kierunku przepływu najczęściej stosuje się barwy czerwoną i niebieską, zaś ich odcienie odpowiadają różnym prędkościom. Metoda ta to dopplerowskie badanie przepływu metodą kodowania kolorem (tzw. kolorowy Doppler, *colour Doppler*) [3].

Od połowy lat 90. znana jest nowa opcja barwnego odwzorowania przepływu — dopler mocy (*power Doppler*). Obraz powstaje dzięki ocenie całkowitej energii sygnału docierającego do głowicy ultrasonograficznej. Metoda ta służy badaniu drobnych naczyń o krętym przebiegu, w świetle których prędkość krwi jest mała. Umożliwia ona uwidocznienie przepływu niemal niezależnie od kąta padania wiązki fal ultradźwiękowych, a dzięki bardzo dużej czułości wykorzystuje się ją do badania naczyń penisa. Za pomocą tej metody nie można jednak określić kierunku przepływu krwi.

## Technika badania i miejsce w diagnostyce zaburzeń erekcji

Ocenę ukrwienia prącia poprzedza miejscowa farmakostymulacja dojamista. W tym celu stosuje się środki o działaniu wazodylatacyjnym. Mogą one wywoływać erekcję bez pobudzenia seksualnego, ponieważ miejscowo rozkurczają mięśniówkę gładką ciał jamistych, zwiększając dopływ krwi do prącia. W diagnostyce zaburzeń wzwodu powszechnie stosuje się wstrzyknięcia papaweryny (w dawce 40–60 mg) lub prostaglandyny E1 (w dawce 5–20 µg). Papaweryna działa bezpośrednio na kanały wapniowe, zwiększając ucieczkę jonów z komórki, zaś prostaglandyna stymuluje produkcję tlenku azotu (NO) w obrębie śródbłonna zatok jamistych. Wykonując iniekcję dojamistą, należy uważnie dobrać miejsce wkłucia. Powierzchow-

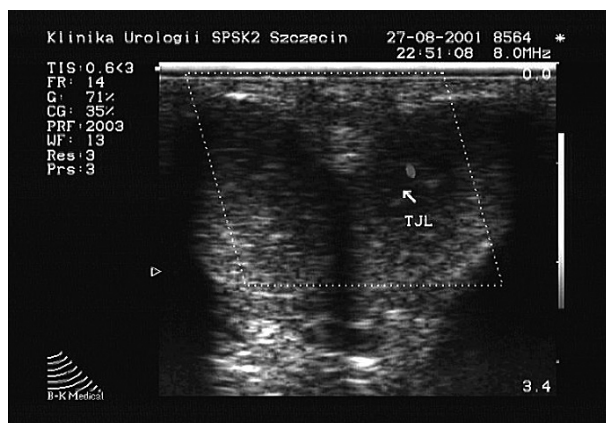
ne podanie leku nie wywoła erekcji, lecz może być przyczyną obrzęku, a nawet martwicy skóry. Należy także unikać wstrzyknięć do ciała gąbczastego [4].

Diagnostykę dopplerowską u mężczyzn z zaburzeniami erekcji przeprowadza się w pomieszczeniu zapewniającym prywatność. Pacjent pozostaje w pozycji leżącej na wznak. Badanie rozpoczyna się od oceny prącia w płaszczyźnie poprzecznej, ustawiając głowicę na powierzchni cewkowej lub grzbietowej. Uzyskane w ten sposób informacje o strukturze ciał jamistych pozwalają wstępnie zlokalizować naczynia. Ponadto, w przekroju poprzecznym obrazuje się 2 ciała jamiste otoczone błoną białawą oraz ciało gąbczaste. W centralnej części, przyśrodkowo, znajdują się tętnice głębokie prącia (ryc. 1). Budowę naczyń ocenia się na całej długości, od podstawy do żołądzi prącia.

Przekrój podłużny pozwala określić przebieg tętnic głębokich penisa w obrębie ciał jamistych, jak również zmierzyć prędkość przepływu krwi w ich świetle. Obraz uzyskuje się po ustawieniu głowicy ultrasonograficznej w osi długiej narządu. Wewnątrz badanego naczynia umieszcza się bramkę próbkującą (ryc. 2), która rejestruje prędkości poruszających się krwinek. Wynik pomiaru utrwała się w postaci widma dopplerowskiego (ryc. 3). Ocenę przepływu krwi rozpoczyna się 3–5 minut po iniekcji substancji wazoaktywnej i rejestruje symetrycznie z obu tętnic w ich części proksymalnej. Jeżeli różnica prędkości przekracza 10 cm/s, rozpoznaje się asymetrię [5].

Po iniekcji dojamistej zapis dopplerowski podlega ewolucji hemodynamicznej. W pierwszych minutach wzrasta zarówno prędkość szczytowo-skurczowa (PSV, *peak systolic velocity*), jak i końcowo-rozkurczowa (EDV, *end-diastolic velocity*). Przepływ krwi w trakcie erekcji zwiększa się 8–10-krotnie w porównaniu z fazą zwiotczenia prącia. Zmiany te są spowodowane gwałtownym spadkiem oporu naczyniowego w obrębie tętnic głębokich prącia, wywołanego relaksacją mięśni gładkich. Pod wpływem wypełniania się zatok ciał jamistych wzrasta ciśnienie w ich obrębie. Prędkość krwi podczas rozkurczu serca maleje sukcesywnie do 0. Zazwyczaj po upływie 15–20 minut od iniekcji następuje całkowita sztywność prącia (ryc. 4). Żyły odprowadzające krew z ciał jamistych są uciśnięte przez rozciągniętą błonę białawą. Ciśnienie wewnątrz zatok jamistych, w fazie rozkurczu serca, jest wyższe niż w naczyniach doprowadzających krew. Taki stan często powoduje występowanie fali zwrotnej w tętnicach głębokich w czasie pełnej sztywności prącia [6].

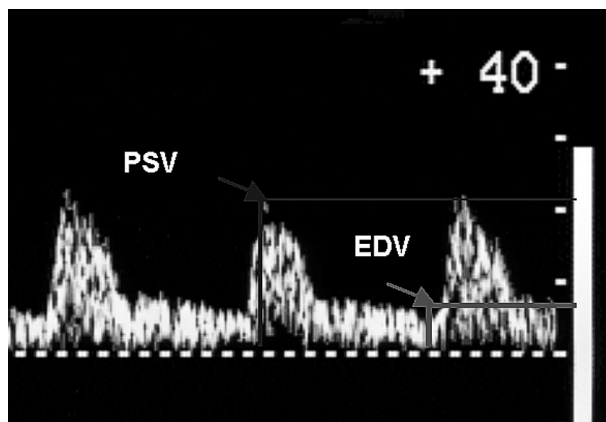
U pacjentów z ED o podłożu naczyniowym upośledzony jest mechanizm erekcji na poziomie dopływu lub odpływu krwi do i z prącia. Niekiedy patologie te współwystępują — określa się je wówczas mianem mieszanego, tętniczo-żylnego typu ED.



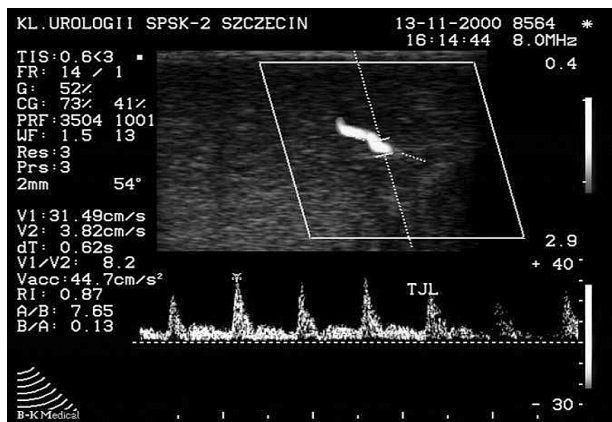
Rycina 1. Przekrój poprzeczny penisu. Głowicę ultrasonograficzną ustawiono na powierzchni cewkowej; widoczne są 2 ciała jamiste z tętnicami głębokimi prącia (lewe oznaczono strzałką); powyżej widoczne ciało gąbczaste



Rycina 2. Przekrój podłużny przez ciało jamiste. Obrazowanie przepływu metodą kodowania kolorem w tętnicy głębokiej prącia z zastosowaniem techniki *power Doppler*; w świetle naczynia bramka rejestrująca zapis widma dopplerowskiego



Rycina 3. Widmo dopplerowskie oraz pomiar wskaźników prędkości szczytowo-skurczowej (PSV) i prędkości końcowo-rozkurczowej (EDV), rejestrowanych w tętnicach głębokich prącia



**Rycina 4.** Zapis dopplerowski z tętnic głębokich prącia wykonany w trakcie erekcji. U góry widoczne naczynie z bramką mierzącą prędkość przepływającej krwi; u dołu — ocena widma dopplerowskiego; prawidłowe wartości prędkości szczytowo-skurczowej i końcowo-rozkurczowej

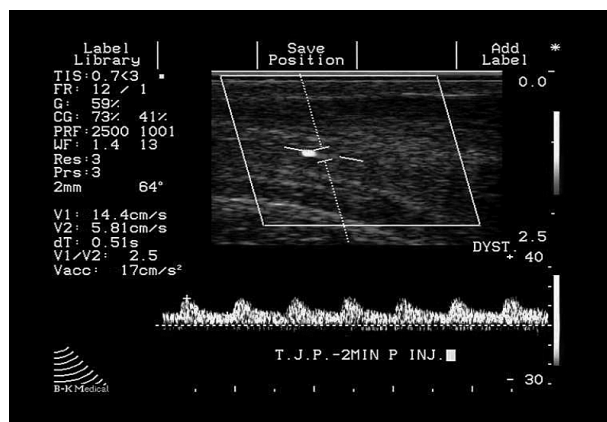
Analiza widma dopplerowskiego pozwala różnicować tło zaburzeń naczyniowych [7, 8]. Jej podstawą jest pomiar prędkości szczytowo-skurczowej (PSV), końcowo-rozkurczowej (EDV) oraz współczynnika oporności (RI, *resistive index*), określanego na podstawie wzoru  $RI = (PSV - EDV)/EDV$  (tab. 1).

Oceniając zapis dopplerowski, można diagnozować zwężenia naczyń położone proksymalnie w stosunku do miejsca przyłożenia głowicy (np. w tętnicach sromowych wewnętrznych). Są one przyczyną zmniejszonego dopływu krwi do prącia. Prędkość przepływu krwi w tętnicach organizmu zmienia się cyklicznie, odzwierciedlając fazę pracy serca. Jeśli dopływ do tętnicy jest prawidłowy, prędkość przepływu w fazie skurczu gwałtownie się zwiększa, osiągając maksymalne wartości. Utrudnienie dopływu powoduje zwolnienie narastania prędkości i obniżenie ich wartości. Dochodzi wtedy do spłaszczenia widma dopplerowskiego.

Porównanie wyników badań kontrastowych (arteriografii, kawernozografii) z zapisami widma dopplerowskiego przeprowadzone przez amerykańskich urologów (Lue, Quam, Benson) pozwoliło stwierdzić, że wartości PSV poniżej 25 cm/s wskazują na obecność zwężeń w naczyniach doprowadzających krew do zatok ciał jamistych (ryc. 5). Ich przyczyną może być miażdżycy, a także zwłóknienia lub zmiany po urazach miednicy mniejszej. Prędkość szczytowo-skurczowa wynosząca powyżej 30 cm/s wyklucza utrudnienia w dopływie krwi do prącia. Problemy z interpretacją dotyczą wartości granicznych między 25 a 30 cm/s. Nieznaczne obniżenie prędkości przepływu może być spowodowane wzmożonym napięciem w układzie współczulnym związanym z emocjami towarzyszącymi badaniu. Samodzielne aplikowanie leku w domu zazwyczaj eliminuje ten niekorzystny czynnik, zapewniając dobry efekt leczniczy [9, 10].

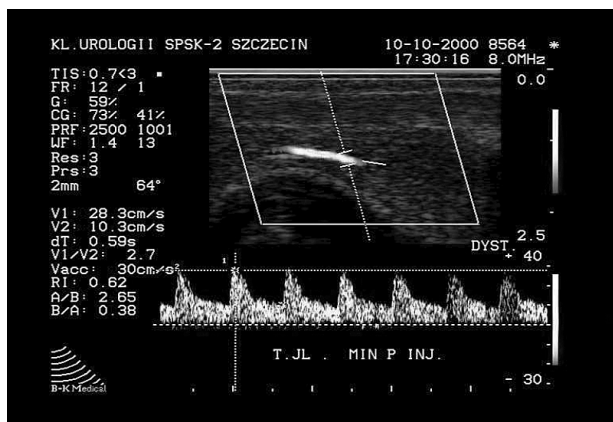
**Tabela 1.** Prędkość szczytowo-skurczowa (PSV), prędkość końcowo-rozkurczowa (EDV) oraz wskaźnik oporności (RI) u osób z prawidłową erekcją oraz z zaburzeniami wzdwo na tle naczyniowym. Wartości graniczne dla normy i patologii prędkości przepływu krwi przez tętnice głębokie prącia po stymulacji dojamistej środkiem o działaniu wazodylatacyjnym

	PSV [cm/s]	EDV [cm/s]	RI
Prawidłowa erekcja	> 25–30	< 7	> 0,80
Zaburzenia tętnicze	< 25	< 7	< 0,80
Zaburzenia żylnie	> 25–30	> 7	< 0,80
Zaburzenia mieszane	< 25	> 7	< 0,80

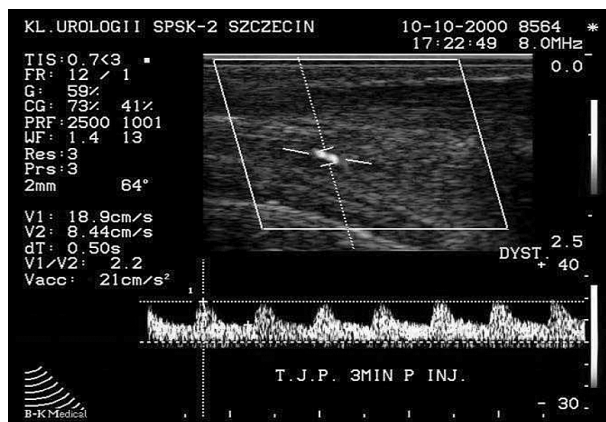


**Rycina 5.** Brak wzdwo wywołany zaburzeniami o charakterze tętniczym (upośledzonym dopływem krwi do prącia), o czym świadczy niska wartość prędkości szczytowo-skurczowej równa 14,4 cm/s; pomiar w tętnicy głębokiej prącia

Po wykluczeniu patologicznego dopływu krwi do prącia ocenia się sprawność funkcjonowania mechanizmu zamykającego odpływ żylny w trakcie erekcji. Wartości EDV w zapisie dopplerowskim wyższe niż 7 cm/s świadczą o wzmożonym odpływie krwi z zatok ciał jamistych (Patel) (ryc. 6). Wskaźnik ten należy oceniać po upływie 15–20 minut od wykonania iniekcji dojamistej środka wywołującego erekcję, ponieważ wzrost EDV bezpośrednio po farmakostymulacji obserwuje się również u zdrowych mężczyzn. Nadmierny odpływ krwi z prącia może być wywołany zwłóknieniem błony białawej, małą elastycznością żył lub obecnością przetok tętniczo-żylnych. Wtórny przyczynę może stanowić zmniejszona zdolność rozkurczania mięśni gładkich, tworzących ciała jamiste. Prędkość końcowo-rozkurczowa wynosząca poniżej 5 cm/s wyklucza obecność przecieku żylnego. Zakres wartości między 5 a 7 cm/s uznaje się za graniczny i w wypadku trudności z ustaleniem rozpoznania może być konieczne powtórzenie badania. Istnieje określona grupa pacjentów, u których stwierdza się współistnienie upośledzonego dopływu krwi do prącia z nadmierną



**Rycina 6.** Obrzmienie i wydłużenie prącia bez prawidłowej sztywności stwierdzone w badaniu klinicznym. W zapisie dopplerowskim utrzymują się wysokie wartości prędkości końcowo-rozkurczowej świadczące o żylnym podłożu zaburzeń erekcji (tzw. przecieku żylnym)



**Rycina 7.** Zaburzenia erekcji o etiologii mieszanej. Bramkę ustawiono na tętnicy głębokiej prącia. W zapisie dopplerowskim wykazano niską prędkość szczytowo-skurczową równą 18,9 cm/s oraz nieprawidłową prędkość końcowo-rozkurczową — 8,44 cm/s

ucieczką żylną (patologia mieszana ED) (ryc. 7). Ocena spektrum dopplerowskiego u tych osób wykazuje niskie wartości PSV i utrzymywanie się wysokich wartości EDV [8].

Badanie dopplerowskie penisa to postępowanie fakultatywne w diagnostyce ED. Zwykle wykonuje się je u chorych, którzy nie reagują na standardowe leczenie farmakologiczne, czyli u około 15–20% osób poddanych terapii zaburzeń wzwodu. Brak erekcji po wstrzyknięciu dojamistym środków o działaniu wazodylatacyjnym budzi podejrzenie zaburzeń o etiologii naczyniowej. W przypadku, gdy dopływ krwi do prącia jest nieznacznie zmniejszony i nic nie wskazuje na zaburzenie funkcjonowania mechanizmu żylny-okluzyjnego, pomocna w leczeniu jest modyfikacja składu i dawki aplikowanych środków farmakologicznych. Skuteczną metodą terapii ED u pacjentów z rozpoznaniem przeciekiem żylnym lub patologią tętniczo-żylną są aparaty próżniowe. Gumowy pierścień zakładany u podstawy prącia pozwala na czasowe zablokowanie odpływu krwi. W przypadku poważnego upośledzenia dopływu krwi do penisa wywołanego krytycznym zwężeniem tętnic sromowych lub głębokich prącia, stosowanie metod nieinwazyjnych jest mało skuteczne. U tych osób należy rozważyć wszczepienie protezy prącia [1, 5].

Dynamiczny rozwój farmakoterapii doustnej i miejscowej oraz rezygnacja z wielu metod leczenia operacyjnego ograniczyły do minimum wykorzystanie inwazyjnej diagnostyki radiologicznej (selektywna arteriografia, kawernozografia) na korzyść badań dopplerowskich.

## Piśmiennictwo

- Pollack H.M., McClennan B.L., Dyer R., Kenney P.J. Clinical urography. W.B. Saunders Company, Philadelphia 2000; 2615–2629.
- Krzanowski M., Plichta A. Atlas ultrasonografii naczyń. Wydawnictwo Medycyna Praktyczna, Kraków 2000.
- Klingler H.C., Kratzik A., Pycha A., Marberger M. Value of Power Doppler Sonography in the investigation of erectile dysfunction. *Eur. Urol.* 1999; 36: 320–326.
- Van Ahlen H., Peskar B.A., Sticht G., Hertfelder H.J. Pharmacokinetics of vasoactive substances administered into the human corpus cavernosum. *J. Urol.* 1994; 151: 1227–1230.
- Carlson C., Kirby R., Goldstein I. Textbook of erectile dysfunction. Isis Medical Media, Oxford 1999; 233–256.
- Schwartz A.N., Lowe M., Berger R.E. i wsp. Assessment of normal and abnormal erectile function: Color Doppler flow sonography versus conventional techniques. *Radiology* 1991; 180: 105–109.
- Benson C.B., Vickers M.A. Sexual impotence caused by vascular disease: Diagnosis with duplex sonography. *Am. J. Roentgenol.* 1989; 153: 1149–1153.
- Quam J.P., King B.F., James E.M. i wsp. Duplex and Color Doppler sonographic evaluation of vasculogenic impotence. *Am. J. Roentgenol.* 1989; 153: 1141–1147.
- Jarow J.P., Pugh V.W., Routh W.D., Dyer R.B. Comparison of penile duplex ultrasonography to pudendal arteriography. *Invest. Radiol.* 1993; 28: 806–810.
- Meyer J.M., Thipo P. The correlation among cavernous pressure, penile rigidity and resistance index. *J. Urol.* 1998; 160: 63–66.