

Submitted: 16.09.2015

Accepted: 16.10.2015

## Standards in neurosonology. Part III

### Standardy badań ultrasonograficznych. Neurosonologia. Część III

Joanna Wojczal<sup>1</sup>, Tomasz Tomczyk<sup>2</sup>, Piotr Luchowski<sup>1</sup>,  
Grzegorz Kozera<sup>3</sup>, Radostaw Kaźmierski<sup>4</sup>, Zbigniew Stelmasiak<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Neurology, Medical University of Lublin, Poland

<sup>2</sup> Stroke Department, Regional Hospital in Poznań, Poland

<sup>3</sup> Department of Neurology of Adults, Medical University of Gdańsk, Poland

<sup>4</sup> 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.2016.0017

#### Key words

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

#### 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).

#### Słowa kluczowe

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

#### Streszczenie

W artykule przedstawiono podstawowe standardy dotyczące badania układu naczyniowego i struktur mózgu metodą ultrasonograficzną. Celem opracowania jest ujednolicenie 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, dokumenta-

■ cji 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).

## 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 cerebral circulatory arrest or diagnostics of 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.

## An assessment of the competence of the circle of Willis (The Matas Test)

The Matas test is performed in situations when it is necessary to determine the competence of the circle of Willis, e.g. in the case of necessary ligation of the internal carotid artery due to the presence of a large cavernous segment aneurysm.

## Equipment requirements

The evaluation is performed using an ultrasound device equipped with a linear probe with a frequency of 7.5–13 MHz and a 2–3.5 MHz sector probe (transcranial color-coded duplex, TCCD) or an ultrasound device equipped with a linear probe with a frequency of 7.5–13 MHz and “blind” Doppler ultrasound device equipped with 2 MHz probe with pulse wave (PW) Doppler (transcranial Doppler, TCD).

## Patient preparation

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

## 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 badającej. Celem pracy jest ujednoczenie protokołu badania we wszystkich pracowniach neurosonologicznych. Autorzy mają nadzieję, że omówione standardy będą pomocne w codziennej pracy, a także staną się podstawą do dyskusji i uwag, które zostaną uwzględnione przy opracowywaniu kolejnych wersji. Omówione zostały objęte również szczególne rodzaje badań neurosonologicznych, takie jak zatrzymanie krążenia mózgowego czy diagnostyka 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.

## Ocena wydolności koła tętniczego mózgu (próba Matasa)

Próbie Matasa wykonuje się w sytuacjach, w których niezbędne jest określenie wydolności koła tętniczego Willisa, np. w przypadku konieczności podwiązania tętnicy szyjnej wewnętrznej ze względu na obecność dużego tętniaka w odcinku jamistym.

## Wymagania aparaturowe

Badanie przeprowadza się aparatem ultrasonograficznym wyposażonym w sondę liniową o częstotliwości 7,5–13 MHz oraz sondę sektorową 2–3,5 MHz (przeznaczkowe badanie z zakodowanym na kolorowo przepływem – *transcranial color-coded duplex*, TCCD) lub aparatem ultrasonograficznym wyposażonym w sondę liniową o częstotliwości 7,5–13 MHz i aparatem do badania dopplerowskiego „na ślepo”, wyposażonym w sondę 2 MHz z dopplerem fali pulsacyjnej (*pulsed wave Doppler*, PW) (przeznaczkowa ultrasonografia dopplerowska – *transcranial Doppler*, TCD).

## Przygotowanie do badania

Badanie wykonujemy u pacjenta leżącego na plecach.

## Technique

The procedure is preceded by the examination of the extracranial carotid arteries, as in accordance with the protocol, and the exclusion of atherosclerotic plaques in the common and internal carotid arteries. It should not be performed if atherosclerotic plaques are present in the extracranial carotid arteries.

The evaluation can be performed using transcranial Doppler ultrasound (TCD) or transcranial color-coded Doppler ultrasonography (TCDD). A firm compression of the ipsilateral common carotid artery, as far as possible from the bulb, should be performed during insonation of the internal carotid artery bifurcation (insonation depth: 60–65 mm). Under no circumstances should be the carotid artery compressed in the vicinity of the bulb due to the risk of cardiac arrest (irritation of the carotid body). If the anterior communicating artery (the most important route for collateral circulation within the circle of Willis) is patent, then a reversal of the flow in the anterior cerebral artery will occur after several seconds (there will be two TCD spectra directed towards the probe or the blue colored TCDD flow 'away from the probe' in the anterior cerebral artery will change into red colored flow directed towards the probe, and there will be two overlapping spectra for the flow towards the probe in spectral Doppler). The absence of a change in the direction of flow in the anterior cerebral artery and a reduction in blood flow velocity of >30% in the middle cerebral artery as well as delayed systolic peak indicate very poor competence of the circle of Willis and the risk of ischemic complications in the case of ligation of the ipsilateral internal carotid artery<sup>(1-4)</sup>.

## Documentation

The documentation should include the recorded flow spectra from the vicinity of intracranial internal carotid artery bifurcation at rest and after common carotid artery compression.

## Results

The results should contain the name of the method used (Duplex scan of the extracranial carotid arteries and TCD or TCDD), the name of the devices and the frequency of the probe. It is necessary to report the absence of atherosclerotic lesions in the compressed common carotid artery. If bilateral atherosclerotic lesions are found in the common carotid artery, this fact should be reported as the reason for withdrawing from further testing. It should also be reported whether a reversal in the direction of blood flow in the ipsilateral anterior cerebral artery occurred (good collateral circulation, competent circle of Willis) or not, or whether there was a reduction in blood flow velocity and a delayed systolic peak in the ipsilateral middle cerebral artery following common carotid artery compression (poor collateral circulation in the circle of Willis)<sup>(4)</sup>.

## Technika wykonywania badania

Próbę wykonuje się po zbadaniu tętnic szyjnych w odcinku zewnątrzczaszkowym według protokołu oraz wykluczeniu zmian miażdżycowych w tętnicy szyjnej wspólnej i wewnętrznej. Nie wolno przeprowadzać próby, gdy w tętnicach szyjnych zewnątrzczaszkowych występują zmiany miażdżycowe.

Próbę można wykonać za pomocą przezczaszkowego badania dopplerowskiego (TCD) lub dupleksowego (TCDD). Podczas insonacji na głębokości 60–65 mm rozwidlenia tętnicy szyjnej wewnętrznej należy mocno ucisnąć tożstronną tętnicę szyjną wspólną możliwie jak najdalej od opuszki. Absolutnie nie wolno uciskać tętnicy szyjnej w okolicy opuszki ze względu na możliwość zatrzymania akcji serca (podrażnienie kłęбка szyjnego). Jeżeli czynna jest tętnica łącząca przednia (najważniejsza droga krążenia obocznego w obrębie koła Willisa), wówczas po kilku bądź kilkunastu sekundach nastąpi odwrócenie kierunku przepływu w tętnicy przedniej mózgu (w TCD pojawią się dwa widma w kierunku do sondy lub w TCDD kolor niebieski przepływu „od sondy” w tętnicy przedniej mózgu zmieni barwę na czerwoną „do sondy” i pojawią się dwa nakładające się na siebie spektra przepływu do sondy w dopplerze spektralnym). Brak zmiany kierunku przepływu w tętnicy przedniej mózgu i wystąpienie w tętnicy środkowej mózgu obniżenia średniej prędkości przepływu >30% oraz opóźnienia szczytu skurczowego świadczą o bardzo słabej wydolności koła tętniczego Willisa i grożą wystąpieniem powikłań niedokrwiennych w przypadku podwiązania tożstronnej tętnicy szyjnej wewnętrznej<sup>(1-4)</sup>.

## Dokumentacja badania

Należy zapisać spektra przepływu z okolicy rozwidlenia tętnicy szyjnej wewnętrznej wewnątrzczaszkowo w spoczynku oraz po uciśnięciu tętnicy szyjnej wspólnej.

## Wynik badania

Wynik badania powinien zawierać metodę (dupleksowe badanie tętnic domózgowych zewnątrzczaszkowych oraz TCD lub TCDD), nazwę użytych aparatów, częstotliwości sond. W wyniku konieczne jest stwierdzenie o braku zmian miażdżycowych w uciskanej tętnicy szyjnej wspólnej. Jeżeli w tętnicy szyjnej wspólnej obecne są obustronnie zmiany miażdżycowe, sytuację tę należy przedstawić jako powód do odstąpienia od wykonania dalszych etapów próby. Powinno się podać, czy przy ucisku tętnicy szyjnej wspólnej nastąpiło odwrócenie kierunku przepływu w tożstronnej tętnicy przedniej mózgu (dobre krążenie oboczne, wydolne koło tętnicze Willisa) lub czy nie doszło do zmiany kierunku przepływu w tętnicy przedniej mózgu, ewentualnie czy wystąpiło obniżenie prędkości i opóźnienie szczytu skurczowego w tętnicy środkowej mózgu tożstronnie do ucisku tętnicy szyjnej wspólnej (słabe krążenie oboczne przez koło tętnicze Willisa)<sup>(4)</sup>.

## Measurement of the cerebral vasomotor reserve

The measurement of vasomotor reactivity (VMR) is the most commonly used ultrasonography technique assessing the competence of mechanisms underlying the autoregulation of cerebral blood flow. VMR evaluation involves the measurement of changes in the mean blood flow velocity in the circle of Willis, usually in the middle cerebral artery, caused by changes in the volume of the vascular bed of the cerebral microcirculation (increased or decreased blood flow) induced by a vasoactive agent. Carbon dioxide is a substance that has the most profound effect on cerebral microcirculation. Physiological (respiratory tests) and pharmacological provocation can be used for the assessment. VMR evaluation is currently used mainly for scientific research as well as in clinical practice as a method assisting the qualification for carotid artery repair<sup>(2,3,5,6)</sup>.

## Equipment requirements

The study is performed using "blind" Doppler ultrasound equipped with 2 MHz probe with pulse wave Doppler. The use of a monitoring headband significantly facilitates the examination (it also allows to maintain a constant insonation angle), and 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<sup>(2,6)</sup>.

## Patient preparation

The test is performed in a patient in a lying supine or sitting position and wearing a monitoring headband. The test is performed under the same conditions (temperature, light, humidity), after a 10-minute rest period. The end-tidal CO<sub>2</sub> concentration ( $_{ET}CO_2$ ) should be monitored using capnograph (lateral stream measurement) and the blood pressure (BP) should be monitored, preferably using continuous non-invasive measurement techniques. Significant changes in the BP values should be avoided during the measurement<sup>(2,3,6)</sup>.

## Technique

The examination is performed by insonating the middle cerebral artery at a depth of 50–60 mm through the temporal window. It is advisable to use a headband and set a dual-channel monitoring (bilateral monitoring of the middle cerebral arteries). Provocation tests are preceded by the measurement of the mean blood velocity at rest ( $V_{\text{mean rest}}$ ) (1-minute registration) in the middle cerebral artery. Further stages involve performing provocation tests and tracing provocation-induced changes in the mean blood flow velocity.

## Badanie rezerwy wazomotorycznej tętnic mózgowych

Pomiar reaktywności wazomotorycznej naczynia (*vasomotor reactivity*, VMR) jest najczęściej wykorzystywaną ultrasonograficzną techniką oceny wydolności mechanizmów autoregulacji przepływu mózgowego. Badanie VMR polega na pomiarze zmian średniej prędkości przepływu krwi w naczyniach koła Willis'a, zazwyczaj w tętnicy środkowej mózgu, wywołanych zmianą pojemności łożyska naczyniowego mikrokrążenia mózgowego (zwiększeniem lub zmniejszeniem napływu krwi) wskutek działania substancji wazoaktywnej. Substancją o największym wpływie na mikrokrążenie mózgowie jest dwutlenek węgla. Do jej oceny można stosować techniki prowokacji fizjologicznej (testy oddechowe) oraz farmakologicznej. Badanie VMR wykorzystuje się obecnie głównie do badań naukowych, natomiast klinicznie korzysta się z niego jako metody wspomagającej proces kwalifikacji do zabiegów naprawczych tętnic szyjnych<sup>(2,3,5,6)</sup>.

## Wymagania aparaturowe

Badanie wykonuje się aparatem do badania dopplerowskiego „na ślepo”, wyposażonym w sondę o częstotliwości 2 MHz z dopplerem fali pulsacyjnej. Znaczne ułatwienie przy badaniu stanowi założenie opaski monitorującej (umożliwia ona również zachowanie stałego kąta insonacji), a czułość badania można zwiększyć poprzez jednoczesne monitorowanie obustronne, czyli dwukanałowe (o ile aparat wyposażony jest w taką opcję). Monitorowanie dwukanałowe umożliwi także skrócenie czasu trwania badania<sup>(2,6)</sup>.

## Przygotowanie do badania

Badanie należy wykonywać podczas gdy pacjent znajduje się w pozycji leżącej na plecach lub w pozycji siedzącej, po założeniu opaski monitorującej. Przeprowadza się je w jednakowych warunkach otoczenia (temperatury, oświetlenia, wilgotności), po uprzednim okresie minimum 10-minutowego spoczynku. Podczas badania należy monitorować końcowo-wydechowe stężenia CO<sub>2</sub> (*end-tidal CO<sub>2</sub> concentration*,  $_{ET}CO_2$ ) za pomocą kapnografu (pomiar w strumieniu bocznym) oraz ciśnienie tętnicze krwi (RR), najlepiej przy wykorzystaniu ciągłych, nieinwazyjnych technik pomiaru. Wartości RR nie powinny podlegać istotnym statystycznie wahaniom w trakcie testu<sup>(2,3,6)</sup>.

## Technika wykonania badania

Badanie wykonuje się poprzez insonację tętnicy środkowej mózgu na głębokości 50–60 mm przez okno skroniowe. Najlepiej założyć opaskę monitorującą i ustawić monitorowanie dwukanałowe (obustronne tętnic środkowych mózgu). Przed wykonaniem prób prowokacyjnych mierzy się spoczynkową prędkość średnią ( $V_{\text{mean rest}}$ ) (1-minutowa rejestracja) w tętnicy środkowej mózgu. Kolejne etapy ba-

Provocation methods include:

### 1) Breath-holding test<sup>(1-3,5,6)</sup>

The method allows to assess the degree of microcirculatory vasodilatation induced by hypercapnia. The patient is asked to hold their breath for 30 minutes to achieve hypercapnia ( $t_{BH} = 30$  s). Breath hold should not be preceded by an additional, deeper inhalation, which may provoke the Valsalva mechanism. The maximum mean blood flow velocity ( $V_{\text{mean end BH}}$ ) is measured immediately after the end of breath-hold (a minimum of 4–5 full cardiac cycles with the highest blood flow velocity). The breath-holding index (BHI) is calculated from the following formula:

$$BHI = \left\{ \left( \frac{V_{\text{mean end BH}} - V_{\text{mean rest}}}{V_{\text{mean rest}}} \right) / t_{BH} \right\} \times 100$$

[ $V_{\text{mean end BH}}$  – the mean middle cerebral artery (MCA) blood flow velocity at the end of breath-hold;  $V_{\text{mean rest}}$  – the mean middle cerebral artery (MCA) blood velocity at rest;  $t_{BH}$  – breath-hold duration in seconds].

### 2) The measurement of vasomotor reserve<sup>(1-3,5,6)</sup>

Vasomotor reactivity reserve/range (VMRr) reflects the full range of changes in blood flow parameters: from resistance vessel stenosis due to hypocapnia to resistance vessel dilation induced by hypercapnia. It is measured based on hyperventilation provocation test (during which hypocapnia occurs). The patient should take regular, deep breaths with a full exhalation for 2 minutes at a rate of about 12 breaths per minute. The next stage involves a breath-hold (see above). The breathing tests are performed consecutively at 4-minute intervals, which are necessary for the normalization of blood flow parameters. The minimum mean blood flow velocity during hyperventilation ( $V_{\text{mean hyperventilation}}$ ) is calculated as a mean for the last three breathing cycles during hyperventilation. The VMRr is calculated from the following formula:

$$VMRr = \left\{ \left( \frac{V_{\text{mean BH}} - V_{\text{mean hyperventilation}}}{V_{\text{mean rest}}} \right) \right\} \times 100\%$$

[ $V_{\text{mean BH}}$  – mean MCA velocity at end breath hold;  $V_{\text{mean hyperventilation}}$  – mean MCA velocity during hyperventilation;  $V_{\text{mean rest}}$  – mean MCA velocity at rest].

### 3) Ventilation with 5% CO<sub>2</sub><sup>(3,5,6)</sup>

A test with carbogen ventilation may be performed to induce hypercapnia. A patient wearing a respiratory mask (half-open circuit) is exposed to a mixture of 5% CO<sub>2</sub> and 95% O<sub>2</sub> (carbogen) for 90 minutes. Optionally, closed-circuit ventilation using breathing bags may be used. The maximum mean blood flow velocity ( $V_{\text{mean post-ventilation}}$ ) is calculated as a mean value recorded during at least 5 seconds after the end of ventilation with the mixture. The VMR is calculated from the following formula:

$$VMR = \left\{ \left( \frac{V_{\text{mean post ventilation}} - V_{\text{mean at rest}}}{V_{\text{mean at rest}}} \right) \right\} \times 100\%$$

danian to zastosowanie metod prowokacyjnych i prześledzenie zmian średniej prędkości przepływu krwi pod ich wpływem. Do metod prowokacyjnych należą:

### 1) Test zatrzymania oddechu (*breath-holding test*)<sup>(1-3,5,6)</sup>

Metoda ta pozwala na ocenę stopnia rozszerzenia naczyń mikrokrążenia pod wpływem hiperkapnii. W celu jej osiągnięcia badany proszony jest o wstrzymanie oddechu przez okres 30 sekund ( $t_{BH} = 30$  s). Zatrzymania oddechu nie należy poprzedzać dodatkowym pogłębionym wdechem, który może prowokować mechanizm Valsalwy. Maksymalną wartość prędkości średniej przepływu ( $V_{\text{mean end BH}}$ ) mierzy się bezpośrednio po zakończeniu zatrzymania oddechu (minimum 4–5 pełnych cykli pracy serca o największej prędkości przepływu). Wskaźnik zatrzymania oddechu (*breath-holding index*, BHI) wyliczany jest ze wzoru:

$$BHI = \left\{ \left( \frac{V_{\text{mean end BH}} - V_{\text{mean rest}}}{V_{\text{mean rest}}} \right) / t_{BH} \right\} \times 100$$

[ $V_{\text{mean end BH}}$  – średnia prędkość w tętnicy środkowej mózgu (*middle cerebral artery*, MCA) w końcowym okresie zatrzymania oddechu;  $V_{\text{mean rest}}$  – średnia prędkość w MCA w spoczynku;  $t_{BH}$  – czas zatrzymania oddechu w sekundach].

### 2) Pomiar rezerwy wazomotorycznej<sup>(1-3,5,6)</sup>

Rezerwa wazomotoryczna naczyń (*vasomotor reactivity reserve/range*, VMRr) ukazuje pełen zakres zmian parametrów przepływu krwi w naczyniu – od zwężenia naczyń oporowych wywołanego hipokapnią do rozszerzenia naczyń oporowych wywołanego hiperkapnią. W celu jej pomiaru wykonuje się test hiperwentylacji (podczas którego dochodzi do hipokapnii). Pacjent powinien przez 2 minuty wykonywać pogłębione, regularne wdechy z pełnym wydechem, z częstotliwością około 12 oddechów/min. W następnym etapie przeprowadza się test zatrzymania oddechu (patrz wyżej). Testy oddechowe wykonuje się kolejno po sobie, w odstępie 4 minut, niezbędnych do normalizacji parametrów przepływu. Minimalną wartość prędkości średniej przepływu ( $V_{\text{mean hiperwentylacja}}$ ) podczas hiperwentylacji oblicza się jako średnią dla ostatnich trzech cykli oddechowych w trakcie hiperwentylacji. Wartość VMRr oblicza się ze wzoru:

$$VMRr = \left\{ \left( \frac{V_{\text{mean BH}} - V_{\text{mean hiperwentylacja}}}{V_{\text{mean rest}}} \right) \right\} \times 100\%$$

[ $V_{\text{mean BH}}$  – średnia prędkość w MCA w końcowym okresie zatrzymania oddechu;  $V_{\text{mean hiperwentylacja}}$  – średnia prędkość w MCA w czasie hiperwentylacji;  $V_{\text{mean rest}}$  – średnia prędkość w MCA w spoczynku].

### 3) Wentylacja 5% CO<sub>2</sub><sup>(3,5,6)</sup>

W celu wywołania hiperkapnii można wykonać próbę z wentylacją karbogenem. Pacjent przez minimum 90 sekund oddycha mieszaniną 5% CO<sub>2</sub> i 95% O<sub>2</sub> (karbogen) przy pomocy maski oddechowej (w obiegu półotwartym). Alternatywnie można stosować wentylację w obiegu zamkniętym, przy pomocy tzw. worków oddechowych. Maksymalną wartość prędkości średniej przepływu ( $V_{\text{mean po wentylacji}}$ ) obli-

#### 4) Pharmacological provocation methods

- The acetazolamide test<sup>(5,6)</sup>:

The method allows to assess the degree of microcirculatory vasodilatation. Acetazolamide, a carbonic anhydrase inhibitor, induces transient hypercapnia and, consequently, vasodilatation (blood flow maximization). The assessment of vasomotor reactivity based on the acetazolamide testing (e.g. Diamox 1 g – 15 mg/kg body weight IV) involves the measurement (within 1 minute) of blood flow velocity at rest ( $V_{\text{mean rest}}$ ) and 10 minutes after infusion (a slow 2–5-minute IV infusion of solution of 5 mL of the drug) ( $V_{\text{mean ACE}}$ ).

The range of VMR assessed based on acetazolamide testing is calculated from the following formula:

$$\text{VMRr} = \left\{ \left( \frac{V_{\text{mean ACE}} - V_{\text{mean rest}}}{V_{\text{mean rest}}} \right) \right\} \times 100\%$$

- L-arginine test<sup>(6)</sup>

Infusion of L-arginine, an amino acid involved in the endogenous nitric acid synthesis, induces transient vasodilation in the microcirculation. The mechanism allows for a selective measurement of endothelium-dependent vasomotor reactivity. The test involves an infusion of 30 g L-arginine (usually in 100 mL 0.9% NaCl solution) for 30 minutes. Registration of blood flow parameters begins 10 minutes before infusion and ends 10 minutes after infusion. VMRr is calculated from the following formula:

$$\text{VMRr} = \left\{ \left( \frac{V_{\text{mean post-infusion}} - V_{\text{mean pre-infusion}}}{V_{\text{mean pre-infusion}}} \right) \right\} \times 100\%$$

#### Documentation

The documentation includes the recorded curve for the mean blood flow in the middle cerebral artery (or both middle cerebral arteries using dual-channel monitoring) during hypercapnia and hypocapnia testing.

#### Results

The result should include the name of the device and the frequency of the probe used for testing, as well as a statement whether it was one or dual-channel examination and the applied method for the provocation of changes in carbon dioxide pressure. The result should further include the percentage range of changes in the vasomotor reserve (hyperventilation and breath-hold) or the BHI in the case of breath-hold testing. The range of vasomotor reserve is more than 80% in healthy individuals, and the normal BHI value is 1.2 ( $\pm 0.4$ ). VMR below 50%, and MHI below 0.6 ( $\pm 0.1$ ) are considered pathological<sup>(2,3,6)</sup>.

cza się jak średnią zapisu w okresie minimum 5 sekund po zakończeniu wentylacji mieszaniną oddechową. Wartość VMR oblicza się według wzoru:

$$\text{VMR} = \left\{ \left( \frac{V_{\text{mean po wentylacji}} - V_{\text{mean w spoczynku}}}{V_{\text{mean w spoczynku}}} \right) \right\} \times 100\%$$

#### 4) Metody prowokacji farmakologicznej

- Test z acetazolamidem<sup>(5,6)</sup>:

Metoda ta pozwala na ocenę stopnia rozszerzenia naczyń mikrokrążenia, ponieważ acetazolamid, jako inhibitor anhidrazy węglanowej, wywołuje przejściową hiperkapnię i wtórnie wazodylatację (maksymalizację przepływu). Ocena reaktywności wazomotorycznej w teście z acetazolamidem (np. Diamox 1 g *i.v.* – 15 mg/kg m.c.) polega na pomiarze (w ciągu 1 minuty) prędkości przepływu w spoczynku ( $V_{\text{mean rest}}$ ) oraz po 10 minutach od zakończenia infuzji (powolny wlew dożylny w ciągu 2–5 minut roztworu 5 ml leku) ( $V_{\text{mean ACE}}$ ). Zakres VMR ocenianej w teście z acetazolamidem oblicza się ze wzoru:

$$\text{VMRr} = \left\{ \left( \frac{V_{\text{mean ACE}} - V_{\text{mean rest}}}{V_{\text{mean rest}}} \right) \right\} \times 100\%$$

- Test z L-argininą<sup>(6)</sup>

Infuzja L-argininy, aminokwasu uczestniczącego w procesie endogennej syntezy tlenu azotu, powoduje czasowe rozszerzenie naczyń mikrokrążenia. Mechanizm ten umożliwia selektywny pomiar reaktywności wazomotorycznej zależnej od funkcji śródbłonna. Test polega na infuzji 30 g L-argininy (zazwyczaj w 100 ml 0,9-procentowego roztworu NaCl) przez 30 minut. Rejestracja parametrów przepływu prowadzona jest w okresie 10 minut przed rozpoczęciem i 10 minut po zakończeniu infuzji. Wartość VMRr oblicza się ze wzoru:

$$\text{VMRr} = \left\{ \left( \frac{V_{\text{mean po infuzji}} - V_{\text{mean przed infuzją}}}{V_{\text{mean przed infuzją}}} \right) \right\} \times 100\%$$

#### Dokumentacja badania

Badanie dokumentuje się zapisem krzywej średniej prędkości przepływu w tętnicy środkowej mózgu (lub obu tętnicach środkowych mózgu przy monitorowaniu dwukanałowym) podczas prób hiperkapnicznych i hipokapnicznych.

#### Wynik badania

Wynik badania powinien zawierać nazwę użytego aparatu, częstotliwość sondy, wskazanie, czy badanie było jedno- czy dwukanałowe, oraz zastosowaną metodę prowokacji zmian prężności dwutlenku węgla. W wyniku należy określić procentowo zakres zmian rezerwy wazomotorycznej (badania hiperwentylacji i zatrzymania oddechu) lub w przypadku testu zatrzymania oddechu podać BHI. U osób zdrowych zakres rezerwy wazomotorycznej wynosi powyżej 80%, a prawidłowa wartość wskaźnika zatrzymania oddechu – 1,2 ( $\pm 0,4$ ). Za patologię uznaje się wartość VMR poniżej 50%, a BHI – poniżej 0,6 ( $\pm 0,1$ )<sup>(2,3,6)</sup>.

## Substantia nigra hyperechogenicity assessment

### Equipment requirements

The test is performed using a high-resolution ultrasound device equipped with a sector probe with a frequency of 1.6–2.5 MHz.

### Patient preparation

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

### Technique

The evaluation is performed through the temporal window, as in the case of TCCD, in an axial insonation plane. Ultrasound penetration depth of 14–16 cm, and a dynamic range of 45–55 dB should be set. The brightness of the image should be adjusted; low-echoic signal reduction should be used, if possible. Once a cross-sectional image of the brain stem at the level of midbrain (butterfly shaped) is obtained, 1.5–4 times magnification of the image is performed in the axial plane and a planimetric measurement of the area of potential hyperechogenicity is performed. Cut-off values should be defined in each laboratory and for each apparatus to determine hyper- and normal echogenicity of the substantia nigra. Then, the hyperechogenic area should be outlined manually and its area should be measured. An area of hyperechogenicity exceeding the 90th percentile in a healthy population is considered a significant hyperechogenicity of the substantia nigra ( $\geq 0,25 \text{ cm}^2$  for most apparatuses). If the area of hyperechogenicity is between the 70<sup>th</sup> and the 90<sup>th</sup> percentile ( $\geq 0,2$  and  $< 0,25 \text{ cm}^2$  for most apparatuses), the hyperechogenicity is defined as moderate. An area of substantia nigra hyperechogenicity of up to 70<sup>th</sup> percentile is considered a normal echogenicity. Although most authors report the larger of the two bilaterally measured substantia nigra hyperechogenicity areas, the mean value of the bilaterally measured hyperechogenic areas can also be reported. A uniform system of reporting results should be used in every laboratory<sup>(7,8)</sup>.

### Documentation

The documentation should include images of the brain stem at the level of the midbrain without measurements as well as images from the planimetric measurement of the outlined hyperechogenic area of the substantia nigra with values in  $\text{cm}^2$ <sup>(8)</sup>.

### Results

The results should contain the name of the device, the frequency of the probe as well as data on the echogenicity of substantia nigra (normal echogenicity, moderate hyperechogenicity, severe hyperechogenicity). The area of

## Badanie hiperechogeniczności istoty czarnej

### Wymagania aparaturowe

Badanie wykonuje się aparatem ultrasonograficznym o wysokiej rozdzielczości wyposażonym w sondę sektorową o częstotliwości 1,6–2,5 MHz.

### Przygotowanie do badania

Badanie wykonujemy u pacjenta leżącego na plecach.

### Technika wykonania badania

Badanie przeprowadza się przez okno skroniowe, podobnie jak badanie TCCD, uzyskując płaszczyznę osiową insonacji. Głębokość penetracji ultradźwięków należy ustawić na 14–16 cm, zakres dynamicznego natężenia sygnału (*dynamic range*) na 45–55 dB. Jasność obrazu powinna być dostosowana; należy wykorzystać redukcję sygnałów niskoechowych, jeśli jest to możliwe. Po uzyskaniu obrazu przekroju pnia mózgu na wysokości śródmózgowia (kształt motyla) w płaszczyźnie osiowej dokonuje się 1,5–4-krotnego powiększenia obrazu i planimetrycznie mierzy się obszar ewentualnej hiperechogeniczności. W każdej pracowni dla każdego aparatu trzeba ustalić wartości odciążenia dla określenia hiper- i normoechogeniczności istoty czarnej. Następnie należy ręcznie dokonać obrysu obszaru hiperechogenicznego i zmierzyć jego powierzchnię. Za znaczną hiperechogeniczność istoty czarnej uznaje się pole powierzchni mierzonej hiperechogeniczności przekraczające 90. percentyl pomiarów wykonanych u zdrowej populacji (dla większości aparatów jest to wartość  $\geq 0,25 \text{ cm}^2$ ). Jeżeli pole to mieści się pomiędzy 70. a 90. percentylem (dla większości aparatów jest to  $\geq 0,2$  i  $< 0,25 \text{ cm}^2$ ), wówczas określa się hiperechogeniczność jako umiarkowaną. Jeśli pole powierzchni hiperechogenicznej istoty czarnej nie przekracza 70. percentyla, uważa się taki wynik za normoechogeniczność. Większość autorów podaje w wyniku większy z obustronnie zmierzonych obszarów hiperechogeniczności istot czarnych, ale dozwolone jest podanie średniej wartości z obustronnie zmierzonych obszarów hiperechogeniczności. W każdej pracowni należy używać jednolitego systemu podawania wyniku<sup>(7,8)</sup>.

### Dokumentacja badania

Należy zapisać obrazy z insonacji pnia mózgu na wysokości śródmózgowia bez pomiarów oraz z planimetrycznego pomiaru zaznaczonego obszaru hiperechogeniczności istoty czarnej, wraz z wartościami podanymi w  $\text{cm}^2$ <sup>(8)</sup>.

### Wynik badania

Wynik badania powinien zawierać nazwę użytego aparatu, częstotliwość sondy oraz stwierdzenie dotyczące

the potential hyperechogenicity and the ranges of norm/pathology specific for a given laboratory and apparatus, should be reported<sup>(8)</sup>.

### 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.*

echogenicności istoty czarnej (normoechogeniczność, hiperechogeniczność umiarkowana, hiperechogeniczność znaczna). Należy podać wartość pola powierzchni ewentualnej hiperechogeniczności oraz zakresy normy i patologii właściwe dla pracowni i aparatu<sup>(8)</sup>.

### 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. Tegeler CT, Babikian VL, Gomez RC (ed.): Neurosonology. Mosby – Year Book, St. Louis 1996.
2. Von Reutern GM, Kaps M, Büdingen HJ: Ultraschall-diagnostik der hirnversorgenden Arterien. Georg Thieme Verlag, Stuttgart – New York 2000.
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. Newell DW, Aaslid R: Transcranial Doppler. Raven Press, New York 1992.
6. Kozera G, Nyka W: Zastosowanie przezczaszkowej ultrasonografii dopplerowskiej w ocenie autoregulacji przepływu mózgowego. In: Kaźmierski R (ed.): Podręcznik diagnostyki ultrasonograficznej w neurologii. Czelej, Lublin 2011.
7. Ambrosius W: Ocena morfologii struktur wewnątrzczaszkowych za pomocą ultrasonografii przezczaszkowej – zastosowania w neurologii. In: Kaźmierski R (ed.): Podręcznik diagnostyki ultrasonograficznej w neurologii. Czelej, Lublin 2011.
8. Walter U: How to measure substantia nigra hyperechogenicity in Parkinson disease. J Ultrasound Med 2013; 32: 1837–1843.