

Submitted: 25.04.2014
Accepted: 07.05.2014

Standardy badań ultrasonograficznych Polskiego Towarzystwa Ultrasonograficznego – aktualizacja. Badanie aorty i tętnic kończyn dolnych

Standards of the Polish Ultrasound Society – update. Ultrasound examination of the aorta and arteries of the lower extremities

Grzegorz Małek¹, Michał Elwertowski², Andrzej Nowicki³

¹ Pracownia Ultrasonografii Naczyniowej i Echokardiografii, Zakład Radiologii, Instytut Gruźlicy i Chorób Płuc, Warszawa, Polska

² Klinika Chirurgii Ogólnej i Chorób Klatki Piersiowej, Warszawski Uniwersytet Medyczny, Warszawa, Polska

³ Zakład Ultradźwięków, Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, Warszawa, Polska

Correspondence: Prof. nadzw. dr hab. n. med. Grzegorz Małek, Pracownia Ultrasonografii Naczyniowej i Echokardiografii, Zakład Radiologii, Instytut Gruźlicy i Chorób Płuc, ul. Płocka 26, 01-134 Warszawa, e-mail: malekg@wp.pl

Słowa kluczowe

badanie dopplerowskie, tętnice kończyn dolnych, aorta brzuszna, wielkość zwężenia, blaszka miażdżycowa, owrzodzenie w blaszce miażdżycowej, zalecenia

Streszczenie

Badania ultradźwiękowe dopplerowskie mają tę przewagę nad innymi metodami obrazowania naczyń, że mogą być wykonywane przyłózkowo i pozwalają na ustalenie rozpoznania bez narażania pacjenta na transport czy promieniowanie rentgenowskie. Celem wykonywania badań tętnic kończyn dolnych i aorty jest obiektywne potwierdzenie wstępnego rozpoznania klinicznego, określenie lokalizacji zmian odpowiedzialnych za objawy choroby i określenie stopnia ich nasilenia oraz charakteru (np. zwapnienia, zmiany miękkie), a następnie ocena kryteriów hemodynamicznych. Podczas oceny aorty, oprócz pomiarów średnicy, zwracamy uwagę na światło naczynia (rozwarstwienia z wytworzeniem dwóch kanałów przepływu, odwarstwienia, balotowanie blaszek miażdżycowych itd.), obecność blaszek miażdżycowych z napływem do nich (PAU – owrzodzenie drążące w blaszce czy obecność zmian wokół aorty, np. zwłóknienie pozaotrzewnowe, tętniak zapalny). Dla rozpoznania tętniaka aorty brzusznej istotne jest powtarzalne mierzenie jej średnicy, a zwłaszcza jej wymiaru poprzecznego. W przypadku oceny wielkości zwężenia tętnic obwodowych na podstawie parametrów hemodynamicznych zwracamy także uwagę na wielkość morfologiczną tegoż zwężenia. Krążenie poboczne może zmniejszyć napływ głównym naczyniem, a co za tym idzie – uzyskiwane prędkości skurczowe są niższe i mogą zaniżyć ocenę wielkości zwężenia. Trudne do prześledzenia w całości są naczynia podudzi, co wynika zarówno z grubości mięśni, jak i z obecności zwapnień. Praca została przygotowana na podstawie *Standardów badań ultrasonograficznych Polskiego Towarzystwa Ultrasonograficznego* (2011) i zaktualizowana w oparciu o najnowsze doniesienia z piśmiennictwa.

Key words

Doppler examination,
lower limb arteries,
abdominal aorta,
the size of stenosis,
atherosclerotic plaque,
ulceration in the
atherosclerotic plaque,
recommendations

Abstract

A Doppler ultrasound examination has an advantage over other vessel imaging methods as it can be carried out by the patient's bedside and allows to make a diagnosis without exposing the patient to the inconvenience of transportation or an X-ray scan. The purpose of testing the lower extremities and the aorta is to objectively confirm a preliminary clinical diagnosis, localize lesions responsible for the symptoms of the disease, determine their severity and nature (e.g., if they are calcifications or soft lesions), and finally evaluate the hemodynamic criteria. In assessment of the aorta attention is paid not only to aortic diameter measurements, but also to the vascular lumen (dissections with the formation of two flow channels, detachments, balloting of atherosclerotic plaques, etc.) and the presence of atherosclerotic plaques with influx into them (PAU – penetrating ulcer in the plaque or lesions surrounding the aorta, such as retroperitoneal fibrosis or mycotic aneurysm). A correct diagnosis of an abdominal aortic aneurysm requires repeated measurements of the abdominal aorta diameter, and in particular its transverse dimension. When assessing the degree of peripheral arterial stenosis on the basis of hemodynamic parameters, degree of morphological stenosis must be taken into consideration. Collateral circulation may reduce the flow through the main vessel, and thus, the achieved systolic velocities are lower and may understate the degree of the assessed stenosis. Calf vessels are difficult to detect, which results both from the thickness of the muscle and the presence of calcifications. This article has been prepared on the basis of *Standards of the Polish Ultrasound Society* (2011) and updated on the basis of the latest reports from relevant literature.

Wprowadzenie

Ocena aorty brzusznej jest jednym z podstawowych elementów obrazowania struktur jamy brzusznej. Rozszerzenie badania o ocenę przepływów w naczyniach biodrowych oraz tętnicach kończyn dolnych poprzez obrazowanie w kolorze z oceną prędkości przepływu za pomocą rejestracji widm (PW doppler) pozwala na szybką i nieinwazyjną diagnostykę zmian w tych naczyniach – niedrożności, zwężenia, anomalii naczyniowych. W wielu ośrodkach chirurgicznych badanie ultrasonograficzne w połączeniu z oceną indeksów kostka–ramię jest podstawą wstępnej kwalifikacji chorych do dalszego postępowania.

Aparatura

Do badania aorty brzusznej i tętnic biodrowych stosujemy głowice convex, najczęściej szerokopasmowe 2–5 MHz, z minimum 128 kanałami nadawczo-odbiorczymi. W uzyskiwaniu wiarygodnych interpretacyjnie obrazów pomagają obrazowanie harmoniczne. Aparat musi być wyposażony w moduł dopplera kolorowego i dopplera mocy, pomiary prędkości powinny być wykonywane w trybie triplex – przy jednoczesnym ruchomym obrazie B oraz działających w trybie ciągłym modułach dopplera kolorowego i spektralnego.

Do badania tętnic obwodowych używamy głowic liniowych 5 MHz, 7,5 MHz lub szerokopasmowych o częstotliwościach 4–7 MHz, 5–10 MHz. Możliwe jest stosowanie głowic o wyższej częstotliwości, np. 5–12 MHz – mają one jednak mniejszy zasięg penetracji sygnału w głąb ciała, co utrudnia badanie u pacjentów o większej wadze. Z praktycznego punktu widzenia najlepszy wydaje się zakres 4–7 MHz.

Introduction

The evaluation of the abdominal aorta is one of the basic elements of abdominal imaging. Extending the examination by adding the assessment of flows in iliac vessels and lower limb arteries through color imaging and evaluation of flow velocity using spectral registration (PW Doppler) enables a fast and non-invasive diagnosis of lesions in these vessels – obstructions, stenoses, vascular anomalies. In many surgical centers an ultrasound test combined with the assessment of ankle-brachial indexes serves as a basis for the pre-qualification of patients for further proceedings.

Apparatus

The examination of the abdominal aorta and iliac arteries requires broadband 2–5 MHz convex transducers, with a minimum of 128 transceiver channels. Harmonic imaging helps to obtain reliable interpretive images. The scanner must be equipped with a color and power Doppler, and velocity measurements should be performed in a triplex mode – simultaneously with the moving image B, operating color and spectral Doppler modules.

The examination of peripheral arteries involves using linear 5 MHz, 7.5 MHz or broadband transducers with 4–7 MHz or 5–10 MHz frequencies. It is possible to use transducers of higher frequency, e.g., 5–12 MHz – but they have a smaller range of signal penetration into the body, making it difficult to examine overweight patients. From a practical point of view, it seems that the best range is 4–7 MHz.

The front of the transducer should have the length of 35–55 mm. A shorter one can be freely manipulated during

Czoło głowicy powinno mieć długość 35–55 mm – krótsze pozwala na swobodniejsze manipulowanie w czasie badania, dłuższe na jednoczesne obrazowanie dłuższych odcinków naczyń. Moduł dopplerowski musi także umożliwiać elektroniczne uchylenie wiązki rejestrującej sygnał. Konieczna jest opcja duplex/triplex. Zakres rejestrowanych prędkości dopplera impulsowego powinien być możliwie jak największy – minimum to 300–400 cm/s po korekcie kąta badania. Opcja kolorowa musi mieć szeroki zakres regulacji obrazowanych prędkości.

Dynamika obrazowania aparatu powinna być jak najwyższa (>140 dB), tak aby jednocześnie rejestrować małe echa od jednorodnych tkanek i względnie duże echa od ścianek naczynia.

Konieczne są także oprogramowanie pomiarowe oraz system archiwizacji i dokumentacji obrazów (wiodrukarka, dysk twardy HDD, nagrywarka DVD, port USB).

Przygotowanie do badania

Ponieważ część badania dotyczy struktur naczyniowych umiejscowionych w obrębie jamy brzusznej, pacjent podlega regułom stosowanym przy tego typu badaniu: nie powinien spożywać posiłków i napojów (szczególnie gazowanych) przez co najmniej 6–8 godzin przed badaniem, w dniu poprzedzającym musi ograniczyć pokarmy powodujące wzdęcia (surowe warzywa, owoce, słodczyce, czerstwe pieczywo), a także powstrzymać się od palenia papierosów przez 6 godzin przed badaniem. Osoby z większą nadwagą mogą przyjmować preparaty zmniejszające ilość gazów w jelitach.

Technika badania

Badanie rozpoczynamy od oceny naczyń wewnątrzbrzusznych – aorty i tętnic biodrowych – stosując głowicę convex 3,5 MHz. Wszystkie naczynia badamy w dwóch płaszczyznach, zaczynając od nadbrzusza – oceniamy średnicę całości dostępnego badaniem odcinka aorty brzusznej oraz obecność w jej obrębie zmian miażdżycowych, ze szczególnym uwzględnieniem okolicy odejścia tętnic nerkowych, przesuując głowicę ku dołowi do okolicy podziału. Następnie badamy aortę w płaszczyźnie podłużnej w celu oceny mniejszych nierównomierności światła, zmian miażdżycowych, a także sprawdzenia odejścia pnia trzewnego i tętnicy kręzkowej górnej. Dokładniejsze badanie naczyń odchodzących od aorty nie jest konieczne, niemniej w przypadku uwidocznienia anomalii warto zasygnalizować jej obecność. Ocenie podlega również przestrzeń zaotrzewnowa w bezpośrednim sąsiedztwie aorty. Okolica podziału aorty (odejście tętnic biodrowych wspólnych) jest wstępnie oceniana w płaszczyźnie poprzecznej, a następnie w płaszczyźnie podłużnej. W opcji koloru uwidaczniamy światło drożnych naczyń, dopplerem impulsowym oceniamy widmo i mierzymy prędkość skurczową.

W sytuacji rozpoznania patologii wymagana jest dokumentacja – zarówno morfologiczna, jak i zapisów zmian prędkości

the examination, while a longer one allows for a simultaneous imaging of longer segments of vessels. The Doppler module must also enable the electronic tilting of the signal recording beam. A duplex/triplex option is required. The range of recorded pulse Doppler velocities should be as wide as possible, with the minimum of 300–400 cm/s after adjusting the test angle. The color option must have a wide range of visualized velocities.

The imaging dynamics of the apparatus should be as high as possible (>140 dB), so that it can simultaneously record small echoes of homogeneous tissues and relatively large echoes of the vessel walls.

Measurement software and a system for the archiving and documentation of images (videoprinter, HDD, DVD, USB port) are also required.

Preparation for the scan

As part of the examined vascular structures are located within the abdominal cavity, the patients must follow rules applicable to this type of examination: they should not eat or drink (especially carbonated beverages) for at least 6–8 hours prior to the scan, on the preceding day they need to limit the consumption of flatulence-producing foods (raw vegetables, fruit, sweets, stale bread), and refrain from smoking for 6 hours prior to the examination. Significantly overweight patients may take preparations reducing the amount of intestinal gas.

Scanning technique

The test begins with the assessment of intra-abdominal vessels – the aorta and iliac arteries – with a 3.5 MHz convex transducer. All the vessels are examined in two planes, starting from the upper abdomen. The diameter of the entire available section of the abdominal aorta is evaluated and checked for atherosclerotic lesions, with particular emphasis on the area of the renal arteries, next the transducer is moved downwards to the division of the aorta. The aorta is scanned in the longitudinal plane in order to evaluate smaller irregularities of the lumen and atherosclerotic lesions, as well as examine the celiac trunk and the superior mesenteric artery. A closer examination of the vessels extending from the aorta is not necessary, but if any anomalies are found, it is advisable to indicate their presence. The retroperitoneal space located in the immediate vicinity of the aorta should also be evaluated. Aortic bifurcation area (splitting into common iliac arteries) is first evaluated in the transverse, later by the longitudinal plane. The color option exposes the lumen of patent vessels, the pulse Doppler assesses the spectrum and measures systolic velocity.

If a pathology is found, documentation including the morphology and records of flow velocity changes must be prepared. When large atherosclerotic lesions are diagnosed, their thickness must be measured.

przepływu. W przypadku większych zmian miażdżycowych wskazane jest wykonanie pomiarów ich grubości.

Tętnice biodrowe wspólne ze względu na złą dostępność anatomiczną stanowią wyzwanie diagnostyczne, szczególnie u osób z nadwagą.

Gazy w jelitach utrudniają badanie – uwidocznienie naczyń wymaga dużej siły i często długotrwałego ucisku (bolesnego dla pacjenta), ale stosujemy go tylko wtedy, gdy podczas wstępnej oceny nie stwierdzamy tętniaka aorty czy tętnic biodrowych.

Rejestracja widma dopplerowskiego powinna być prowadzona w trakcie przesuwania głowicy nad całą długością naczyń, ponieważ zaburzenia przepływu związane ze zwężeniami mogą zanikać już po 3–4 cm od zwężonego odcinka.

Uwidocznienie odejścia tętnicy biodrowej wewnętrznej ma znaczenie z trojakiemu powodu. Po pierwsze pozwala na odróżnienie zwężeń umiejscowionych w tętnicy biodrowej wspólnej od znajdujących się w tętnicy zewnętrznej. Po drugie umożliwia ocenę początkowego odcinka tętnicy biodrowej zewnętrznej, miejsca częstej lokalizacji zmian miażdżycowych. Po trzecie pozwala na zbadanie drożności i kierunku przepływu krwi w tętnicy biodrowej wewnętrznej, która może być źródłem zaopatrzenia kończyny w krew przy wyraźnym zwężeniu/niedrożności tętnicy biodrowej wspólnej.

Duży ucisk wymagany jest również przy badaniu proksymalnych odcinków tętnic biodrowych zewnętrznych. W odcinku naczynia położonym bliżej powłok uzyskujemy dobry kąt pomiędzy osią tętnicy i kierunkiem wiązki fali ultradźwiękowej. Należy zapisać prędkość przepływu dla dokumentacji badania.

Następnie po zmianie głowicy convex 3,5 MHz na liniową – naczyniową kontynuujemy badanie. Oceniamy każdą kończynę osobno, rozpoczynając w okolicach pachwinowych od tętnicy udowej wspólnej, badając zarówno widmo i prędkość przepływu, jak też wielkość, charakter oraz grubość zmian miażdżycowych. Około 4 cm poniżej więzadła pachwinowego tętnica udowa wspólna dzieli się na tętnicę głęboką uda i tętnicę udową powierzchowną (odcinek powierzchowny tętnicy udowej). Oceniamy i opisujemy całą długość tętnicy udowej powierzchownej. Należy także ocenić przepływ w początkowym odcinku tętnicy udowej głębokiej i uwzględnić to w opisie.

Badanie kontynuujemy, przesuując głowicę ustawioną wzdłuż osi naczynia nad tętnicą udową powierzchowną, kierując się ku dołowi do kanału Huntera, gdzie uwidocznienie naczynia staje się trudne. Badanie może ułatwić zastosowanie głowicy convex 3,5 MHz, która dzięki głębszej penetracji pozwala na wgląd w przebieg naczyń i zapis widma.

Kolejnym etapem jest ocena tętnicy podkolanowej – badanie wykonujemy u pacjenta leżącego na brzuchu (lub na boku), oceniając naczynie od dolnego odcinka tętnicy udowej, przesuując głowicę ku dołowi do odejścia tętnicy piszczelowej przedniej i dalej nad pięń piszczelowo-strzałkowy.

Due to poor anatomical availability, the common iliac arteries pose a diagnostic challenge, especially in overweight individuals.

Intestinal gases make the examination difficult – vascular imaging requires a lot of strength and prolonged compression (which is painful for the patient). However, it is applied only if no aneurysms in the aorta or iliac arteries were diagnosed during the preliminary evaluation.

The registration of the Doppler spectrum should be carried out while moving the transducer over the entire length of the vessel, as flow disturbances associated with stenosis may disappear 3–4 cm away from the tapered section.

Visualization of the internal iliac artery origin is important because of three reasons. Firstly, it allows to distinguish stenoses located in the common iliac artery from those located in the external artery. Secondly, it enables the evaluation of the initial section of the external iliac artery where atherosclerotic lesions can frequently be found. Thirdly, it allows to investigate the patency and direction of blood flow in the internal iliac artery, which may be a source of blood supply to the limb in case of a distinct stenosis/occlusion of the common iliac artery.

Compression is also required when examining the proximal segments of external iliac arteries. In the section of a vessel located closer to the anterior wall of the abdomen, a good angle can be obtained between the axis of the artery and the direction of the ultrasonic wave beam. The flow velocity should be recorded for the documentation.

The examination is continued after the convex 3.5 MHz transducer is replaced with a linear-vascular one. Each extremity is examined individually, starting around the groin area from the common femoral artery. Not only the spectrum and flow velocity, but also the size, nature and thickness of atherosclerotic lesions are examined. About 4 cm below the inguinal ligament the common femoral artery bifurcates into a deep femoral artery and a superficial femoral artery (superficial segment of the femoral artery). The entire length of the superficial femoral artery is assessed and described. The flow velocity in the initial section of the deep femoral artery should be examined and included in the description.

Next, the transducer placed along the axis of the vessel above the superficial femoral artery is guided downwards in the direction of the Hunter's canal, where the vessel imaging becomes difficult. We may use a convex 3.5 MHz transducer, which due to deeper penetration enables an insight into the course of the vessels and allows recording of the spectrum.

The next step is to evaluate the popliteal artery – the examination is performed with the patient lying in a prone (or lateral) position. The vessel is evaluated starting from the lower section of the femoral artery, with the transducer moved downwards to the origin of the front tibial artery and further over the tibiofibular trunk. Velocity

Pomiarów prędkości należy dokonywać w środkowym odcinku naczynia, gdzie przemieszczająca się nieco ukośnie tętnica tworzy korzystny kąt do rejestracji widm dopplerowskich.

Tętnice podudzia badane są głównie w płaszczyznach podłużnych. Tętnicę piszczelową przednią najłatwiej uwidocznisz w górnej części łydki (gdzie przechodzi przez błonę międzykostną) – ustawiając głowicę podłużnie pomiędzy strzałką i piszczelą, około 5 cm poniżej rzepki. Nawet u blisko 10% populacji brak jest wyraźnie wykształconego naczynia.

Tętnicę strzałkową badamy, ustawiając głowicę równoległe do bocznej krawędzi strzałki, a następnie przesuwając ją ku tyłowi i zaginając do przodu – ten sposób pozwala na uwidocznienie zarówno żył, jak i tętnicy strzałkowej. Tak samo ustawienie głowicy w środkowej części podudzia w projekcji poprzecznej przy strzałce, połączone w uciskiem, wykazuje tętniące naczynie – pozwala to na jego lokalizację.

Tętnicę piszczelową tylną najlepiej jest uwidocznisz w okolicy kostki przyśrodkowej, a następnie przesuwając głowicę ustawioną wzdłuż osi długiej naczynia ku górze i obserwując naczynie przemieszczające się w głąb łydki pomiędzy mięśniami.

Widmo przepływu w naczyniach

Aorta brzuszna wykazuje trójfazowe widmo przepływu; podobne widma w warunkach prawidłowych występują w tętnicach biodrowych, udowych powierzchownych, podkolanowych oraz podudzia i obwodowych, jednak z wiekiem ujemna faza zanika. Rutynowo pomiary należy wykonywać i dokumentować: w aorcie, dolnych odcinkach tętnic biodrowych zewnętrznych oraz tętnicach podkolanowych.

W przypadku stwierdzenia patologii dokumentuje się zmiany przepływu powyżej zwężenia, przyspieszenie przepływu w miejscu zwężenia, prędkości i zmiany spektrum w naczyniu poniżej zwężenia oraz zaburzenia przepływu w obwodowych częściach kończyny. W tab. 1 przedstawiono prawidłowe prędkości przepływu w tętnicach kończyn dolnych. Z wiekiem prędkości przepływu w naczyniach ulegają zmniejszeniu.

measurements should be made in the middle section of the vessel where the artery is positioned in a slightly oblique manner which creates a favorable angle for the registration of the Doppler spectra.

Calf arteries are examined mainly in longitudinal planes. Anterior tibial artery is easily visualized in the upper part of the calf (where it passes through the interosseous membrane) by placing the transducer longitudinally between the fibula and the tibia, approximately 5 cm below the patella. This vessel may be absent in as many as 10% of the population.

Fibular artery is examined by placing the transducer parallelly to the side edge of the fibula, and then sliding it towards the back and bending forward – this method allows to visualize both the veins and the fibular artery. Positioning the transducer in the middle section of the calf in the lateral projection by the fibula and applying pressure reveals a pulsating vessel, thus making it possible to locate it.

Posterior tibial artery is best visualized in the medial malleolus area. The transducer oriented along the long axis of the vessel is then moved upwards and the vessel can be translocating into the calf between the muscles.

Blood flow spectrum

The abdominal aorta demonstrates a three-phaseic flow spectrum. Similar spectra normally occur in the iliac, superficial femoral, popliteal, calf and peripheral arteries, but the second component of Doppler spectra disappears as the patient's age increases. Routinely, the measurements should be performed and documented in: the aorta, the lower sections of the external iliac artery and popliteal arteries.

In the case of pathological changes the following should be documented: flow changes above the stenosis, flow velocity at the stenosis site, velocities and spectral changes in the vessel below the stenosis and flow disturbances in peripheral sections of the limb. Normal flow velocities in the arteries of the lower extremities are presented in tab. 1. As the patient's age increased, the blood flow rates become reduced.

Aorta brzuszna <i>Abdominal aorta</i>	70–100 cm/s
Tętnice biodrowe wspólne <i>Common iliac arteries</i>	70 ± 20 cm/s
Tętnice biodrowe zewnętrzne <i>External iliac arteries</i>	120 ± 20 cm/s
Tętnice udowe wspólne <i>Common femoral arteries</i>	115 ± 25 cm/s
Tętnice udowe powierzchowne (część bliższa) <i>Superficial femoral arteries (proximal section)</i>	90 ± 15 cm/s

Tab. 1. Prędkości przepływu w naczyniach kończyn dolnych

Tab. 1. Flow velocities in the vessels of the lower extremities

Ocena aorty brzusznej

Podczas oceny aorty, oprócz pomiarów średnicy, zwracamy uwagę na światło naczynia (rozwarstwienia z wytworzeniem dwóch kanałów przepływu, odwarstwienia i balotowanie blaszek miażdżycowych itd.), obecność blaszek miażdżycowych z napływem krwi do nich (PAU – owrzodzenie drążące w blaszce – ryc. 1) czy obecność zmian wokół aorty (np. zwłóknienie pozaotrzewnowe – ryc. 2; tętniak zapalny – ryc. 3).

Podstawy rozpoznawania zwężeń tętnic kończyn dolnych

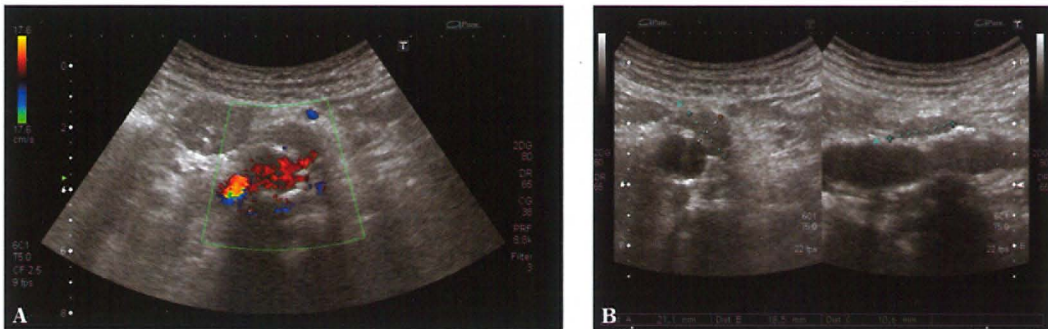
Celem wykonywania badań tętnic kończyn dolnych jest obiektywne potwierdzenie wstępnego rozpoznania

Evaluation of the abdominal aorta

In aortic assessment, attention should be paid not only to diameter measurements, but also to the lumen of the vessel (dissections with the formation of two flow channels, detachments and the balloting of atherosclerotic plaques, etc.), the presence of atherosclerotic plaques with inflow of blood into them (PAU – penetrating ulcer in the lamina – fig. 1) or the presence of lesions around the aorta (e.g., retroperitoneal fibrosis – fig. 2; mycotic aneurysm – fig. 3).

Diagnosis of the lower limb stenosis

The purpose of Doppler examination of lower extremities and the aorta is to objectively confirm the preliminary



Ryc. 1. PAU – owrzodzenie drążące w blaszce miażdżycowej; A. widoczna blaszka miażdżycowa 21 × 18 × 10 mm; B. widoczny napływ do blaszki

Fig. 1. PAU – penetrating ulceration in the atherosclerotic plaque: A. visible arteriosclerotic plaque 21 × 18 × 10 mm; B. visible inflow into the plaque



Ryc. 2 A, B. Zwłóknienie pozaotrzewnowe. Hipoechoiczny „mankiet” wzdłuż aorty; C. obejmuje także tętnicę kręzkową dolną

Fig. 2 A, B. Retroperitoneal fibrosis. Hypoechoic “cuff” along the aorta; C: it also comprises the inferior mesenteric artery



Ryc. 3. Tętniak zapalny. Wokół echogenicznych odbić ściany tętniaka widoczny obszar o niższej echogeniczności (widoczny pomiar grubości tego obszaru)

Fig. 3. Mycotic aneurysm. Around the echogenic reflections of the aneurysm wall a visible area of lower echogenicity can be seen (visible measurement of the thickness of the area)

klinicznego, określenie lokalizacji zmian odpowiedzialnych za objawy choroby oraz ocena stopnia ich nasilenia i charakteru (np. zwapnienia, zmiany miękkie), a następnie kryteriów hemodynamicznych. Pozwala to na wstępne planowanie skutecznej rewaskularyzacji (proksymalna vs kombinowana rewaskularyzacja zmian wielopoziomowych).

Lokalizacja zmian miażdżycowych:

- w tętnicach biodrowych blaszki są zwykle umiejscowione na tylnej ścianie naczynia;
- typowo zmiany miażdżycowe tworzą się w okolicy podziału naczyń;
- u pacjentów z cukrzycą często występują zwężenia tętnicy głębokiej uda;
- naczynia podudzi z tworzeniem zwapnień w błonie śródkowej – wymagają one szczególnie dokładnej oceny.

W rozpoznawaniu stopnia zaburzeń hemodynamicznych spowodowanych przez zwężenie podstawowe znaczenie ma pięć czynników:

- morfologiczna ocena zmian;
- zaburzenia przepływu na poziomie zwężenia;
- implikacje hemodynamiczne zwężenia wyrażające się zaburzeniami prędkości i widma przepływu w naczyniach poniżej zwężenia;
- wielopoziomowe zwężenia powodujące różnorodne zaburzenia prędkości i charakteru przepływu powyżej zwężeń, pomiędzy nimi i poniżej;
- ocena przepływu tętniczego w kończynach w przypadkach jedno-/wielopoziomowych zwężeń umiejscowionych we wszystkich ocenianych strukturach naczyniowych.

Kryteria hemodynamiczne rozpoznawania zwężenia światła tętnicy obwodowej

Dla oceny stopnia zwężenia (ryc. 4) możliwe są dwie metody.

Kryteria oparte na ocenie stosunku szczytowych prędkości skurczowych (modyfikacja według: Kohler i wsp., 1987) przedstawia tab. 2.

Kryteria oparte na bezwzględnej wartości szczytowej prędkości skurczowej (Cosman i wsp., 1989) przedstawia tab. 3.

Najważniejszym czynnikiem zmieniającym wielkość prędkości w miejscu zwężenia jest obecność krążenia pobocznego przed samym zwężeniem. Niski opór w krążeniu pobocznym powoduje zaniżenie uzyskiwanych prędkości w miejscu zwężenia, gdyż duża część krwi odpływa do tych naczyń. Wskaźnikiem dużego oporu (braku skutecznego krążenia obocznego przed zwężeniem), jakie daje zwężenie, jest specyficzny zapis widma (ryc. 5). Zdolność badania USG do precyzyjnego określania stopnia zwężenia naczyń maleje przy wielopoziomowych zwężeniach.

clinical diagnosis, localize lesions responsible for the symptoms of the disease, determine their severity and nature (e.g., if they are calcifications or soft lesions), and finally evaluate the hemodynamic criteria. This allows for preliminary planning of effective revascularization (proximal vs. combined revascularization of multi-level lesions).

Locations of atherosclerotic lesions:

- in iliac arteries the plaques are usually located on the back wall of the vessel;
- atherosclerotic lesions are typically formed in vessel bifurcation points;
- diabetic patients are often diagnosed with deep femoral artery stenosis;
- calf vessels with calcifications forming in the central membrane – those require careful evaluation.

Five factors are crucial in the diagnosis of the degree of hemodynamic changes caused by stenosis:

- morphological evaluation of the changes;
- flow disturbances at the stenosis level;
- hemodynamic implications of the stenosis expressed by disturbances in the velocity and spectrum of the flow in vessels located below the stenosis;
- multilevel stenoses causing various changes in velocity and nature of the flow above, between and below the stenoses;
- assessment of blood flow in the extremities in cases of single- or multi-level stenoses located in all evaluated vascular structures.

Hemodynamic criteria for diagnosing the stenosis of peripheral arterial lumen

Two methods can be used to evaluate the degree of stenosis (fig. 4).

Criteria based on the evaluation of the peak systolic velocity ratio (modified by Kohler *et al.*, 1987) are presented in tab. 2.

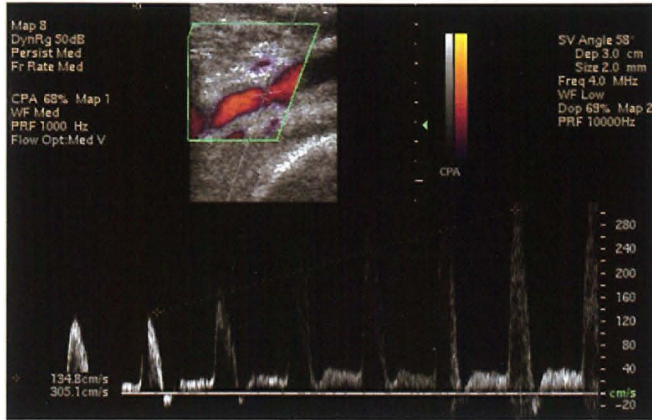
Criteria based on the systolic velocity absolute peak value (Cosman *et al.*, 1989) are presented in tab. 3.

The most important factor changing the velocity at the stenosis site is collateral circulation proximal to the stenosis. Low resistance in the collateral circulation results in the underestimation of velocities reached at the stenosis site since a lot of blood flows into these vessels. High resistance (lack of effective collateral circulation proximal to the stenosis) resulting from stenosis is indicated by an specific spectrum record (fig. 5). An ultrasound examination is less able to accurately determine the degree of stenosis in the case of multilevel stenoses.

Opis badania

Musi on zawierać:

- datę badania;
- imię i nazwisko badanego, wiek/ datę urodzenia;
- nazwę aparatu, rodzaj głowicy z podaniem częstotliwości.



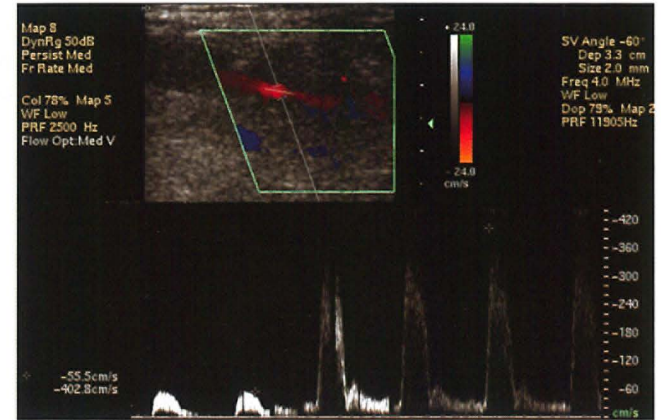
Ryc. 4. Pomiar prędkości w zwężeniu tętnicy obwodowej. W zwężeniu prędkość skurczowa wzrosła ze 134 cm/s do 305 cm/s. Poszerzyło się okno widmowe

Fig. 4. Velocity measurement in the peripheral arterial stenosis. Systolic velocity in the stenosis increased from 134 cm/s to 305 cm/s. Dilated spectral window

Test description

Test description must include:

- the date of the test;
- patient's name, age/ date of birth;
- the name of the scanner, transducer type and frequency.



Ryc. 5. Widmo przed oporowym zwężeniem sugerujące brak odpływu do krążenia pobocznego tuż przed zwężeniem. Przed zwężeniem prędkość 55 cm/s – zwraca uwagę płaski kształt piku skurczowego, sugerujący opór związany z dużą wielkością zwężenia. W zwężeniu prędkość wzrosła do 402 cm/s

Fig. 5. The spectrum before the resistant stenosis suggests the lack of outflow into the collateral circulation just proximal to the stenosis. Velocity before the stenosis is 55 cm/s – the flat shape of the systolic peak suggests resistance related to the tight stenosis. The velocity inside the stenosis increased to 402 cm/s

1	Prawidłowe naczynie – przepływ trójfazowy, bez poszerzenia spektrum <i>A normal vessel – three-phase flow, no spectral dilation</i>
2	Zwężenie <20% – trójfazowe widmo przepływu z niewielkim poszerzeniem widma, niewielki wzrost przepływu, nieprzekraczający 30% w porównaniu z odcinkiem proksymalnym. Widmo przepływu proksymalnie i dystalnie od zwężenia prawidłowe <i>Stenosis <20% – a three-phase flow spectrum with slight spectral dilation, a small increase in the flow not exceeding 30% compared to the proximal section. Normal spectrum of the flow proximally and distally from the stenosis</i>
3	Zwężenie 20–49% – w miejscu zwężenia zachowane trójfazowe widmo ze zmniejszającą się w miarę narastania zmian falą zwrotną, wyraźne poszerzenie widma przepływu z wypełnianiem okna widmowego, wzrost PSV w miejscu zwężenia o 30–100% w porównaniu z odcinkiem proksymalnym. Widmo przepływu dystalnie od zwężenia prawidłowe <i>20–49% stenosis – a three-phase spectrum retained at the stenosis site with a retrograde wave decreasing proportionally to the increase in the number of lesions, distinct spectral dilation with the filling of the spectral window, a 30–100% increase in PSV at the stenosis site compared to the proximal section. Normal spectrum of the flow proximally and distally from the stenosis</i>
4	Zwężenia 50–99% – jednofazowy przepływ w miejscu zwężenia z brakiem fali zwrotnej, poszerzenie widma (z wyraźną turbulencją przy większych zwężeniach), ponad dwukrotny wzrost PSV w porównaniu z proksymalnym odcinkiem naczynia. Obwodowo przepływ jednofazowy ze zmniejszeniem prędkości zależnym od stopnia zwężenia <i>50–99% stenosis – a single-phase flow at the stenosis site with no retrograde wave, spectral dilation (with a distinct turbulence in larger stenoses), over two-fold increase in PSV compared to the proximal segment of the vessel. Peripherally, a single-phase flow with a reduced velocity depending on the degree of stenosis</i>
5	Niedrożność naczynia – brak sygnału kolorowego i przepływu w świetle naczynia. Powyżej przepływ zwolniony z podwyższeniem oporów, naczynia obwodowe ze zwolnionym jednofazowym przepływem. W okolicy dolnej granicy niedrożności często widoczne są naczynia krążenia obocznego, z niefizjologicznymi kierunkami przepływu. Przy niedrożnościach naczyń biodrowych może występować odwrócenie kierunku przepływu w większych pniach naczyniowych (np. tętnicy głębokiej uda) <i>Vascular obstruction – no color signal or flow in the vessel lumen. Slower flow with increased resistance above the vessel, slower single-phase flow in the peripheral vessels. Collateral vessels with non-physiological flow directions are often visible in the vicinity of the lower edge of the obstruction. In case of obstructed iliac vessels a reversed flow direction in larger vascular trunks (e.g., the deep femoral artery) may occur</i>

Tab. 2. Kryteria oparte na ocenie stosunku szczytowych prędkości skurczowych (modyfikacja według: Kohler i wsp., 1987)

Tab. 2. Criteria based on the evaluation of the peak systolic velocity ratio (modified by Kohler et al., 1987)

	PSV cm/s	Proporcja prędkości <i>Velocity ratio</i>
Prawidłowe <i>Normal</i>	<150	<1,5:1
30–49%	150–200	1,5:1–2:1
50–75%	200–400	2:1–4:1
>75%	>400	>4:1
Niedrożność <i>Occlusion</i>	Brak przepływu <i>No flow</i>	

Tab. 3. Kryteria oparte na bezwzględnej wartości szczytowej prędkości skurczowej (Cosman i wsp., 1989)

Tab. 3. Criteria based on the systolic velocity absolute peak value (Cosman et al., 1989)

Aorta

- Średnica (równomierna/nierównomierna).
- Obecność zmian miażdżycowych (w przypadku większych zmian z określeniem ich echogeniczności).
- Przy poszerzeniach: długość zmienionego odcinka, maksymalne wymiary poprzeczne, średnica i długość szyi górnej (przybliżona odległość górnej granicy tętniaka od odejścia tętnic nerkowych), średnica i długość szyi dolnej (aorta za tętniakiem – stosunek dolnej granicy tętniaka do podziału aorty i początkowych odcinków tętnic biodrowych).
- Opis ewentualnych zmian w sąsiedztwie aorty.
- W przypadku patologii można podać prędkości przepływu i charakter widma (lub udokumentować je na zdjęciu).

Tętnice biodrowe

- Drożność naczyń.
- W przypadku zmian miażdżycowych – charakter blaszki, umiejscowienie.
- Przy zwężeniach – największe prędkości przepływu w miejscu zwężenia oraz widmo przepływu w zwężeniu oraz poniżej, w przypadku istotniejszych patologii zmiany średnicy naczyń.

Tętnice udowe

- Drożność naczyń.
- Obecność i charakter zmian miażdżycowych.

Tętnice udowe powierzchowne

- Drożność naczyń.
- Obecność i charakter zmian miażdżycowych.
- Rozmieszczenie zmian w obrębie naczyń (np. początkowy odcinek, zmiany narastające obwodowo).
- Przy zwężeniach – widma i prędkości przepływu powyżej zwężenia, w okolicy zwężenia oraz rejestrowane 3–4 cm poniżej.

Tętnice podkolanowe

- Drożność naczyń.
- Obecność i charakter zmian miażdżycowych.

Aorta

- Diameter (uniform/non-uniform).
- The presence of atherosclerotic lesions (including the echogenicity of major lesions).
- In case of dilatations: the length of the dilated section, maximum transverse dimensions, upper neck diameter and length (the approximate distance between the upper edge of the aneurysm and the origin of renal arteries), lower neck diameter and length (the aorta located behind the aneurysm – distance from the lower edge of the aneurysm to the aortic bifurcation and the initial sections of iliac arteries).
- A description of any changes in the vicinity of the aorta.
- In the case of pathology, the flow velocity and the nature of the spectrum may be specified (or documented in a photo).

Iliac arteries

- Vascular patency.
- In case of atherosclerotic lesions – the nature and location of plaque.
- In case of stenoses – the highest flow velocities at the stenosis site, the spectrum of the flow in the stenosis and below it, and changes in vascular diameter in the case of major pathologies.

Femoral arteries

- Vascular patency.
- The presence and nature of atherosclerotic lesions.

Superficial femoral arteries

- Vascular patency.
- The presence and nature of atherosclerotic lesions.
- Distribution of lesions within the vessels (e.g., the initial section, a number of lesions increasing peripherally).
- In case of stenoses – the spectra and velocities of the flow above the stenosis, in its vicinity and 3–4 cm below.

Popliteal arteries

- Vascular patency.

- Charakter spektrum przepływu (dwu-/trójfazowy).
- W przypadkach zmian patologicznych w naczyniach powyżej należy podać występujące w nich prędkości przepływu (poza udokumentowaniem zmian).
- Przy zwężeniach prędkości w obrębie zwężenia oraz charakter widma i prędkości przepływu w naczyniu poniżej zwężenia.

Tętnice podudzia

- Drożność naczyń.
- Charakter widma przepływu (dwu-/trójfazowy vs jedno-fazowy) w tętnicach grzbietowych stopy i tętnicach piszczelowych tylnych.

Poszerzenia naczyń

W przypadku poszerzeń naczyń na wszystkich poziomach należy podać lokalizację zmiany, długość poszerzonego odcinka, średnicę/wymiary poprzeczne, obecność skrzeplin oraz widmo przepływu poniżej zmiany. Tętniak jest definiowany jako poszerzenie światła naczynia przekraczające 50% średnicy tego samego naczynia mierzonego powyżej lub (lepiej) poniżej zmiany. W przypadku aorty brzusznej także poszerzenie 30 mm jest uważane za tętniak, a w przypadku tętnicy biodrowej wspólnej – 20 mm.

Dla czytelności opisu w przypadku zmian każdą kończynę opisujemy oddzielnie.

Opis badania powinien kończyć się wnioskami podsumowującymi stwierdzone patologie, z określeniem miejsc niedrożności naczyń lub procentowym określeniem stopnia ich zwężenia oraz zaleceniami dotyczącymi dalszej diagnostyki i konsultacji lekarza specjalisty.

Dokumentacja badania

Dołączona do badania dokumentacja zdjęciowa obejmuje:

W każdym przypadku:

- zdjęcie aorty w osi długiej i poprzecznej z pomiarem średnicy;
- zapis widma przepływu w tętnicach biodrowych zewnętrznych w ich środkowo-dolnym odcinku;
- zapis widma przepływu w tętnicach podkolanowych.

Przy istotniejszych zmianach patologicznych:

- zdjęcie morfologiczne patologii;
- zapis widma w miejscu zwężenia oraz 3–4 cm poniżej;
- zapis widma przepływu w tętnicy piszczelowej tylnej w kończynie ze zmianami;
- przy tętniakach – zdjęcia w płaszczyźnie podłużnej i poprzecznej + zapis widma przepływu w niezmiennym odcinku naczynia poniżej.

- The presence and nature of atherosclerotic lesions.
- The nature of the spectral flow (two-phase and three-phase).
- In case of pathological lesions in the vessels located above, blood flow velocities within them should be recorded (besides documenting the lesions).
- In case of stenoses – velocities within the stenosis and the nature of the spectrum and flow velocity in the vessel below the stenosis should be recorded.

Calf arteries

- Vascular patency.
- The nature of the spectral flow (two-phase/three-phase vs. single-phase) in the dorsal foot and posterior tibial arteries.

Vascular dilatations

For vessels dilated at all levels the following should be specified: the location of the lesion, the length of the extended section, diameter measurements/transverse dimensions, the presence of blood clots and the flow spectrum below the lesion. An aneurysm is defined as dilatation of the lumen exceeding 50% of the diameter of the same vessel measured above or (preferably) below the lesion. In the case of the abdominal aorta, a 30 mm dilatation is considered an aneurysm, in the case of the common iliac artery – a 20 mm one.

In the case of lesions, each extremity is described separately for the clarity of the description.

The test description end with conclusions summarizing the observed pathologies, specifying the locations of vascular occlusions or indicating the percentage degree of their constriction. It should also include recommendations for further diagnostics and consultations with a specialist.

Test documentation

The photographic documentation enclosed with the test results includes:

In each case:

- an image of the aorta in long and transverse axes along with the aortic diameter measurement;
- a record of the spectrum of the flow in external iliac arteries in their mid-lower section;
- a record of the spectrum of the flow in the popliteal arteries.

In case of major pathological lesions:

- an image of the pathology;
- a record of the spectrum at the stenosis site and 3–4 cm below;

Podsumowanie

Badanie USG dopplerowskie kończyn dolnych służy do wstępnej oceny stanu naczyń. Decyzję o wykonaniu, rodzaju i rozległości zabiegu operacyjnego chirurg podejmuje na podstawie badania naczyniowego (najczęściej angio-TK).

Konflikt interesów

Autorzy nie zgłaszają żadnych finansowych ani osobistych powiązań z innymi osobami lub organizacjami, które mogłyby negatywnie wpłynąć na treść publikacji oraz rościć sobie prawo do tej publikacji.

Piśmiennictwo/References

1. Jakubowski W (ed.): Standardy badań ultrasonograficznych Polskiego Towarzystwa Ultrasonograficznego. Roztoczańska Szkoła Ultrasonografii, Warszawa – Zamość 2011.
2. Pellerito JS, Polak JF: Introduction to vascular ultrasonography. Elsevier Saunders, Philadelphia 2012.
3. Cronenwett JL, Johnston KW: Rutherford's Vascular Surgery. Elsevier, Philadelphia 2010.
4. Cossman DV, Ellison JE, Wagner WH, Carroll RM, Treiman RL, Foran RF *et al.*: Comparison of contrast arteriography to arterial mapping with color-flow duplex imaging in the lower extremities. *J Vasc Surg* 1989; 10: 522–529.
5. Kohler TR, Nance DR, Cramer MM, Vandenburghe N, Strandness DE Jr.: Duplex scanning for diagnosis of aortoiliac and femoropopliteal disease: a prospective study. *Circulation* 1987; 76: 1074–1080.
6. Małek G (ed.): Ultrasonografia dopplerowska. Zastosowania kliniczne. Medi Page, Warszawa 2003.
7. Czyżewska D, Ustymowicz A, Krysiuk K, Witkowski P, Zonenberg M, Dobrzycki K, Łebkowska U: Ultrasound assessment of the caliber of the arteries in the lower extremities in healthy persons – the dependency on age, sex and morphological parameters of the subjects. *J Ultrason* 2012; 12: 420–427.

- a record of the spectrum of the flow in the posterior tibial artery in an extremity diagnosed with lesions;
- in case of aneurysms – images in the longitudinal and transverse planes + a record of the spectrum of the flow in the unchanged section of the vessel below.

Summary

A Doppler ultrasound examination of the lower extremities is used for a preliminary evaluation of blood vessels. The decision regarding the type of a possible surgery is made by a surgeon on the basis of the vascular examination (usually angio-CT).

Conflict of interest

The authors do not report any financial or personal links with other persons or organizations which might affect negatively the content of this publication and/or claim authorship rights to this publication.