

# Ultrasonographic assessment of haemodynamic parameters of collateral circulation in patients with an occluded superficial femoral artery

## Ultrasonograficzna ocena parametrów hemodynamicznych krążenia obocznego u chorych z niedrożną tętnicą udową powierzchowną

Robert Juszkat<sup>1</sup>, Andrzej Aleksander Jawień<sup>2</sup>, Michał Migda<sup>1</sup>, Katarzyna Pawlaczyk<sup>2</sup>, Przemysław Nowak<sup>2</sup>, Grzegorz Oszkinis<sup>2</sup>, Fryderyk Pukacki<sup>2</sup>, Ryszard Staniszewski<sup>2</sup>, Waław Majewski<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Clinical Radiology, University Hospital of Lord's Transfiguration, Poznan University of Medical Sciences, Poland (Zakład Radiologii Klinicznej Szpitala Klinicznego Przemienienia Pańskiego Uniwersytetu Medycznego im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu)

<sup>2</sup>Department of General and Vascular Surgery, University Hospital of Lord's Transfiguration, Poznan University of Medical Sciences, Poland (Klinika Chirurgii Ogólnej i Naczyń Szpitala Klinicznego Przemienienia Pańskiego Uniwersytetu Medycznego im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu)

---

### Abstract

**Background.** The purpose of the research was to try to assess the diagnostic and prognostic value of Doppler ultrasound imaging of the popliteal artery in cases of an existing occlusion of the femoro-popliteal segment of the lower-limb arteries caused by atherosclerosis.

**Material and methods.** The subjects of the tests were patients with an occlusion in the femoro-popliteal segment and retained patency of the popliteal artery's bifurcation, and a lack of haemodynamically significant lesions in the iliac arteries. The researchers compared the consistency of results of Doppler ultrasound imaging of the popliteal artery to results of the ankle-brachial index (ABI).

**Results.** Measurements of diameter, cross-sectional area, volume, and pulsatility of blood flow (PI and PSV/EDV) through the popliteal artery were consistent with ABI value and with clinical symptoms (statistical significance was reached).

**Conclusions.** Doppler ultrasound imaging is a useful diagnostic method of assessing the state of peripheral blood vessels and in making therapeutic decisions in cases of femoropopliteal occlusion.

**Key words:** femoro-popliteal occlusion, value of Doppler ultrasound imaging in the assessment of collateral circulation

### Streszczenie

**Wstęp.** W badaniu podjęto próbę oceny wartości diagnostycznej i prognostycznej badania sonodopplerowskiego tętnicy podkolanowej w przypadkach miażdżycowej niedrożności tętnic kończyn dolnych w odcinku udowo-podkolanowym.

**Material i metody.** Badaniem objęto chorych, u których występowała niedrożność w odcinku udowo-podkolanowym oraz zachowana drożność podziału tętnicy podkolanowej i nie stwierdzono istotnych hemodyna-

---

### Address for correspondence:

Robert Juszkat  
Szpital Kliniczny nr 1  
ul. Długa 1/2, 61–848 Poznań  
tel: (+48 32) 396 42 00, fax: (+48 32) 396 42 43  
e-mail: robertju@wp.pl

micznie zmian w układzie tętnic biodrowych. Porównano zgodność wyników badania sonodopplerowskiego tętnicy podkolanowej z wartością wskaźnika kostka–ramię.

**Wyniki.** Stwierdzono znamiennej zgodność wyników pomiarów średnicy, pola przekroju, objętości i pulsacyjności (PI i PSV/EDV) przepływu przez tętnicę podkolanową z wartością wskaźnika kostka–ramię i z nasileniem objawów klinicznych.

**Wnioski.** Badanie sonodopplerowskie tętnicy podkolanowej jest przydatną metodą diagnostyczną w ocenie stanu naczyń obwodowych i podejmowaniu decyzji terapeutycznych w przypadku niedrożności udowo-podkolanowej.

**Słowa kluczowe:** niedrożność udowo-podkolanowa, wartość badania sonodopplerowskiego w ocenie krążenia obwodowego

Acta Angiol 2009; 15, 2: 50–60

## Introduction

Chronic ischaemia of the lower limbs is a universally occurring disease. It is estimated that it occurs in 4% of adults above 60 years old [1] (in 98% of cases, it is caused by atherosclerosis). In 70% of cases, it is caused by atherosclerotic occlusion of the femoropopliteal segment [2]. In 3% of the population, it occurs as stage II, III, or IV of Fontaine's Scale [3]. Because of the risk of lower limb ischaemia, many patients require reconstructive surgery. The degree of ischaemia depends largely on the state of the abdominal aorta and the iliac arteries, which affect the inflow of blood. Blood supply to the limbs also depends on the state of the peripheral vessels. Atheromatosis is a generalized disease, which affects all the arteries to a larger or lesser degree. In the case of a femoropopliteal occlusion, blood flow disruption results first from stenosis and then from occlusion of the distal segment of the superficial femoral artery in the abductor canal [4]. The development of atheromatic changes occurs proximally towards the femoral artery's bifurcation. Despite the disease's progression, the common femoral artery, the deep femoral artery (profunda femoris), and the peripheral segment of the popliteal artery retain their patency for a long time. Such progression provides conditions conducive for surgical bypassing of the impotent femoropopliteal segment [3, 5]. On the other hand, due to the typically long-term course of the disease, the natural compensatory mechanisms facilitate the development of collateral circulation between the branches of the deep femoral artery and the popliteal artery. The popliteal artery and the tibial arteries play important roles in deciding which therapeutic tactics to adopt, as well as in disease prognosis. Their degree of patency has an impact on the efficiency of the collateral circulation and on the possibility of surgical treatment [6]. Three anastomotic networks

## Wstęp

Przewlekłe niedokrwienie kończyn dolnych jest schorzeniem powszechnie występującym. Ocenia się, że występuje u około 4% osób powyżej 60. roku życia [1]. W 98% przypadków spowodowane jest procesem miażdżycowym, który w 70% przypadków największe zaawansowanie osiąga w odcinku udowo-podkolanowym [2]. U około 3% populacji nasilenie zmian miażdżycowych powoduje wystąpienie klinicznych objawów niedokrwienia, zaliczanych do II, III lub IV stopnia zaawansowania według klasyfikacji Fontaine'a [3]. Z powodu zagrażającego niedokrwienia kończyny u znacznej części chorych konieczne jest przeprowadzenie zabiegu rekonstrukcyjnego. Na stopień niedokrwienia kończyny istotny wpływ ma stan aorty brzusznej i naczyń biodrowych, który decyduje o wielkości napływu krwi. Ukrwienie kończyny zależy także od stanu naczyń obwodowych. Miażdżycą jest chorobą uogólnioną, obejmującą w różnym zakresie wszystkie tętnice organizmu. W przypadku niedrożności odcinka udowo-podkolanowego upośledzenie ukrwienia początkowo wynika ze zwężenia, a następnie niedrożności tętnicy udowej powierzchownej w jej dystalnym odcinku w okolicy kanału przywodzicieli [4]. Rozwój zmian miażdżycowych dokonuje się następnie w kierunku proksymalnym, dochodząc do podziału tętnicy udowej. Mimo postępu choroby tętnica udowa wspólna, tętnica głęboka uda i obwodowy odcinek tętnicy podkolanowej długo utrzymują drożność. Choroba, rozwijając się w ten sposób, powoduje, że istnieją dogodne warunki do operacyjnego pomostowania niedrożnego odcinka udowo-podkolanowego [3, 5]. Jednocześnie ze względu na zwykle długotrwały przebieg choroby istniejące naturalne mechanizmy kompensacyjne powodują rozwój krążenia obocznego rozwijającego się pomiędzy gałęziami tętnicy głębokiej uda i tętnicą podkolanową. W taktyce terapeutycznej i rokowaniu szczególną rolę

take part in the formation of collateral circulation. They develop between the deep femoral artery, the distal segment of the superficial femoral artery, and the popliteal artery. The lateral network begins with the terminal branch of the artery of the quadriceps femoris, which also supplies the vastus lateralis muscle. The median network begins from the third perforating artery, which is the terminal branch of the perforating trunk. The scantier medial network arises from the arteries supplying the adductor muscles. After an inversion of its flow, the fourth perforating artery becomes the main collector for the medial, and especially for the lateral, network. It returns blood to the popliteal artery and the tibial trunk. This artery begins at the distal segment of the superficial femoral artery, at the height of the medial epicondylus. It runs transversely, and ends laterally, to the femur. In some cases, it forms a visible connection with the artery to the quadriceps femoris muscle [6, 7].

The degree of the development of collateral circulation influences the state of the blood supply of the lower extremities, as well as on therapeutic strategy. In cases of poor perfusion, the only hope of saving the limb lies in surgical reconstruction. For this procedure to succeed, the patency of the popliteal and peripheral arteries is crucial. In cases of peripheral artery impatency, primary amputation of the limb is indicated. Knowledge of the state of peripheral blood vessels and haemodynamic conditions of the collateral circulation have significant therapeutic implications and may help in choosing a therapeutic strategy. Conventional angiography displays the main vascular trunks, as well as their stenosis and occlusions. In normal conditions it does not allow for precise evaluation of collateral circulation or its haemodynamic effectiveness. Clinical practice requires noninvasive diagnostic tests which enable assessment of the state of peripheral vessels as well as tissue perfusion [3, 5, 6]. In this paper, an attempt was made to assess the feasibility of Doppler ultrasound imaging in a complex diagnostic process of an atheromatic occlusion of the femoropopliteal segment.

### Material and methods

Forty-four patients with atheromatic occlusion of the femoropopliteal segment of the arteries were examined. The group consisted of 33 men and 11 women aged between 47 and 86 years. The mean age was 57.8 years. Forty-one of them had been smokers for many years. Twenty-six of them had coexisting hypertension and 17 had ischaemic heart disease. In 5 patients, atheromatosis coexisted with hypercholeste-

odgrywa tętnica podkolanowa i tętnice goleni. Stopień ich drożności decyduje o wydolności krążenia obocznego i możliwościach leczenia operacyjnego [6].

W tworzeniu krążenia obocznego uczestniczą trzy sieci połączeń rozwijających się pomiędzy tętnicą głęboką uda a dystalnym odcinkiem tętnicy udowej powierzchownej i tętnicą podkolanową. Sieć boczna zaczyna się w tętnicy zaopatrującej mięsień *vastus* boczny, będący końcową gałęzią tętnicy mięśnia czworogłowego uda. Sieć pośrodkowa bierze początek z tętnicy perforującej trzeciej będącej końcowym odgałęzieniem pnia perforującego. Sieć *scantier* przyśrodkowa wychodzi z tętnic dochodzących do mięśni przywodzicieli. Czwarta tętnica perforująca po odwróceniu w niej kierunku przepływu staje się spływem dla przyśrodkowej i zwłaszcza bocznej sieci krążenia obocznego i doprowadza krew z powrotem do łożyska tętnicy podkolanowej i pnia piszczelowego. Tętnica ta zaczyna się z dolnego odcinka tętnicy udowej powierzchownej na wysokości nadkłykcia przyśrodkowego, przebiega poprzecznie i kończy się bocznie w stosunku do kości udowej. W części przypadków tworzy widoczne połączenia z tętnicą mięśnia czworogłowego uda [6, 7].

Stopień rozwoju krążenia obocznego decyduje o stanie ukrwienia kończyny i strategii postępowania. W przypadkach ubogiego krążenia jedynie rekonstrukcja operacyjna może uratować kończynę. Warunkiem powodzenia zabiegu jest jednak drożność tętnicy podkolanowej i naczyń obwodowych. W przypadku niedrożności tętnic na obwodzie zaleca się pierwotną amputację kończyny. Wiedza na temat stanu naczyń obwodowych i hemodynamicznych warunków krążenia obwodowego ma istotne implikacje terapeutyczne i może pomóc w wyborze strategii postępowania. Konwencjonalna angiografia obrazuje główne pnie naczyniowe, ich zwężenia i niedrożności. W standardowych warunkach nie pozwala na precyzyjną ocenę rozwoju naczyń krążenia obocznego, a tym bardziej jego skuteczności hemodynamicznej. Praktyka kliniczna wymaga nieinwazyjnego badania diagnostycznego, umożliwiającego dokonanie oceny stanu naczyń obwodowych oraz stanu ukrwienia tkanek [3, 5, 6]. W związku z tym w przedstawionej pracy podjęto próbę oceny przydatności badania sonodopplerowskiego w kompleksowej diagnostyce miażdżycowej niedrożności w odcinku udowo-podkolanowym.

### Material i metody

Badaniom poddano 44 chorych na miażdżycową niedrożność tętnic kończyn dolnych w odcinku udowo-podkolanowym. Wśród badanych było 33 mężczyzn i 11 kobiet w wieku 47–86 lat. Średnia wieku wynosiła

rolaemia. Patients of the Vascular Surgery Outpatients' Clinic with clinical symptoms of chronic lower-extremity ischaemia (stage II and III on Fontaine's scale) were qualified for further examination. They complained of lower-leg pain, consistent with intermittent claudication. Claudication occurred after 20–200 metres (95 metres on average). Some of the patients complained of ischaemic rest pain at night. In all patients, decreased temperature of the lower leg and foot was observed. A pulse was palpable only at the common femoral artery of the affected leg. In 7 patients, both legs were affected. Patients whose DSA tests revealed occlusion of the superficial femoral artery with retained patency of the profunda femoris were qualified for further tests. Patients with patent distal segments of the popliteal artery and at least one of its main branches were qualified for the tests. Another condition for qualification was having patent iliac arteries without haemodynamically significant changes (Figure 1).

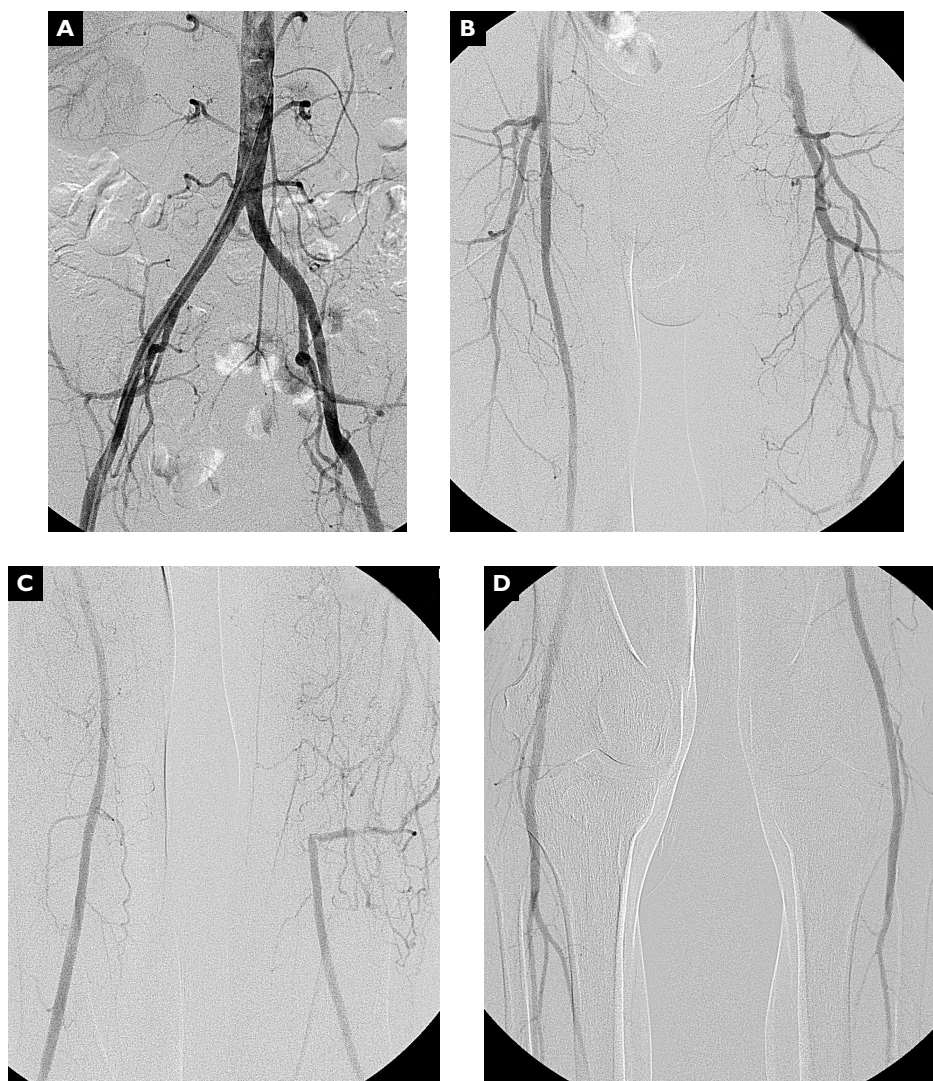
The control group consisted of 20 healthy people (10 males and 10 females) aged 22–32 years. Their average age was 24.8 years. Young people with no clinical or diagnostic symptoms of atheromatosis were chosen for the control group. In the control group, both lower limbs were examined, and the mean results were taken into account. In all of the subjects, Doppler sonography of the popliteal artery with measurement of morphological and haemodynamic parameters was performed. The diameter of the vessel, its cross-sectional area, and volume of blood flowing through it were analyzed. While assessing the spectrum of blood flow in the popliteal arteries, special attention was paid to peak systolic velocity (PSV), end diastolic velocity (EDV), the value of PSV/EDV, and pulsatility index (PI). A portable bi-directional Doppler was used to measure the blood flow pressure in the peripheral arteries, and to calculate the ankle-brachial index (ABI). During calculation, the artery with the higher pressure value was taken into account. The results were evaluated by comparing ABI to the value of the parameters obtained by Doppler ultrasound imaging. The morphological image of the popliteal artery wall, the thickness of the atheromatic plaque, and the degree of stenosis displayed during angiography were compared to the state of the respective vessels as displayed in USG imaging. In patients who were qualified for conservative treatment, blood flow was evaluated twice, i.e. at the moment they joined the study and at the end of a 3-month conservative therapy period with the use of two blood-flow improving drugs (pentoxifylline  $2 \times 600$  mg *p.o.* daily and buvasodil  $2 \times 300$  mg *p.o.* daily) and intensive marching exercise. The exercise involved walking 2000–3000

57,8 roku. W wywiadzie 41 chorych przez wiele lat paliło tytoń. U 26 chorych współistniało nadciśnienie tętnicze, u 17 badanych — choroba niedokrwienności serca. U 5 chorych miażdżycy towarzyszyła hypercholesterolemia. Do badań zakwalifikowano pacjentów leczonych w przyklinicznej Poradni Chirurgii Naczyń z klinicznymi objawami przewlekłego niedokrwienia kończyn dolnych w II i III stadium według klasyfikacji Fontaine'a. Chorzy skarżyli się głównie na ból łyżki o charakterze chromania przestankowego. Dystans chromania wynosił 20–200 metrów, średnio 95 metrów. U części badanych występował okresowy nocny ból spoczynkowy. W badaniu klinicznym u wszystkich chorych stwierdzano wyraźne ochłodzenie łyżki i stopy badanej kończyny oraz zwolnienie gry naczyniowej na opuszkach palców. Tętno na badanej kończynie było wyczuwalne jedynie na tętnicy udowej wspólnej. U 7 pacjentów choroba dotyczyła jednocześnie obu kończyn.

Do badanej grupy zakwalifikowano chorych, u których na podstawie badania angiograficznego DSA stwierdzono niedrożność tętnicy udowej powierzchownej z zachowaną drożnością tętnicy głębokiej uda. Kwalifikowano pacjentów z zachowaną drożnością dystalnego odcinka tętnicy podkolanowej i przynajmniej jednego naczynia na łyżki. Warunkiem koniecznym był także drożny i bez istotnych hemodynamicznie zmian układ naczyń biodrowych (ryc. 1).

Grupę kontrolną stanowiło 20 zdrowych osób, w tym 10 kobiet i 10 mężczyzn w wieku 22–32 lat. Średnia wieku wynosiła 24,8 roku. Do grupy kontrolnej wybrano osoby młode, bez klinicznych i diagnostycznych objawów miażdżycy. W grupie kontrolnej badaniom poddano obie kończyny dolne, przyjmując do analizy wartości średnie.

U wszystkich badanych wykonano badanie dopplerowskie tętnicy podkolanowej z pomiarem parametrów morfologicznych i hemodynamicznych. Analizowano średnicę naczynia, pole powierzchni jego przekroju i objętość przepływającej krwi. Oceniając spektrum przepływu w tętnicach podkolanowych, zwrócono uwagę na wartości maksymalnej prędkości skurczowej (PSV), prędkości późnorozkurczowej (EDV) oraz wartość współczynnika PSV/EDV i współczynnika pulsacji (PI). Przy użyciu przepływomierza fali ciągłej wykonano pomiary ciśnień przepływu krwi w tętnicach obwodowych z obliczeniem wartości wskaźnika kostka–ramię (ABI). W obliczeniach uwzględniano pomiar na tętnicy, w której stwierdzono wyższą wartość ciśnienia. Wyniki badań oceniano, porównując wartości ABI z wartościami parametrów uzyskanych w badaniu sonodopplerowskim. Porównywano także morfologiczny obraz ściany tętnicy podkolanowej, grubość blaszki



**Figure 1.** Reconstruction of the lower limb arterial system based on DSA images. **A.** Patent aorto-iliac segment of the arterial bed. **B.** Left extremity — both the femoral common and femoral deep arteries remain patent. **C.** Left extremity — superficial femoral artery completely occluded, blood flow restored to its distal segment via the collateral vessel network. **D.** Left extremity — patent popliteal artery with its bifurcation

**Rycina 1.** Badanie DSA i.a. **A.** Aorta brzuszna oraz obustronnie układy tętnic biodrowych drożne, ze swobodnym przepływem krwi. **B.** Po stronie lewej drożne tętnica udowa wspólna oraz tętnica głęboka uda. **C.** Tętnica udowa powierzchowna lewa niedrożna na niemal całej długości. Poprzez naczynia krążenia obocznego napływ krwi do jej końcowego odcinka, przy wyjściu z kanału przywodzicieli. **D.** Tętnica podkolanowa lewa drożna na całej długości wraz z podziałem

metres daily at a speed which raised the pulse to about 100–120/min. Regardless of duplex ultrasonography of the artery, medical history was taken from the patients and their families concerning intermittent claudication distance, as well as observations of the training regimen by the patients.

Statistical analysis of the results was performed separately for each leg.

### Results

Analysis was performed in 4 groups depending on the ABI value. The borderline value for the first group

miażdżycowej i stopień zwężenia uzyskany w badaniu angiograficznym ze stanem morfologicznym odpowiednich naczyń w obrazie ultrasonograficznym.

W przypadku chorych zakwalifikowanych do leczenia zachowawczego ocenę przepływu wykonano 2-krotnie, czyli w momencie włączenia chorych do grupy badawczej oraz po zakończeniu okresu 3-miesięcznej terapii zachowawczej z zastosowaniem dwóch leków poprawiających krążenie, takich jak pentoksyfilina w dawce  $2 \times 600$  mg oraz chlorowodorek buflomedilu (Buvasodil) w dawce  $2 \times 300$  mg oraz intensywnego treningu marszowego. Terapia ruchowa we wszystkich

was  $< 0.4$ , for the second group  $< 0.5$ , for the third  $< 0.6$ , and for the fourth  $< 0.8$ . As a result of these tests, a connection between the parameters obtained through Doppler ultrasound imaging and ABI was proven. In the first group, the diameter of the artery was 3.3 mm on average, the cross-sectional area was 0.09 cm<sup>2</sup>, and blood flow through the popliteal artery was 0.064 l/min. In the second group, the diameter of the artery was 3.9 mm, the cross-sectional area was 0.13 cm<sup>2</sup>, and blood flow was 0.075 l/min. In the third group, these values were 4.1 mm, 0.15 cm<sup>2</sup>, and 0.085 l/min, respectively. In the fourth group, they were 4.7 mm, 0.18 cm<sup>2</sup>, and 0.087 l/min, respectively (Table I).

In the control group, ABI had a value of 0.95–1.26 (1.11 on average). The cross-sectional area of the popliteal artery was 0.17–0.37 cm<sup>2</sup> (an average of 0.27 cm<sup>2</sup>), and the diameter was 4.7–6.9 mm (5.77 mm on average). Blood flow had a value of 0.127–0.192 l/min (an average of 0.170 l/min). The value of the above-mentioned parameters varied depending on the patient's gender. Lower values were recorded in female patients (Table II).

The obtained results showed a statistical significance in the dependence between the value of the ABI and the selected popliteal artery parameters, and the value of blood flow revealed by the Doppler ultrasound imaging technique. A significant decrease in the diameter

przypadkach obejmowała konieczność pokonywania w ciągu dnia 2000–3000 metrów z prędkością umożliwiającą uzyskanie tętna około 100–120/min. Niezależnie od wykonania badania dupleksowego przepływu tętniczego od chorych i członków ich rodzin zbierano wywiad dotyczący dystansu chrania oraz przestrzegania zasad prowadzenia treningu marszowego.

Analizie statystycznej poddano wyniki badań osobno dla każdej kończyny.

## Wyniki

Analizę przeprowadzono w czterech grupach w zależności od wielkości wskaźnika ABI, przyjmując graniczne wartości wskaźnika w grupie pierwszej poniżej 0,4, w grupie drugiej poniżej 0,5, w grupie trzeciej poniżej 0,6 i w grupie czwartej poniżej 0,8.

W wyniku przeprowadzonych badań wykazano związek pomiędzy uzyskanymi w badaniach sonodopplerowskich parametrami a wartością ABI. U osób z grupy pierwszej średnica naczyń wynosiła średnio 3,3 mm, pole powierzchni przekroju naczyń — 0,09 cm<sup>2</sup>, a wielkość przepływu krwi przez tętnicę podkolanową — 0,064 l/min. W grupie drugiej średnica naczyń wynosiła 3,9 mm, wielkość pola powierzchni — 0,13 cm<sup>2</sup>, a przepływ — 0,075 l/min. W grupie trzeciej wielkości te wynosiły odpowiednio 4,1 mm, 0,15 cm<sup>2</sup> i 0,085 l/min, w grupie czwartej 4,7 mm, 0,18 cm<sup>2</sup> i 0,087 l/min (tab. I).

**Table I.** The correlation of popliteal artery diameter, cross-sectional area, and blood volume to anti-brachial index

**Tabela I.** Zależność średnicy, pola przekroju i pojemności minutowej tętnicy podkolanowej od wartości wskaźnika kostka–ramię

ABI	PI	PSV/EDV	Diameter [mm] Średnica	Area [mm <sup>2</sup> ] Powierzchnia	Blood flow [l/min] Przepływ
0.4 <	< 0.5	< 1.4	3.3	0.09	0.064
0.5 <	< 0.9	< 2.1	3.9	0.13	0.075
0.6 <	< 1.3	< 3.3	4.1	0.15	0.085
0.8 <	< 1.9	< 3.9	4.7	0.18	0.087

ABI — ankle-brachial index (wskaźnik kostka–ramię); PI — pulsatility index (współczynnik pulsacji); PSV/EDV — peak systolic velocity/end diastolic velocity value (współczynnik prędkości szczytowo-skurczowej/prędkości końcowo-rozkurczowej)

**Table II.** Diameter, area, and volumetric blood flow values in the control group

**Tabela II.** Wartości średnicy, pola przekroju i pojemności minutowej w grupie kontrolnej

	Diameter [mm] Średnica	Area [mm <sup>2</sup> ] Powierzchnia	Blood flow [l/min] Przepływ
Female Kobiety	5.58	0.25	0.162
Male Mężczyźni	5.95	0.28	0.179
Average Średnio	5.77	0.27	0.170

and cross-sectional area of the popliteal artery, with a simultaneous decrease in volumetric blood flow, was shown alongside the drop in ABI value.

The values of flow velocity and pulsatility index obtained through duplex ultrasonography are presented in table I. No relation between absolute PSV and EDV values, and progression of clinical symptoms and ABI value was observed. However, a close correlation between the reported claudication distance, ABI value, and pulsatility index and PSV/EDV of the popliteal artery was observed. The increase in claudication distance and ABI value was directly proportional to the increase in systolic-diastolic flow amplitude. In patients with an intermittent claudication distance < 50 m and an ABI < 0.4, blood flow through the popliteal artery had a low amplitude (PI < 0.9; PSV/EDV < 2.1). The USG image was linked to the significant restriction (pain) in movement reported by patients. The increase in blood flow amplitude was directly proportional to the increase in claudication distance, and reached PI values of 1.3–1.9, and PSV/EDV of 2.9–3.9 in patients with ABI values of 0.6–0.8. In 6 patients with a femoropopliteal occlusion confirmed by DSA, we observed the presence of a pulse on the popliteal arteries, and in 2 cases even on the tibial arteries. During duplex ultrasonography, we observed a rapid systolic blood flow and a lack of flow during diastole (Figure 2).

Control tests performed after a 3-month conservative therapy period showed an increase in claudication distance of 23–103% of its initial value in 21 out of 44 patients. In these patients, PSV/EDV and PI increased by  $67 \pm 43\%$ , and by  $38 \pm 21\%$ , respectively. The rest of the patients reported no apparent change in claudication distance. No difference in PI and ABI values was noted in these patients. From the medical history obtained from these patients, and more often from their families, it was apparent that they were lax in following the recommended training regimen, and very often did not even apply it in their daily routine.

## Discussion

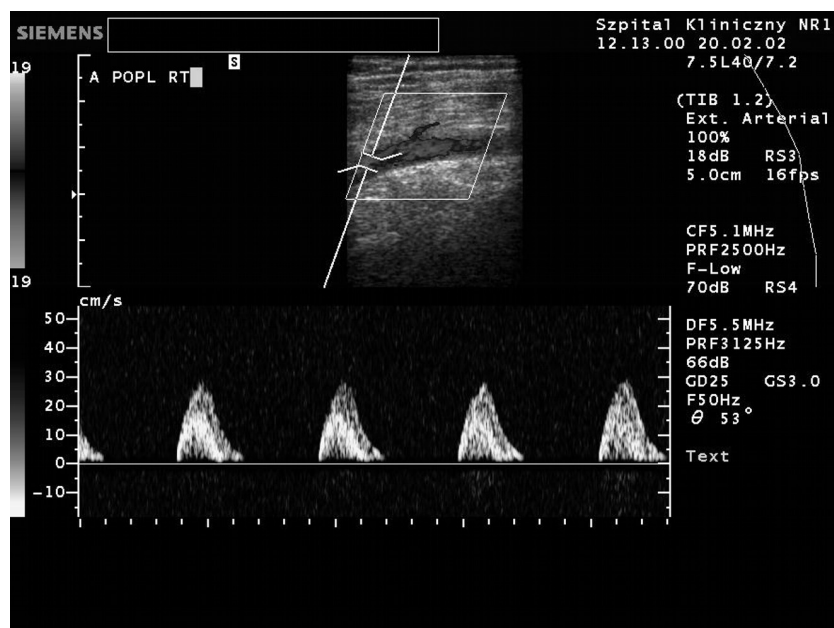
Atheromatic ischaemia caused by occlusion of the femoropopliteal segment of the artery is the most common form of the disease [2]. The aim of therapy is: to eliminate risk factors, to stimulate development of collateral circulation through physical exercise, to stimulate the development of new blood vessels through factors that encourage neoangiogenesis, to increase tissue perfusion through vaso-active drugs, and in advanced cases to reconstruct arteries through operative or intravascular techniques [3, 8, 9]. In some cases, amputation is necessary. Choice of therapeutic stra-

W grupie kontrolnej wartość wskaźnika ABI wynosiła 0,95–1,26, średnio 1,11. Wielkość pola przekroju tętnicy podkolanowej wahała się od 0,17 do 0,37 cm<sup>2</sup> i średnio wynosiła 0,27 cm<sup>2</sup>, średnica naczynia 4,7–6,9 mm i średnio wynosiła 5,77 mm. Wartość pojemności minutowej wahała się od 0,127 do 0,192 l/min i średnio wynosiła 0,170 l/min. W zależności od płci wartość badanych parametrów różniła się. U kobiet stwierdzone wartości były niższe (tab. II).

Uzyskane wyniki wykazały znamiennej statystyczną zależność pomiędzy wartością wskaźnika ABI i pomiarami wybranych parametrów tętnicy podkolanowej i wielkości przepływu krwi uzyskanymi w badaniu sonodopplerowskim. Wraz ze zmniejszaniem się ABI stwierdzono istotne zmniejszenie średnicy i pola powierzchni przekroju tętnicy podkolanowej i jednoczesny spadek pojemności minutowej przepływu krwi.

Wyniki uzyskanych wartości prędkości przepływu i wskaźnika pulsacji w obu badaniach dupleksowych przedstawiono w tabeli I. Nie zaobserwowano występowania zależności pomiędzy bezwzględными wartościami PSV i EDV a zaawansowaniem objawów klinicznych oraz wartościami ABI. Zaobserwowano natomiast występowanie ścisłej zależności pomiędzy zgłaszanym dystansem chromania, ABI a współczynnikami pulsacji i PSV/EDV przepływu w tętnicy podkolanowej. W miarę wydłużania dystansu chromania oraz zwiększania wartości wskaźnika ABI wzrastała amplituda skurczowo-rozkurczowa przepływu. W przypadku chorych z dystansem chromania poniżej 50 m i ABI < 0,4 przepływ tętnicy podkolanowej charakteryzował się małą amplitudą (PI < 0,9; PSV/EDV < 2,1). Jednocześnie taki obraz ultrasonograficzny wiązał się z podawanym w wywiadzie istotnym ograniczeniem aktywności fizycznej. W miarę wydłużania dystansu przejścia bezbólowego amplituda przepływu wzrastała, osiągając w grupie chorych z ABI równym 0,6–0,8 wartości PI w zakresie 1,3–1,9 i PSV/EDV w zakresie 2,9–3,9. W skrajnych przypadkach u 6 chorych z potwierdzoną w badaniu DSA niedrożnością udowodnioną odnotowano tętno na tętnicach podkolanowych, a nawet u 2 chorych tętno na tętnicach piszczelowych. W badaniu dupleksowym uzyskano przepływ przedstawiony na rycinie 2, z obecnością szybkiego przepływu w okresie skurczu i jego brakiem w okresie rozkurczu.

W badaniach kontrolnych wykonanych po 3-miesięcznym okresie terapii zachowawczej u 21 spośród 44 chorych obserwowano wydłużenie dystansu chromania o 23–103% wartości wyjściowej. U tych chorych nastąpiło zwiększenie współczynników PSV/EDV i PI odpowiednio o  $67 \pm 43\%$  i o  $38 \pm 21\%$  w stosun-



**Figure 2.** Ultrasound Doppler of the popliteal artery — blood flow in the popliteal artery, below an occlusion of the superficial femoral artery. Lack of diastolic flow may condition pulse occurrence in the popliteal artery. High systolic-diastolic flow amplitude is proof of a well-developed collateral vessel network

**Rycina 2.** Badanie USG Doppler tętnicy podkolanowej — przepływ w tętnicy podkolanowej poniżej niedrożności tętnicy udowej powierzchownej. Brak przepływu w fazie rozkurczowej może warunkować wystąpienie tętna na tętnicy podkolanowej. Duża amplituda skurczowo-rozkurczowa świadczy o dobrze rozwiniętym krążeniu obocznym

tegy requires knowledge of the state of the arteries, and on the amount of blood supply to peripheral tissues. Making the wrong choice may significantly worsen prognosis. The standard diagnostic procedure is DSA; however, it carries the risk of complication and consequently should be performed in an appropriate radiological unit. Due to technical factors, it also carries the risk of diagnostic errors. DSA images are single-plane images of the artery's lumen, but give no information about the value of blood flow. Because of this, it is of no use in ambulatory conditions [10, 11]. The development of simple and effective diagnostic methods has been the subject of research for many years. Plethysmography and thermography have not come into common practice. Measurement of blood pressure with the use of a portable bi-directional Doppler proved to be useful. It involves the measurement of ABI, i.e. the ratio of blood pressure in peripheral vessels in relation to blood pressure in the brachial artery. A correlation of ABI to the degree of tissue ischaemia was observed. On this basis, values characteristic of proper blood flow, and those characteristic of various degrees of limb ischaemia, were determined [12, 13]. This allows us to determine prognosis and indications for vascular reconstruction in the affected limb. However, it does not inform us of the

ku do wartości wyjściowej. Pozostali chorzy zgłaszali występowanie niezmięnionej wartości dystansu chromania. U tych chorych nie stwierdzono istotnych zmian wartości PI i ABI pomiędzy obydwooma punktami pomiarowymi. Z wywiadu uzyskanego od chorych, a częściej od członków ich rodzin, uzyskano informację o braku przestrzegania zasad zaleconego treningu marszowego, najczęściej o całkowitym jego braku.

## Omówienie

Miażdżycowe niedokrwienie kończyn dolnych spowodowane niedrożnością tętnic w odcinku udowo-podkolanowym jest najczęściej występującą postacią choroby [2]. Celem leczenia jest eliminacja czynników ryzyka, pobudzanie rozwoju krążenia obocznego za pomocą programu ćwiczeń ruchowych, stymulacja wzrostu nowych naczyń za pomocą czynników wpływających na neoangiogenezę, zwiększenie perfuzji tkankowej za pomocą leków naczynioaktywnych, a w zaawansowanych postaciach rekonstrukcję naczyń technikami operacyjnymi lub zabiegami wewnątrznacyniowymi [3, 8, 9]. W części przypadków konieczne jest podjęcie decyzji o amputacji. Wybór taktyki postępowania wymaga wiedzy o stanie tętnic i ukrwieniu tkanek obwodowych. Podjęcie niewłaściwej decyzji może istotnie pogorszyć rokowanie. Standardowo wykony-



anatomical possibility of conducting such a procedure. The introduction of diagnostic methods based on pulse wave Doppler allowed imaging of the arteries and assessment of their morphology. It also facilitates the measurement of parameters which characterize haemodynamic properties of blood flow below the occluded segment. It is a universally available and non-invasive method.

Current research is investigating the usefulness of specific blood-flow parameters obtained through Doppler imaging of peripheral vessels in the assessment of the haemodynamic consequences of stenosis and occlusion of the iliaco-femoral segment. The parameters most commonly assessed are the change of the blood flow character from 3-phase to 2-phase or single-phase, as well as assessment of absolute and relative PSV changes [14, 15]. Their usefulness in the indirect determination of haemodynamically significant changes in the iliac arteries, which are impossible to assess in duplex sonography e.g. due to the presence of large amounts of intestinal gases or highly calcified atherosclerotic plaques, was proven beyond doubt. Analysis of indirect Doppler parameters allows for detection of significant stenosis with approximately 95% sensitivity and approximately 87% specificity [12]. The usefulness of specific parameters in the assessment of the degree of development of collateral circulation was not assessed. Initial reports from Bana et al. seem to suggest that resistance index (RI) and pulsatility index (PI) may be useful in the evaluation of collateral circulation [13].

Because of the successful introduction of duplex ultrasonography techniques in the last dozen or so years, the once universally applied procedure of assessing blood flow conditions using RI and PI has been forgotten. The latter seems to be especially useful in assessing the development of collateral circulation. According to our observations, there is a clear correlation between systole-diastole amplitude, defined by PSV/EDV and PI values, and the degree of collateral circulation development. A similar correlation with reference to improvement of peripheral blood flow under the influence of vasodilative drugs was demonstrated by Sensier et al. [16]. In patients with rudimentary blood flow, with virtually non-existent collateral circulation, we observe a slow, single-phase flow, i.e. a flat, continuous line without pulsation. As the conditions of collateral circulation improve, the systolic amplitude rises to a moment when we have a rapid peripheral flow during systole and a lack of flow during diastole. This situation results in conditions conducive for palpation of pulse on the artery that is distal to the occlusion. The above-mentio-

wanym badaniem jest dotętnicza angiografia DSA. Wiąże się ona jednak z możliwością powikłań i wymaga przeprowadzenia go w warunkach radiologicznej pracowni naczyniowej. Z przyczyn technicznych jest obarczona możliwością błędów diagnostycznych. Obrazuje światło naczynia jednopłaszczyznowo i nie daje informacji na temat wielkości przepływu krwi. W związku z tym nie ma zastosowania w warunkach ambulatoryjnych i na poziomie pierwszego poziomu referencji [10, 11]. Wypracowanie prostych i skutecznych metod diagnostycznych jest przedmiotem badań od wielu lat. Metody pletyzmografii czy termografii nie znalazły zastosowania. Przydatna okazała się technika pomiarów ciśnień metodą Dopplera fali ciągłej. Badanie polega na pomiarze ABI, czyli stosunku ciśnienia w naczyniach obwodowych do ciśnienia na tętnicy ramiennej. Opracowano zależności między wartością ABI a stopniem niedokrwienia tkanek. Na tej podstawie wyznaczono wartości charakterystyczne dla prawidłowego przepływu krwi i wartości charakteryzujące różne stadia niedokrwienia kończyn [12, 13]. Pozwala to na określenie rokowania i wskazań do rekonstrukcji krążenia w kończynie. Nie informuje jednak o anatomicznych możliwościach takiego zabiegu. Wprowadzenie diagnostyki opartej na badaniu dopplerowskim falą pulsacyjną pozwoliło na zobrazowanie badanych naczyń i ocenę ich morfologii. Technika badania pozwala także na pomiary parametrów charakteryzujących właściwości hemodynamiczne przepływu krwi poniżej niedrożnego odcinka tętnic. Badanie jest powszechnie dostępne i nieinwazyjne.

W dotychczasowych badaniach przeprowadzono testy nad przydatnością poszczególnych parametrów oceny dopplerowskiej przepływu w naczyniach obwodowych w ocenie hemodynamicznych następstw zwężeń i niedrożności w odcinku biodrowo-udowym. Najczęściej ocenianymi parametrami była zmiana charakteru przepływu z trójfazowego na dwu- lub jednofazowy oraz ocena bezwzględnej i względnej zmiany PSV [14, 15]. Jednoznacznie wykazano ich przydatność w pośrednim wykazaniu obecności hemodynamicznie istotnych zmian w odcinkach tętnic biodrowych, niedostępnych ocenie w badaniu dupleksowym, na przykład w następstwie dużych ilości gazów jelitowych lub obecności dobrze uwapnionych złogów miażdżycowych. Analiza pośrednich parametrów dopplerowskich umożliwia wykrycie istotnych zwężeń z około 95-procentową czułością i około 87-procentową specyficznością [12]. Nie badano natomiast przydatności poszczególnych parametrów w ocenie stopnia rozwoju krążenia obocznego. Wstępne doniesienie Bana i wsp. wydaje się sugerować, że przydatne w ocenie rozwoju krą-

ned situation is significant because during routine ambulatory diagnostics the presence of a pulse during palpation is considered proof of patency of the proximal segment of the arterial system. Equally important, in our opinion, is the possibility of objective and reliable monitoring of the patients' commitment to the recommended conservative therapy — mainly exercise therapy. Evaluation of changes in blood flow pulsatility in popliteal arteries of patients with femoropopliteal occlusions allowed us to assess whether or not the patients adhered to the recommended therapeutic regimen, and correlated to an increase in the intermittent claudication distance. At the same time, this method allows for the elimination of the influence of a series of factors, i.e. calcification of the intima layer, which falsifies ABI values [17]. Because of this, evaluation of flow pulsatility in peripheral blood vessels may be used universally in the diagnosis and monitoring of patients with symptoms of intermittent claudication. Of course, due to the limited number of patients examined in this study (with the aim of determining the exact measurement criteria), it is necessary to increase the number of research subjects accordingly.

Our own research proves that Doppler ultrasound imaging satisfactorily displays the morphological state of the femoropopliteal segment of the artery, while simultaneously determining the haemodynamic parameters of collateral circulation in the popliteal artery and the arteries of the calf. The values obtained during research through Doppler ultrasound imaging technique correlated well with the results of flow pressure measurement and ABI values, and are a valuable method in pre-operative diagnosis of femoropopliteal occlusion.

### Conclusion

1. Blood flow values obtained through Doppler ultrasound imaging correlate well with ABI values, and depend on the degree of progression of atherosclerosis.
2. In patients with ABI values < 0.50, the popliteal artery diameter and blood flow volume indicated in Doppler ultrasound imaging were significantly lower (0.33 mm and 0.064 l/min), which suggests considerable limb ischaemia and limits the possibility of vascular reconstruction.
3. Doppler ultrasound imaging is a useful method of assessing the degree of progression of atherosclerosis in the popliteal artery and in peripheral vessels, as well as monitoring whether or not patients adhere to therapeutic recommendations regarding exercise therapy.

zenia obocznego mogą być wskaźniki oporowości i pulsacyjności [13].

Z powodu wdrażania w ostatnich kilkunastu latach z powodzeniem techniki badania dupleksowego nieco zapomniano o powszechnie stosowanych niegdyś zasadach oceny warunków przepływu za pomocą wskaźników oporowości i pulsacyjności. Szczególnie ten ostatni wydaje się przydatny w ocenie warunków rozwoju krążenia obocznego. Według obserwacji autorów niniejszej pracy występuje wyraźna zależność pomiędzy wielkością amplitudy skurczowo-rozkurczowej, określonej wartościami wskaźników PSV/EDV i PI a stanem rozwoju krążenia obocznego. Podobną zależność w odniesieniu do poprawy przepływu obwodowego pod wpływem leków wazodylatacyjnych wykazali Sensier i wsp. [16].

W przypadku chorych z zachowanym przepływem resztkowym, przy praktycznie nieistniejącym krążeniu obocznym, obserwuje się powolny przepływ jednofazowy, czyli w postaci linii ciągłej, bez pulsacji. W miarę polepszania warunków krążenia obocznego amplituda skurczowa wzrasta, aż do momentu, w którym w okresie skurczowym występuje szybki przepływ obwodowy przy braku przepływu w okresie rozkurczu. Stwarza to korzystne warunki do wyczuwania tętna na tętnicy zlokalizowanej dystalnie w stosunku do niedrożności. Świadomość występowania powyższej sytuacji jest o tyle istotna, że w rutynowej diagnostyce ambulatoryjnej obecność tętna na dowolnej tętnicy w badaniu palpacyjnym uznaje się za dowód zachowania drożności odcinka bliższego układu tętniczego.

Zdaniem autorów niniejszej pracy podobnie istotne znaczenie ma możliwość obiektywnego i wysoce prawdopodobnego monitorowania zaangażowania chorych w realizację zaleconej terapii zachowawczej, głównie pod postacią treningu marszowego. Ocena zmiany pulsacyjności przepływu w tętnicach podkolanowych chorych z niedrożnością udowo-podkolanową pozwoliła z wysoką zależnością potwierdzić fakt stosowania zaleconej terapii i korelowała z wydłużeniem dystansu chromania przestankowego. Jednocześnie metoda ta pozwoliła na wyeliminowanie wpływu wielu czynników, takich jak zwapnienie błony wewnętrznej, fałszujących wartości ABI [17]. Z tego powodu metoda oceny pulsacyjności przepływu w naczyniach obwodowych może być powszechnie stosowana w diagnozowaniu i monitorowaniu chorych z objawami chromania przestankowego. Oczywiście ze względu na ograniczoną liczbę chorych poddanych badaniu w celu określenia dokładnych kryteriów pomiarowych należy odpowiednio zwiększyć populację pacjentów objętych badaniem.

- Evaluation of flow pulsatility may be a viable alternative to ABI in assessing development of collateral circulation in patients with chronic lower-limb ischaemia.

## References

- Uuitisupa M, Niskanen LK, Siitonen O et al (1990) 5-year incidence of arteriosclerotic vascular disease in relation to general risk factors, insulin level, and abnormalities in lipoprotein composition in non-insulin-dependent diabetic and nondiabetic subjects. *Circulation*, 82: 27–36.
- Noszczyk W, Andziak P (2007) Przewlekłe niedokrwienie kończyn dolnych. In: Noszczyk W (ed). *Chirurgia tętnic i żył obwodowych*. Warszawa, PZWL: 563–566
- Das T (2004) Optimal therapeutic approaches to femoropopliteal artery intervention. *Catheterisation and Cardiovascular Interventions*, 63: 21–30.
- Johansson KE, Marklund BR, Fowelin HR (2002) Evaluation of a new screening method for detecting peripheral arterial disease in a primary health care population of patients with diabetes mellitus. *Diabetes UK. Diabetic Medicine*, 19: 307–310.
- Lasek W, Mosiolek M, Serafin Z et al (2004) Early results of endovascular stenting in patients with stenoses and occlusions of the iliofemoropopliteal arteries. *Pol J Radiol*, 69: 45–49.
- Wecksell MB, Winchester PA, Bush HL et al (2001) Cross-sectional pattern of collateral vessels in patients with superficial femoral artery occlusion. *Investigative Radiology*, 36: 422–429.
- Macchi C, Giannelli F, Cecchi F et al (1996) Collateral circulation in occlusion of lower limbs arteries: An anatomical study and statistical research in 35 old subjects. *Int J Anat Embryol*, 101: 89–96.
- Juszkat R, Pukacki F, Żabicki B et al (2007) Results of percutaneous transluminal angioplasty in patients with TASC A femoropopliteal lesions. *Chirurgia Polska* 9, 193–201.
- Kowalik Z (2006) Ocena kliniczna i jakości życia pacjentów z miażdżycą naczyń obwodowych leczonych zachowawczo o operacyjnie. In: Dorobisz AT (ed). *Zachorowalność oraz wyniki leczenia zachowawczego i operacyjnego pacjentów z obwodowym niedokrwieniem kończyn dolnych*. Hexal, Warszawa: 202–356.
- Pruszyński B (2007) Radiologia — diagnostyka obrazowa naczyń obwodowych. In: Noszczyk W (ed). *Chirurgia tętnic i żył obwodowych*. PZWL, Warszawa: 182–211.
- Vistarini N, Aubert S, Gandjbakhch I (2008) Mismatch between angiographic result and surgical evidence. *Ann Thorac Surg*, 86: 314.
- Fontcuberta J, Flores A, Langsfeld M et al (2005): Screening algorithm for aortoiliac occlusive disease using duplex ultrasonography-acquired velocity spectra from the distal external iliac artery. *Vascular*, 13: 164–172.
- Ban K, Kochi K, Imai K, Okada K, Orihashi K, Sueda T (2005) Novel Doppler technique to assess systemic vascular resistance: the snuffbox technique. *Circ J*, 69: 688–694.
- Coffi SB, Ubbink DT, Zwiers I, van Gorp AJ, Legemate DA (2001) The value of the peak systolic velocity ratio in the

W przeprowadzonych badaniach własnych wykazano, że badanie sonodopplerowskie w zadawalający sposób obrazuje stan morfologiczny naczyń w odcinku udowo-podkolanowym, a jednocześnie umożliwia określenie hemodynamicznych parametrów krążenia obocznego w tętnicy podkolanowej i naczyniach goleń. Uzyskane w przeprowadzonym badaniu wartości parametrów w badaniu sonodopplerowskim dobrze korelują z wynikami pomiarów ciśnienia przepływu i wskaźnikiem ABI i stanowią wartościową metodę w przedoperacyjnej diagnostyce niedrożności udowo-podkolanowej.

## Wnioski

- Uzyskane w badaniu sonodopplerowskim wartości przepływów krwi dobrze korelują z wartościami wskaźnika kostka–ramię i zależą od stopnia zaawansowania choroby miażdżycowej.
- U chorych z wartością wskaźnika kostka–ramię poniżej 0,50 średnica tętnicy podkolanowej i wielkość przepływu krwi przez tętnicę podkolanową uzyskana w badaniu sonodopplerowskim jest istotnie mniejsza i wynosi 0,33 mm i 0,064 l/min, co świadczy o znacznym niedokrwieniu kończyny i ograniczonych możliwościach rekonstrukcji krążenia.
- Badanie sonodopplerowskie jest przydatną metodą w ocenie stopnia zaawansowania choroby miażdżycowej w tętnicy podkolanowej i naczyniach obwodowych oraz monitorowania realizacji przez chorych zaleceń dotyczących stosowania treningu marszowego.
- Ocena pulsacyjności przepływu może stanowić poważną alternatywę dla badania wartości wskaźnika kostka–ramię w ocenie rozwoju krążenia obocznego u chorych z miażdżycowym niedokrwieniem kończyn dolnych.

---

assessment of the haemodynamic significance of subcritical iliac artery stenoses. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 22, 424–28.

- Shalan WE, French-Sherry E, Castilla M, Lozanski L, Bassiouny HS (2003) Reliability of common femoral artery hemodynamics in assessing the severity of aortoiliac inflow disease. *J Vasc Surg*, 37: 960–969.
- Sensier YJ, Thrush AJ, Loftus I, Evans DH, London NJ (2000) A comparison of colour duplex ultrasonography, papaverine testing and common femoral Doppler waveform analysis for assessment of the aortoiliac arteries. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 20: 29–35.
- Holland CK, Brown JM, Scoutt LM, Taylor KJ (1998) Lower extremity volumetric arterial blood flow in normal subjects. *Ultrasound Med Biol*, 24: 1079–1086.