

Submitted: 19.09.2015

Accepted: 16.10.2015

Standards in neurosonology. Part II

Standardy badań ultrasonograficznych. Neurosonologia. Część II

Joanna Wojczal¹, Tomasz Tomczyk², Piotr Luchowski¹,
Grzegorz Kozera³, Radosław Kaźmierski⁴, Zbigniew Stelmasiak¹

¹ Department of Neurology, Medical University of Lublin, Poland

² Stroke Department, Regional Hospital in Poznań, Poland

³ Department of Neurology of Adults, Medical University of Gdańsk, Poland

⁴ Department of Neurology and Vascular Diseases of the Nervous System, Poznań
University of Medical Sciences, Poland

Correspondence: Joanna Wojczal, MD, PhD, Department of Neurology,
Medical University of Lublin, Jaczewskiego 8, 20-954 Lublin, Poland,
e-mail: jwojczal@poczta.onet.pl

DOI: 10.15557/JoU.2016.0005

Key words

neurosonologic
evaluation,
ultrasonography
criteria,
cerebral circulatory
hemodynamics,
performance and
description standard

Słowa kluczowe

badanie
neurosonologiczne,
kryteria
ultrasonograficzne,
hemodynamika
krążenia mózgowego,
standard wykonania
i opisu

Abstract

The paper presents standards related to ultrasound imaging of the cerebral vasculature and structures. The aim of this paper is to standardize both the performance and description of ultrasound imaging of the extracranial and intracranial cerebral arteries as well as a study of a specific brain structure, i.e. substantia nigra hyperechogenicity. The following aspects are included in the description of standards for each ultrasonographic method: equipment requirements, patient preparation, study technique and documentation as well as the required elements of ultrasound description. Practical criteria for the diagnosis of certain pathologies in accordance with the latest literature were also presented. Furthermore, additional comments were included in some of the sections. Part I discusses standards for the performance, documentation and description of different ultrasound methods (Duplex, Doppler). Part II and III are devoted to standards for specific clinical situations (vasospasm, monitoring after the acute stage of stroke, detection of a right-to-left shunts, confirmation of the arrest of the cerebral circulation, an assessment of the functional efficiency of circle of Willis, an assessment of the cerebrovascular vasomotor reserve as well as the measurement of substantia nigra hyperechogenicity).

Streszczenie

W artykule przedstawiono podstawowe standardy dotyczące badania układu naczyniowego i struktur mózgu metodą ultrasonograficzną. Celem opracowania jest ujednoczenie wykonywania i opisu badań ultrasonograficznych tętnic domózgowych zewnątrz- i wewnątrzczaszkowych oraz specyficznego badania struktur mózgowia – hiperechogeniczności istoty czarnej. Opis standardu badania każdą z metod ultrasonograficznych obejmuje: wymagania aparaturowe, przygotowanie do badania, technikę wykonania badania, dokumentację badania oraz obowiązkowe elementy opisu badania. Przedstawiono także praktyczne kryteria rozpoznania poszczególnych patologii, z uwzględnieniem najnowszego piśmiennictwa. W niektórych podrozdziałach zawarto również uwagi uzupełniające. W części I omówiono standardy wykonania, dokumentacji i opisu badań poszczególnymi metodami ultrasonograficznymi (badanie dupleksowe,

■ badanie dopplerowskie). W części II i III opisano standardy dotyczące poszczególnych sytuacji klinicznych (skurcz naczyniowy, monitorowanie ostrego okresu udaru mózgu, wykrywanie bezpośredniego przecieku z krążenia małego – prawego do dużego – lewego, potwierdzanie zatrzymania krążenia mózgowego, ocena wydolności koła tętniczego mózgu, badanie rezerwy wazomotorycznej naczyń mózgowych i badanie hiperechogeniczności istoty czarnej).

List of abbreviations:

ICA – internal carotid artery
 ECA – external carotid artery
 CCA – common carotid artery
 VA – vertebral artery
 OA – ophthalmic artery
 MCA – middle cerebral artery
 ACA – anterior cerebral artery
 PCA – posterior cerebral artery
 TCCD – transcranial color-coded duplex
 TCD – transcranial Doppler

Używane skróty:

ICA – tętnica szyjna wewnętrzna
 ECA – tętnica szyjna zewnętrzna
 CCA – tętnica szyjna wspólna
 VA – tętnica kręgową
 OA – tętnica oczna
 MCA – tętnica środkowa mózgu
 ACA – tętnica przednia mózgu
 PCA – tętnica tylna mózgu
 TCCD – przezczaszkowe badanie z zakodowanym na kolorowo przepływem
 TCD – przezczaszkowa ultrasonografia dopplerowska

Introduction

Ultrasonography has become one of the basic diagnostic tools for vascular diseases of the central nervous system (CNS). Due to the widespread availability of ultrasound, it seems necessary to define standards for equipment requirements, the scope of ultrasound and the experience of the person performing the procedure. The goal of this paper is to standardize the testing protocol in all neurosonology laboratories. We hope that the presented standards will prove useful in everyday patient management as well as will become the basis for discussion and comments to be taken into account in subsequent versions. The paper further describes different types of neurosonological tests, such as those used in the diagnosis of the cerebral circulatory arrest or right-to-left shunts.

The proposed diagnostic criteria should be standardized in all neurosonology laboratories due to differences between ultrasonographic devices, particularly in relation to velocity calibration.

Vasospasm secondary to subarachnoid hemorrhage

Equipment requirements

The examination should be performed using 4 MHz continuous-wave Doppler (CW) ('blind' Doppler) and 2 MHz pulsed-wave Doppler (TCD) or an ultrasound with a linear 7.5–13 MHz probe and 2–2.5 MHz sector probe (TCCD). The ALARA (as low as reasonably achievable) principle, i.e. the lowest intensity of ultrasounds for optimal image of structures and flow in possibly the shortest time, is applied.

Wstęp

Badanie ultrasonograficzne stało się jedną z podstawowych metod diagnostycznych w chorobach naczyniowych ośrodkowego układu nerwowego. Z uwagi na powszechną dostępność USG konieczne jest określenie standardów dotyczących wymagań aparaturowych, zakresu badania oraz doświadczenia osoby wykonującej. Celem pracy jest ujednolicenie protokołu badania we wszystkich pracowniach neurosonologicznych. Autorzy mają nadzieję, że przedstawione standardy będą pomocne w codziennej pracy, a także staną się podstawą do dyskusji i uwag, które zostaną uwzględnione przy opracowywaniu kolejnych wersji. Omówione zostały również szczególne rodzaje badań neurosonologicznych, takie jak diagnostyka zatrzymania krążenia mózgowego czy bezpośrednich przecieków z krążenia małego do dużego.

Podane propozycje kryteriów diagnostycznych należy w każdej pracowni neurosonologicznej wystandaryzować, ze względu na istniejące różnice pomiędzy aparatami ultrasonograficznymi, dotyczące przede wszystkim kalibracji prędkości.

Skurcz naczyniowy w przebiegu krwawienia podpajęczynówkowego

Wymagania aparaturowe

Badanie należy wykonywać aparatem do badania dopplerowskiego „na ślepo”, wyposażonym w sondę o częstotliwości 4 MHz z dopplerem fali ciągłej (*continuous wave Doppler*, CW) oraz 2 MHz z dopplerem fali pulsacyjnej (*pulsed wave Doppler*, PW) (TCD), lub aparatem ultrasonograficznym wyposażonym w sondę liniową o częstotliwości 7,5–13 MHz

Patient preparation

The test is performed in a patient lying in supine position.

Technique

The scanning is performed in a standard manner, as described in the section *TCD of the extracranial segments of the cerebral arteries*, in the first part of the paper (J Ultrason 2015; 15: 307–317).

Examination of the extracranial segments of the intracerebral arteries is necessary to distinguish between vasospasm and a potential hyperemia.

The scanning should be performed within the first two days after bleeding (as a baseline examination). This should be followed by arterial blood flow velocity monitoring performed at least once every 3 days⁽¹⁾.

Documentation

The images (mainly spectral Doppler) of the flow in the extracranial internal carotid and vertebral arteries; middle, anterior and posterior cerebral arteries; as well as vertebral arteries and the basilar artery, should be recorded.

Results

The results should contain the type of the method applied (TCD or TCCD), the name of the device, probe frequency, the list of evaluated arteries or a statement that the test was performed according to standard protocol. It is necessary to specify the day (if known) after of the onset of bleeding. This should be followed by the outcomes of the measurement of the average flow velocity in the middle, anterior and posterior cerebral arteries, the vertebral arteries and the basilar artery, as well as the Lindegaard Index (or, optionally, the basilar index). The description should include a statement on the presence of vasospasm and, if present, specify the vessel and the risk of symptomatic vasospasm. In the case of difficulty differentiating between vasospasm and hyperemia, further diagnostic testing, e.g. perfusion CT scan, should be suggested⁽¹⁻³⁾.

Comments

We suggest the following criteria for the diagnosis of vasospasm (assuming that extracranial cerebral arterial stenosis is excluded):

1) Borderline criteria for the diagnosis of vasospasm in the M1 segment of the middle cerebral artery:

- required criterion: Lindegaard Index (mean MCA/ICA flow velocity) >3 and one of the following criteria^(1,3):
 - mean velocity >110 cm/s in individuals ≥55 years old and >140 cm/s in younger individuals (<55 years old),

oraz sondę sektorową 2–2,5 MHz (TCCD). W trakcie badania przezczaszkowego stosuje się zasadę ALARA (*as low as reasonably achievable*) – jak najniższe natężenie ultradźwięków dla uzyskania optymalnego obrazu struktur i przepływu przy możliwie jak najkrótszym czasie badania.

Przygotowanie do badania

Badanie należy wykonywać u pacjenta leżącego na plecach.

Technika wykonania badania

Badanie wykonuje się standardowo, tak jak opisano w punkcie *Badanie dopplerowskie tętnic domózgowych w odcinku wewnątrzczaszkowym – TCD w części I* (J Ultrason 2015; 15: 307–317).

Konieczne jest przeprowadzenie badania tętnic domózgowych w odcinku zewnątrzczaszkowym, w celu różnicowania skurczu z ewentualnym przekrwieniem.

Badanie powinno się wykonać w pierwszych dwóch dobach po krwawieniu (jako badanie wyjściowe). Następnie należy monitorować prędkości przepływu krwi w tętnicach nie rzadziej niż co 3 dni⁽¹⁾.

Dokumentacja badania

Należy zapisać obraz przepływu w tętnicach szyjnych wewnętrznych i kręgowych w odcinku zewnątrzczaszkowym, w tętnicach środkowych, przednich oraz tylnych mózgu, a także w tętnicach kręgowych i tętnicy podstawnej, głównie w prezentacji dopplera spektralnego.

Wynik badania

Wynik badania powinien zawierać: rodzaj metody (TCD lub TCCD), nazwę użytego aparatu, częstotliwość sondy, wyszczególnienie zbadanych tętnic bądź stwierdzenie, że badanie wykonano według standardowego protokołu. Konieczne jest podanie doby po wystąpieniu krwawienia, jeżeli jest ona znana. Następnie należy podać wyniki pomiarów średniej prędkości w tętnicach środkowych, przednich i tylnych mózgu oraz tętnicach kręgowych i tętnicy podstawnej, a także współczynnik Lindegaarda (lub opcjonalnie współczynnik podstawny). Opis powinien zawierać stwierdzenie, czy jest obecny skurcz naczyniowy, a jeżeli jest to w jakim naczyniu, oraz czy występuje zagrożenie skurczem objawowym. W razie wątpliwości co do rozróżnienia skurczu i przekrwienia należy zasugerować kolejne badanie diagnostyczne, np. badanie perfuzyjne TK⁽¹⁻³⁾.

Uwagi

Autorzy niniejszej pracy proponują następujące kryteria rozpoznania skurczu naczyniowego (przy założeniu, że wykluczono zwężenie tętnicy domózgowej zewnątrzczaszkowej):

- a 50% increase in the mean velocity/day (or an increase of 40 cm/s/day in the mean velocity) in the first week following subarachnoid hemorrhage relative to outcomes from the first two days (i.e. baseline)
 - or systolic velocity >180 cm/s.
- 2) The risk of symptomatic vasospasm in the middle cerebral artery^(1,3,4):
- mean velocity >170 cm/s;
 - Lindegaard Index (mean MCA/ICA velocity) >6;
 - an increase of >50 cm/s/day in the mean velocity in the first week following hemorrhage relative to outcomes from the first two days after bleeding.
- 3) Criteria for the diagnosis of vasospasm in the other arteries at the base of the brain^(1,4):
- an increase of >50%/day in the mean flow velocity relative to baseline outcomes from the first two days after bleeding
- or arbitrary velocities set for each of the arteries:
- anterior cerebral artery vasospasm: mean velocity >120–140 cm/s;
 - vertebral or basilar artery vasospasm: mean velocity >70 cm/s in patients aged <55 years and >55 cm/s in patients aged ≥55 years;
 - posterior cerebral artery vasospasm: mean velocity >110 cm/s in patients aged <55 years and >80 cm/s in patients aged ≥55 years.

Monitoring in the acute phase of stroke

Equipment Requirements

The examination is performed using 4 MHz continuous-wave Doppler ('blind' Doppler) and 2 MHz pulsed-wave Doppler (TCD) or an ultrasound with a linear 7.5–13 MHz probe and 2–3.5 MHz sector probe (TCCD).

Patient preparation

The test is performed in a patient lying in supine position.

Technique

- Short path protocol

The 'short path' protocol was developed for a rapid identification of the site of stenosis or obstruction in the acute phase of stroke as well as to determine the extent of the maintained residual flow. Depending on the time at investigator's disposal, further testing steps are performed, beginning from the affected (symptomatic) side. **Ultrasound imaging in the acute**

- 1) Kryteria graniczne rozpoznania skurczu naczyniowego w tętnicy środkowej mózgu w odcinku M1:

- kryterium obowiązkowe: wskaźnik Lindegaard (średnia prędkość MCA/ICA) >3 oraz spełnienie jednego z poniższych kryteriów^(1,3):
 - prędkość średnia >110 cm/s u osób ≥55 r.ż. i >140 cm/s u osób młodszych (<55 r.ż.),
 - wzrost o 50% średniej prędkości/dobę (lub średniej prędkości o 40 cm/s/dobę) w pierwszym tygodniu po krwawieniu podpajęczynówkowym w stosunku do badania w pierwszych dwóch dobach (czyli badania wyjściowego)
 - lub prędkość skurczowa >180 cm/s.

- 2) Zagrożenie skurczem objawowym w tętnicy środkowej mózgu^(1,3,4):

- prędkość średnia >170 cm/s;
- wskaźnik Lindegaard (średnia prędkość MCA/ICA) >6;
- wzrost średniej prędkości >50 cm/s/dobę w pierwszym tygodniu po krwawieniu w stosunku do badania wyjściowego w pierwszych dwóch dobach po krwawieniu.

- 3) Kryteria rozpoznania skurczu pozostałych tętnic na podstawie mózgu^(1,4):

- wzrost średniej prędkości przepływu >50%/dobę w stosunku do badania wyjściowego w pierwszych dwóch dobach po krwawieniu lub arbitralne prędkości ustalone dla poszczególnych tętnic:
- skurcz tętnicy przedniej mózgu: prędkość średnia >120–140 cm/s;
- skurcz tętnicy kręgowej lub tętnicy podstawnej: prędkość średnia >70 cm/s u osób <55 r.ż. i >55 cm/s u osób ≥55 r.ż.;
- skurcz tętnicy tylnej mózgu: prędkość średnia >110 cm/s u osób <55 r.ż. i >80 cm/s u osób ≥55 r.ż.

Monitorowanie ostrego okresu udaru mózgu

Wymagania aparaturowe

Badanie wykonuje się aparatem do badania dopplerowskiego „na ślepo”, wyposażonym w sondę o częstotliwości 4 MHz z dopplerem CW oraz 2 MHz z dopplerem PW (TCD), lub aparatem ultrasonograficznym wyposażonym w sondę liniową o częstotliwości 7,5–13 MHz oraz sondę sektorową 2–3,5 MHz (TCCD).

Przygotowanie do badania

Badanie należy wykonywać u pacjenta leżącego na plecach.

Technika wykonania badania

- Protokół „krótkiej ścieżki”

phase of stroke is used as a complementary testing technique – it should not be the reason for the delay in thrombolytic therapy initiation. During thrombolysis, scanning is usually performed several times to monitor the duration and the extent of recanalization or reocclusion.

If time permits, the examination is performed in accordance with the standard protocol^(1,5).

Clinical suspicion of cerebral ischemia in the anterior circulation⁽⁵⁾

Transcranial Doppler Ultrasound

If time permits, insonation should begin on the asymptomatic (non-affected) side to establish the temporal window, normal MCA waveform (M1 depth 45–65 mm, M2 30–45 mm) and velocity for comparison with the affected side.

If short of time, the examination should be initiated on the symptomatic (affected) side: first, the MCA at 50 mm should be assessed. If no signals are detected, the depth is increased to 62 mm. If an anterograde flow signal is detected, the depth is reduced to trace the MCA stem or identify the poorest residual flow signal. Potential flow diversion to ACA, PCA or M2 MCA should be found. Waveform shapes and systolic flow acceleration should be evaluated and compared.

The imaging should be continued on the affected side (transorbital window). Flow direction and pulsatility in the OA at a depth of 40–50 mm should be checked, followed by the evaluation of ICA siphon at a depth of 55–65 mm.

If time permits or in patients with purely motor or sensory deficits, BA (depth 80–>100 mm) and terminal VA (40–80 mm) should be evaluated.

Carotid/vertebral duplex Doppler

The scanning should begin on the affected side in transverse B-mode planes, followed by color- or power Doppler from proximal to distal carotid segments. CAA and its bifurcation should be assessed on B-mode and flow-carrying lumens.

It should be documented if ICA (or CCA) has lesions visible in the B-mode image and corresponding disturbances on flow mages. In patients with concomitant chest pain, CCA as close to its branching from the aortic arch as possible, should be assessed.

Velocity measurements in the mid-to-distal CAA, ICA and ECA should be performed.

If time permits or in patients with purely motor or sensory deficits, cervical portion of the vertebral arteries should be

Protokół „krótkiej ścieżki” został opracowany w celu szybkiej identyfikacji miejsca zwężenia lub niedrożności tętnicy w ostrym okresie udaru mózgu oraz określenia stopnia zachowania przepływu rezydualnego. W zależności od czasu, który badający ma do dyspozycji, przeprowadza się kolejne etapy badania, zaczynając od strony objawowej. **Badanie ultrasonograficzne w ostrym okresie udaru mózgu ma charakter uzupełniający – nie może być powodem opóźnienia w rozpoczęciu leczenia trombolitycznego.** Podczas trombolizy badanie przeprowadza się najczęściej kilkakrotnie w celu monitorowania czasu i stopnia rekanalizacji lub reokluzyji.

Jeżeli czas nie odgrywa większej roli, badanie przeprowadza się według standardowego protokołu^(1,5).

Kliniczne podejrzenie niedokrwienia mózgu w obszarze przednim unaczynienia⁽⁵⁾

Przeznaczkowe badanie dopplerowskie

Jeżeli czas na to pozwala, należy rozpocząć insonację od strony bezobjawowej dla ustalenia okna skroniowego, prawidłowego kształtu widma MCA (M1 na głębokości 45–65 mm, M2 na głębokości 30–45 mm) oraz prędkości w celu porównania ze stroną zajęłą.

Jeżeli brakuje czasu, należy zacząć od strony objawowej: najpierw ocenia się MCA na głębokości 50 mm. Jeżeli nie wykryto sygnału, zwiększa się głębokość do 62 mm. W przypadku wykrycia sygnału o prawidłowym kierunku zmniejsza się głębokość w celu przesłedzenia pnia MCA albo stwierdzenia najsłabszego sygnału przepływu rezydualnego. Powinno się znaleźć możliwą zmianę kierunku (dywersyfikacji) przepływu do ACA, PCA lub M2 MCA. Należy ocenić i porównać kształty widm oraz skurczowe przyspieszenia przepływu.

Badanie kontynuuje się po stronie objawowej (okna przezczodołowe). Powinno się sprawdzić kierunek przepływu i pulsacyjność w OA na głębokości 40–50 mm, a następnie w syfonie ICA na głębokości 55–65 mm.

Jeżeli czas na to pozwala bądź u pacjentów z czysto ruchowymi lub czuciowymi deficytami należy ocenić BA (głębokość 80–>100 mm) oraz końcowy odcinek VA (40–80 mm).

USG duplex doppler tętnicy szyjnej/kręgowej

Badanie zaczyna się od strony objawowej w płaszczyznach poprzecznych B-mode, a następnie za pomocą opcji kolorowego dopplera lub dopplera mocy należy się przesuwac od odcinka proksymalnego do dystalnego tętnicy szyjnej. Ocenia się CCA i jej rozwidlenie na obrazie B-mode oraz światła naczyń wypełnione kolorem.

Należy zapisać obraz, jeżeli w ICA (lub CCA) występują zmiany widoczne w obrazowaniu B-mode oraz odpowiadające jej zaburzenia w obrazowaniu przepływu. U pa-

assessed (longitudinal B-mode, color or power mode and spectral Doppler) on the affected side.

If time permits, transverse and longitudinal scanning of the arteries on the non-affected side should be performed.

Clinical suspicion of cerebral ischemia in the posterior circulation⁽⁵⁾

Transcranial Doppler Ultrasound

The scanning should begin with suboccipital insonation at a depth of 74 mm (VA junction) and the identification of BA flow at a depth of 80–100 mm or more.

If abnormal signals are present at 75–100 mm, the terminal VA on the non-affected side should be identified for comparison and evaluation of the terminal VA on the affected side at similar depth.

The scanning is continued through the transtemporal window to identify PCA (55–75 mm) and possible collateral flow through the posterior communicating artery (both sides should be evaluated).

If time permits, both MCA and ACA (60–75 mm) should be evaluated to identify possible compensatory velocity increase as an indirect sign of basilar artery obstruction.

Vertebral/carotid duplex Doppler Ultrasound

The scanning should be initiated on the affected side by locating CAA using longitudinal B-mode, followed by visualization of shadows of the transverse processes in the mid-cervical part.

Color or power mode and spectral Doppler should be used to identify flow in the intratransverse VA segments.

VA course should be followed from its branching from the subclavian artery and Doppler spectra should be recorded. Similar examination should be performed on the other side.

If time permits, bilateral duplex scanning of the CCA, ICA and ECA should be performed.

Documentation

Flow images and Doppler spectra in the subsequently evaluated arteries should be documented.

Results

The result should contain the type of method (TCD or TCCD, Doppler or duplex scanning of the intracerebral arteries),

pacjentów ze współistniejącym bólem w klatce piersiowej CCA powinno się ocenić możliwie jak najbliżej jej odejścia od łuku aorty.

Pomiary prędkości przeprowadza się od części środkowej do dystalnej CCA, ICA oraz ECA.

Jeżeli czas pozwala albo u pacjentów z czysto ruchowymi lub czuciowymi deficytami należy zbadać tętnice kręgowie w odcinku szyjnym (w przekroju podłużnym w B-mode, w opcji przepływu kodowanego kolorem i w dopplerze spektralnym) po stronie zajętej.

Jeżeli jest na to czas, należy przeprowadzić badanie w przekroju poprzecznym i podłużnym tętnic po stronie niezajętej.

Kliniczne podejrzenie niedokrwienia mózgu w obszarze tylnym unaczynienia⁽⁵⁾

Przeznaczkowe badanie dopplerowskie

Badanie należy rozpocząć od insonacji przez okno podpotyliczne na głębokości 75 mm (połączenie VA) oraz oceny przepływu krwi w BA na głębokości 80–100 mm i głębiej.

Jeżeli obecne są nieprawidłowe sygnały na głębokości 75–100 mm, trzeba znaleźć końcowy odcinek VA po stronie niezajętej dla porównania i oceny końcowego odcinka VA po stronie zajętej na podobnej głębokości.

Następnie badanie kontynuuje się przez okno skroniowe dla stwierdzenia przepływu w PCA (55–75 mm) oraz możliwego przepływu obocznego przez tętnicę łączącą tylną (należy sprawdzić obie strony).

Jeżeli czas na to pozwala, powinno się ocenić obie MCA i ACA (60–75 mm) w celu wykrycia możliwego kompensacyjnego wzrostu prędkości jako objawu pośredniego niedrożności tętnicy podstawnej.

USG duplex doppler tętnic kręgowych/szyjnych

Badanie rozpoczyna się od strony zajętej poprzez zlokalizowanie CCA, stosując płaszczyznę podłużną w B-mode, a następnie uwidocznia się cienie wyrostków poprzecznych kręgow szyjnych na wysokości środkowej części szyi.

Powinno się zastosować obrazowanie z przepływem kodowanym kolorem lub z dopplerem mocy oraz spektralnym dla stwierdzenia przepływu w odcinkach tętnicy kręgowej pomiędzy wyrostkami poprzecznymi.

Należy ocenić przebieg VA od odejścia od tętnicy podobojczykowej i zapisać spektra dopplerowskie. Podobne badanie przeprowadza się również po drugiej stronie.

Jeżeli czas na to pozwala, powinno się przeprowadzić obustronne badanie dupleksowe CCA, ICA i ECA.

the name of the apparatus, probe frequency, the list of arteries evaluated in accordance with the 'short path' protocol or a statement that the examination was performed according to the standard protocol. In addition to basic data, which should be included in the description of the examination (discussed above in the section on the extracranial arteries and transcranial 'blind' or duplex Doppler), the description should further include certain specific elements⁽⁴⁾.

If arterial obstruction or stenosis is identified, its location and the TIBI (*thrombolysis in brain ischemia*) classification of residual flow should be documented⁽¹⁾:

- grade 0 – absent flow in a given artery with flow in other arteries;
- grade 1 – minimal flow;
- grade 2 – blunted flow;
- grade 3 – dampened flow;
- grade 4 – stenotic flow;
- grade 5 – normal flow.

In the case of obstruction or stenosis in the extracranial portion of the intracerebral artery, the routes of collateral circulation should be identified^(1,4).

When monitoring spontaneous recanalization or during thrombolysis, time to and grade of recanalization obtained (TIBI classification) should be documented⁽¹⁾.

Detection of direct right to left shunt

Testing principle

Under normal conditions, injection of gas bubbles larger than 10 microns into the peripheral vein results in their uptake by the pulmonary circulation.

In the case of direct right to left shunt (RLS), e.g. a patent foramen ovale, administration of specific ultrasonography contrast agent in the form of larger gas bubbles (unstable) will result in their direct passage into systemic circulation, including cerebral vasculature, and inducing cerebral microembolic signals. The signals are characterized by short duration (<300 ms) and high intensity (>3 dB above the spectral background signal), random occurrence of velocity in the spectrum and unidirectional course (always in the direction of the flow in the vessel). Their formation is accompanied by a characteristic high-frequency sound⁽²⁾. The number of signals recorded in the cerebral artery following contrast agent administration determines the grade of the shunt. Right to left shunts can be intracardiac (patent foramen ovale, interatrial septum defects) or intra-pulmonary (pulmonary artery fistula). Ultrasound does not allow a precise localization of shunt^(1,3,4).

Equipment requirements

The examination is performed using 2 MHz 'blind' pulsed Doppler. The use of a monitoring head band facilitates the

Dokumentacja badania

Należy zapisać obraz przepływu i spektra dopplerowskie w kolejno badanych tętnicach.

Wynik badania

Wynik badania powinien zawierać rodzaj metody (TCD lub TCCD, badanie dopplerowskie lub dupleksowe tętnic domózgowych), nazwę użytego aparatu, częstotliwość sond, wyszczególnienie zbadanych tętnic przy protokole „krótkiej ścieżki” albo stwierdzenie, że badanie wykonano według standardowego protokołu. Oprócz podstawowych danych, które powinien zawierać opis wyniku badania (omówione powyżej w części dotyczącej badania tętnic zewnątrzczaszkowych i badania przezczaszkowego metodą dopplerowską „na ślepo” lub dupleksową), musi on obejmować pewne szczególne elementy⁽⁴⁾.

Jeżeli stwierdzi się niedrożność lub zwężenie tętnicy, należy podać ich miejsce oraz stopień zachowania przepływu rezydualnego w skali TIBI (*thrombolysis in brain ischemia*)⁽¹⁾:

- grupa 0 – brak przepływu w danej tętnicy, przy obecności przepływu w pozostałych tętnicach;
- grupa 1 – obecność minimalnego przepływu;
- grupa 2 – przepływ stępiiony;
- grupa 3 – przepływ obniżony;
- grupa 4 – przepływ stenotyczny;
- grupa 5 – przepływ normalny.

W przypadku niedrożności lub zwężenia tętnicy domózgowej w odcinku zewnątrzczaszkowym należy określić drogi krążenia obocznego^(1,4).

Przy monitorowaniu rekanalizacji spontanicznej lub w trakcie trombolizy trzeba podać czas początku rekanalizacji oraz stopień uzyskanej rekanalizacji (w skali TIBI)⁽¹⁾.

Wykrywanie bezpośredniego przecieku z krążenia małego (prawego) do dużego (lewego)

Zasada badania

W warunkach prawidłowych podanie pęcherzyków gazu o wielkości powyżej 10 mikronów do żyły obwodowej powoduje ich wychwytywanie przez krążenie płucne.

Jeżeli istnieje bezpośredni przeciek z krążenia małego (prawego) do krążenia systemowego (*right to left shunt*, RLS), np. przetrwały otwór owalny, podanie specyficznego kontrastu ultrasonograficznego w postaci większych pęcherzyków gazu (płuconiestabilnych) spowoduje przedostanie się ich bezpośrednio do krążenia systemowego, w tym do naczyń mózgowia, i wywoła powstanie sygnałów odpowiadających mikrozasorowości w krążeniu mózgowym. Sygnały charakteryzuje krótki czas trwania (<300 ms) i duże natężenie (>3 dB ponad sygnał tła spektrum), przypadkowe pojawianie się w obrębie widma prędkości oraz jednokierunkowy (zawsze

examination. The sensitivity may be increased by simultaneous bilateral monitoring, i.e. dual-channel monitoring (if the apparatus features this option). Dual-channel monitoring also allows to shorten scanning duration.

Patient preparation

The test is performed in a patient lying in supine position. A needle (preferably with an elongated, flexible tip and a tap) should be inserted into the ulnar vein. Optionally, a monitoring band is placed on the patient's head and dual-channel monitoring can be set. This is followed by checking the transparency of the temporal bone window.

Next, 10 mL syringes should be prepared and each filled with 9 mL of 0.9% NaCl and 1 mL of air; small volume of patient's blood can be withdrawn from the injection site (about 0.3 mL). The syringe should be shaken vigorously. (Echovist® contrast agent, 5 mL for each test, can be also used)^(3,4).

Technique

The examination is performed after obtaining a clear spectrum of the flow velocity in the middle cerebral artery through the temporal window. The patient is asked to breathe normally. After contrast agent administration, the flow spectrum in the middle cerebral artery should be observed for 60 sec. If more than 20 microembolic signals occur (particularly if they merge), repeating the test with Valsalva maneuver should be abandoned. If no microembolism occurs for about 60 sec., Valsalva maneuver is performed. Shaken saline (10 mL) should be administered, and, after 5 seconds, the patient should be asked to perform Valsalva's maneuver for 10 seconds [adequately performed Valsalva's maneuver will be confirmed by the signs of increased intracranial pressure in TCD image (significantly increased resistance and decreased systolic and diastolic velocity), and minor hyperperfusion after restoration of normal breathing]. TCD should be used to follow the occurrence of microembolism on the flow spectrum background for about 60 seconds.

The result is considered negative if no microembolic signal is detected following three subsequent Valsalva's maneuvers^(3,4).

Documentation

Images from the basic scanning and after Valsalva's maneuver, preferably in the form of a film, should be documented. If this is not possible, static images of the flow in the middle cerebral artery indicative of microembolic signals or their absence during each phase of examination should be recorded.

Results

The result should contain the name of the device, probe frequency, the type of monitoring (single- or dual-channel) of the middle cerebral artery, data on the type and dose of

w kierunku przepływu w naczyniu) przebieg. Ich powstawaniu towarzyszy charakterystyczny krótki dźwięk o wysokiej częstotliwości⁽²⁾. Liczba sygnałów rejestrowanych w tętnicy mózgowej po podaniu kontrastu określa stopień przecieku. Przecieki z krążenia małego do systemowego mogą występować na poziomie serca (przetwały otwór owalny, defekty przegrody międzyprzedsionkowej) lub na poziomie płuc (przetoki tętniczo-żylny płuc). Nie można dokładnie określić miejsca przecieku w badaniu ultrasonograficznym^(1,3,4).

Wymagania aparaturowe

Badanie wykonuje się aparatem do badania dopplerowskiego „na ślepo”, wyposażonym w sondę o częstotliwości 2 MHz z dopplerem PW. Ułatwienie przy wykonywaniu badania stanowi założenie opaski monitorującej. Czułość badania można zwiększyć poprzez jednoczesne monitorowanie obustronne, czyli dwukanałowe (o ile aparat wyposażony jest w taką opcję). Monitorowanie dwukanałowe umożliwia także skrócenie czasu badania.

Przygotowanie do badania

Badanie wykonuje się u pacjenta leżącego na plecach. Należy założyć wkłucie do żyły odłokciowej (najlepiej z wydłużoną giętką końcówką i kranikiem). Opcjonalnie na głowę pacjenta zakłada się opaskę monitorującą i ewentualnie ustawia monitorowanie dwukanałowe. W dalszej kolejności potwierdza się obecność przeziernego okna kostnego skroniowego.

Należy przygotować strzykawki 10 ml i do każdej z nich nabrać 9 ml 0,9-procentowego NaCl oraz 1 ml powietrza; można dobrać z wkłucia niewielką ilość krwi pacjenta (około 0,3 ml). Następnie trzeba silnie wytrząsnąć strzykawkę. (Można również zastosować środek kontrastowy typu Echovist® w objętości 5 ml na każdą próbę)^(3,4).

Technika wykonania badania

Badanie wykonuje się po uzyskaniu wyraźnego obrazu spektrum prędkości przepływu w tętnicy środkowej mózgu przez okno skroniowe. Pacjentowi zaleca się, aby oddychał normalnie. Po podaniu kontrastu należy obserwować spektrum przepływu w tętnicy środkowej mózgu w ciągu 60 s. Jeżeli sygnały mikrozasorowe pojawiają się w liczbie ponad 20, a szczególnie jeśli zlewają się ze sobą, odstępuje się od powtórzenia badania z próbą Valsalvy. Jeśli mikrozasoratory nie pojawiają się do około 60. sekundy, wykonuje się badanie z próbą Valsalvy. Należy podać 10 ml wytrząsanej soli, a po 5 sekundach poprosić pacjenta, aby wykonał próbę Valsalvy przez 10 s [potwierdzenie prawidłowego wykonania tej próby będzie stanowiło pojawienie się w obrazie TCD zmian związanych ze wzrostem ciśnienia wewnątrzczaszkowego (znaczący wzrost oporu i spadek prędkości skurczowej i rozkurczowej), a po przywróceniu normalnego oddychania niewielka hiperperfuzja]. Za pomocą TCD należy przez około 60 s śledzić pojawianie się mikrozasoratorów na tle spektrum przepływu.

the administered contrast agent as well as the number of Valsalva's maneuvers.

This should be followed by the shunt grade determined with a single-channel monitoring, in accordance with the classification in Table 1⁽¹⁻⁴⁾.

Shunt grade	Number of signals	The range of RLS
0	no microembolic signals	no RLS
1	1–10 signals	minimal RLS
2	More than 10 signals, countable, non-merging	moderate RLS
3	Rain of signals ('curtain effect' – counting of the individual signals is impossible due to their merging)	significant RLS

Tab. 1. Right to left shunt grade classification with single-channel monitoring of the middle cerebral artery⁽¹⁻⁴⁾

Diagnosis of cerebral circulatory arrest

The examination is performed either before or after forming a suspicion of brain death. It should be performed by a physician with extensive experience in neurosonology^(6,7).

Equipment requirements

The examination is performed using 4 MHz 'blind' continuous-wave Doppler (extracranial intracerebral arteries) with 2 MHz pulsed-wave Doppler (transcranial Doppler)^(6,7).

Patient preparation

The test is performed in a patient lying in supine position.

Technical settings^(3,6):

- sweep – possibly free;
- power – maximum;
- gain – high;
- high frequency filter ≤ 50 Hz;
- sample volume ≥ 15 mm;
- the envelope should be preferably off;
- the depth of flow measurement in the middle arteries – 50–65 mm (carotid artery bifurcation should be avoided).

Technique

The examination is performed using 2 MHz pulsed-wave Doppler through the temporal window (middle, anterior and posterior cerebral artery) and suboccipital window (vertebral arteries and the basilar artery). Additionally, the flow in the extracranial portion of the internal carotid artery is assessed using 4 MHz CW Doppler (or duplex Doppler of the extracranial arteries is performed).

Wynik uznaje się za negatywny, gdy w trakcie trzech kolejnych prób Valsalwy nie stwierdzi się obecności sygnału mikrozatorowego^(3,4).

Dokumentacja badania

Rejestracji podlega obraz z badania podstawowego oraz po wykonaniu próby Valsalwy, najlepiej w postaci filmu. Jeżeli nie jest to możliwe, należy zapisać statyczne obrazy przepływu w tętnicy środkowej wskazujące na obecność sygnałów mikrozatorowych lub ich brak podczas każdego etapu badania.

Wynik badania

Wynik badania powinien zawierać nazwę użytego aparatu, częstotliwość sondy, rodzaj monitorowania (jedno- lub dwukanałowe) tętnicy środkowej mózgu, informacje na temat rodzaju i ilości podanego środka kontrastowego oraz liczby wykonanych prób Valsalwy.

Następnie należy określić stopień przecieku przy monitorowaniu jednokanałowym według klasyfikacji przedstawionej w tabeli 1⁽¹⁻⁴⁾.

Grupa przecieku	Liczba sygnałów	Zakres RLS
0	brak sygnałów mikrozatorowych	brak RLS
1	1–10 sygnałów	minimalny RLS
2	powyżej 10 sygnałów policzalne, niezlewające się	umiarkowany RLS
3	deszcz sygnałów (objaw kurtyny – brak możliwości policzenia pojedynczych sygnałów, ze względu na ich zlewanie się)	znaczny RLS

Tab. 1. Klasyfikacja stopnia przecieku z krążenia małego do dużego przy jednokanałowym monitorowaniu tętnicy środkowej mózgu⁽¹⁻⁴⁾

Diagnostyka zatrzymania krążenia mózgowego

Badanie wykonuje się przed wysunięciem podejrzenia śmierci mózgu lub po. Musi być przeprowadzane przez lekarza z bardzo dużym doświadczeniem w badaniach neurosonologicznych^(6,7).

Wymagania aparaturowe

Badanie wykonuje się aparatem do badania dopplerowskiego „na ślepo”, wyposażonym w sondę o częstotliwości 4 MHz z dopplerem CW (tętnice domózgowe zewnątrzczaszkowe) oraz 2 MHz z dopplerem PW (badanie przezczaszkowe)^(6,7).

Przygotowanie do badania

Badanie należy wykonywać u pacjenta leżącego na plecach.

The examination should be performed twice with an interval of at least 30 minutes unless artery with oscillating flow is monitored for 30 minutes^(6,7).

Cerebral circulatory arrest cannot be diagnosed in the following cases: mean systemic pressure of less than 80 mmHg, tachycardia >120/min, significant loss of skull bone, a child with an open fontanel⁽⁷⁾.

During the examination, pressure must be maintained constant; arterial carbon dioxide partial pressure should not decrease below normal values (i.e. <35 mmHg)⁽⁷⁾.

Documentation

The obtained spectra from both middle arteries and the basilar artery should be documented. Additionally, spectra from extracranial internal carotid and vertebral arteries should be recorded.

Results

The result should contain the name of the device and probe frequency, as well as the list of evaluated arteries. Additionally, arterial carbon dioxide partial pressure, pulse and blood pressure recorded during the examination should be documented. The diagnosis of cerebral circulatory arrest should include criteria met by individual arteries.

The diagnosis of cerebral circulatory arrest requires identification of the following types of flow in both middle cerebral arteries and the basilar artery^(1,3,6):

- early systolic small peaks indicating a maximum amplitude of <50 cm/s, or
- 'rebound' flow (oscillating) **with short systolic complex and a diastolic component with direction opposite to systolic complex throughout the diastole** – in this situation the patient should be monitored for 30 seconds to exclude the effects of transient rise in the intracranial pressure (no need for repeating the test after 30 minutes), or
- absence of cerebral flow in three arteries at the base of the brain, where the flow was previously recorded (i.e. **several days or weeks earlier**) (baseline examination performed within the previous days is needed). Absence of flow should be clearly demonstrated.

Identification of the absence of cerebral flow without reference to baseline findings does not indicate cerebral circulatory arrest due to the possible lack of transparency of the bone window^(3,6,7).

The presence of the above mentioned pathological types of flow in both intra- or extra-cranial vertebral and internal carotid arteries (extracranially using duplex Doppler) is an additional, indirect and optional criterion⁽⁷⁾.

Techniczne ustawienia aparatu^(3,6):

- przesuw podstawy czasu (*sweep*) – możliwie wolny;
- moc (*power*) – maksymalna;
- wzmacnienie (*gain*) – duże;
- filtr wysokich częstotliwości ≤50 Hz;
- objętość próbki ≥15 mm;
- obwiednię najlepiej wyłączyć;
- głębokość pomiaru przepływu w tętnicach środkowych – 50–65 mm (należy unikać rozwidlenia tętnicy szyjnej).

Technika wykonania badania

Badanie wykonuje się sondą o częstotliwości 2 MHz z dopplerem PW przez okno skroniowe (tętnice środkowa, przednia i tylna mózgu) oraz okno podpotyliczne (tętnice kręgowy i podstawna). Dodatkowo ocenia się przepływ w tętnicy szyjnej wewnętrznej w odcinku zewnątrzczaszkowym sondą 4 MHz z dopplerem CW (lub wykonuje się badanie USG duplex doppler tętnic zewnątrzczaszkowych).

Badanie musi zostać wykonane dwukrotnie w odstępie przynajmniej 30 minut – warunek ten nie jest konieczny, jeżeli monitoruje się tętnicę z przepływem wahadłowym przez 30 minut^(6,7).

Nie można rozpoznawać zatrzymania krążenia mózgowego, jeżeli: średnie ciśnienie układowe wynosi poniżej 80 mmHg, występuje tachykardia >120/min, jest obecny duży ubytek kości czaszki, u dziecka z niezarośniętym ciemniaczką⁽⁷⁾.

Podczas badania należy utrzymywać ciśnienie na stałym poziomie; prężność dwutlenku węgla nie może spadać poniżej normy (tj. <35 mmHg)⁽⁷⁾.

Dokumentacja badania

Należy zapisać uzyskane widma z obydwu tętnic środkowych i tętnicy podstawnej. Dodatkowo zapisuje się widma z tętnic szyjnych wewnętrznych i tętnic kręgowych w odcinku zewnątrzczaszkowym.

Wynik badania

Wynik powinien zawierać nazwę użytego aparatu i częstotliwości sond oraz wyszczególnienie zbadanych tętnic. W wyniku należy również podać prężność dwutlenku węgla we krwi tętniczej, tętno oraz ciśnienie tętnicze podczas badania. W przypadku rozpoznawania zatrzymania krążenia mózgowego należy wyszczególnić, które z kryteriów w poszczególnych tętnicach zostało spełnione.

Rozpoznanie zatrzymania krążenia mózgowego wymaga stwierdzenia następujących rodzajów przepływu w obu tętnicach środkowych mózgu oraz w tętnicy podstawnej^(1,3,6):

- małe piki wczesnoskurczowe, które wykazują maksymalną amplitudę <50 cm/s, lub

Conflict of interest

Authors do not report any financial or personal connections with other persons or organizations, which might negatively affect the contents of this publication and/or claim authorship rights to this publication.

- przepływ „z odbicia” (oscylacyjny, wahadłowy) z **krótkim zespołem skurczowym i składową rozkurczową, której kierunek jest przeciwstawny do zespołu skurczowego przez cały okres trwania rozkurczu** – w tej sytuacji należy monitorować pacjenta przez 30 minut, aby wykluczyć wpływ przejściowej zwężki ciśnienia śródczaszkowego (wówczas powtórzenie badania po 30 minutach nie jest konieczne), lub
- brak przepływu mózgowego w trzech tętnicach na podstawie mózgu, w których przepływ wcześniej (**tj. kilka dni lub tygodni**) rejestrowano (konieczne jest wówczas badanie wyjściowe wykonane w poprzednich dobach). Należy wyraźnie wykazać zanik przepływu.

Jednorazowe stwierdzenie braku przepływu mózgowego bez odniesienia się do wcześniejszego badania wyjściowego nie świadczy o zatrzymaniu krążenia mózgowego, ze względu na możliwość nieprzezierności okna kostnego^(3,6,7).

Kryterium dodatkowe, pośrednie, nieobowiązkowe stanowi stwierdzenie powyższych patologicznych rodzajów przepływu w obu tętnicach kręgowych i tętnicach szyjnych wewnętrznych w odcinku wewnątrz- lub zewnątrzczaszkowym (zewnątrzczaszkowo za pomocą badania dupleksowego)⁽⁷⁾.

Konflikt interesów

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

References / Piśmiennictwo

1. Alexandrov AV: Cerebrovascular Ultrasound in Stroke Prevention and Treatment. Blackwell (Futura), Oxford 2004.
2. Bartels E: Color-Coded Duplex Ultrasonography of the Cerebral Vessels. Schattauer Verlagsgesellschaft, Stuttgart – New York 1999.
3. Widder B, Goertler M: Doppler und Duplexsonographie der hirnversorgenden Arterien. Springer Verlag, Berlin – Heidelberg – New York 2004.
4. Wojczal J, Kaźmierski R, Kozera G, Gabriel M, Wawrzyńczyk M, Bartman W *et al.*: Standardy badań neurosonologicznych. In: Kaźmierski R (ed.): Podręcznik diagnostyki ultrasonograficznej w neurologii. Czelej, Lublin 2011.
5. Chernyshev OY, Garami Z, Calleja S, Song J, Campbell MS, Noser EA *et al.*: Yield and accuracy of urgent combined carotid/transcranial ultrasound testing in acute cerebral ischemia. Stroke 2005; 36: 32–37.
6. Ducrocq X, Hassler W, Moritake K, Newell DW, von Reutern GM, Shiogai T, Smith RR: Consensus opinion on diagnosis of cerebral circulatory arrest using Doppler-sonography. Task Force Group on cerebral death of the Neurosonology Research Group of the World Federation of Neurology. J Neurol Sci 1998; 159: 145–150.
7. Nestorowicz A, Bohatyrewicz R, Józwiak S, Kusza K, Kwieciński H, Mayzner-Zawadzka E *et al.*: Kryteria i sposób stwierdzenia trwałego, nieodwracalnego ustania czynności mózgu ustalone przez specjalistów z dziedzin medycyny: anestezjologii i intensywnej terapii, neurologii, neurochirurgii oraz medycyny sądowej. Załącznik do obwieszczenia Ministra Zdrowia z dnia 17 lipca 2007 r.