

# Ultrasound and angiographic assessment of collateral circulation in bilateral steal syndrome

## Ultrasonograficzna i angiograficzna ocena krążenia obocznego w obustronnym zespole podkradania

Robert Juszkat<sup>1</sup>, Marcin Gabriel<sup>2</sup>, Violeta Nowak<sup>1</sup>, Katarzyna Pawlaczyk<sup>3</sup>, Fryderyk Pukacki<sup>2</sup>, Grzegorz Oszkinis<sup>2</sup>, Wacław Majewski<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Radiology, Poznan University of Medical Sciences (Pracownia Naczyniowa Zakładu Radiologii Klinicznej Katedry Radiologii Akademii Medycznej im. K. Marcinkowskiego w Poznaniu)

<sup>2</sup>Department of General and Vascular Surgery, Poznan University of Medical Sciences (Klinika Chirurgii Ogólnej i Naczyń II Katedry Chirurgii Akademii Medycznej im. K. Marcinkowskiego w Poznaniu)

<sup>3</sup>Department of Arterial Hypertension, Internal and Vascular Diseases, Poznan University of Medical Sciences (Klinika Nadciśnienia Tętniczego, Chorób Wewnętrznych i Chorób Naczyń Akademii Medycznej im. K. Marcinkowskiego w Poznaniu)

### Abstract

**Background.** The purpose of this work was the assessment of haemodynamics of blood pressure in bilateral subclavian steal syndrome based on results of Doppler and angiographic examinations.

**Material and methods.** The examinations were performed in three symptomatic patients suffering from bilateral subclavian steal syndrome. Doppler examination, including extracranial artery flow measurement, was made with the use of a 5–9 MHz linear head. Examination of the basilar artery through the great foramen as well as of the posterior communicating arteries and the posterior cerebral arteries through the parietal window was made with the use of a 2.5 MHz sector head. Development of steal was assessed in 3-stage scale. Angiographic examinations were made using the Seldinger method, and providing contrast medium to the ascending aorta and the aortic arch branch.

**Results.** Significant haemodynamic disorders, along with a total flow reversal in the homonymous vertebral artery in the case of subclavian artery occlusion, and along with a bidirectional flow in the vertebral artery in the case of subclavian artery stenosis, were found respectively. Each time, well-developed collateral circulation from the external carotid arteries through the occipital arteries or through the superior thyroid arteries was observed. Moreover, the presence of tiny collateral vessels directly from the aorta was also found.

**Conclusions.** Doppler arterial examination is a valuable type of examination for diagnosing and assessing steal syndrome. In symptomatic patients, diagnostics must be indispensably accompanied by angiographic examinations.

**Keywords:** steal syndrome, Doppler examinations, haemodynamics

### Streszczenie

**Wstęp.** Celem niniejszej pracy była ocena hemodynamiki krążenia krwi u chorych z obustronnym zespołem podkradania tętnic podobojczykowych na podstawie wyników badań dopplerowskich i angiograficznych.

**Material i metody.** Badania wykonano u 3 chorych z objawami obustronnego zespołu podkradania tętnic podobojczykowych. Badanie dopplerowskie z pomiarami przepływów tętnic zewnątrzczaszkowych wykonywano głowicą liniową 5–9 MHz. Badanie tętnicy podstawnej poprzez otwór wielki oraz tętnic łączących tylnych

Address for correspondence (Adres do korespondencji):

Dr med. Robert Juszkat, Szpital Kliniczny nr 1

ul. Długa 1/2, 61–848 Poznań

tel: + 48 (61) 854 92 70, + 48 (61) 854 92 80, fax: + 48 (61) 854 92 83

e-mail: [robertju@wp.pl](mailto:robertju@wp.pl)

i tylnych mózgu przez okno ciemieniowe wykonywano głowicą sektorową 2,5 MHz. Zaawansowanie podkradania oceniano w 3-stopniowej skali. Badania angiograficzne wykonywano metodą Seldingera z podaniem kontrastu do aorty wstępującej i gałęzi łuku aorty.

**Wyniki.** U chorych z niedrożnością tętnicy podobojczykowej i przepływem dwukierunkowym w tętnicy kręgowej w przypadku zwężenia tętnicy podobojczykowej stwierdzono występowanie istotnych zaburzeń hemodynamicznych z całkowitym odwróceniem przepływu w tętnicy kręgowej leżącej po tej samej stronie. Zawsze wykazywano rozbudowane krążenie oboczne z tętnic szyjnych zewnętrznych poprzez tętnice potyliczne lub tarczowe górne oraz obecność drobnych gałązek krążenia obocznego bezpośrednio z aorty.

**Wnioski.** Badanie dopplerowskie tętnic jest istotne w rozpoznawaniu i ocenie zespołu podkradania. U chorych z objawami niezbędnym uzupełnieniem diagnostyki są badania angiograficzne.

**Słowa kluczowe:** zespół podkradania, badania dopplerowskie, hemodynamika

## Introduction

Subclavian steal syndrome was described for the first time in the year 1960 [1–4]. Subclavian steal syndrome consists, in insufficient perfusion, of one or both upper extremities secondary to haemodynamically significant stenosis or occlusion of one of the subclavian arteries or of the brachiocephalic trunk together with developing collateral circulation by the vertebral arteries [5, 6]. Blood flows through the homonymous vertebral artery to the ischaemic extremity from the contralateral vertebral artery or from the basilar artery. Moreover, blood flows through: the internal thoracic artery, the thyrocervical trunk as well as branches of the external carotid artery mainly through the inferior thyroid arteries and the occipital arteries [7]. The most common reason for the syndrome is atherosclerosis or occlusion of the initial segment of the subclavian artery or the brachiocephalic trunk [4, 8]. There are also other reasons for the subclavian steal syndrome mentioned, namely: Takayasu disease and congenital occlusion of aortic arch vessels co-existing with coarctation of the aorta [9–11]. Also, iatrogenic steal syndrome was noted secondary to artery bypass grafting [12] and secondary to embolism [13].

Considering the localisation of the primary lesion, and developed pathways of the collateral circulation, four types of steal syndrome are distinguished nowadays [14]. The most common is type I (vertebro-vertebral), related to the pathology of the proximal segment of the subclavian artery (the left one in most cases). Stolen blood flows to the distal segment of the left subclavian artery from the right vertebral artery as a result of reversed flow in the left vertebral artery. Haemodynamic disorders occurring in the cerebral circulation are insignificant since proper direction is maintained and flow volume through the basilar artery is maintained at correct levels. In most cases, the patients suffering from this form of the syndrome are not diffi-

## Wstęp

Zespół podkradania tętnicy podobojczykowej po raz pierwszy opisano w 1960 r. [1–4]. Istotą tego schorzenia jest upośledzenie ukrwienia jednej lub obu kończyn górnych w następstwie hemodynamicznie istotnego zwężenia lub niedrożności jednej z tętnic podobojczykowych lub pnia ramiennie-głowowego z wytworzeniem krążenia obocznego przez tętnice kręgowe [5, 6]. Krew do niedokrwionej kończyny napływa przez tętnicę kręgową leżącą po stronie zwężenia z drugostronnej tętnicy kręgowej lub tętnicy podstawnej. Inną drogą napływu krwi do kończyny jest tętnica piersiowa wewnętrzna, pień tarczowo-szyjny oraz gałęzie tętnicy szyjnej zewnętrznej, głównie tętnice tarczowe dolne i tętnice potyliczne [7]. Najczęstszą przyczyną schorzenia jest miażdżycowe przewężenie lub niedrożność początkowego odcinka tętnicy podobojczykowej lub pnia ramiennie-głowowego [4, 8]. Spośród innych przyczyn zespołu podkradania tętnicy podobojczykowej wymienia się chorobę Takayasu i wrodzoną niedrożność naczyń łuku aorty współistniejącą z koarktacją aorty [9–11]. Odnotowano także jatrogeny zespół podkradania występujący po operacjach rekonstrukcyjnych tętnic [12] oraz zespół spowodowany zatorami [13].

Uwzględniając lokalizację zmiany pierwotnej oraz wytworzone drogi krążenia obocznego, wyróżnia się obecnie 4 typy zespołów podkradania [14]. Najczęściej spotykanym jest typ I (kręgowo-kręgowy) wiążący się z patologią bliższego odcinka tętnicy podobojczykowej, najczęściej lewej. Do dystalnego odcinka tętnicy podobojczykowej lewej podkradana krew dopływa z prawej tętnicy kręgowej poprzez odwrócony przepływ w lewej tętnicy kręgowej. Występujące zaburzenia hemodynamiczne w krążeniu mózgowym są niewielkie, ponieważ zachowany zostaje prawidłowy kierunek oraz objętość przepływu przez tętnicę podstawną. Niewielkie nasilenie zgłaszanych dolegliwości, małe ryzyko wy-

cult to treat owing to the low severity of complaints reported, small risk of developing complications and relatively uncomplicated diagnostics.

Diagnosing and treating the other 3 types of steal syndrome is far more complicated. Type II (carotid-basilar) is featured with bilateral occlusion of the proximal segments of the subclavian arteries. Blood is stolen via reversed flow through both vertebral arteries from the internal carotid arteries by the basilar artery and the circle of Willis. Type III (external carotid-basilar) is featured by simultaneous stenosis or occlusion of the proximal segment of the subclavian artery and occlusion of the proximal segment of one of the vertebral arteries. Blood is stolen to the upper extremity via the thyroid arteries and the thyrocervical trunk. In this case the flow direction in the basilar artery remains unchanged. The type IV (carotid-subclavian) steal syndrome is the most complicated to diagnose and treat. Occlusion of the brachiocephalic trunk results in reversing blood flow both in the right vertebral artery and in the homonymous carotid artery. Resultant haemodynamic disorders, accompanied by stealing substantial amounts of blood from the circle of Willis lead, in many patients, to the development of clinical symptoms of the cerebral ischaemia.

Cases of bilateral flow reversal in the vertebral arteries (type II) are rarely discussed in the literature. There are three distinguished stages of the disease, depending on the development of blood flow disorders occurring in the vertebral arteries. Many of the type II cases (bidirectional flow, frequently referred to as the "zero" case, due to no contrast filling the vertebral artery) are not diagnosed by classic angiographic examination [15, 16]. Along with development and making Doppler examinations more available, the criteria and frequency of diagnosing steal syndromes have changed.

This report is intended to describe collateral circulation based on Doppler ultrasound and digital subtraction angiography (DSA) examinations in three cases of bilateral steal syndrome secondary to atherosclerotic lesions.

### Material and methods

All patients underwent duplex ultrasound and then DSA examination. While performing duplex ultrasound with the use of a 5–9 MHz linear head (Siemens Sonoline Elegra apparatus) both vertebral arteries were assessed for their diameter, spectrum, flow velocity and flow direction. On the basis of the aforementioned parameters, the development of steal was assessed in a 3-stage scale (stage I — reduced

stąpienia powikłań, jak również stosunkowo łatwa diagnostyka powodują, że ta grupa chorych zwykle nie stanowi istotnego problemu klinicznego.

Dużo większe problemy diagnostyczne i kliniczne powodują pozostałe 3 typy zespołów podkradania. U chorych z typem II (zespół szyjno-podstawny) występuje obustronna niedrożność odcinków bliższych tętnic podobojczykowych. Podkradanie krwi dokonuje się przez odwrócony przepływ przez obie tętnice kręgowie z tętnic szyjnych wewnętrznych za pośrednictwem tętnicy podstawnej i koła Willis'a. U chorych z typem III (zespół zewnętrzno-podstawny) występuje jednoczesne zwężenie lub niedrożność odcinka bliższego tętnicy podobojczykowej oraz niedrożność odcinka bliższego jednej z dwóch tętnic kręgowych. Podkradanie krwi do kończyny górnej odbywa się przez tętnice tarczowe i pień tarczowo-szyjny. W tym przypadku kierunek przepływu w tętnicy podstawnej pozostaje niezmieniony. Największe problemy diagnostyczne i terapeutyczne stwierdza się w zespole podkradania typu IV (szyjno-podobojczykowy). Niedrożność pnia ramiennie-głowego powoduje odwrócenie przepływu krwi zarówno w tętnicy kręgowej prawej, jak i w tętnicy szyjnej prawej. Powstające zaburzenie hemodynamiczne z masywnym podkradaniem krwi z koła Willis'a powodują u dużej części chorych rozwój klinicznych objawów niedokrwienia mózgu.

Przypadki obustronnego odwrócenia przepływu w tętnicach kręgowych (typ II) rzadko opisuje się w piśmiennictwie. Choroba występuje w 3 stopniach zaawansowania zaburzeń przepływu krwi w tętnicach kręgowych. Wiele przypadków drugiego stopnia zaawansowania (przepływ dwukierunkowy, często określane jako „zerowy” z powodu braku wypełnienia tętnicy kręgowej kontrastem) nie rozpoznaje się w klasycznym badaniu angiograficznym [15, 16]. Wraz z rozwojem i upowszechnieniem badań dopplerowskich zmieniły się kryteria i częstość rozpoznawania zespołów podkradania.

Celem niniejszego doniesienia jest opis krążenia obocznego na podstawie badań USG Doppler oraz cyfrowej angiografii subtrakcyjnej (DSA) w 3 przypadkach obustronnego zespołu podkradania spowodowanego zmianami miażdżycowymi.

### Materiał i metody

U wszystkich chorych wykonano badanie dupleksowe, a następnie badanie DSA. W badaniu dupleksowym wykonanym głowicą liniową o częstotliwości 5–9 MHz aparatem Sonoline Elegra firmy Siemens oceniano obie tętnice kręgowie, ich średnice, spektrum, prędkość i kierunek przepływu. Na podstawie wymienionych parametrów określano zaawansowanie podkradania w 3-stopniowej skali (pierwszy stopień

flow; stage II — bidirectional flow, stage III — reversed flow). The arteries in the intracranial segment were assessed using a 2.5 MHz sector head (Accuson I 28 XP apparatus). Apart from this, Doppler ultrasound examination covered assessment of both subclavian arteries, the common carotid arteries and the external carotid arteries.

DSA examination was performed using the Seldinger method by introducing the Balt Introducer 6F into the femoral artery. With the use of the introducer on the Terumo 0.35 hydrophilic guide, the Balt *pig-tail* catheter (5 F in diameter) was placed in the ascending aorta. 40 ml of Ultravist 370 contrast medium was provided with an automatic syringe (outflow velocity of 30 ml/s). In selected cases aortic arch branches were selectively catheterized.

## Description of cases

### Patient no. I

A 54-year-old female suffering from frequent dizziness accompanied by periodical vision disorders, manifesting themselves in narrowing of visual field. The patient reported increasing claudication in both upper extremities. Physical examination revealed no pulse in all arteries of the upper extremity together with significantly slowed vessel peristalsis. Duplex examination of the extracranial arteries revealed bilateral reversed flow in the vertebral arteries and a significant flow reduction in the central and distal subclavian arteries accompanied by two-phase flow with significantly reduced systolic and diastolic amplitude. The right side showed occlusion in the subclavian artery segment. The distal segment of the artery was filled by the vertebral artery. Changes in flow direction indicated the presence of a haemodynamic obstacle in the proximal segments of both subclavian arteries (Figures 1–3). Duplex examination of the basilar artery through the great foramen showed reversed flow (flow velocity 0.4 m/s on average). Doppler examination performed through the temporal window demonstrated intensified flow in both posterior communicating arteries, reversed flow in the P1 segment of the posterior cerebral arteries and reduced flow in the P2 segments of the posterior cerebral arteries. In DSA examination, the brachiocephalic trunk was found to be non-occluded and of an appropriate width. Initial segments of both subclavian arteries were occluded, whereas the common carotid arteries, as well as the external and internal carotid arteries, were found to be bilateral patent. Distal segments of both subclavian arte-

— spowolnienie przepływu; drugi stopień — przepływ dwukierunkowy; trzeci stopień — przepływ odwrócony). Ocenę tętnic w odcinku wewnątrzczaszkowym wykonywano głowicą sektorową o częstotliwości 2,5 MHz aparatem Accuson I 28 XP. Ponadto dopplerowskiemu badaniu USG poddawano obie tętnice podobojczykowe, tętnice szyjne wspólne, szyjne wewnętrzne oraz szyjne zewnętrzne.

Badania DSA wykonano metodą Seldingera, wprowadzając do tętnicy udowej wspólnej Introduktor 6F firmy Balt. Poprzez introduktor na hydrofilnym przewodniku 0,35 firmy Terumo do części wstępującej aorty wprowadzano cewnik typu *pigtail* o średnicy 5F firmy Balt. Środek cieniujący Ultravist 370 podawano za pomocą automatycznej strzykawki w ilości 40 ml z prędkością wypływu 30 ml/s. W wybranych przypadkach gałęzie łuku aorty cewnikowano selektywnie.

## Opisy przypadków

### Pacjent I

U pacjentki w wieku 54 lat występowały częste zawroty głowy oraz okresowe zaburzenia widzenia ograniczenia pola widzenia. Chora zgłaszała narastające objawy chromania obu kończyn górnych. W badaniu przedmiotowym stwierdzono brak tętna na wszystkich tętnicach kończyn górnych ze znacznie spowolnioną grą naczyniową. W wykonanym badaniu dupleksowym tętnic zewnątrzczaszkowych odnotowano obustronne odwrócenie kierunku przepływu w tętnicach kręgowych oraz istotne ograniczenie przepływu w odcinkach środkowych i dalszych tętnic podobojczykowych, z przepływem dwufazowym o istotnie zmniejszonej amplitudzie skurczowo-rozkurczowej. Po stronie prawej uwidoczono odcinkową niedrożność tętnicy podobojczykowej. Odcinek dalszy tętnicy wypełniał się za pośrednictwem tętnicy kręgowej. Zmiany przepływu wskazywały na istnienie hemodynamicznej przeszkody w odcinkach bliższych obu tętnic podobojczykowych (ryc. 1–3). W badaniu dupleksowym tętnicy podstawnej przez otwór wielki stwierdzono obecność odwróconego przepływu ze średnią prędkością 0,4 m/s. W badaniu dopplerowskim przez okno skroniowe stwierdzono wzmożony przepływ w obu tętnicach łączących tylnych, odwrócony przepływ w odcinkach P1 tętnic tylnych mózgu oraz ograniczenie przepływu w odcinkach P2 tętnic tylnych mózgu. W badaniu DSA stwierdzono drożny pień ramienno-głowy prawidłowej szerokości. Początkowe odcinki obu tętnic podobojczykowych były niedrożne. Stwierdzono obustronnie drożność tętnic szyjnych wspólnych, tętnic szyjnych wewnętrznych i zewnętrz-

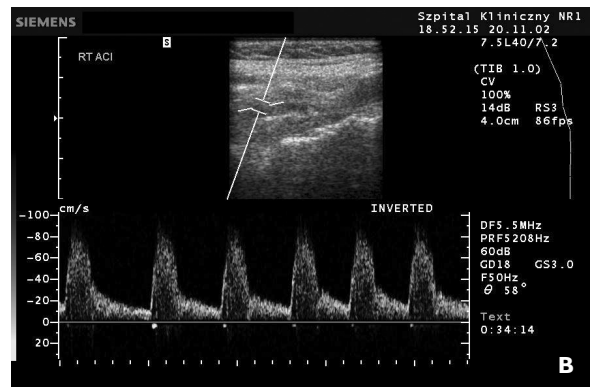
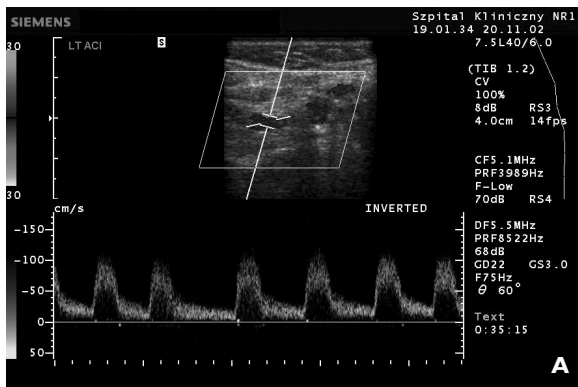


Figure 1. Case no. 1 — upward flow in the internal carotid arteries; **A.** Left side; **B.** Right side

Rycina 1. Przypadek 1 — dogłowy przepływ w tętnicach szyjnych wewnętrznych; **A.** Po lewej stronie; **B.** Po prawej stronie

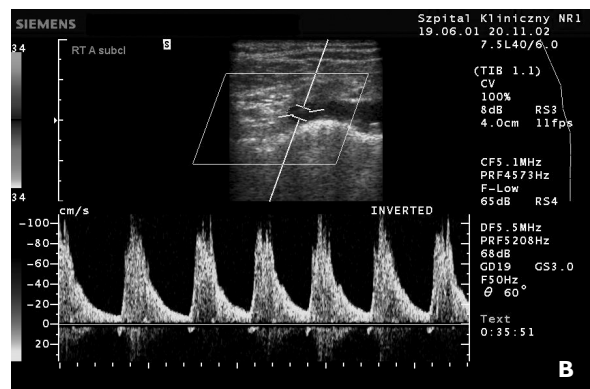
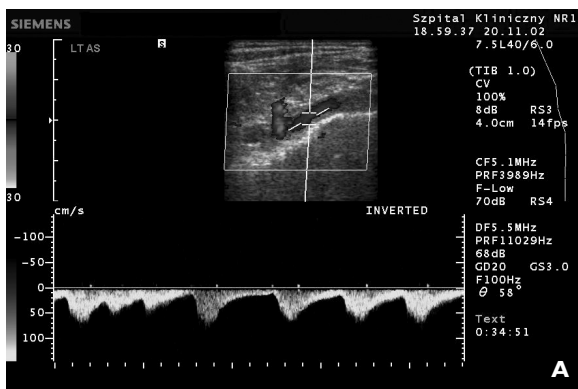


Figure 2. Case no. 1 — two-phase flow in the distal segments of the subclavian arteries; **A.** Left side; **B.** Right side

Rycina 2. Przypadek 1 — dwufazowy przepływ w odcinkach dalszych tętnic podobojczykowych; **A.** Po lewej stronie; **B.** Po prawej stronie

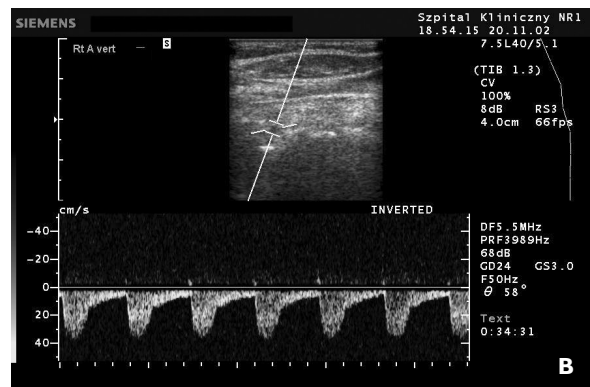
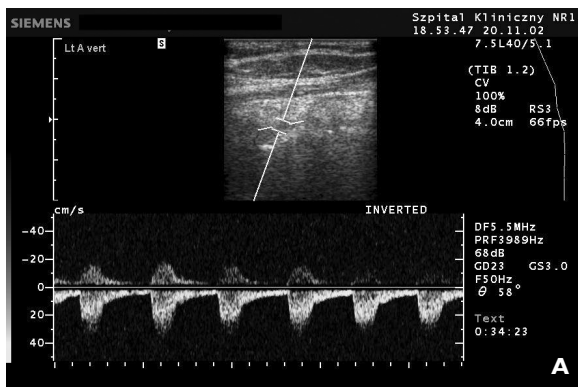


Figure 3. Case no. 1 — reversed flow in the vertebral arteries; **A.** Left side; **B.** Right side

Rycina 3. Przypadek 1 — odwrócony przepływ w tętnicach kręgowych; **A.** Po stronie lewej; **B.** Po stronie prawej

ries were filled by reversed flow of both vertebral arteries from the posterior communicating arteries, the posterior cerebral arteries and the basilar artery. Collateral circulation was also found, flowing thro-

nych. Dystalne odcinki obu tętnic podobojczykowych wypełniały się poprzez odwrócony przepływ obu tętnic kręgowych z tętnic łączących tylnych, tętnic tylnych mózgu i tętnicy podstawnej. Stwierdzono także obec-



**Figure 4A.** Case no. 1 — DSA examinations; occlusion of the initial segments of both subclavian arteries; **B.** The same patients Late arterial phase. Distal segments of both subclavian arteries are filled through collateral vessels and reversed flow through both vertebral arteries

**Rycina 4A.** Przypadek 1 — Badanie DSA i.a. Niedrożność początkowych odcinków obu tętnic podobojczykowych; **B.** Ten sam pacjent. Późna faza tętnicza. Poprzez naczynia krążenia obocznego i odwrócony przepływ przez obie tętnice kręgowo wypełniają się dystalne odcinki obu tętnic podobojczykowych

ugh the external carotid artery branches to the thyro- and costocervical trunks and directly from the aorta (Figures 4 A, B).

#### Patient no. 2

A 62-year-old female in good general condition, with no accompanying disorders. She briefly lost consciousness three times in the 4-month period preceding the examination. The patient often had balance disorders and periodical vision disorders, manifesting themselves in narrowing of visual field. Moreover, the patient demonstrated an advanced bradyphrenia. Duplex examination of the aortic arch branches showed insufficient flow in the carotid artery and in the left subclavian artery, indicating haemodynamic obstacles in the proximal segments of both arteries. Symptoms of significant flow reduction both in the carotid and the subclavian arteries were appearing on the right side, indicating haemodynamically significant brachiocephalic trunk stenosis. Flow disorders were found in both vertebral arteries. Reversed flow on the right side and bidirectional flow on the left side were ascertained respectively. Based on duplex examination, bilateral steal syndrome type II (stage II on the left and stage III on the right side) was diagnosed. DSA examination revealed critical stenosis of the brachiocephalic trunk and of the left subclavian artery. Reversed blood flow to the distal subclavian artery

ność krążenia obocznego przez gałęzie tętnicy szyjnej zewnętrznej do pnia tarczowo- i żebrowo-szyjnego oraz bezpośrednio z aorty (ryc. 4 A, 4 B).

#### Pacjent 2

Stan chorej w wieku 62 lat był ogólnie dobry, u pacjentki nie występowały schorzenie towarzyszące. W okresie 4 miesięcy poprzedzających badanie chora 3-krotnie przeżyła krótkotrwałe utraty przytomności. Często odczuwała zaburzenia równowagi oraz okresowe zaburzenia ograniczenia pola widzenia. U pacjentki występowało znacznego stopnia spowolnienie umysłowe. W badaniu dupleksowym gałęzi łuku aorty stwierdzono upośledzenie przepływu w tętnicy szyjnej oraz w tętnicy podobojczykowej po stronie lewej, wskazujące na istnienie hemodynamicznej przeszkody w odcinkach bliższych obu tętnic. Po prawej stronie występowały objawy istotnego ograniczenia przepływu zarówno w tętnicy szyjnej, jak i w podobojczykowej wskazujące na hemodynamicznie istotne zwężenie pnia ramiennogłowego. W obu tętnicach kręgowych występowały zaburzenia przepływu. Po prawej stronie stwierdzono odwrócenie kierunku przepływu, natomiast po lewej występował przepływ dwukierunkowy. Na podstawie badania dupleksowego rozpoznano obustronny zespół podkradania typu II w drugim stopniu po lewej stronie i w trzecim stopniu po prawej stronie. W badaniu DSA stwier-

segment was noted in the right vertebral artery. DSA examination did not reveal the left vertebral artery. Moreover, poor development of collateral circulation directly from the thoracic aorta to both thyro- and costocervical trunks and further to distal segments of the subclavian arteries could be noticed.

### Patient no. 3

A 57-year-old male, in good general condition. He contacted the Clinic due to periodical acute dizziness, growing worse while performing physical labour. While taking patient's medical history he mentioned two transient ischaemic attack (TIA) episodes accompanied by right-sided paresis. Physical examination revealed a systolic murmur audible in both supraclavicular fossae. Pulse in the radial arteries was symmetrically barely perceptible. No significant differences were found while measuring blood pressure on both upper extremities. Duplex examination of the carotid and vertebral arteries revealed a haemodynamically significant stenosis of the proximal segment of the left internal carotid artery, significant reduction of velocity and of amplitude of two-phase flow in the distal segments of the subclavian arteries and bidirectional flow in both vertebral arteries. While performing duplex examination of the basilar artery through the great foramen, bidirectional flow was found. Based on Doppler examination, the following was diagnosed: haemodynamically significant stenosis of the left internal carotid artery and bilateral vertebral steal syndrome type II — secondary to bilateral stenosis of proximal segments of the subclavian arteries. DSA examination demonstrated critical stenosis of both subclavian arteries, with reversed flow in the left vertebral artery as well as developed circulation through branches of the external carotid arteries. DSA examination did not reveal filling of the right vertebral artery. While performing selective angiographic examination, the following was ascertained: critical stenosis of the left internal carotid artery was evident as well as developed collateral circulation through the branches of the external carotid artery accompanied by widening occipital artery and collateral circulation to the left vertebral artery. Also well-developed collateral circulation, directly from the thoracic aorta, was noted.

## Results

In all three cases, haemodynamically significant lesions making blood flow insufficient in the subclavian arteries were ascertained. The lesions were the following: bilateral occlusion of the subclavian arteries in the first patient, significant stenoses of both subclavian arteries in the third patient as well as significant stenoses

dzono krytyczne przewężenie pnia ramiennie-głowowego oraz lewej tętnicy podobojczykowej. W prawej tętnicy kręgosłupowej zanotowano odwrócony przepływ krwi do dystalnego odcinka tętnicy podobojczykowej. Nie uwidoczniono lewej tętnicy kręgosłupowej w badaniu DSA. Widoczne było również słabo rozwinięte krążenie oboczne bezpośrednio z aorty piersiowej do obu pni tarczowo i żebrowo-szyjnych i dalej do dystalnych odcinków tętnic podobojczykowych.

### Pacjent 3

Stan chorego w wieku 57 lat był ogólnie dobry; pacjent zgłosił się do kliniki z powodu okresowych silnych zawrotów głowy wzmagających się podczas pracy fizycznej. W wywiadzie podawał przebieg dwukrotnego epizodu TIA z niedowładem prawostronnym. W badaniu przedmiotowym stwierdzono szmer skurczowy w obu dołach nadobojczykowych. Tętno na tętnicach promieniowych było symetrycznie słabo wyczuwalne. Nie stwierdzono istotnej różnicy w pomiarze ciśnienia na obu kończynach górnych. W badaniu dupleksowym tętnic szyjnych i kręgosłupowych wykazano obecność hemodynamicznie istotnego zwężenia odcinka bliższego tętnicy szyjnej wewnętrznej lewej, istotne zmniejszenie prędkości i amplitudy dwufazowego przepływu w odcinkach dalszych tętnic podobojczykowych oraz dwukierunkowy przepływ w obu tętnicach kręgosłupowych. Podczas badania dupleksowego tętnicy podstawnej, wykonanego przez otwór wielki, stwierdzono obecność dwukierunkowego przepływu. Na podstawie tego badania rozpoznano hemodynamicznie istotne zwężenie tętnicy szyjnej wewnętrznej lewej, obustronny zespół podkradania tętnicy kręgosłupowej typu II w drugim stopniu zaawansowania, który powstał na podłożu obustronnego zwężenia odcinków bliższych tętnic podobojczykowych. W badaniu DSA stwierdzono krytyczne przewężenie obu tętnic podobojczykowych z odwróceniem przepływu krwi w lewej tętnicy kręgosłupowej oraz rozbudowane krążenie przez gałęzie tętnic szyjnych zewnętrznych. Tętnica kręgosłupowa prawa w badaniu DSA nie wypełniała się. W selektywnym badaniu angiograficznym stwierdzono krytyczne przewężenie tętnicy szyjnej wewnętrznej lewej oraz rozbudowane krążenie oboczne poprzez gałęzie tętnicy szyjnej zewnętrznej z poszerzeniem tętnicy potylicznej i zaznaczonym krążeniem obocznym do tętnicy kręgosłupowej lewej. Uwidoczniono również rozwinięte krążenie oboczne, bezpośrednio z aorty piersiowej.

## Wyniki

We wszystkich 3 przypadkach stwierdzono obecność hemodynamicznie istotnych zmian upośledzających przepływ w tętnicach podobojczykowych. Były to obustronne niedrożności tętnic podobojczykowych u I chorego,

of the left subclavian artery and the brachiocephalic trunk in the second patient. In each case occlusion of the subclavian artery was found. A significant brachiocephalic trunk stenosis was accompanied by total reversal of the flow direction in the homonymous vertebral artery (stage III of steal syndrome). On the other hand, the subclavian artery stenosis was accompanied by bidirectional flow in the homonymous vertebral artery (stage II of steal syndrome). The supremacy of one of the flow phases was dependent on haemodynamic consequences of the lesions in arteries providing blood to upper extremities. Out of three cases where bidirectional flow in the vertebral arteries was proved by the duplex examination, it was not possible to make two vertebral arteries visible in DSA examination.

Collateral circulation had the following pathway: through the internal carotid arteries, posterior communicating arteries to posterior cerebral arteries up to basilar artery and further to both vertebral arteries. In one patient with the brachiocephalic trunk stenosis, the right subclavian artery and the common right carotid artery were filled due to collateral circulation and through reversed flow via the right vertebral artery. In all patients, both common and internal carotid arteries remained patent. In one patient, a significant ACI stenosis was found. In other cases, moderate and haemodynamically insignificant atherosclerotic lesions were ascertained in proximal segments of the carotid arteries. In two patients, additionally developed bilateral collateral circulation was found, flowing through the external carotid artery branch, the superior thyroid artery to the inferior thyroid artery and further to the subclavian artery. In one patient, developed collateral circulation was found, flowing through the occipital artery, the external carotid artery branch directly to the vertebral artery and also to the costocervical trunk, originating from the distal segment of the subclavian artery. In all patients, small collateral circulation was noticed, flowing from aortic arch and descending part of the aorta to the thyro- and costocervical trunks. The primitive trigeminal artery was not found in any of the patients found.

## Discussion

Wide use of ultrasound techniques in diagnosing cerebral circulation disorders has made it possible to diagnose steal syndromes more frequently, including their bilateral version.

Though collateral circulation in the bilateral steal syndrome occurs very rarely, it has been relatively well recognized. There can be 3 levels of this circulation distinguished:

istotne zwężenia obu tętnic podobojczykowych u 3 pacjentów oraz tętnicy podobojczykowej lewej i pnia ramiennie-głowowego u 2 osób. W całości materiału występował obraz niedrożności tętnicy podobojczykowej. Istotnemu zwężeniu pnia ramiennie-głowowego towarzyszyło całkowite odwrócenie kierunku przepływu w tętnicy kręgosłupowej prawej (podkradanie trzeciego stopnia). Natomiast zwężeniu tętnicy podobojczykowej towarzyszył przepływ dwukierunkowy w tętnicy kręgosłupowej po stronie zwężenia (podkradanie drugiego stopnia). Przewaga jednej z faz przepływu zależała od hemodynamicznych następstw zmiany w tętnicach zaopatrujących kończyny górne. Spośród 3 przypadków występowania dwukierunkowego przepływu w tętnicach kręgosłupowych, potwierdzonego w badaniu dupleksowym, w badaniu DSA nie udało się uwidocznnić dwóch tętnic kręgosłupowych.

Krążenie oboczne realizowały tętnice szyjne wewnętrzne, tętnice łączące tylne do tętnic tylnych mózgu przez tętnicę podstawną dalej do obu tętnic kręgosłupowych. U jednego chorego ze zwężeniem pnia ramiennie-głowowego z krążenia obocznego poprzez wsteczny przepływ przez prawą tętnicę kręgosłupową wypełniała się tętnica podobojczykowa prawa oraz tętnica szyjna wspólna prawa. U wszystkich chorych zachowano drożność obu tętnic szyjnych wspólnych oraz obu szyjnych wewnętrznych. U jednego pacjenta stwierdzono istotne zwężenie tętnicy szyjnej wewnętrznej. W pozostałych przypadkach w odcinkach bliższych tętnic szyjnych wewnętrznych stwierdzono nieistotne hemodynamicznie zmiany miażdżycowe umiarkowanego stopnia. U 2 chorych obustronnie stwierdzono dodatkowo rozbudowane krążenie oboczne poprzez gałąź tętnicy szyjnej zewnętrznej, tętnicę tarczową górną do tętnicy tarczowej dolnej i dalej do pnia tarczowo-szyjnego i tętnicy podobojczykowej. U jednego pacjenta uwidoczniono rozbudowane krążenie oboczne poprzez tętnicę potyliczną, gałąź tętnicy szyjnej zewnętrznej bezpośrednio do tętnicy kręgosłupowej i również do pnia żebrowo-szyjnego odchodzącego od dystalnego odcinka tętnicy podobojczykowej. U wszystkich pacjentów uwidoczniono drobne krążenie oboczne z łuku i części zstępującej aorty do pnia tarczowo- i żebrowo-szyjnego. U żadnego chorego nie odnotowano występowania przetrwałej tętnicy trójdzielnej pierwotnej.

## Dyskusja

Powszechne stosowanie technik ultrasonograficznych w diagnostyce zaburzeń krążenia mózgowego przyczyniło się do częstszego wykrywania zespołów podkradania, w tym również obustronnych.

Dość dobrze poznano krążenie oboczne w obustronnym zespole podkradania mimo jego bardzo rzadkiego występowania. Jest ono realizowane na 3 poziomach:



- basic circulation through the internal carotid arteries, the circle of Willis, the posterior communicating arteries to the posterior cerebral arteries and the basilar artery, and further to the vertebral arteries [17, 3];
- collateral circulation through the external carotid artery branches (mainly the superior thyroid arteries, and the occipital arteries) directly to the vertebral arteries and the thyro- and costocervical trunks and further to the distal segments of the subclavian arteries [2, 7, 18];
- collateral circulation directly from the thoracic aorta to the internal thoracic artery and the thyro- and costocervical trunks [2, 17];
- collateral circulation through the fetal vessels, mainly through the primitive trigeminal artery. The primitive trigeminal artery is one of the arteries communicating the carotid arteries with the vertebral-basilar system in the early fetal period (it disappears when the fetal is ca. 14 mm long). It was recognized autopsically for the first time in the year 1844 (Quain), and angiographically in the year 1950 (Sutton). Occurrence frequency of the persistent fetal arteries is estimated at 0.1–0.6%. Among those arteries, it is the trigeminal artery which persists the most frequently (ca. 85% of all the persisting fetal arteries). The other fetal vessels, communicating the carotid arteries with the vertebral-basilar system, are: the auditory artery, the sublingual artery, the peripical intersegmental artery, and the carotid intersegmental artery [19].

Based on duplex examination, apart from basic symptoms of steal syndrome (bidirectional or reversed blood flow in both vertebral arteries) also changes in blood flow in the intracranial carotid artery segments were found. In one patient with the brachiocephalic trunk stenosis, a two-phase flow typical of steal syndrome stage IV was ascertained in the homonymous common and internal carotid arteries. At the same time, on the opposite side, an elevated maximum systolic velocity as well as change in the flow spectrum (evidenced by the absence of the negative wave) were found in the external carotid artery. Similar ultrasound changes were described by Wali and Makaroun [17] as well as by Tan [20] and Berni [21].

It is also worth mentioning potential traps that less experienced ultrasound operators may fall into while diagnosing both bilateral as well as steal syndrome stage IV [6]. Stealing substantial amounts of blood by both extremities is a condition for reversing flow direction in both vertebral arteries. One-directional flow on both sides (a fast one in most cases) with a correct spectrum

- podstawowe krążenie za pomocą tętnic szyjnych wewnętrznych, koło Wilisa, przez tętnice łączące tylne do tętnic tylnych mózgu, do tętnicy podstawnej i dalej do tętnic kręgowych [3, 17];
- krążenie oboczne za pośrednictwem gałęzi tętnic szyjnych zewnętrznych, głównie tętnic tarczowych górnych i tętnic potylicznych bezpośrednio do tętnic kręgowych i również do pni tarczowo- i żebro-szyjnych oraz dalej do dystalnych odcinków tętnic podobojczykowych [2, 7, 18];
- krążenie oboczne bezpośrednio z aorty piersiowej do tętnicy piersiowej wewnętrznej oraz pni tarczowo- i żebro-szyjnych [2, 17];
- krążenie oboczne poprzez naczynia płodowe, głównie przez tętnicę trójdzielną pierwotną. Tętnica trójdzielna pierwotna jest jedną z tętnic łączących we wczesnym okresie płodowym tętnice szyjne z układem kręgowo-podstawnym (zanika, gdy zarodek ma ok. 14 mm); po raz pierwszy rozpoznano autopsyjnie w 1844 r. (Quain), a angiograficznie w 1950 r. (Sutton). Częstość występowania przetrwałych tętnic płodowych ocenia się na 0,1–0,6%. Przetrwała tętnica trójdzielna występuje najczęściej i stanowi ok. 85% wszystkich przetrwałych tętnic płodowych. Innymi naczyniami płodowymi łączącymi tętnicę szyjną z układem kręgowo-podstawnym są: tętnica słuchowa, tętnica podjęzykowa, tętnica międzysegmentalna okołoszczytowa, tętnica międzysegmentalna szyjna [19].

W badaniu dupleksowym poza podstawowym objawem zespołu podkradania w postaci dwukierunkowego lub odwróconego przepływu krwi w obu tętnicach kręgowych stwierdza się również zmiany w przepływie krwi w wewnątrzczaszkowych odcinkach tętnic szyjnych. W przypadku chorego ze zwężeniem pnia ramienno-głowowego, w prawej tętnicy szyjnej wspólnej i wewnętrznej stwierdzono dwufazowy przepływ charakterystyczny dla podkradania czwartego stopnia. Natomiast po przeciwnej stronie w tętnicy szyjnej zewnętrznej stwierdzono zwiększoną maksymalną prędkość skurczową oraz zmianę spektrum przepływu w postaci braku załamka ujemnego. Podobne ultrasonograficzne zmiany opisali Wali i Makaroun [17] oraz Tan [20] i Berni [21].

Należałoby również uwzględnić pułapki, z którymi mogą się spotkać na mniej doświadczeni ultrasonografści w trakcie diagnostyki zarówno obustronnych zespołów podkradania, jak i typu IV [6]. Masywne podkradanie przez obie kończyny górne warunkuje odwrócenie kierunku przepływu w obydwóch tętnicach kręgowych. Przepływ, najczęściej szybki z prawidłowym spektrum jednakowego kierunku po obu stronach, może sugerować stan prawidłowy. W ta-

may suggest good condition of the patient. However, in such a case it is always necessary to compare the flow direction in the homonymous carotid and vertebral arteries. In fact this procedure is not efficient for steal syndrome stage IV, with a critical stenosis or occlusion of the brachiocephalic trunk resulting in a change in flow direction in the carotid and vertebral arteries on the right side (see case of patient no. 2). In such a case the only symptom suggesting the above mentioned pathology is a change of the flow spectrum in the carotid and subclavian arteries from three- into two-phase one, accompanied by a significant reduction in the flow velocity.

### Conclusions

1. Doppler ultrasound examination of the aortic arch arteries is an efficient initial examination and should be applied in terms of a screening examination in all patients suffering from artery atherosclerosis, and also in terms of a periodical follow-up examination in asymptomatic patients.

2. In symptomatic patients with diagnosed subclavian steal syndrome it is necessary to perform a thorough circulation examination with the use of selective angiographic examinations.

### References

1. Contorini L (1960) Il circolo collaterale vertebral-vertebrale nella obliterazione dell'arteria subclavia alla sue origine. *Minerva Cir*, 15: 268.
2. Muller JH, Munster W (1967) Doppelseitiges subclavian steal syndrom. *Schaukasten. Rofo*, 107: 554–555.
3. Jaeger HJ, Mathias KD, Kemkes U (1994) Bilateral subclavian atel syndrome: treatment with percutaneous transluminal angioplasty and stent placement. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 17: 328–332.
4. Giles KA, Poirier VC (1993) Bilateral subclavian steal: a review of unusual twist in a common disorder. *AJNR*, 14: 485–488.
5. Hennerici M, Klemm C, Rautenberg W (1988) The subclavian steal phenomenon: a common vascular disorder with rare neurologic deficits. *Neurology*, 38: 669–673.
6. Gabriel M, Pawlaczyk K (2004) Zespół podkradania tętnicy kręgowej — pułapki diagnostyczne. *Przewodnik Lekarza*, 7: 102–107.
7. Lusza G (1972) Röntgenanatomie des Gefäßsystems. *Jahann Ambrosius Barth*.
8. Ackermann H, Diener HC, Dichgans J (1987) Stenosis and occlusion of the subclavian artery ultrasonographic and clinical findings. *J Neurol*, 234: 396–400.
9. Arevalo F, Katzen B (1976) Bilateral subclavian steal syndrome. *Am J Roentgen*, 127: 668–669.
10. Agee OF (1966) Two unusual cases of subclavian steal syndrome. *Am J Radiol*, 2: 447–457.
11. Massumi RA (1963) The congenital variety of the subclavian steal syndrome. *Circulation* 1963, 28: 1149.

kim przypadku należy zawsze porównać kierunek przepływu w tętnicach szyjnych i kręgowych leżących po stronie zwężenia. Zabieg ten jest jednak nieprzydatny w typie IV zespołu podkradania z krytycznym zwężeniem lub niedrożnością pnia ramiennie-głowowego prowadzącym do zmiany kierunku przepływu w tętnicach szyjnej oraz kręgowej po stronie prawej (przypadek 2. chorej). W takim przypadku jedynym objawem sugerującym wystąpienie powyższej patologii jest zmiana spektrum przepływu w tętnicach szyjnych oraz podobojczykowej z trójfazowego na dwufazowy, z istotnym ograniczeniem prędkości przepływu.

### Wnioski

1. Badanie sonodoplerowskie tętnic łuku aorty jest skutecznym badaniem wstępnym i powinno być stosowane jako przesiewowe u wszystkich pacjentów z miażdżycą tętnic oraz jako okresowe badanie kontrolne u osób bez objawów.
2. U pacjentów z objawami z rozpoznaniem zespołem podkradania tętnicy podobojczykowej konieczne jest przeprowadzenie dokładnej oceny krążenia za pomocą selektywnych badań angiograficznych.

12. Tonz M, Von Segesser L, Carrel T (1993) Steal syndrome after internal mammary artery bypass grafting. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 41: 112–117.
13. Dardik H, Gensler S, Stern WZ (1966) Subclavian steal syndrome secondary to embolism. *Ann Surg*, 164: 164–171.
14. Berni A, Tromba L, Cavaola S et al (1997) Classification of the subclavian syndrome with transcranial Doppler. *J Cardiovasc Surg*, 38: 141–145.
15. Paivansolo M, Heikkila O, Tikkakoski T et al (1998) Duplex ultrasound in the subclavian steal syndrome. *Acta Radiol*, 39: 183–188.
16. Huang Y, Gao S, Wang B et al (1997) The evaluation of intra- and extracranial circulation in subclavian steal syndrome. *Chin Med J*, 110: 286–288.
17. Wali M, Makaroun M.S. Bilateral subclavian steal syndrome through different paths and from different sites. *Angiology*, 50: 149–152.
18. Muller KHG (1988) Seltene Variante des Subclavian Steal Syndroms Beidseits mit Zervikalem Umgehungskreislauf. *Fortschr Rontgenstr*, 148: 712–714.
19. Osborn AG (1994) *Diagnostic neuroradiology*. St. Louis, Mo. Mosby-Year Book: 129–132.
20. Tan TY, Schminke U, Lien LM et al (2002) Subclavian steal syndrome: can the blood pressure difference between arms predict the severity of steal? *J Neuroimag*, 12: 131–135.
21. Berni A, Tromba L, Tombesi T (1998) Observations on the vertebro-basilar system studied by ultrasound. *Minerva Cardioangi*, 46: 103–108.