

Klasyczne metody obrazowania naczyń u chorych z miażdżycą tętnic obwodowych – część I

Traditional vascular imaging methods in peripheral arterial disease – part I

Mirosław Dziekiewicz¹, Marta Koźmińska², Radosław Kozaryn², Piotr Łącki², Jerzy Narloch², Piotr Stabryła², Marek Maruszyński¹

¹Wojskowy Instytut Medyczny, Centralny Szpital Kliniczny MON, Klinika Chirurgii Naczyniowej i Endowaskularnej w Warszawie (Military Medical Institute, Ministry of Defence Central Clinical Hospital, Clinic of Vascular and Endovascular Surgery, Warsaw, Poland)

²Warszawski Uniwersytet Medyczny (Warsaw Medical University, Warsaw, Poland)

Streszczenie

Celem tego artykułu jest przegląd tradycyjnych metod obrazowych używanych w diagnostyce miażdżycy tętnic kończyn dolnych. Omówiono następujące metody badań: angiografię, tomografię komputerową, ultrasonografię i rezonans magnetyczny i ich modyfikacje. Artykuł ten zawiera opisy, zalety i wady każdej z omawianych technik obrazowania. Wiedza ta została oparta zarówno na publikacjach naukowych, jak i doświadczeniu z kliniki.

Słowa kluczowe: obrazowanie naczyń, angiografia, rezonans magnetyczny, tomografia komputerowa, duplex, ultrasonografia, angioscopia, miażdżycza tętnic kończyn dolnych

Chirurgia Polska 2011, 13, 2, 142–148

Abstract

The aim of this article is to review the spectrum of image-based diagnostic tools used in the diagnosis of suspected peripheral arterial disease (PAD). The imaging modalities reviewed include angiography, computed tomography, ultrasonography, magnetic resonance and their modifications. This article contains descriptions, as well as the advantages and drawbacks of all these methods. We based our knowledge on publications and the experience we gained from our clinic.

Key words: vascular imaging, angiography, magnetic resonance, computed tomography, Duplex, ultrasonography, angiography, PAD

Polish Surgery 2011, 13, 1, 142–148

Wprowadzenie

Miażdżycza tętnic obwodowych w piśmiennictwie angiologicznym jest określana zamiennie jako choroba tętnic obwodowych (PAD, *peripheral arterial disease*), choroba naczyń obwodowych (PVD, *peripheral vascular disease*) czy zarostowa choroba tętnic obwodowych (PAOD, *peripheral arterial occlusive disease*). Rozwój tej choroby prowadzi do zmniejszenia światła przepływu w tętnicach obwodowych, przy czym najczęściej dotyczy naczyń wieńcowych i tętnic dogłowych. W rozwiniętych krajach Europy Zachodniej miażdżycza tętnic obwo-

Introduction

Peripheral Arterial Disease (PAD), also known as peripheral vascular disease (PVD) or peripheral artery occlusive disease (PAOD), results in the obstruction of blood flow in the arteries, exclusive of the coronary and carotid arteries. PAD affects 12% to 20% of the population of Western countries aged 60 years or older, and despite its prevalence and impact on cardiovascular risk, only about 25% of PAD patients are treated [1]. In our paper we will mainly focus on diagnosing atherosclerosis of the abdominal aorta, iliac, and lower-extremity arteries, which is often

dowych występuje u 12–20% populacji chorych powyżej 60 rż. Mimo podwyższonego ryzyka wystąpienia w tej grupie chorób sercowo-naczyniowych, tylko około 25% chorych poddaje się leczeniu [1]. W pracy przedstawiono tradycyjne metody badań naczyniowych wykorzystywane do obrazowania zmian miażdżycowych w aortalii, tętnicach biodrowych, udowych i goleni. Szczególnie miażdżycę tętnic obwodowych zasługuje na uwagę ze względu na jej względnie niedodiagnozowanie, niedoceniając tego problemu w środowisku medycznym oraz w efekcie nieleczenie. Nie wolno jednak zapominać, że badania obrazowe są badaniami uzupełniającymi u tych chorych. Wciąż najważniejsze są badanie przedmiotowe i objawy kliniczne chorego, w tym ocena dystansu chromania będącego wyrazem stopnia niedokrwienia mięśni kończyn dolnych [2]. Nadal wskaźnik kostka ramię (ABI, *ankle brachial index*) jest skutecznym testem przesiewowym u tych chorych [3]. Wyniki badań obrazowych są pomocne w ocenie anatomii naczyń, stopnia zaawansowania zmian miażdżycowych, przepływu krwi — szczególnie przed planowaną rewaskularyzacją. Poniżej przedstawiono charakterystyki najczęściej stosowanych tradycyjnych metod obrazowania tętnic.

Angiografia (arteriografia)

Komputerowa arteriografia subtrakcyjna (DSA, *digital subtraction arteriography*) jest nadal uznawana jako złoty standard w ocenie tętnic kończyn dolnych oraz patologii dotyczących tych naczyń. Opis morfologii naczyń w rentgenowskiej angiografii wydaje się bardzo dobrym rozwiązaniem, pozwalającym na ocenę naczyń oraz obszarów deficytu ukrwienia. Oprócz subtrakcji pospolicie używanymi technikami są także remaskowanie, przesuwalne i uzupełnione piksele oraz szybki i prosty widok. Obrazowanie DSA stało się bardziej dostępne dla chirurgów dzięki skonstruowaniu mniejszych aparatów pozwalających na ich montaż jako dodatkowego wyposażenia na sali operacyjnej [4]. Komputerowa arteriografia subtrakcyjna została również udoskonalona dla obrazowania zmian zachodzących w tętnicach w przebiegu cukrzycy dzięki możliwości wizualizacji dystalnych małych naczyń, które do tej pory, przez słabe wysycenie kontrastem, nie pozwalały się uwidocznic w wyżej wymienionym badaniu w stopniu zadowalającym.

Mimo powszechnego wdrożenia tej metody posiada ona także ograniczenia. Głównymi wadami DSA są komplikacje związane z dostępem do naczyń oraz podaniem kontrastu. Główne powikłania pojawiające się podczas DSA lub po niej to: zawroty głowy, wymioty oraz reakcje alergiczne ogólne lub miejscowe. Można obniżyć ryzyko reakcji alergicznych u tych pacjentów, podając doustnie metyloprednizolon *p.o.* przed angiografią [5]. To, czego obawiamy się najbardziej, to nefrotoksyczność, która może powodować nefropatię spowodowaną kontrastem (CIN, *contrast-induced nephropathy*). Jest to nierzadka przyczyna ostrej niewydolności nerek. W klasycznej arteriografii otrzymuje się obraz dwuwymiarowy, który jest tylko odzwierciedleniem światła przepływu przez tętnicę

underdiagnosed, undertreated, and poorly understood by the medical community. We also have to remember that imaging methods are only additional to an accurate medical history in which intermittent claudication, defined as pain in the muscles of the leg with ambulation, is the earliest and the most frequent presented symptom in patients with lower extremity PAD [2]. Even today, the simplest method is the ankle brachial index (ABI) which is an excellent screening test for the presence of PAD [3]. Imaging studies just provide us with additional anatomical information and help one to assess the exact and current blood flow, mainly before revascularization. A variety of the most important methods known for several years is discussed below.

Angiography

Digital Subtraction Arteriography (DSA) is still used as the gold standard for assessing the lower limbs arterial vessels and the pathology of these vessels. Moreover, the depiction of vessel morphology in X-ray angiography seems to be very good solution allowing for the assessment of vascular and perfusion deficit areas. DSA imaging has become more accessible to surgeons due to construction of smaller cameras, enabling them to be installed as optional equipment in the operating room [4]. Besides subtraction, the commonly used techniques are re-masking, pixel shifting and stacking, or fast and simple view tracing. In addition, DSA has been specially enhanced for imaging changes in the arteries during the course of diabetes through the visualization of small distal vessels, which so far have been unable to be displayed in the above test to a satisfactory level due to the weak saturation of the contrast.

Despite incorporation of this method into every day medical practice it has its own limitations. The main complications occurring during or after the DSA are as follows: dizziness, vomiting and general or local allergic reactions. We can reduce the risk of allergic reaction in patients with severe allergy history reactions by oral premedication with methylprednisolone before an angiography [5]. However, what we are most afraid of is nephrotoxicity, which can result in contrast-induced nephropathy (CIN) which is a common cause of acute renal failure in hospitalized patients. In a standard arteriography we get a two-dimensional picture, which is only a reflection of the lumen flow through the artery (called a lumenography). However, only indirect conclusions can be reached about atherosclerotic plaques, ulcers, para-arterial thrombosis etc. Despite its limitations, angiography is a very valuable imaging method because of the possibility of using it for endovascular treatment. Thus, from having been a diagnostic procedure, this test has evolved to the level of a tool used during real time endovascular procedures. Nowadays, we perform endovascular procedures including not only a percutaneous angioplasty, but also for the implantation of stents, stent grafts, vascular malformation obliteration, nutritional tumor vasculature obliteration, liver tumor radioembolization with Yttrium-90 microspheres (called SIRT — Selective Internal Radiation Therapy), the closure of leaks between the cavities of the heart and the implantation of endovascular aor-

(*lumenography*). Pośrednio można wnioskować zarówno o powierzchni blaszki miażdżycowej, jak i jej owrzodzeniach, skrzeplinach przyściennych itp. Jednak mimo swoich ograniczeń badanie to jest bardzo cenne ze względu na możliwość wykorzystania go do zabiegów wewnątrznaczyniowych. Stąd od procedury diagnostycznej badanie to ewoluowało do rangi narzędzia wykorzystywanego podczas zabiegów wewnątrznaczyniowych. Obecnie wykonywane zabiegi wewnątrznaczyniowe obejmują nie tylko plastyki przezskórne, ale również na przykład implantacje stentów, stentgraftów, obliterację malformacji naczyniowych i naczyń odżywczych guzów nowotworowych, radioembolizację guzów wątroby z użyciem mikrosfer zawierających Itr⁹⁰ (*SIRT, selective internal radiation therapy*), zamykanie ubytków między jamami serca oraz implantację wewnątrznaczyniową zastawki aortalnej (*TAVI, transluminal aortic valve implantation*). Inna grupa zabiegów to trombektomie, trombendarctomie czy fibrynoliza celowana. Lista wykonywanych z tego dostępu zabiegów wewnątrznaczyniowych stale się wydłuża, a tym samym przydatność omawianej techniki diagnostycznej rośnie [6].

Angiografia w tomografii komputerowej

Wielodetektorowa tomografia komputerowa (MDCT, *Multi-Detection-row Computed Tomography*), wprowadzona w 1998 roku (4-MDCT) szeroko rozpowszechniła się na świecie i jest dzisiaj jedną z najpopularniejszych oraz najlepiej dostępnych metod do diagnozy PAD. Daje nam ona trzy fundamentalne udogodnienia do obrazowania naczyń: szybkość, odległość i grubość skanów. Badanie może trwać mniej niż 10 minut, co może być użyteczne w nagłych sytuacjach, gdzie czas jest jednym z najważniejszych czynników [7]. W typowej 8-, 16- i 64 i ostatnio 128 i 256-MDCT dane są tworzone od 1000 do 2000 obrazów, możemy otrzymać grubość ścian tętnic ukazanych z dokładnością 0,6–1,5 mm [8]. Daje to lepsze rezultaty w oszacowaniu stopnia zaawansowania miażdżycy niż klasyczne metody używające promieni rentgenowskich. Ogólnie, czułość i swoistość są lepsze dla okluzji tętnic niż dla oceny ich zwężeń. Można użyć projekcji maksymalnej intensywności (MIP, *maximum intensity projection*) i techniki odwzorowania objętości (VR, *volume rendering technique*). Obrazy z MIP są najbardziej użyteczne dla naczyń z niewielkimi zmianami miażdżycowymi, ukazują obraz najbardziej zbliżony do tego z arteriografii. Jednak czas potrzebny do wytworzenia obrazu MIP, który wymaga usunięcia obrazu kości z danych, nawet z pomocą nowoczesnych urządzeń jest stosunkowo długi.

Każda metoda obrazowania wykorzystująca promieniowanie rentgenowskie w obrazowaniu naczyń wymaga zastosowania kontrastu podobnie jak opisana wcześniej DSA. Największym problemem związanym z oceną ścian tętnic są rozległe zwapnienia. Około 20–50% naczyniowych obszarów zawiera zwapnienia tętnic, a w 10% są to zmiany o najwyższym stopniu zaawansowania [9, 10]. W związku z tym można użyć opcji, takich jak *wider*

tic valves (called TAVI — Transluminal Aortic Valve Implantation). Another group of procedures are thrombectomies, thrombendarctomies or targeted fibrinolysis. As the list of endovascular access continues to grow, the usefulness of this diagnostic technique is still increasing [6].

Angiography in computed tomography

Multi-detection-row CT, first introduced in 1998 (4-MDCT) has widely spread all over the world and nowadays is one of the most popular and available method for the diagnosis of PAD. MDCT brought three fundamental improvements to vascular imaging regarding speed, distance and section thickness. It can be performed in less than 10 minutes, which is very useful in emergency situations, where time is one of the most important factors [7]. In a typical 8, 16 and 64-MDCT, the datasets are created from about 1,000 to 2,000 images, allowing one to get the thickness of arterial walls reconstructed to an accuracy of between 0.6 and 1.5 mm [8]. Moreover, it gives one better results in assessing atherosclerosis than standard methods using X-rays. Generally, its sensitivity and specificity are better for arterial occlusion than for the detection of stenoses. We can also use maximum intensity projections (MIP) and volume renderings (VR). MIP images are most useful where there are not a lot of calcifications and they provide the most 'angiography-like' image of the vascular structures. However, even with the help of the modern workstations, it is a time-consuming process to generate an MIP view as it requires the bones to be removed from dataset.

As in every x-ray procedure, we have to use a contrast and face the same above-mentioned problems as DSA. Moreover, the biggest problem hindering artery wall assessment is extensive calcification. Approximately 20% to 50% of the vascular segments contain wall calcifications, of which, 10% are severely calcified [9, 10]. We can deal with this using a wider window width (WW) and higher window center (WC) level settings from the usual CT angiography to minimize the effect of blooming [11]. Another important factor is a dose of radiation, which is much higher than in DSA. Indeed, the mean effective radiation dose in MDCT angiography totals 15 mSv, while in conventional angiography this is approximately 6 mSv.

Magnetic Resonance

In magnetic resonance imaging there are two techniques of magnetic resonance angiography: TOF (Time Of Flight) — 2D or 3D and PC (called a Phase Contrast Angiograph), as a method of phase contrast.

The purpose of any MR angiographic method is to obtain an adequate diagnostic value by maximizing the vessel-to-background contrast. In 2D TOF MR angiography, vessel signal intensities can be maximized by keeping the transit time of blood in the imaged slice as short as possible to prevent the saturation of blood by repetitive RF (RF, Radio Frequency) pulses. Phase contrast magnetic resonance imaging has been used to simultaneously measure area and flow in the aorta, iliac and femoral arteries [12].

window width (WW) i *higher window center* (WC), aby zminimalizować efekt zatracenia obrazu [11]. Innym ważnym czynnikiem jest dawka promieniowania, która jest znacznie wyższa niż podczas DSA. Średnia efektywna dawka napromienienia podczas MDCT angiografii wynosi 15 mSv, natomiast w tradycyjnej angiografii około 6 mSv.

Rezonans magnetyczny

W rezonansie magnetycznym wyróżnia się dwie techniki angiografii rezonansu magnetycznego: TOF (*time of flight*)-2D lub 3D oraz PC (*phase contrast angiography*) jako metoda kontrastu fazowego.

Celem różnych metod angiografii MRI jest otrzymanie odpowiedniej jakości obrazu naczyń z wykorzystaniem kontrastu j.w. W 2D TOF MR angiografii intensywność sygnału naczyń może być maksymalizowana przez utrzymanie czasu przepływu krwi w obrazowanym przekroju tak krótko jak to możliwe, zapobiegając saturacji krwi przez powtarzające się dodatkowe impulsy fali elektromagnetycznej (RF, *radio frequency*). Faza kontrastowego rezonansu magnetycznego została użyta jednocześnie do miary obszaru i przepływu w aorcie, tętnicach biodrowych i udowych [12].

PC-MRI jest bezinwazyjną techniką niewymagającą użycia promieniowania jonizującego ani kontrastu, nie ma także ograniczeń okna akustycznego. Techniczne udogodnienia w CE-MRA (*contrast enhanced*) w ciągu ostatniej dekady nie tylko udoskonaliły jakość obrazu, ale także skróciły czas badania oraz je uprościły [13].

Techniki MRA są uzupełniane w ocenie chorób aorty i tętnic biodrowych o informacje przedstawiające okoliczne tkanki. Innym aspektem jest koszt procedury, który jest wiele wyższy niż inne obrazowanie dostępne w radiologii. Dzisiejszą wadą starych wciąż używanych aparatów MR jest stosunkowo niska przestrzenna rozdzielczość w porównaniu z tradycyjną angiografią [14]. Wydaje się, że w przyszłości procedura MR może się stać złotym standardem dla obrazowania PAD oraz naczyń w innych okolicach ciała. Mimo że badanie to uznaje się za małoinwazyjne w porównaniu z badaniami wykorzystującymi promieniowanie rentgenowskie, to istnieją doniesienia, które podnoszą problem potencjalnego zagrożenia niewydolnością nerek. Dlatego należy zwrócić szczególną uwagę na chorych ze szczątkową wydolnością nerek lub na chorych, u których wydolność nerek systematycznie się pogarsza [15].

Ultrasonografia w prezentacji B-mode (badanie w skali szarości)

Zasada badania polega na detekcji przez głowicę uprzednio wystanych przez nią fal, które w kontakcie z tkankami ulegają pochłonięciu, osłabieniu lub odbiciu. W ten sposób jest otrzymywany dwuwymiarowy obraz tkanek i narządów, których gęstość jest wyrażana skalą szarości. W ten sposób można ocenić średnicę tętnicy, grubość ściany oraz morfologię i strukturę powierzchni bla-

PC-MRI is noninvasive, does not require the use of ionizing radiation or intravenous contrast and does not have acoustic window limitations. PC-MRI can be used to assess changes in femoral artery area and flow before and after an ischemic stimulus is withdrawn from the lower extremity. Technical improvements in CE-MRI (Contrast Enhanced) over the past decade have significantly improved not only regarding image quality, but also speed, reliability and ease of use [13].

MRA techniques in the evaluation of diseases of the aorta and iliac arteries are supplemented with the information about the surrounding tissue. Another issue is the cost of the procedure, which is much higher than any other type of radiology imaging. Today, the disadvantages of old MR machines still in use are their relatively low spatial resolution compared with X-ray angiography [14]. However, it seems that in the nearest future MR procedures will become the gold standard for imaging PAD and other arterial vessels. Although the test is considered to be minimally invasive in comparison with studies that use X-ray radiation, there are reports that raise the problem of the potential threat of renal failure. Therefore, we should pay special attention to patients with residual renal function or in patients with steadily deteriorating renal function [15].

Ultrasonography in B-mode (gray-scale test)

The principle of this test is to detect waves previously sent by the head, which in contact with the tissues that are absorbed, are weakened or reflected. In this way, a two-dimensional image is produced of tissues and organs whose density is expressed in gray scale. In this way, we are able to evaluate the diameter of the artery wall thickness and the morphology and surface structure of atherosclerotic plaques. This test can be used to assess the degree of stenosis, although it is recommended to assess this parameter by use of a Doppler device.

Ultrasound with dual imaging (DUS, Duplex Ultrasonography)

This method allows one to visualize the morphology of the arterial wall and atherosclerotic plaque with a simultaneous measurement of blood flow velocity. This allows one to specify the degree of narrowness of the examined artery while the advantage of this test is that the image is obtained in real time and the result is evaluated on an ongoing basis. This test may well reveal a critical stenosis and occlusion, determine precisely the width and diameter of an arterial stenosis, and recognize a parietal thrombus formed on the plaque. The advantage of this method is the fact that it is cheap, repeatable and has a low-impact on patients. In this test, the image is obtained in grayscale while recording the flow in the form of a curve of the flow spectrum, or as a color coded blood flow [16]. However, the final outcome is largely dependent not only on those investigating, but the angle that has been used on the device's head, as well as the type and frequency of ultrasound used in the test. Thus, the final results can be different, and are

szek miażdżycowych. Badanie to może służyć do oceny stopnia zwężenia tętnicy, chociaż zaleca się jednak ocenę tego parametru metodą dopplerowską.

Ultrasonografia z podwójnym obrazowaniem

Ultrasonografia z podwójnym obrazowaniem (DUS, *duplex ultrasonography*) pozwala na uwidocznienie morfologii ściany tętnicy i blaszki miażdżycowej z jednoczesnym pomiarem prędkości przepływu krwi w danym miejscu. Dzięki temu można określić stopień zwężenia badanej tętnicy. Zaletą tego badania jest również to, że obraz otrzymuje się w czasie rzeczywistym i wynik jest oceniany na bieżąco. Za pomocą tego badania można dobrze uwidocznić krytyczne zwężenia tętnic i ich niedrożność, dokładnie ocenić średnicę tętnic i szerokość zwężeń, rozpoznać skrzepliny przyścienne oraz te tworzące się na blaszkach miażdżycowych. Zaletą badania jest fakt, że jest ono tanie, powtarzalne i nieobciążające chorego. W tym badaniu obraz uzyskuje się w skali szarości, natomiast zapis przepływu w postaci krzywej spektrum przepływu lub przepływu krwi kodowanego kolorem [16]. Jednak ostateczny wynik jest w znacznej mierze zależny od badającego, to znaczy od kąta przyłożenia głowicy, jej rodzaju i częstości ultradźwiękowej używanej do badania. Tym samym porównanie wyników badań wykonywanych przez różne osoby na różnych aparatach jest niemożliwe. Jednak stworzone zasady wykonywania badania pozwalają zminimalizować ten efekt. Badanie ultrasonograficzne z kolorowym kodowaniem przepływu pozwala na wykrycie pętli, zagięć kątowych, tętniaków i rozwarstwień tętnic. Zaletą tego badania jest również możliwość wykorzystania go do śródoperacyjnej oceny naczyń. Zaletami DUS w porównaniu z tradycyjną arteriografią są: brak wpływu na hemodynamikę przepływu w połączeniu z anatomiczną informacją, jego bezpieczeństwo i relatywnie niewielkie koszty.

Głównym pytaniem jest, czy DUS może być używany jako jedyna diagnostyczna metoda dla badania poprzedzającego rewaskularyzację w kończynie dolnej. Dziś jest to wciąż rozważanie tylko między dodatkowym narzędziem do DSA, angio TK czy MRA. Wyniki badań wykazały, że zastąpienie DUS przez MR angiografię dla początkowej oceny pacjentów z PAD redukuje potrzebę dodatkowego obrazowania, chociaż łączne koszty badań były wyższe, co nie jest bez znaczenia [17].

Ultrasonografia z podwójnym obrazowaniem jest jedyną nieinwazyjną metodą, która zwykle nie wymaga kontrastu ani wzmacniacza obrazu. Tym samym należy się spodziewać, że badanie to nie wiąże się z żadnymi powikłaniami, co jest największą zaletą tego badania. Dlatego DUS powinno być stosowane jako standardowa procedura dla badania tętnic kończyn dolnych [18].

Badanie to może być uzupełnione o wykorzystanie kontrastu. Środki kontrastowe używane w ultrasonografii mogą ulepszać diagnostyczną zdolność DUS szczególnie w trudnych obszarach tętniczych u chorych z PAD, na przykład u osób otyłych, po licznych interwencjach naczyniowych (blizny, protezy itp.) oraz w krytycznych

highly dependent on the angle, frequency and type of used head. However, the test has developed rules helping to minimize this effect. An ultrasound examination with color coding allows one to detect the movement of the loop, bend angle, and the splitting of artery aneurysms. Another advantage is that it is able to be used intraoperatively. Moreover, the advantages of DUS compared to conventional angiography include its lack of influence on the haemodynamics of blood flow in conjunction with anatomical information, as well as its safety and relatively low cost.

The main question is whether the Duplex can be used as a sole diagnostic method for investigation prior to lower limb revascularization. Today, it is still considered only as additional tool for DSA and MRA. Studies have shown that replacing a Duplex US with a contrast-enhanced MR angiography for the initial imaging work-up of patients with PAD reduced the need for additional imaging. However, the diagnostic costs were higher which seems to be quite important economically [17].

Duplex is the only non-invasive standard method not usually requiring any contrast or enhancer. This results in no post-operative complications, which is the biggest advantage of employing a Duplex device. Hence, the DUS should be used as a standard procedure for the study of arterial disease of the lower limbs [18].

Ultrasound contrast-agents can improve the diagnostic ability of a Duplex-ultrasound when scanning difficult arterial segments in patients suffering from PAD. The ultrasound contrast-agent contains a galactose-based echo-enhancing contrast agent [19]. After injection it achieves systemic circulation while the generated micro-bubbles cause effective back-scatters of ultrasound, significantly increasing the strength of the returning signal. Although the contrast agent is generally non-toxic, non-allergenic, it is unsuitable for galactosaemic patients and people with NYHA stage IV. Moreover, this test is much cheaper than angiography. A variation of double ultrasound, is ultrasound imaging with the simultaneous movement of the color coding (so-called color Doppler).

Power Doppler

This examination is based on an analysis of the strength of the signal returning to the Doppler device's head. The result is not dependent on the direction of blood flow, but on the energy of the scattered signal in the blood cells. This method is unable to determine the direction or amount of the flow, as it only shows the flow. It is used to determine the size of atherosclerotic plaques, ulcers and to recognize critical arterial stenosis or occlusions.

The above-presented ultrasound techniques are now the standard methods used in the noninvasive diagnosis of stenosis and obstruction of the arteries.

Ultrasound examination with color Doppler

Saturation levels are related to blood flow, giving the image on the pathologies in the lumen, wall and the surrounding arteries. The advantage of ultrasound

miażdżycowych zwężeniach tętnic. Wzmacniający echo kontrast jest oparty na galaktozie [19]. Powstałe w przepływającej krwi mikropęcherzyki (mikrobańki) silniej odbijają wiązkę ultradźwiękową (*back-scatter*). Środek kontrastowy nie jest szkodliwy dla organizmu, nie daje reakcji alergicznych, ale nie jest polecany dla pacjentów z galaktozemią i chorych z niewydolnością krążenia IV stopnia w skali NYHA. Również to badanie jest wielokrotnie tańsze od arteriografii. Odmianą ultrasonografii z podwójnym obrazowaniem jest ultrasonografia z jednoczesnym kodowaniem przepływu kolorem (tzw. kolorowy Doppler).

Doppler mocy

Badanie to opiera się na analizie mocy sygnału powracającego do głowicy. Wynik nie jest uzależniony od kierunku przepływu krwi, lecz od energii sygnału rozproszonego w krwinkach. Metoda ta nie pozwala na określenie kierunku ani wielkości przepływu, a jedynie go pokazuje. Wykorzystywana jest do określania wielkości blaszek miażdżycowych, ich owrzodzeń oraz rozpoznawania krytycznych zwężeń tętnic lub ich niedrożności.

Przedstawione badania ultrasonograficzne są obecnie podstawowymi metodami nieinwazyjnymi wykorzystywanymi w diagnostyce zwężeń i niedrożności tętnic.

Badanie ultrasonograficzne z kolorowym obrazowaniem przepływu

Badanie to ukazuje szczegółowy przepływ krwi w naczyniach. Poziomy nasycenia barw mają związek z przepływami krwi, uwidaczniając patologie w świetle, w ścianie i w otoczeniu tętnic. Zaletą badań ultrasonograficznych jest to, że nie powodują żadnych skutków ubocznych, nie bez znaczenia jest też stosunkowo niski koszt oraz możliwość częstego ich powtarzania. Z logistycznego punktu widzenia jest to badanie mniej wymagające.

Ultrasonografia trójwymiarowa

Badanie to pozwala na uzyskanie przestrzennego obrazu (3D) badanych tętnic [20]. Obraz otrzymywany jest dzięki zastosowaniu stale poruszającej się w czasie badania do przodu i do tyłu głowicy oraz dzięki komputerowej obróbce otrzymanych tym sposobem obrazów. Zapis obrazu może być skorelowany z czynnością oddechową i serca. Dzięki temu wygenerowana w tym badaniu możliwość pojawienia się artefaktów jest zminimalizowana. Obecnie wchodzi w użycie ultrasonografia 4D, czyli obraz trójwymiarowy generowany w czasie rzeczywistym [21].

Angioskopia

Badanie to jest jedną z technik wewnątrznaczyniowych. Pozwala na bezpośrednią ocenę wzrokową wnętrza naczynia. Otrzymany obraz oddaje bardzo dokładnie naturalne kolory. Informacje uzyskane w tym badaniu są doskonałym uzupełnieniem wyników badań otrzymanych w innych badaniach obrazowych naczyń. Tym

is that it does not cause any side effects, while it is not without significance the test is relatively cheap, has the possibility of frequent repetition and, from a logistical point of view, is less demanding.

Three dimensional ultrasonography

This method allows one to display a spatial image (3D) of the examined arteries. The image is obtained through the use of front and rear heads constantly moving during the test and through the computerized processing of images obtained in this way [20]. The record of the image may be correlated with respiratory function and heart. Thanks to this correlation the potential artifacts are minimized. Nowadays new 4D ultrasonography is in use, in which three-dimensional ultrasound image is generated in real time.

Angioscopy

This method is one of the endovascular techniques and allows for the direct visual assessment of the interior of the vessels. The resulting image accurately reflects natural colors and the information obtained in this test is an excellent addition to the results obtained in other vascular imaging tests. Currently-used angioscopes allow one to gain access into vessels with increasingly smaller diameters. In this way, it can assess the status of the arteries or veins locally, before and after corrective surgery. This method also allows one to carry out a follow-up of the artery after reconstructive surgery [22]. Thus, it can monitor the status of vascular grafts or anastomoses, and if necessary, intervene appropriately before surgery or in a less invasive way.

Arterial angioscopy is mostly used during the surgery. It allows to precisely mark the atherosclerosis changes and helps clear the lumen of the vessels, plan the correct anastomosis. It means to find a right proximal and distal place to put the prosthesis. Also after the implantation it is a great method to assess an anastomosis. What's more angioscopy is used during percutaneous fibrinolysis of the acute arteries occlusions or short distance chronic arteries occlusions. Complications in this method are the same like in all mini-invasive technics [23].

Closing remarks

The decision which imaging test or combination of tests should be used in everyday practice mainly depends on one's own experience, the availability of the above-mentioned technologies and the consequences of subsequent treatment and follow-up. Nowadays, we have to deal with economical aspects of diagnostic procedures. In conclusion, our studies imply that angio CT and angio MRI could potentially replace the Duplex US and conventional angiography while pointing out the higher cost of the treatment. On the other hand, 4D US, with its advantages and 3D reconstruction in real time, may present an interesting alternative to other known vascular imaging methods.

samym otrzymany obraz naczynia w bezpośrednim jego wziernikowaniu jest unikalny i niepowtarzalny. Obecnie stosowane angiaskopy pozwalają na wziernikowanie naczyń o coraz mniejszej średnicy. W ten sposób można oceniać stan miejscowy tętnic czy żył przed leczeniem oraz po operacjach naprawczych. Metoda ta pozwala również na prowadzenie *follow-up'u* po operacjach rekonstrukcyjnych tętnic [22]. Tym samym można monitorować stan zespoleń lub pomostów naczyniowych i w razie konieczności odpowiednio wcześniej interweniować chirurgicznie lub sposobem małoinwazyjnym.

Angioskopia tętnic jest szczególnie cennym badaniem wykonywanym w czasie operacji. Pozwala ona na precyzyjną ocenę rozległości zmian miażdżycowych i ułatwia wykonanie udrożeń wewnątrznaczyniowych lub zaplanowanie w sposób prawidłowy pomostowania, to znaczy na przykład wyboru właściwego miejsca do wszycia protezy proksymalnie i dystalnie od niedrożności tętnicy. Po wykonanych zespoleniach naczyniowych badanie daje możliwość oceny precyzji wykonanych zespoli. Ponadto angioskopia jest stosowana podczas przeszkońnego zabiegu fibrynolizy ostrej okluzji naczyń czy udrażniania krótkoodcinkowych przewlekłych niedrożności tętnic czy pomostów. Powikłania związane z tą metodą są wspólne dla wszystkich technik miniinwazyjnych [23].

Uwagi końcowe

Decyzja, którą technikę albo kombinację technik należy wybrać do obrazowania naczyń, zależy od naszego doświadczenia, dostępności technologii i planowanego sposobu leczenia oraz *follow-up'u*. W rzeczywistości najważniejsze wydają się koszty diagnozy. Zdaniem autorów niniejszego artykułu MDCT angiografia i MRI mogą potencjalnie zastępować duplex USG i tradycyjną angiografię, lecz pociąga to za sobą wspomniane wysokie koszty leczenia. Obiecującym badaniem wydaje się 4D ultrasonografia, szczególnie ze względu na połączenie zalet ultrasonografii z możliwościami wizualizacji przestrzennej w czasie rzeczywistym.

Piśmiennictwo (References)

1. Dewey M. Comprehensive assessment of peripheral artery disease using magnetic resonance imaging, angiography and spectroscopy. *J Am Coll Cardiol.* 2009; 54: 636–637.
2. Ouriel K. Peripheral arterial disease. *Lancet* 2001; 358: 1257–1264.
3. Olin JW, Sealove BA. Peripheral artery disease: current insight into the disease and its diagnosis and management. *Mayo Clin Proc.* 2010; 85: 678–692.
4. Pomposelli F. Arterial imaging in patients with lower extremity ischemia and diabetes mellitus. *J Vasc Surg.* 2010; 52: 81–91.
5. Waybill MM, Waybill PN. Contrast media-induced nephrotoxicity: identification of patients at risk and algorithms for prevention. *J Vasc Interv Radiol.* 2001; 12: 3–9.
6. Kashyap V, Pavkov M, Bishop P *et al.* Angiography underestimates peripheral atherosclerosis: Lumenography revisited. *J Endovasc Ther.* 2008; 15: 117–125.
7. Foster BR, Anderson SW, Soto JA. CT Angiography of extremity trauma. *Tech Vasc Interventional Rad.* 2006; 9: 156–166.

8. Chin AS, Rubin GD. CT angiography of peripheral arterial occlusive disease. *Tech Vasc Interventional Rad.* 2006; 9: 143–149.
9. Ouwendijk R, Kock MCJM, Visser K *et al.* Interobserver agreement for the interpretation of contrast-enhanced 3D MR angiography and MDCT angiography in peripheral arterial disease. *Am J Roentgenol.* 2005; 185: 1261–1267.
10. Ota H, Takase K, Igarashi K *et al.* MDCT compared with digital subtraction angiography for assessment of lower extremity arterial occlusive disease: importance of reviewing cross-sectional images. *Am J Roentgenol.* 2004; 182: 201–209.
11. Kock M, Dijkshoorn M, Pattynama P *et al.* Multi-detector row computed tomography angiography of peripheral arterial disease. *Eur Radiol.* 2007; 17: 3208–3222.
12. Iezza R, Soulez G, Thurnher S *et al.* Contrast-enhanced MRA of the renal and aorto-iliac-femoral arteries: Comparison of gadobenate dimeglumine and gadofosveset trisodium. Contrast-enhanced MRA of the renal and aorto-iliac-femoral arteries: comparison of gadobenate dimeglumine and gadofosveset trisodium. *Eur J Radiol.* 2011; 77: 358–368.
13. Schmitt R, Coblenz G, Cherevaty O *et al.* Comprehensive MR angiography of the lower limbs: a hybrid dual-bolus approach including the pedal arteries. *Eur Radiol.* 2005; 15: 2513–2524.
14. Vith M, Attenberger UI, Luckscheiter A *et al.* "Number needed to read" — how to facilitate clinical trials in MR-angiography? *Eur Radiol.* 2011; 21: 1034–1042.
15. Meissner OA, Verrel F, Tató F *et al.* Magnetic resonance angiography in the follow-up of distal lower-extremity bypass surgery: comparison with duplex ultrasound and digital subtraction angiography. *J Vasc Interv Radiol.* 2004; 15: 1269–1277.
16. Katsamouris AN, Giannoukas AD, Tsetis D *et al.* Can ultrasound replace arteriography in the management of chronic arterial occlusive disease of the lower limb? *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2001; 21: 155–159.
17. de Vries M, Ouwendijk R, Flobbe K *et al.* Peripheral arterial disease: Angiography — clinical and costs comparisons between Duplex US and contrast-enhanced MR angiography — A Multicenter Randomized Trial. *Radiology* 2006; 240: 401–410.
18. Humphries MD, Pevec WC, Laird JR *et al.* Early duplex scanning after infrainguinal endovascular therapy. *J Vasc Surg.* 2011; 53: 353–358.
19. Eiberg JP, Hansen MA, Jensen F. *et al.* Ultrasound contrast-agent improves imaging of lower limb occlusive disease. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2003; 25: 23–28.
20. McDermott MM, Tian L, Ferrucci L *et al.* Associations between lower extremity ischemia, upper and lower extremity strength, and functional impairment with peripheral arterial disease. *J Am Geriatr Soc.* 2008; 56: 724–729.
21. Yagel S, Cohen SM, Rosenak D *et al.* Added value of three-/four-dimensional ultrasound in offline analysis and diagnosis of congenital heart disease. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2011; 37: 432–437.
22. Janvier MA, Destrepes F, Soulez G *et al.* Validation of a new 3D-US imaging robotic system to detect and quantify lower limb arterial stenoses. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.* 2007; 2007: 339–342.
23. Purohit M, Dunning J. Do coronary artery bypass grafts using cephalic veins have a satisfactory patency? *Interact CardioVasc Thorac Surg.* 2007; 6: 251–254.

Adres do korespondencji (Address for correspondence):

Dr n. med. Mirosław Dziekiewicz
Wojskowy Instytut Medyczny Centralny Szpital Kliniczny MON
Klinika Chirurgii Naczyniowej i Endowaskularnej
Ul. Szaserów 128, 04–141 Warszawa
e-mail: dziekiewicz@wp.pl
tel.: 602–507–028

Praca wpłynęła do Redakcji: 01.10.2011 r.