

Submitted: 17.06.2015

Accepted: 17.08.2015

Standards in neurosonology. Part I

Standardy badań ultrasonograficznych. Neurosonologia. Część I

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 Poznan, Poland

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

⁴ Department of Neurology and Vascular Diseases of the Nervous System, Poznan 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.2015.0027

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 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 duplexowe, badanie dopplerowskie). W części II 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:

PSV – peak systolic velocity
EDV – end-diastolic velocity
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
ACoA – anterior communicating artery
PCoA – posterior communicating artery
PI – pulsatility index
RI – resistance index
IMT – intima-media thickness
TCCD – transcranial color-coded duplex
TCD – transcranial Doppler
MES – microembolic signals

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 paper further describes different types of neurosonological tests, such as cerebral circulatory arrest or diagnostics of right-to-left shunts. Our goal is to standardize the testing protocol in all neurosonology laboratories. We hope that the developed standards will prove useful in everyday patient management as well as will become the basis

Używane skróty:

PSV – maksymalna prędkość skurczowa
EDV – prędkość późnorozkurczowa
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
ACoA – tętnica łącząca przednia
PCoA – tętnica łącząca tylna
PI – wskaźnik pulsacyjności
RI – wskaźnik oporności
IMT – grubość kompleksu błona środkowa – błona wewnętrzna
TCCD – przezczaszkowe badanie z zakodowanym na kolorowo przepływem
TCD – przezczaszkowa ultrasonografia dopplerowska („na ślepo”)
MES – sygnały mikrozatorowe

Wstęp

Badanie ultrasonograficzne stało się jedną z podstawowych metod diagnostycznych w chorobach naczyniowych ośrodkowego układu nerwowego. Z uwagi na powszechną dostępność badania USG konieczne jest określenie standardów dotyczących wymagań aparaturowych, zakresu badania oraz doświadczenia osoby wykonującej. Opracowaniem zostały objęte również szczególne rodzaje badań neurosonologicznych, takie jak zatrzymanie krążenia mózgowego czy diagnostyka bezpośrednich przecieków z krążenia małego do dużego. Naszym celem jest ujednoczenie protokołu badania we wszystkich pracowniach neurosonologicznych. Mamy nadzieję, że opracowane standardy będą

for discussion and comments to be taken into account in subsequent versions. The proposed diagnostic criteria should be standardized in all neurosonology laboratories due to differences between ultrasonographic devices, particularly in relation to velocity calibration.

Duplex Doppler ultrasound of the carotid and extracranial vertebral arteries

Equipment requirements

The study is performed using an ultrasound device equipped with a linear probe with a frequency of 7.5–13 MHz.

Patient preparation

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

Technique

The assessment involves the internal and external common carotid arteries in the B-mode presentation, in the cross-sectional and longitudinal plane (longitudinal sections in two or more planes). The measurement of the intima-media complex is performed on the wall of the common carotid artery proximal to the bulb, at a minimum distance of 5 mm from the termination of the common carotid artery; furthermore, measurement within the bifurcation in the atherosclerotic plaque-free segment is recommended. Routinely, one or two bilateral measurements are performed; for scientific purposes, the measurements are most often performed on a segment of 10 mm, using the semi-automatic method. If atherosclerotic plaques are present, their location, structure (homogenous or heterogenous), echogenicity (hyper-, iso- and hypoechoic) and surface (smooth or irregular) are assessed. If plaque surface is visible, its maximum thickness in the cross-section and its length in the longitudinal section should be measured. If plaque structure and surface are not visible due to significant calcification, the term "calcified plaque" is used⁽¹⁾.

Vertebral arteries are assessed in the longitudinal section starting from the site of branching (V0 – if visible) up to the loop in all presentations. Bilateral measurement of vertebral artery diameter, preferably on a straight segment between the transverse processes of cervical vertebrae (V2 segment) is obligatory^(1,2).

This is followed by extracranial artery assessment using color coded mode and spectral Doppler. The measurement of velocity should be performed in straight arterial segments, if possible, preferably at some distance from bifurcations. In the case of arterial elongations, bends and loops, the measurement of velocity should be preferably performed proximally and distally to these variants of vascular forms^(1,2).

pomocne w codziennej pracy, a także staną się podstawą do dyskusji i uwag, które zostaną uwzględnione przy opracowaniu kolejnych wersji.

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

Badanie USG duplex doppler tętnic szyjnych i kręgowych w odcinku zewnątrzczaszkowym

Wymagania aparaturowe

Badanie wykonujemy aparatem ultrasonograficznym wyposażonym w sondę liniową o częstotliwości 7,5–13 MHz.

Przygotowanie do badania

Badanie wykonujemy u pacjenta leżącego na plecach.

Technika wykonania badania

Ocenie podlegają tętnice szyjne wspólne, wewnętrzne i zewnętrzne w prezentacji B-mode w przekroju poprzecznym i podłużnym (w co najmniej dwóch płaszczyznach przekroju podłużnego). Pomiar kompleksu *intima-media* wykonuje się na ścianie dalszej tętnicy szyjnej wspólnej w odcinku proksymalnym do opuszki, w odległości minimum 5 mm od końca tętnicy szyjnej wspólnej; ponadto zaleca się pomiar w obrębie bifurkacji w odcinku wolnym od blaszek miażdżycowych. Rutynowo wykonuje się jeden bądź dwa pomiary obustronnie; do celów naukowych najczęściej wykonuje się pomiary metodą półautomatyczną na odcinku 10 mm. W przypadku obecności blaszek miażdżycowych ocenia się ich lokalizację, strukturę (jednorodna lub niejednorodna), echogeniczność (hiper-, izo- i hipoechogeniczna) oraz powierzchnię (gładka lub nieregularna). Jeżeli widoczna jest powierzchnia blaszki, należy określić jej maksymalną grubość na przekroju poprzecznym oraz jej długość na przekroju podłużnym. Jeżeli ze względu na znaczne zwapnienia w blaszce nie są widoczne jej struktura i powierzchnia, podaje się jedynie określenie „blaszka zwapniała”⁽¹⁾.

Tętnice kręgowo oceniamy w przekroju podłużnym od miejsca odejścia (V0 – o ile jest widoczne) do pętli we wszystkich prezentacjach. Konieczny jest pomiar średnicy tętnicy kręgowo obustronnie, najlepiej na prostym odcinku pomiędzy wyrostkami poprzecznymi kręgow szyjnych (odcinek V2)^(1,2).

Następnie ocenia się tętnice zewnątrzczaszkowe w opcji przepływu kodowanego kolorem i dopplera spektralnego.

Pomiaru prędkości należy dokonywać na możliwie prostych odcinkach tętnic, najlepiej w pewnej odległości od

Documentation

The results of each test should be documented. The records should be stored in the ultrasound lab, on a data storage device; additionally, images may be taken and appended to the results. In B-mode presentation, the image of the thickness of carotid artery intima-media complex as well as each atherosclerotic plaque in the longitudinal and cross-sectional planes are recorded. Additionally, each atherosclerotic plaque should be recorded with color-coded or power Doppler mode. The image of each evaluated vessel (CCA, ICA, ECA, VA) should be recorded using color-coded and spectral Doppler. All recorded abnormalities should be documented⁽³⁾.

Results

The result should include the name of the device and the frequency of the probe used for testing. The description should include intima-media thickness; location and description of all atherosclerotic plaques, including thickness, length, structure (homogeneous, heterogeneous), echogenicity and surface area. It should be determined whether the recorded flow velocities and spectra in the evaluated vessels are within normal range (in this case a term "age appropriate or normal" should be used). In the event of increased CCA or ICA velocity, the hemodynamic degree of stenosis (expressed as a percentage) should be estimated as well as PSD, EDV, and the ratio of the maximum systolic ICA/CCA velocities should be presented. Description of vertebral arteries should include: diameter measurement, flow direction and spectrum characteristics. If subclavian steal syndrome is found, its grade should be determined. Attention should be paid to limitations in the testing, such as acoustic shadow caused by calcification. In the case of diagnostic uncertainties, additional testing should be recommended⁽³⁾.

Comments

A number of ultrasound criteria for internal carotid artery stenosis have been published. We suggest the use of standardized criteria in all ultrasound laboratories, e.g. Widder and Görtler's criteria (2004) as the most practical⁽¹⁾.

Stenosis ≤50%	PSV <120 cm/s; EDV <40 cm/s; ICA/CCA* <1,5; ICA/ICA** <2
Stenosis 60%	PSV >120 cm/s; EDV <100 cm/s; ICA/CCA >1,5; ICA/CCA >2
Stenosis 70%	PSV ≥200 cm/s; EDV <130 cm/s; ICA/CCA ≥2; ICA/ICA >3 slight turbulence possible recruitment of collateral flow via ACoA and/or PCoA

podziałów. Przy elongacjach, zagięciach i pętlach tętnic pomiar prędkości najlepiej wykonać proksymalnie i dystalnie do tych odmian przebiegu naczynia^(1,2).

Dokumentacja badania

Wynik każdego badania powinien być udokumentowany. Dokumentacja badania powinna znajdować się w pracowni zapisana na nośniku pamięci; dodatkowo można wykonać zdjęcia, które dołączamy do wyniku. W prezentacji B-mode zapisujemy obraz pomiaru grubości kompleksu *intima-media* w tętnicy szyjnej oraz każdą blaszkę miażdżycową w płaszczyźnie podłużnej i poprzecznej. Dodatkowo każda blaszka miażdżycowa powinna być zapisana w prezentacji przepływu kodowanego kolorem lub dopplera mocy. Obraz każdego badanego naczynia (CCA, ICA, ECA, VA) zapisujemy w prezentacji przepływu kodowanego kolorem i dopplera spektralnego. Dokumentacji podlegają wszystkie stwierdzone nieprawidłowości opisane w wyniku badania⁽³⁾.

Wynik badania

W wyniku podajemy nazwę aparatu, którym zostało przeprowadzone badanie, oraz częstotliwość użytej sondy. Opis badania powinien zawierać grubość kompleksu *intima-media*, lokalizację i opis każdej blaszki miażdżycowej z podaniem jej grubości, długości, struktury (jednolita, niejednolita), echogeniczności i określeniem powierzchni. Należy określić, czy notowane prędkości i spektrum przepływu w badanych naczyniach są prawidłowe (wówczas w wyniku podajemy określenie „w normie wieku”). W przypadku stwierdzenia wzrostu prędkości w CCA lub ICA należy oszacować hemodynamiczny stopień zwężenia (w procentach) oraz podać PSV, EDV, iloraz maksymalnych prędkości skurczowych ICA/CCA. Opis tętnic kręgowych powinien zawierać: pomiar średnicy, kierunek przepływu i cechy spektrum. W przypadku stwierdzenia zespołu podkradania należy określić jego stopień. W protokole trzeba zwrócić uwagę na występowanie ograniczeń w badaniu, takich jak np. cień akustyczny spowodowany zwapnieniem. W przypadku wątpliwości diagnostycznych należy w wyniku podać proponowane badania dodatkowe⁽³⁾.

Uwagi

Opublikowanych zostało wiele kryteriów ultrasonograficznych zwężeń tętnic szyjnych wewnętrznych. Proponujemy zastosowanie ujednoczonych kryteriów we wszystkich pracowniach, np. kryteriów według Widdera i Görtlera (2004), jako najbardziej praktycznych⁽¹⁾.

Zwężenie ≤50%	PSV <120 cm/s; EDV <40 cm/s; ICA/CCA* <1,5; ICA/ICA** <2
---------------	---

Stenosis 80%	PSV ≥ 300 cm/s; EDV ≥ 130 cm/s; ICA/CCA ≥ 4 ; ICA/ICA > 5 distinct turbulences possible recruitment of collateral flow via ACoA and/or PCoA possible recruitment of collateral flow via OA
Stenosis 90%	PSV > 300 cm/s; EDV > 130 cm/s; ICA/CCA > 4 ; ICA/ICA > 10 distinct turbulences recruitment of collateral flow via ACoA and/or PCoA, and/or OA
Stenosis $> 95\%$	decreased velocity, minimum poststenotic flow, recruitment of collateral flow via ACoA and/or PCoA and/or OA

* ICA/CCA – intrastenotic peak systolic velocity in the internal carotid artery/common carotid artery peak systolic velocity

** ICA/ICA – intrastenotic mean velocity / mean poststenotic velocity

If the above criteria are not applied, other criteria used to assess the degree of stenosis should be provided.

The following guidelines may be used for the assessment of ICA in-stent restenosis⁽⁴⁾:

For 50–69% restenosis:

- systolic velocity – PSV ≥ 225 cm/s (or ≥ 240 cm/s in other tests);
- the ratio of the systolic velocity in the internal carotid artery to the common artery (PSV ICA/PSV CCA) ≥ 2.5 .

For restenosis of more than 70%⁽⁴⁾:

- systolic velocity – PSV ≥ 350 cm/s;
- PSV ICA/PSV CCA ratio ≥ 4.75 .

Vertebral arteries:

- Normal systolic and diastolic velocities in the V2 segment of the vertebral artery are 30–65 cm/s and 9–25 cm/s, respectively. The systolic velocity in the V1 segment is normally 10–20% higher than in the V2 segment^(1,2).
- Hypoplasia of the vertebral artery is considered if its diameter is ≤ 2 mm⁽²⁾.

Transcranial color-coded duplex ultrasonography (TCCD)

Equipment requirements

The study is performed using a sector probe (2–3.5 MHz). 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 used.

Zwężenie 60%	PSV > 120 cm/s; EDV < 100 cm/s; ICA/CCA > 1.5 ; ICA/CCA > 2
Zwężenie 70%	PSV ≥ 200 cm/s; EDV < 130 cm/s; ICA/CCA ≥ 2 ; ICA/ICA > 3 niewielkie turbulencje możliwe włączenie krążenia obocznego przez ACoA i/lub PCoA
Zwężenie 80%	PSV ≥ 300 cm/s; EDV ≥ 130 cm/s; ICA/CCA ≥ 4 ; ICA/ICA > 5 wyraźne turbulencje możliwe włączenie krążenia obocznego przez ACoA i/lub PCoA możliwe włączenie krążenia obocznego przez OA
Zwężenie 90%	PSV > 300 cm/s; EDV > 130 cm/s; ICA/CCA > 4 ; ICA/ICA > 10 wyraźne turbulencje włączenie krążenia obocznego przez ACoA i/lub PCoA, i/lub OA
Zwężenie $> 95\%$	notuje się obniżenie prędkości, minimalny przepływ postenotyczny, włączone jest krążenie oboczne przez ACoA i/lub PCoA, i/lub OA

* ICA/CCA – szczytowa prędkość skurczowa wewnątrz zwężenia tętnicy szyjnej wewnętrznej/szczytowa prędkość skurczowa tętnicy szyjnej wspólnej

** ICA/ICA – średnia prędkość wewnątrz zwężenia/średnia prędkość za zwężeniem

Jeżeli nie stosujemy ww. kryteriów, należy podać te, które zastosowaliśmy do oceny stopnia zwężenia.

Dla oceny restenozy w stencie ICA można posługiwać się poniższymi wytycznymi⁽⁴⁾:

Dla restenozy rzędu 50–69%:

- prędkość skurczowa – PSV ≥ 225 cm/s (lub w innych badaniach ≥ 240 cm/s);
- iloraz prędkości skurczowych w tętnicy szyjnej wewnętrznej i wspólnej (PSV ICA/PSV CCA) ≥ 2.5 .

Dla restenozy ponad 70%⁽⁴⁾:

- prędkość skurczowa – PSV ≥ 350 cm/s;
- iloraz PSV ICA/PSV CCA ≥ 4.75 .

Tętnice kręgowo:

- Prawidłowa prędkość skurczowa w tętnicy kręgowo-owej w odcinku V2 wynosi 30–65 cm/s, rozkurczowa 9–25 cm/s. W odcinku V1 prędkość skurczowa w warunkach prawidłowych jest o 10–20% większa niż w odcinku V2^(1,2).
- Hipoplazję tętnicy kręgowo-owej rozpoznajemy, jeżeli jej średnica ≤ 2 mm⁽²⁾.

Patient preparation

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

Technique

The study is routinely performed through temporal and suboccipital windows. Temporal window testing shows the plane of brainstem section. Color-coding and spectral Doppler allow for an assessment of the medial, anterior and posterior cerebral arteries as well as the top of the basilar artery. Vertebral arteries and the initial section of the basilar artery are assessed through the suboccipital window. It is not possible to perform TCCD through the temporal window in approximately 20–30% of patients due to its opacity (changes in bone structure causing complete ultrasound dispersion). In these circumstances, the study through the temporal window should be discontinued and followed by the suboccipital window^(1,2).

Documentation

Color coded and spectral Doppler recording of the image of the flow in the middle, anterior and posterior cerebral arteries as well as vertebral arteries and the basilar artery is performed. The documentation further involves the posterior communicating arteries if their image is achievable, and each abnormality is recorded⁽³⁾.

Results

Test results should contain the name of the device and the frequency of the probe. Visualized arteries should be specified and their flow parameters should be provided. If no significant abnormalities are found, the term “age appropriate flow parameters” is used. In the case of collateral circulation route inclusion, it should be clarified which collateral channels are active as well as blood flow direction in the communicating arteries should be recorded. Test results should include a description of all abnormalities detected during evaluation, e.g. the presence of stenosis (the degree of stenosis $<50\%$ or $\geq 50\%$ should be reported), mean flow velocity (or systolic and/or diastolic velocity) as well as factors hindering the procedure, e.g. poor translucency or opacity of the bone window⁽³⁾.

Comments

As opposed to extracranial arteries, the criteria for intracranial arterial stenosis include the diagnosis of $<50\%$ or $\geq 50\%$ narrowing due to the impossible precise measurement of stenosis during angiography as a reference test.

We propose the use of general criteria for the stenosis ($<50\%$ and $\geq 50\%$) of the medial cerebral artery and

Badanie USG duplex doppler z kodowaniem przepływu w kolorze przezczaszkowe – TCCD (*transcranial color-coded duplex*)

Wymagania aparaturowe

Badanie wykonujemy aparatem ultrasonograficznym wyposażonym w sondę sektorową o częstotliwości 2–3,5 MHz. Stosujemy 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 wykonujemy u pacjenta leżącego na plecach.

Technika wykonania badania

Badanie rutynowo wykonuje się przez okno skroniowe i podpotyliczne. W badaniu przez okna skroniowe odnajdujemy płaszczyznę przekroju przez pień mózgu. W prezentacji dopplera kodowanego kolorem i dopplera spektralnego oceniamy tętnice środkowe, przednie i tylne mózgu oraz szczyt tętnicy podstawnej. Tętnice kręgowie i początkowy odcinek tętnicy podstawnej oceniamy przez okno podpotyliczne.

U około 20–30% osób badanych metodą TCCD nie jest możliwe wykonanie badania przez okno skroniowe ze względu na jego nieprzezierność (zmiany w strukturze kości, powodujące całkowite rozproszenie ultradźwięków). W sytuacjach tych należy odstąpić od badania przez to okno i kontynuować badanie przez okno podpotyliczne^(1,2).

Dokumentacja badania

Zapisujemy obraz przepływu w tętnicach środkowych, przednich, tylnych mózgu oraz w tętnicach kręgowych i tętnicy podstawnej w prezentacji dopplera kodowanego kolorem i dopplera spektralnego. Dokumentacji podlegają także tętnice łączące tylne, jeżeli jest możliwe uzyskanie ich obrazu, oraz każda nieprawidłowość opisana w wyniku⁽³⁾.

Wynik badania

Wynik powinien zawierać nazwę aparatu oraz częstotliwość sondy użytej do badania. Należy wyszczególnić tętnice, które udało się uwidocznnić, oraz podać parametry przepływu w tych naczyniach. Jeżeli nie stwierdza się istotnych nieprawidłowości, w wyniku stosuje się określenie „parametry przepływu krwi w normie wieku”. W przypadku włączenia się dróg krążenia obocznego należy podać, które kanały krążenia obocznego są czynne, jak też kierunek przepływu krwi w tętnicach łączących.

other arteries of the base of the brain. Criteria for the diagnosis of $\geq 50\%$ stenosis in the middle cerebral artery segment M1^(1,2,5):

- visible, local arterial aliasing, local increase in flow velocity, turbulences with spectral broadening in the stenotic site shown by spectral analysis;
- decreased maximum and average velocity in the part distal to stenosis and two of the following criteria:
 - mean flow velocity of >100 – 120 cm/s* in the site of stenosis;
 - or segmental increase in the average velocity >80 cm/s relative to the neighboring vascular segments;
 - the ratio of average velocity at stenosis to average velocity downstream of stenosis of ≥ 2 ;
 - the ratio of the mean MCA/ICA velocity (Lindegaard ratio – the ratio of mean velocity in the middle cerebral artery to the mean velocity in the extracranial part of ICA) ≥ 2 ;
 - or maximum velocity of ≥ 160 cm/s in the stenotic site.

* The criterion for the average velocity of 100 cm/s shows higher sensitivity, but lower specificity; it mainly relates to individuals over 55 years old; the criterion of average velocity of 120 cm/s is less sensitive, but more specific.

Criteria for the diagnosis of $\geq 50\%$ stenosis in the anterior cerebral artery segment A1^(1,2,5):

- visible, local arterial aliasing, local increase in flow velocity, turbulences with spectral broadening in the stenotic site and at least one of the following criteria:
 - mean flow velocity of 120 cm/s in the site of the visible stenosis;
 - segmental increase in the mean velocity >80 cm/s relative to the neighboring vascular segments.

*** These criteria should not be applied in the case of the inclusion of collateral flow associated with stenosis of the ipsilateral internal carotid artery.**

Criteria for the diagnosis of $\geq 50\%$ stenosis in the posterior cerebral artery and the intracranial segment of the vertebral artery (all criteria are required)^(1,2,5):

- visible, local arterial aliasing, local increase in flow velocity, turbulences with spectral broadening in the stenotic site;
- segmental increase in the mean velocity ≥ 50 cm/s relative to the neighboring vascular segments.

Criteria for the diagnosis of $\geq 50\%$ stenosis in the basilar artery (all criteria are required)^(1,2,5):

- visible, local arterial aliasing, local increase in flow velocity, turbulences with spectral broadening in the stenotic site;
- segmental increase in the mean velocity ≥ 60 cm/s relative to the neighboring vascular segments.

Wynik powinien zawierać opis każdej nieprawidłowości wykrytej podczas badania, np. obecność zwężenia (obowiązuje podanie stopnia zwężenia $<50\%$ lub $\geq 50\%$), prędkości średniej (ewentualnie prędkości skurczowej i/lub rozkurczowej) oraz czynniki utrudniające badanie, np. niewielka przezierność okna kostnego lub jego nieprzezierność⁽³⁾.

Uwagi

W przeciwieństwie do tętnic zewnątrzczaszkowych kryteria zwężenia tętnic wewnątrzczaszkowych obejmują rozpoznanie $<50\%$ lub $\geq 50\%$ ze względu na brak możliwości dokładnego pomiaru zwężenia w badaniu angiograficznym, jako badaniu odniesienia.

Proponujemy zastosowanie ogólnych kryteriów zwężenia ($<50\%$ oraz $\geq 50\%$) tętnicy środkowej mózgu i pozostałych tętnic na podstawie mózgu. Kryteria rozpoznania zwężenia $\geq 50\%$ tętnicy środkowej mózgu w odcinku M1^(1,2,5):

- miejscowo widoczne zjawisko aliasingu (różnych kolorów) w przebiegu tętnicy, miejscowe przyspieszenie prędkości przepływu, turbulencje z rozszerzeniem spektralnym w miejscu zwężenia w badaniu spektralnym;
- obniżenie prędkości maksymalnej i średniej w części dystalnej w stosunku do zwężenia oraz spełnienie dwóch kryteriów z następujących:
 - średnia prędkość przepływu >100 – 120 cm/s* w miejscu widocznego zwężenia
 - lub odcinkowy wzrost prędkości średniej >80 cm/s w stosunku do sąsiadujących segmentów naczynia,
 - iloraz średniej prędkości w miejscu zwężenia do średniej prędkości przed zwężeniem ≥ 2 ,
 - wskaźnik średniej prędkości MCA/ICA (współczynnik Lindegaarda – iloraz średniej prędkości w tętnicy środkowej mózgu do średniej prędkości w tętnicy szyjnej wewnętrznej w odcinku zewnątrzczaszkowym) ≥ 2
 - lub prędkość maksymalna ≥ 160 cm/s w miejscu widocznego zwężenia.

* Kryterium średniej prędkości 100 cm/s jest bardziej czułe, ale mniej specyficzne; odnosi się głównie do osób powyżej 55. r.ż.; kryterium średniej prędkości 120 cm/s jest mniej czułe, ale bardziej specyficzne.

Kryteria rozpoznania zwężenia $\geq 50\%$ tętnicy przedniej mózgu w odcinku A1^(1,2,5):

- miejscowo widoczne zjawisko aliasingu w przebiegu tętnicy, miejscowe przyspieszenie prędkości przepływu, turbulencje z rozszerzeniem spektralnym w miejscu zwężenia oraz spełnienie przynajmniej jednego z poniższych kryteriów:
 - średnia prędkość przepływu 120 cm/s w miejscu widocznego zwężenia,
 - odcinkowy wzrost prędkości średniej >80 cm/s w stosunku do sąsiadujących segmentów naczynia.

*** Kryteria te nie obowiązują, jeżeli włączony jest przepływ oboczny związany ze zwężeniem tożstronnej t. szyjnej wewnętrznej.**

TCD of the extracranial segments of the cerebral arteries

Equipment requirements

The study is performed using "blind" Doppler ultrasound device equipped with 8 and 4 MHz probe with continuous wave (CW) or pulse wave (PW) Doppler.

Patient preparation

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

Technique

The study involves bilateral evaluation of the supratrochlear arteries, including the assessment of blood flow direction and compression test of the superficial temporal artery and facial artery. This is followed by the evaluation of flow in the common carotid arteries along the upper edge of the sternocleidomastoid muscle, starting from the thyroid gland, moving the probe towards bifurcation, continuing along the internal carotid artery from its branching from the common carotid artery to the region of mandibular angle and the initial segment of the external carotid artery. The study should also include the initial segments of the subclavian arteries in the supraclavicular region as well as the initial segments of the vertebral arteries⁽⁵⁻⁷⁾.

Documentation

The documentation should contain the recorded spectra from the supratrochlear arteries, internal and external common carotid arteries, as well as subclavian arteries and the initial segments of vertebral arteries⁽³⁾.

Results

Test results should contain the name of the device and the frequency of the probe, the names of the evaluated arteries (or a statement "according to standard protocol"), an assessment of spectrum and the velocity of flow in the individual vessels. If no abnormalities are found, the term "age appropriate hemodynamic flow parameters" may be used. In the case of identified abnormalities, further tests, such as Duplex Doppler ultrasound of carotid and vertebral arteries, should be recommended⁽³⁾.

Comments

The criteria for the diagnosis of extracranial internal carotid artery stenosis are similar to Duplex criteria. Their lower sensitivity and specificity due to the lack of appropriate correction of the angle of insonation should be taken into account.

Kryteria rozpoznania zwężenia $\geq 50\%$ tętnicy tylnej mózgu oraz tętnicy kręgowej w odcinku wewnątrzczaszkowym (obowiązuje spełnienie wszystkich kryteriów)^(1,2,5):

- miejscowo widoczne zjawisko aliasingu w przebiegu tętnicy, miejscowe przyspieszenie prędkości przepływu, turbulencje z rozszerzeniem spektralnym w miejscu zwężenia;
- odcinkowy wzrost prędkości średniej ≥ 50 cm/s w stosunku do sąsiadujących segmentów naczynia.

Kryteria rozpoznania zwężenia $\geq 50\%$ tętnicy podstawnej (obowiązuje spełnienie wszystkich kryteriów)^(1,2,5):

- miejscowo widoczne zjawisko aliasingu w przebiegu tętnicy, miejscowe przyspieszenie prędkości przepływu, turbulencje z rozszerzeniem spektralnym w miejscu zwężenia;
- odcinkowy wzrost prędkości średniej ≥ 60 cm/s w stosunku do sąsiadujących segmentów naczynia.

Badanie dopplerowskie tętnic domózgowych w odcinku zewnątrzczaszkowym – TCD (*transcranial Doppler*)

Wymagania aparaturowe

Badanie wykonujemy aparatem do badania dopplerowskiego („na ślepo”), wyposażonym w sondę o częstotliwości 8 i 4 MHz z dopplerem fali ciągłej (CW) lub pulsacyjnej (PW).

Przygotowanie do badania

Badanie wykonujemy u pacjenta leżącego na plecach.

Technika wykonania badania

Badaniem obejmujemy obustronnie tętnice nadbłoczkowe, oceniając kierunek przepływu krwi i wykonując test uciskowy tętnicy skroniowej powierzchownej i tętnicy twarzowej. Następnie badamy przepływ w tętnicach szyjnych wspólnych wzdłuż górnego brzegu mięśnia mostkowo-obojczykowo-sutkowego od gruczołu tarczowego, przesuując sondę do podziału naczynia, a następnie w tętnicy szyjnej wewnętrznej wzdłuż jej przebiegu od jej odejścia od tętnicy szyjnej wspólnej do okolicy gałęzi żuchwy i w tętnicy szyjnej zewnętrznej w odcinku początkowym. Badaniem obejmujemy także początkowe odcinki tętnic podobojczykowych w okolicy nadobojczykowej i początkowe odcinki tętnic kręgowych⁽⁵⁻⁷⁾.

Dokumentacja badania

Dokumentacja powinna zawierać zapis widm z tętnic nadbłoczkowych, tętnic szyjnych wspólnych, wewnętrznych i zewnętrznych, a także z tętnic podobojczykowych i początkowych odcinków tętnic kręgowych⁽³⁾.

TCD of the intracranial cerebral arteries

Equipment requirements

The study is performed using "blind" Doppler ultrasound device equipped with 2 MHz probe with PW Doppler. The ALARA principle is used⁽⁵⁻⁷⁾.

Patient preparation

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

Technique

The TCD is performed through temporal and suboccipital windows. In exceptional circumstances (opacity of the temporal bone window), transorbital window is used, bearing in mind that the power of ultrasound beam is reduced below 20%. The vessels that can be examined using temporal window include bifurcation of the internal carotid artery (60–65 mm) and the middle cerebral artery (M1 at a depth of 45–65 mm, M2 at a depth of 30–45 mm), anterior cerebral artery segment A1 (at a depth of 65–72 mm), posterior cerebral artery segment P1 and P2 (at a depth of 60–75 mm) as well as the top of the basilar artery. TCD through the suboccipital window is used to assess vertebral arteries (at a depth of 40–70 mm) and the basilar artery (at a depth of 90–104 mm or more). The depth of insonation of 70 - 90 mm is considered uncertainty zone as it is not possible to reliably determine the site where vertebral arteries join to form the basilar artery based on the spectra alone with no visualization of the vessels. TCD through the transorbital window is used to assess the direction of flow in the ophthalmic artery (depth 40–50 mm) and flow velocity in the siphon the internal carotid artery (depth 55–70 mm)⁽⁵⁻⁷⁾.

Documentation

The documentation should contain recorded spectra from the middle, anterior and posterior cerebral arteries, as well as vertebral arteries and the basilar artery. If transorbital window is used, spectra from the ophthalmic artery and the supraclinoid internal carotid artery should be recorded⁽⁹⁾.

Results

Test results should contain the name of the device, the frequency of the probe, the list of the evaluated arteries (or a statement "according to standard protocol"). This should be followed by obtained velocity values and the assessment of arterial spectrum. If no abnormalities are found, the term "age appropriate flow parameters" may be used. In the case of detected collateral circulation routes through posterior or anterior communicating

Wynik badania

Wynik powinien zawierać nazwę użytego aparatu i częstotliwość sondy, wyszczególnienie zbadanych tętnic (lub stwierdzenie „według standardowego protokołu”), ocenę spektrum i prędkości przepływu w poszczególnych naczyniach. W sytuacjach, gdy nie stwierdza się nieprawidłowości, w wyniku można zapisać „parametry hemodynamiczne przepływu w normie wieku”. W przypadku stwierdzenia nieprawidłowości wskazujemy badania, które powinny zostać wykonane, np. USG duplex doppler tętnic szyjnych i kręgowych⁽³⁾.

Uwagi

Kryteria rozpoznania zwężenia tętnicy szyjnej wewnętrznej w odcinku zewnątrzczaszkowym są podobne do kryteriów dupleksowych. Należy mieć na względzie ich mniejszą czułość i specyficzność, ze względu na brak odpowiedniej korekcji kąta insonacji.

Badanie dopplerowskie tętnic domózgowych w odcinku wewnątrzczaszkowym – TCD (*transcranial Doppler*)

Wymagania aparaturowe

Badanie wykonujemy aparatem do badania dopplerowskiego („na ślepo”), wyposażonym w sondę 2 MHz z dopplerem fali pulsacyjnej (PW). Stosujemy zasadę ALARA⁽⁵⁻⁷⁾.

Przygotowanie do badania

Badanie wykonujemy u pacjenta leżącego na plecach.

Technika wykonywania badania

Badanie wykonuje się przez okno skroniowe oraz okno podpotyliczne. W sytuacjach szczególnych (nieprzezierność okna skroniowego kostnego) wykonujemy badanie przez okno przezoczołowe, pamiętając o redukcji mocy wiązki ultradźwiękowej poniżej 20%.

Badaniem przez okno skroniowe obejmujemy: rozwidlenie tętnicy szyjnej wewnętrznej (60–65 mm) oraz tętnicę środkową mózgu (M1 na głębokości 45–65 mm, M2 na głębokości 30–45 mm), tętnice przednie mózgu w odcinku A1 (głębokość 65–72 mm), tętnice tylne w odcinku P1 i P2 (głębokość 60–75 mm) oraz szczyt tętnicy podstawnej. W badaniu przez okno podpotyliczne ocenia się tętnice kręgowe (głębokość 40–70 mm) oraz tętnicę podstawną (głębokość 90–104 mm lub głębiej). Głębokość insonacji pomiędzy 70 a 90 mm uznaje się za strefę niepewności, gdyż na podstawie samych widm bez wizualizacji przebiegu naczyń nie jesteśmy w stanie w sposób pewny określić dokładnie miejsca połączenia

artery, blood flow direction should be reported. If local increase in velocity, indicating stenosis of the basal cerebral arteries, is detected, estimation of the stenotic degree is required⁽³⁾.

Comments

We recommend the use of general criteria for the stenosis of the middle cerebral artery stenosis and other basal cerebral arteries provided that the extracranial arterial segments remain free of stenosis.

Criteria for the diagnosis of $\geq 50\%$ stenosis in the middle cerebral artery segment M1^(1,5):

- local, segmental increase in flow velocity, turbulences with spectral broadening in the stenotic site, reduced maximum and medium velocity in the distal portion of the artery relative to stenosis
- mean flow velocity >120 cm/s in the suspected stenotic site
- or a segmental increase in mean velocity >80 cm/s relative to the neighboring arterial segments;
- the ratio of the mean stenotic velocity to the mean velocity downstream of stenosis ≥ 2 ;
- the Lindegaard ratio ≥ 2
- or the maximum velocity ≥ 160 cm/s in the suspected stenotic site.

Criteria for the diagnosis of $\geq 50\%$ stenosis in the anterior cerebral artery segment A1^(1,5):

- local increase in flow velocity, turbulences with spectral broadening in the stenotic site, and at least one of the following criteria:
- mean flow velocity >120 cm/s in the suspected stenotic site;
- segmental increase in the mean velocity >80 cm/s relative to the neighboring arterial segments.

* These criteria should not be applied in the case of the inclusion of collateral flow associated with stenosis of the ipsilateral internal carotid artery.

Criteria for the diagnosis of $\geq 50\%$ stenosis in the posterior cerebral artery and the extracranial vertebral artery (all criteria are required)^(1,5):

- local increase in flow velocity, turbulences with spectral broadening in the stenotic site;
- segmental increase in mean velocity >50 cm/s relative to the neighboring arterial segments.

Criteria for the diagnosis of $\geq 50\%$ stenosis in the basilar artery (all criteria are required)^(1,5):

- local increase in flow velocity, turbulences with spectral broadening in the stenotic site;
- segmental increase in mean velocity >60 cm/s relative to the neighboring arterial segments.

obu tętnic kręgowych w tętnicę podstawną. W badaniu przez okno przezoczołowe oceniamy kierunek przepływu w tętnicy ocznej (głębokość 40–50 mm) oraz prędkość przepływu w syfonie tętnicy szyjnej wewnętrznej (głębokość 55–70 mm)^(5–7).

Dokumentacja badania

Dokumentacja powinna zawierać zapis widm z tętnic środkowych, przednich i tylnych mózgu oraz tętnic kręgowych i tętnicy podstawnej. W przypadku badania przez okno oczodołowe zapisujemy widma z tętnicy ocznej i tętnicy szyjnej wewnętrznej w odcinku nadklinowym⁽³⁾.

Wynik badania

Wynik badania powinien zawierać nazwę użytego aparatu, częstotliwość sondy, wyszczególnienie zbadanych tętnic lub stwierdzenie, że badanie wykonano według standardowego protokołu. Następnie należy podać wyniki pomiarów prędkości i oceny spektrum w ww. naczyniach. Jeżeli nie stwierdza się nieprawidłowości, można podać wynik w postaci: „parametry hemodynamiczne w danych naczyniach w normie wieku”. W przypadku wykrycia włączenia się dróg krążenia obocznego przez tętnicę łączącą przednią lub tylną podajemy kierunek przepływu krwi. Wykrycie miejscowego przyspieszenia prędkości, wskazującego na zwężenie w tętnicach na podstawie mózgu, obliuguje do oszacowania stopnia zwężenia⁽³⁾.

Uwagi

Proponujemy zastosowanie ogólnych kryteriów zwężenia tętnicy środkowej mózgu i pozostałych tętnic na podstawie mózgu, przy założeniu, że nie stwierdza się zwężenia tętnic w odcinku zewnątrzczaszkowym.

Kryteria rozpoznania zwężenia $\geq 50\%$ tętnicy środkowej mózgu w odcinku M1^(1,5):

- miejscowe, odcinkowe przyspieszenie prędkości przepływu, turbulencje z rozszerzeniem spektralnym w miejscu zwężenia, obniżenie prędkości maksymalnej i średniej w części dystalnej tętnicy w stosunku do zwężenia;
- średnia prędkość przepływu >120 cm/s w miejscu podejrzanego zwężenia
- lub odcinkowy wzrost prędkości średniej >80 cm/s w stosunku do sąsiadujących segmentów naczynia;
- iloraz średniej prędkości w miejscu zwężenia do średniej prędkości przed zwężeniem ≥ 2 ;
- współczynnik Lindegarda ≥ 2
- lub prędkość maksymalna ≥ 160 cm/s w miejscu podejrzanego zwężenia.

Kryteria rozpoznania zwężenia $\geq 50\%$ tętnicy przedniej mózgu w odcinku A1^(1,5):

- miejscowe przyspieszenie prędkości przepływu, turbulencje z rozszerzeniem spektralnym w miejscu zwężenia oraz spełnienie jednego w poniższych kryteriów:

Conflict of interest

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

References / Piśmiennictwo

1. Widder B, Goertler M: Doppler und Duplexsonographie der hirnvorgenden Arterien. Springer Verlag, Berlin – Heidelberg – New York 2004.
2. Bartels E: Color-Coded Duplex Ultrasonography of the Cerebral Vessels. Schattauer Verlagsgesellschaft, Stuttgart – New York 1999.
3. Wojczal J, Kaźmiński R, Kozera G, Gabriel M, Wawrzyńczyk M, Bartman W *et al.*: Standardy badań neurosonologicznych. In: Kaźmiński R (ed.): Podręcznik diagnostyki ultrasonograficznej w neurologii. Czelej, Lublin 2011.
4. Stanziale SF, Wholey MH, Boules TN, Selzer F, Makaroun MS: Determining in-stent stenosis of carotid arteries by duplex ultrasound criteria. *J Endovasc Ther* 2005; 12: 346–353.
5. Alexandrov AV: Cerebrovascular Ultrasound in Stroke Prevention, and Treatment. Blackwell (Futura), Oxford 2004.
6. Newell DW, Aaslid R: Transcranial Doppler. Raven Press, New York 1992.
7. Tegeler CT, Babikian VL, Gomez RC (ed.): Neurosonology. Mosby – Year Book, St. Louis 1996.

- średnia prędkość przepływu 120 cm/s w miejscu podejrzanego zwężenia;
- odcinkowy wzrost prędkości średniej >80 cm/s w stosunku do sąsiadujących segmentów naczynia.

* Kryteria te nie obowiązują, jeżeli włączony jest przepływ oboczny związany ze zwężeniem tożsronnej tętnicy szyjnej wewnętrznej.

Kryteria rozpoznania zwężenia $\geq 50\%$ tętnicy tylnej mózgu oraz tętnicy kręgowej w odcinku wewnątrzczaszkowym (obowiązuje spełnienie wszystkich kryteriów)^(1,5):

- miejscowe przyspieszenie prędkości przepływu, turbulencje z rozszerzeniem spektralnym w miejscu zwężenia;
- odcinkowy wzrost prędkości średniej >50 cm/s w stosunku do sąsiadujących segmentów naczynia.

Kryteria rozpoznania zwężenia $\geq 50\%$ tętnicy podstawnej (obowiązuje spełnienie wszystkich kryteriów)^(1,5):

- miejscowe przyspieszenie prędkości przepływu, turbulencje z rozszerzeniem spektralnym w miejscu zwężenia;
- odcinkowy wzrost prędkości średniej >60 cm/s w stosunku do sąsiadujących segmentów naczynia.

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.