

## Голова | Head

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)  
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-2020-1-85-95>

## Возможности транскраниального дуплексного сканирования в визуализации артериальных аневризм головного мозга

© Хамидова Л.Т.<sup>1\*</sup>, Рыбалко Н.В.<sup>1</sup>, Крылов В.В.<sup>1,2,3</sup>,  
Петриков С.С.<sup>1,2</sup>, Климов А.Б.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ГБУЗ “Научно-исследовательский институт скорой помощи имени Н.В. Склифосовского ДЗ города Москвы”; 129090 Москва, Большая Сухаревская площадь, д. 3, Российская Федерация

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО “Московский государственный медико-стоматологический университет имени А.И. Евдокимова” Минздрава России, Москва; 127473 Москва, ул. Делегатская, д. 20, стр. 1, Российская Федерация

<sup>3</sup> Клинический медицинский центр ФГБОУ ВО “Московский государственный медико-стоматологический университет имени А.И. Евдокимова” Минздрава России, Москва; 127473 Москва, ул. Делегатская, д. 20, стр. 1, Российская Федерация

Церебральные аневризмы являются причиной развития кровоизлияния в субарахноидальное пространство головного мозга и ассоциируются с высокой ранней смертностью и риском развития осложнений. Своевременная диагностика и успешное лечение артериальных аневризм (АА) головного мозга до разрыва позволят избежать последствий субарахноидального кровоизлияния (САК).

**Цель исследования:** оценка чувствительности транскраниального дуплексного сканирования (ТДС) при визуализации АА, а также определение ультразвуковых критериев церебральных аневризм.

**Материал и методы.** В исследовании принимал участие 41 пациент, находившийся на лечении в НИИ СП имени Н.В. Склифосовского по поводу САК. Всем пациентам выполняли ТДС на аппарате Arlio™ 500 (Toshiba) с использованием датчика 2,5 МГц и селективную церебральную ангиографию (ЦАГ) на диагностической установке Siemens (Axion Artis DBS). Для ЦАГ использовали неионные контрастные вещества Омнипак 300 и Ультравист 320.

**Результаты.** Использование метода ТДС позволило визуализировать 60,4% аневризм, а также определить диаметр аневризмы и характер кровотока в ней. Согласно нашим данным, при использовании режимов цветового или энергетического доплеровского картирования ТДС-частота визуализации сегмента М1 средней мозговой артерии составляла 100%, сегмента М2 – 40,5%, передней мозговой артерии – 100%, сегментов Р1 и Р2 задней мозговой артерии – 90%. Выявлена сильная корреляционная зависимость между ангиографическими и ультразвуковыми (ТДС) размерами АА ( $r = +0,89$ ;  $p < 0,0001$ ).

**Выводы.** ТДС не является “золотым стандартом” в диагностике АА, но может применяться при рутинном обследовании пациентов с церебральными аневризмами. Выделены основные ультразвуковые критерии визуализации АА: наличие образования округлой или овальной формы, связанного с сосудом; цветовая зона деления между сосудом и образованием; наличие в выявленном образовании турбулентного кровотока и однонаправленного кровотока по периферическим сосудам, связанным с образованием.

**Ключевые слова:** транскраниальное дуплексное сканирование, церебральные аневризмы

**Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.**

**Для цитирования:** Хамидова Л.Т., Рыбалко Н.В., Крылов В.В., Петриков С.С., Климов А.Б. Возможности транскраниального дуплексного сканирования в визуализации артериальных аневризм головного мозга. *Медицинская визуализация*. 2020; 24 (1): 85–95. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2020-1-85-95>

**Поступила в редакцию:** 02.04.2020. **Принята к печати:** 17.04.2020. **Опубликована online:** 27.04.2020.



# Visualisation of intracranial aneurism by transcranial duplex sonography

© Laila T. Khamidova<sup>1\*</sup>, Natalia V. Rybalko<sup>1</sup>, Vladimir V. Krylov<sup>1, 2, 3</sup>, Sergey S. Petrikov<sup>1, 2</sup>, Andrey B. Klimov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine of Health Department of Moscow; 129090, Moscow, 3, Bolshaya Suharevskaya, Russian Federation

<sup>2</sup> A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Moscow; 20/1, Delegatskaya str., Moscow, 127473, Russian Federation

<sup>3</sup> Clinical medical center of A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry? Moscow; 20/1, Delegatskaya str., Moscow, 127473, Russian Federation

Cerebral aneurysms are the cause of hemorrhage in the subarachnoid space of the brain and are associated with high early mortality and risk of complications. Timely diagnosis and successful treatment of arterial aneurysms (AA) of the brain before rupture will help to avoid the consequences of subarachnoid hemorrhage (SAC).

**The purpose of the study** was the estimation of transcranial duplex sonography (TDS) sensitivity in AA visualization and determination of AA ultrasound criteria.

**Materials and methods.** 41 patient with cerebral aneurism rupture were participated in the research. All patients were examined by TDS on a device on the Aplio™ 500 device (Toshiba) using a 2.5 MHz sensor and by selective cerebral angiography (CAG) on the Siemens diagnostic unit (Axion Artis DBS). Non-ionic contrast agents omnipak 300 and Ultravist 320 were used for CAG.

**Results.** TDS application it allowed to visualize 60.4% of aneurysms, as well as determine the diameter of the aneurysm and the nature of blood flow in it. According to our data, when using color or energy Doppler mapping modes of the vehicle, the frequency of visualization of the M1 SMA segment was 100%, the M2 segment -40.5%, the PMA – 100%, and the P1 and P2 segments of the ZMA – 90%. A strong correlation was found between angiographic and ultrasound (TDS) dimensions of AA ( $r = + 0.89$ ;  $p < 0.0001$ ).

**Conclusions.** TDS is not the gold standard in the diagnosis of AA, but can be used for routine examination of patients with cerebral aneurysms. Main ultrasound criteria for imaging AA: education is rounded or oval in shape, associated with the vessel; a color area division between vessel and education; the presence of revealed the formation of turbulent blood flow and unidirectional blood flow through the peripheral vessels related to education.

**Keywords:** transcranial color-coded duplex sonography, cerebral aneurysms

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

**For citation:** Khamidova L.T., Rybalko N.V., Krylov V.V., Petrikov S.S., Klimov A.B. Visualisation of intracranial aneurism by transcranial duplex sonography. *Medical Visualization*. 2020; 24 (1): 85–95. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2020-1-85-95>

**Received:** 02.04.2020.

**Accepted for publication:** 17.04.2020.

**Published online:** 27.04.2020.

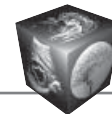
## Введение

Разрывы церебральных аневризм являются причиной кровоизлияния в субарахноидальное пространство головного мозга и отличаются от кровоизлияний другой этиологии высокой ранней смертностью и риском развития осложнений [1]. Диагностика и успешное лечение артериальных аневризм (АА) головного мозга до разрыва позволят избежать последствий субарахноидального кровоизлияния (САК) [2].

Транскраниальное дуплексное сканирование (ТДС) сосудов головного мозга является одним из методов визуализации сосудов головного мозга, позволяющих исследовать не только скоростные и спектральные характеристики сосудов головного мозга, но и вещество головного мозга [2].

В В-режиме визуализация стенки сосудов невозможна, поэтому информация о них может быть получена на основании оценки характера изменений цветовой картограммы потока крови в сосуде и гемодинамических параметров [3].

ТДС позволяет визуализировать среднюю мозговую (СМА), переднюю мозговую (ПМА), заднюю мозговую артерию (ЗМА), передние и задние соединительные артерии (ПСА, ЗСаА), поперечное сечение базилярной артерии (БА), вену Розенталя, вену Галена, прямой синус при темпоральном доступе и сифон внутренней сонной артерии (ВСА) и глазничной артерии (ГА) при орбитальном доступе. Субокципитальное сканирование позволяет визуализировать интракраниальные участки позвоночной артерии (ПА) и БА [3].



Эффективность применения метода дуплексного сканирования была показана в обнаружении и мониторинге сужения сосудов, вызванного САК, идентификации артериовенозных мальформаций, исследовании мозговой гемодинамики при травмах головного мозга, инсульте и мигрени, в определении влияния атеросклеротических повреждений ВСА на мозговую гемодинамику, в динамическом наблюдении за пациентами после хирургических вмешательств или диагностических процедур с целью контроля за развитием церебрально-васкулярных осложнений, а также в определении прекращения деятельности коры головного мозга [4, 5]. Имеются лишь единичные сведения о возможностях дуплексного сканирования в визуализации АА головного мозга, в то время как данный метод исследования церебральной гемодинамики находит все большее применение, становясь рутинным методом исследования у пациентов с сосудистой патологией [6–9].

### Цель исследования

Оценка чувствительности ТДС при визуализации АА, а также определение ультразвуковых критериев церебральных аневризм.

### Материал и методы

Для оценки роли ТДС сосудов головного мозга в определении интракраниальных аневризм обследован 41 пациент (22 мужчины и 19 женщин; средний возраст  $45,0 \pm 4,5$  года), находившийся на лечении в НИИ СП имени Н.В. Склифосовского по поводу САК. При ангиографическом исследовании аневризм головного мозга различной локализации были выявлены у 41 пациента (43 аневризм). У 16 (37,2%) пациентов диагностирована аневризма СМА, у 11 (25,5%) – аневризма ПСА–ПМА, у 12 (27,9%) – аневризма ВСА, у 1 пациента – ЗМА, у 2 пациентов – аневризма вертебробазиллярного бассейна (аневризма БА и ПА) и у 1 пациента аневризма перикаллезной артерии.

Множественные аневризм были диагностированы у 2 (4,6%) пациентов, большие аневризм диаметром от 1,5 до 2,5 мм – у 4 (9,3%), гигантские аневризм диаметром более 2,5 мм – у 2 (4,6%) пациентов. По окончании обследования 28 пациентам было выполнено выключение аневризм путем их клипирования, двум пациентам – эмболизация аневризм микроспиральями.

ТДС артерий головного мозга проводили на приборе Aplio™ 500 (Toshiba) с использованием датчика 2,5 МГц. Из исследования исключали пациентов с отсутствием акустического окна по данным ТДС. Для определения аневризм мы использовали режимы цветового доплеровского картирования

(ЦДК), а также энергетический доплер. При ТДС проводили оценку размера, формы, локализации аневризм и определение в ней характера кровотока. Максимальный диаметр кодированного цветом просвета аневризм измеряли в двух поперечных сечениях. Оценивали также влияние таких параметров, как акустическое окно, размер и расположение аневризм, на качество изображения при ТДС. Структуры головного мозга являлись анатомическими ориентирами в В-режиме для идентификации церебральных артерий.

Для локализации сосудов использовали три основных, естественно существующих акустических окна: темпоральное (височное), орбитальное и субокципитальное. ТДС проводили через темпоральное окно для визуализации аневризм СМА, ПМА, ВСА, ЗМА, передней и задней соединительных артерий в сагиттальной и поперечной плоскостях с двух сторон. При коронарном сканировании через темпоральное окно лоцировали дистальную часть БА и ЗМА. Через субокципитальный доступ получали изображение обеих ПА и проксимального сегмента БА. Все аневризм офтальмического сегмента ВСА сканировали через трансорбитальный доступ.

Изображения, полученные при дуплексном сканировании, сравнивали с данными церебральной ангиографией (ЦАГ). Все диагностические нейроангиографические исследования проводили на ангиографических установках Siemens (Axion Artis DBS). Для ЦАГ использовали неионные контрастные вещества Омнипак 300 и Ультравист 320. Ангиографическое исследование выполняли посредством селективного контрастирования двух каротидных и двух вертебральных бассейнов. Ангиограммы оценивали в прямой, боковой и косой проекциях. Задачей исследования было нахождение источника кровоизлияния (аневризм), уточнение его локализации, размеров и конфигурации. Измерение размеров аневризм проводили в двух проекциях при помощи встроенной функции ангиографа по определению размера изображения. За основной размер аневризм принимали ее наибольший диаметр.

### Результаты

Согласно нашим данным, при использовании режимов ЦДК или энергетического доплера ТДС-частота визуализации сегмента М1 СМА составляла 100%, сегмента М2 – 40,5%, ПМА – 100%, сегментов Р1 и Р2 ЗМА – 90%.

При ТДС нами были визуализированы 26 (60,4%) аневризм из 43. В этих наблюдениях было возможно определить диаметр аневризм и характер кровотока в ней. Измеренные значения диаметра аневризм по данным ТДС составляли от 0,6 до



3,0 см. Ангиографические исследования позволили определять аневризмы, размер которых составил 0,3 мм и более. Локализация аневризм, которые были визуализированы при ТДС, была следующей: СМА – 13 (50%) аневризм, ВСА – 8 (30,7%), ПСА–ПМА – 4 (15,3%) и 1 аневризма ЗМА. Большие и гигантские аневризмы (аневризмы СМА и ВСА) были визуализированы методом ТДС во всех наблюдениях.

Анализируя частоту выявления церебральных аневризм методом ТДС по группам в зависимости от локализации, следует отметить, что аневризмы в группе пациентов с АА СМА были визуализированы в 81,2%, ВСА – в 66,6%, с аневризмой ПСА–ПМА – в 36,3% наблюдений. Низкий процент локализации аневризм ПМА–ПСА по сравнению с аневризмами СМА и ВСА объясняется, по-видимому, небольшим диаметром аневризм этой локализации.

Выявлена сильная корреляционная зависимость между ангиографическими и ультразвуковыми (ТДС) размерами АА ( $r = +0,89$ ;  $p < 0,0001$ ). При дуплексном сканировании аневризм размером до 0,9 см (11 аневризм) внутрипросветный диаметр был больше, чем при ангиографии, что, вероятно, обусловлено высоким “сверхувеличением” цветового изображения, ведущим к увеличению цветового сигнала за границами аневризмы. Более точно внутрипросветный диаметр аневризм определяли при аневризмах более 1,0 см (у 3 пациентов по данным ЦДК размер аневризмы совпал до 1,0 мм с ангиографическими показателями).

Одним из главных критериев ультразвуковой диагностики АА в наших исследованиях был округлый или овальный участок (отросток), соединенный с сосудом. Следующим по значимости критерием было наличие турбулентного кровотока и связанного с ним разделения сосуда аневризмой на красную и сине-желтую зоны. В центре данного образования мы наблюдали патологический доплеровский спектр с разнонаправленными сигналами низкой частоты в просвете (полости), вызванный турбулентным током крови. Турбулентный кровоток был выявлен в 23 аневризмах, ламинарный – в 2 гигантских аневризмах с широкой шейкой. В одном наблюдении в В-режиме была лоцирована окклюзированная аневризма, которая представляла собой высокоэхогенное образование без акустической тени.

Стенки и тромбированные части аневризмы визуализировались только в 9,1% наблюдений с большими и гигантскими аневризмами. В этих случаях аневризма имела диаметр не менее 1,0 мм с экзогенной, подвергшейся кальцинозу оболочкой.

Сниженные скорости кровотока были зарегистрированы в центре аневризмы, в пришеечной части скорости были выше. В периферических сканируемых областях регистрировался односторонний магистральный кровоток.

В режиме ЦДК изменения оттенков цвета означали изменения скорости. Низкие скорости отображались темными тонами, а высокие – более светлыми. Эти палитры также кодировали направление кровотока, используя для этого различные оттенки красного и синего. В энергетическом режиме сигналы палитры кодировались следующим образом: сильные сигналы кодировались более яркими цветами, а слабые – менее яркими в соответствии с амплитудными значениями отраженных сигналов (рис. 1).

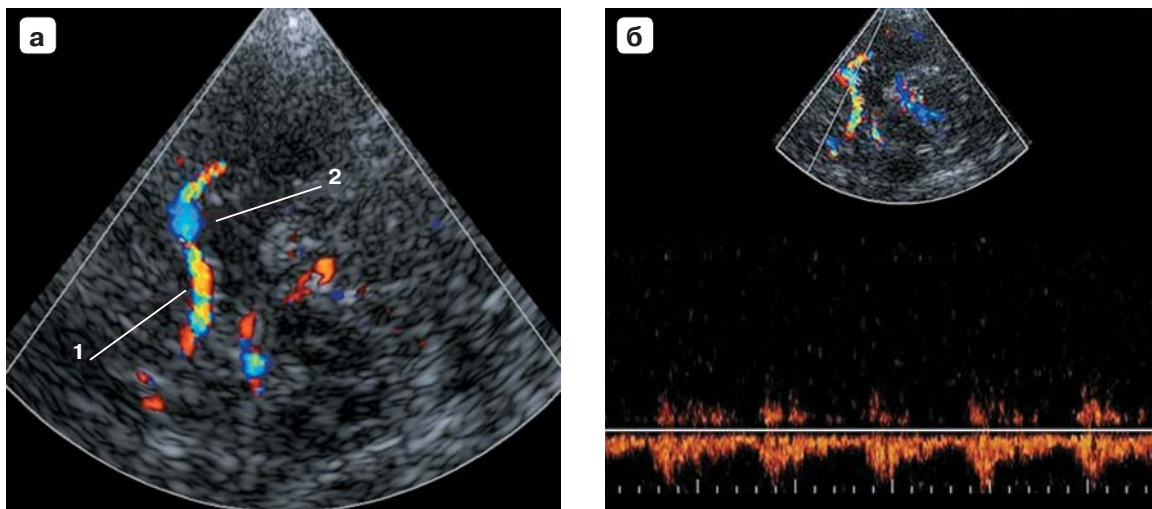
Через трансорбитальный доступ были лоцированы две аневризмы офтальмического сегмента ВСА. Уменьшение цвета и энергии доплера не приводило к ухудшению качества изображения при трансорбитальном акустическом окне (рис. 2).

Форма аневризмы в режиме ЦДК была округлой в 96,0%. В одном наблюдении аневризма ЗМА по данным ЦАГ имела овальную, вытянутую форму, что подтверждалось и при ТДС (рис. 3, 4).

В 4,6% наблюдений (2 аневризмы) аневризмы не визуализировались: наиболее анатомически трудными для ультразвуковой локализации были интракраниальный сегмент ПА и проксимальная часть ОА (рис. 5).

Несмотря на то что форма самой артерии была визуализирована, качество изображения было несравнимо с получаемым при локализации СМА, ПМА и ВСА. Одной из причин плохой визуализации аневризм, возможно, является также извитость артерий вертебробазиллярного бассейна. По данным С. Klotzsch и соавт., четкая визуализация аневризм была возможна в 47% наблюдений, диаметр невыявленных аневризм в 23% наблюдений составлял менее 6 мм, в остальных случаях авторы ссылались на отсутствие или плохое акустическое окно и недостаточное качество визуализации в труднолоцируемых артериях [6, 7]. В частности, по данным авторов, небольшие аневризмы около глазничной артерии (интра- и субклиноидного отростка), где ВСА выполняет 180° поворот, не визуализировались, так как сегменты С3 и С4 ВСА расположены слишком близко друг к другу. К другим труднодоступным местам для локализации автор относит вертебральную артерию и ее ветви, а также заднюю нижнюю мозжечковую артерию [6, 7]. Очевидно также, что при отсутствии предварительной информации о локализации аневризмы может снизиться процент визуализации АА мето-



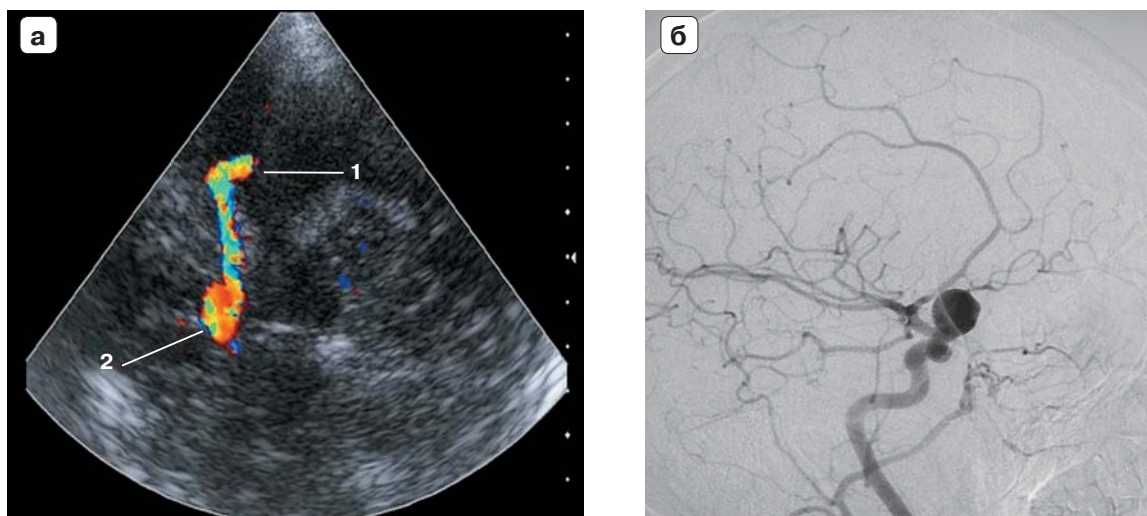
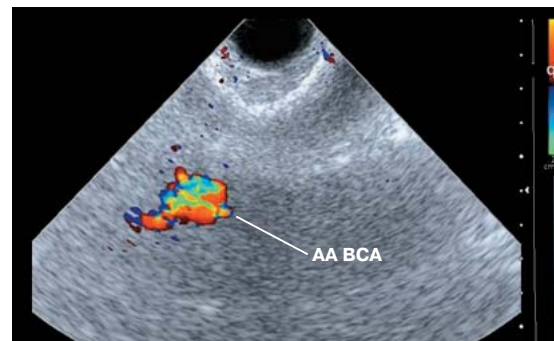


**Рис. 1.** ТДС сосудов головного мозга у больного с разрывом аневризмы СМА. **а:** 1 – СМА, 2 – аневризма; **б** – турбулентный кровоток в аневризме.

**Fig. 1.** TDS brain vessels with a ruptured MCA aneurysm. **a:** 1 – MCA, 2 – aneurysm; **б** – turbulent blood flow in the aneurysm.

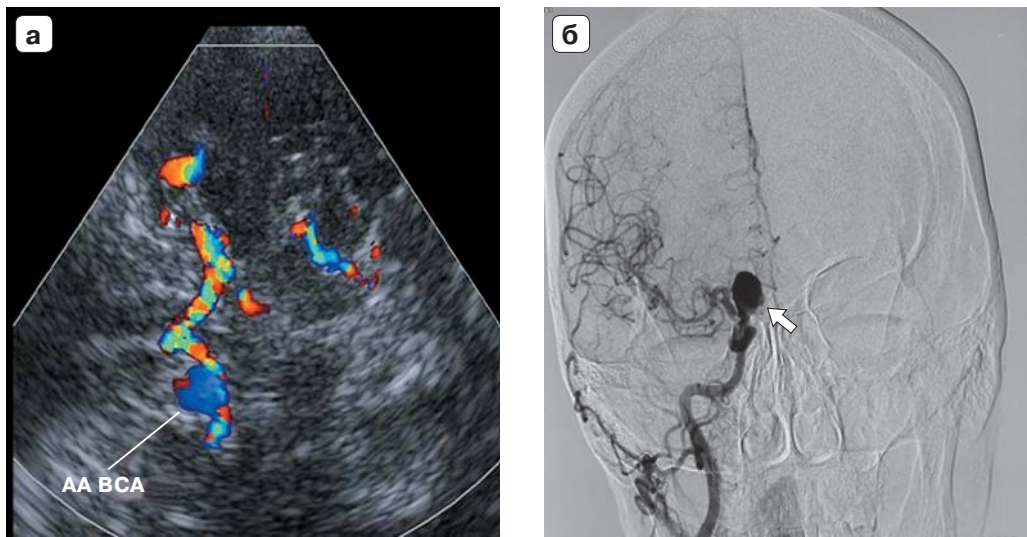
**Рис. 2.** ТДС сосудов головного мозга у больного с разрывом аневризмы ВСА через трансорбитальное акустическое окно (стрелкой указана аневризма офтальмического сегмента ВСА).

**Fig. 2.** TDS of brain vessels in a patient with a ruptured ICA aneurysm through the transorbital acoustic window (the arrow indicates an aneurysm of the ophthalmic segment of the ICA).



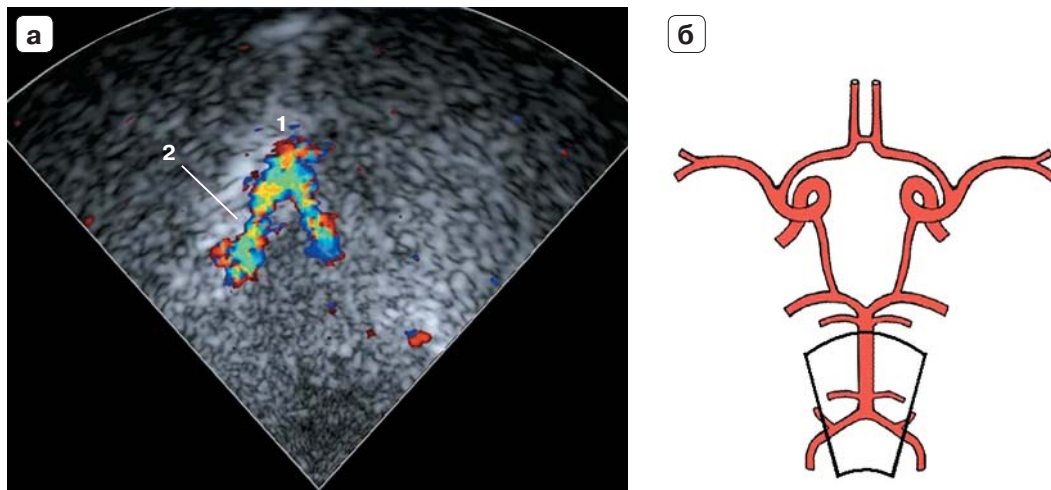
**Рис. 3.** ТДС и ЦАГ у больной с разрывом аневризмы ВСА (**а, б**). **а** – ТДС сосудов головного мозга через темпоральное акустическое окно: 1 – СМА, 2 – аневризма ВСА; **б** – правосторонняя каротидная ангиограмма (боковая проекция) (стрелкой указана гигантская аневризма офтальмического сегмента правой ВСА).

**Fig. 3.** TDS and CAG in a patient with a ruptured ICA (**a, б**). **a** – TDS of brain vessels through the temporal acoustic window: 1 – MCA, 2 – ICA aneurysm; **б** – right-sided carotid angiogram (lateral projection) (the arrow indicates a giant aneurysm of the ophthalmic segment of the right ICA).



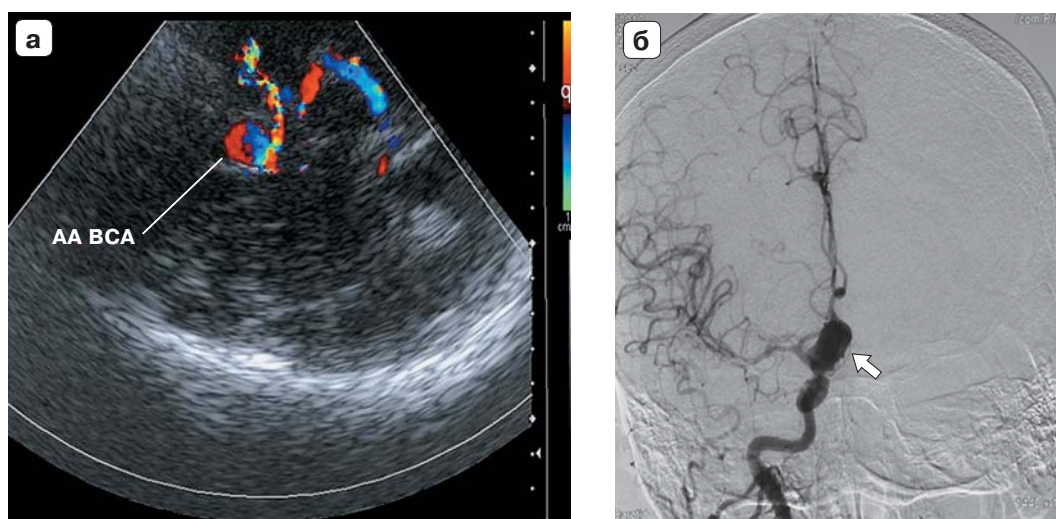
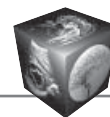
**Рис. 4.** ТДС и ЦАГ у больной с разрывом аневризмы ВСА (а, б). а – ТДС сосудов головного мозга у больного с разрывом аневризмы ВСА; б – правосторонняя каротидная ангиограмма, прямая проекция (стрелкой указана гигантская аневризма офтальмического сегмента правой ВСА).

**Fig. 4.** TDS and CAG in a patient with a ruptured ICA aneurysm (а, б). а – TDS of brain vessels in a patient with a ruptured ICA aneurysm; б – right-sided carotid angiogram, direct projection (arrow indicates a giant aneurysm of the ophthalmic segment of the right ICA).



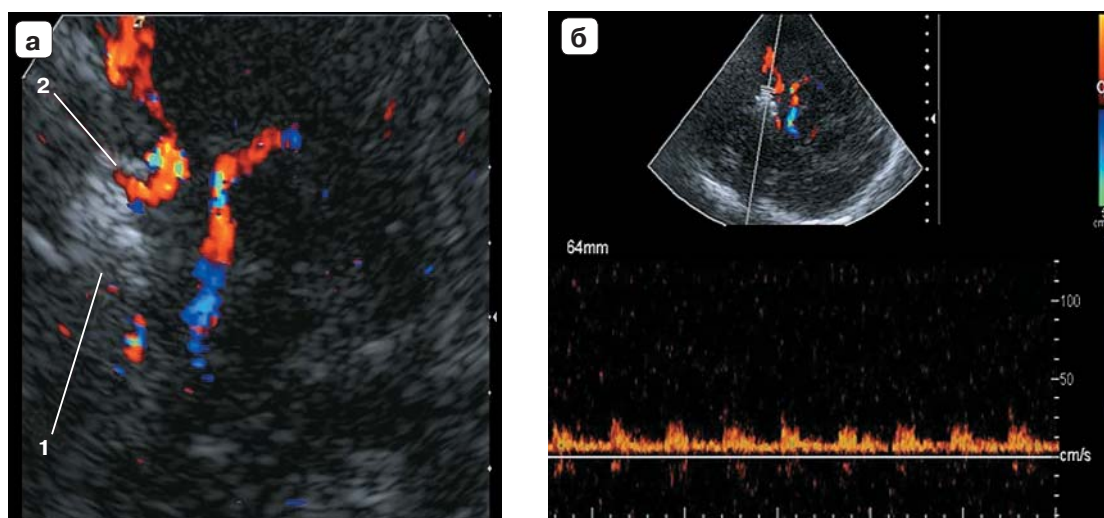
**Рис. 5.** Дуплексное сканирование, субокципитальный доступ (а, б). а: 1 – БА, 2 – ПА; б – схематическое изображение артериального круга большого мозга.

**Fig. 5.** Duplex scanning, suboccipital access (а, б). а: 1 – BA, 2 – VA; б – circle of Willis schematic image.



**Рис. 6.** ТДС и ЦАГ у больной с аневризмой ВСА (а, б). а – дуплексное сканирование аневризмы ВСА до эмболизации (стрелкой указана аневризма офтальмического сегмента правой ВСА); б – правосторонняя каротидная ангиограмма, прямая проекция (стрелкой указана гигантская аневризма офтальмического сегмента правой ВСА).

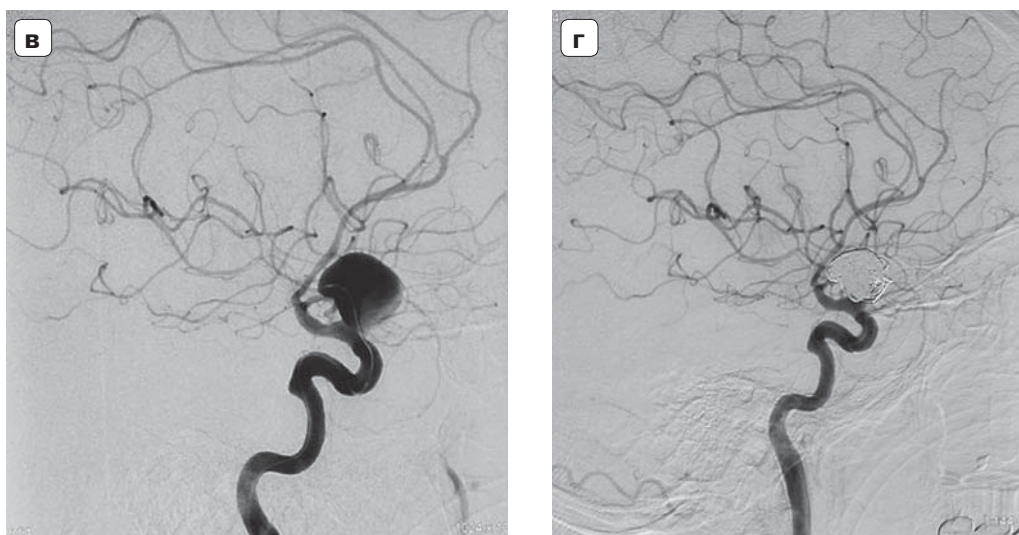
**Fig. 6.** TDS and CAG in a patient with ICA aneurysm (а, б). а – Duplex scanning of the ICA aneurysm before embolization (the arrow indicates an aneurysm of the ophthalmic segment of the right ICA); б – right-sided carotid angiogram, direct projection (the arrow indicates a giant aneurysm of the ophthalmic segment of the right ICA).



**Рис. 7.** ТДС и ЦАГ больного с аневризмой ВСА (а–г). а – ТДС аневризмы ВСА после эмболизации: 1 – аневризма после эмболизации, 2 – сохраненный кровоток в пришеечной части аневризмы; б – турбулентный кровоток в аневризме после эмболизации.

**Fig. 7.** TDS and CAG of a patient with ICA aneurysm (а–г). а – TDS of ICA aneurysm after embolization: 1 – aneurysm after embolization, 2 – preserved blood flow in the cervical part of the aneurysm; б – turbulent blood flow in the aneurysm after embolization.





**Рис. 7 (окончание).** в, г – правосторонняя каротидная ангиограмма (боковая проекция); в – до эмболизации (микрокатетер в полости тела аневризмы); г – после эмболизации (контрастирование в пришеечной части аневризмы).

**Fig. 7 (end).** в, г – right-sided carotid angiogram (lateral projection): в – before embolization (microcatheter in the cavity of aneurysm body), г – after embolization (contrast in the cervical part of the aneurysm).

дом ТДС, особенно при проведении диагностики неопытным исследователем.

У одной пациентки после эндоваскулярного вмешательства на аневризме было проведено ТДС в динамике (рис. 6, 7).

Эмболизированная аневризма представляла собой гомогенную массу высокой эхогенности, с четкой акустической дистальной тенью. Дуплексное сканирование позволило определить наличие остаточного, низкоскоростного турбулентного кровотока в аневризме. По одной из стенок аневризмы в режиме ЦДК лоцировали кровоток, не достигающий до дна аневризмы. Проведение динамических ТДС-исследований в течение месяца не выявило каких-нибудь изменений.

### Обсуждение

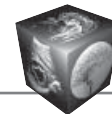
Распространенность внутричерепных АА составляет примерно 4% населения. Систематический обзор, в ходе которого были собраны данные из многих стран, выявил распространенность АА 0,4 и 3,6% в ретроспективном и проспективном патологоанатомических исследованиях, 3,7 и 6,0% в ретроспективных и проспективных ангиографических исследованиях соответственно [1]. Большинство из этих аневризм бессимптомны, и они несут небольшой, но клинически значимый риск разрыва, в результате чего может произойти САК.

На сегодняшний день основой диагностических мероприятий в выявлении АА и определении ее размеров является МР- и КТ-ангиография.

Каждая из этих методик обладает разной специфичностью в диагностике АА, но не достигает 100% чувствительности. Усовершенствования в методиках спиральной КТ- и МР-ангиографии сделали возможным неинвазивную визуализацию интракраниальных аневризм с чувствительностью до 92% и позволили определить аневризмы диаметром до 3 мм [4, 5]. Дигитальная субтракционная церебральная ангиография считается “золотым стандартом” в диагностике АА и описании ее анатомических характеристик, но является инвазивным методом и не может применяться в рутинной клинической практике. ТДС приходится конкурировать с КТ и МРТ в отношении качества визуализации структур головного мозга, а также с МР-ангиографией в отношении качества изображения интракраниальных сосудов.

ТДС может применяться в качестве дополнительного метода для выявления АА. Результаты проведенных нами исследований частично согласуются с данными ряда авторов, исследовавших возможности ТДС в визуализации церебральных аневризм [7–11]. Ряд исследователей также сообщали о возможностях визуализации интракраниальных аневризм при ТДС [7–11, 12–16]. G. Becker и соавт. обследовали 26 пациентов с САК и определили аневризму в 20 (76%) наблюдениях [9]. По данным W. Ralf и соавт., метод ТДС сосудов головного мозга позволил лоцировать 23 (85%) из 27 аневризм диаметром от 6 до 25 мм, 4 недиагностированные аневризмы имели диаметр меньше 5,2 мм [15].





Кроме того, полученные данные показали, что проведение ТДС может быть рекомендовано в качестве средства неинвазивного контроля для оценки качества проведения эндоваскулярного лечения гигантских аневризм (контроля прогрессивного интрааневризматического тромбоза после эмболизации). Возможными клиническими применениями являются мониторинг прогрессивного аневризматического тромбоза после эмболизации и наблюдение нелеченых веретенообразных аневризм, в случае, если это необходимо. В этой ситуации к преимуществам ТДС можно отнести возможности выполнения обследования у постели больного в течение нескольких минут и получать результаты наблюдения ежедневно.

В нашем исследовании была показана неэффективность метода ТДС по отношению к аневризмам малого размера (менее 6 мм). В 5 (12,9%) случаях пациенты имели ограничение визуализации по типу узкого акустического окна (не всегда можно было визуализировать переднюю и заднюю циркуляцию виллизиева круга), из них, как было сказано выше, у 1 пациента не лоцировалась аневризма, а в 4 случаях аневризмы были выявлены, несмотря на узкое акустическое окно, так как размер аневризмы превышал 8 мм. Необходимым условием для качественной визуализации АА является оптимальная настройка таких параметров изображения, как частота излучения, частота кадров.

В 17 случаях недиагностированных методом ТДС аневризм были ограничения, связанные с малым диаметром, например, аневризмы ПМА-ПСА и перикаллезные аневризмы чаще всего малого диаметра (3–5 мм): из них аневризмы СМА – 3 пациента, аневризмы ВСА – 4 пациента, аневризмы ПМА-ПСА – 7 пациентов, перикаллезная аневризма – 1 пациент, аневризма вертебробазиллярной локализации – 1 пациент (ограничения, связанные с глубинным анатомическим расположением) и 1 пациент с узким акустическим окном.

Таким образом, ТДС может быть одним из методов неинвазивной диагностики АА. Применение технологий трехмерного сканирования и контрастно-усиленного ультразвука позволит увеличить чувствительность метода и расширить возможности ультразвуковой диагностики.

## Выводы

1. Использование метода ТДС позволило визуализировать 60,4% аневризм, а также определить диаметр аневризмы и характер кровотока в ней.

2. Проведенные исследования позволили выделить основные ультразвуковые критерии визуализации АА:

- наличие образования округлой или овальной формы, связанного с сосудом;
- наличие в выявленном образовании турбулентного кровотока;
- определение однонаправленного кровотока по периферическим сосудам, связанным с образованием.

3. ТДС не следует использовать для скрининга АА. Однако мы полагаем, что тщательное визуальное обследование интракраниальных сосудов позволит увеличить случайное определение асимптомных интракраниальных аневризм и начать лечение до их разрыва. Также клиническое применение ТДС не должно ограничиваться лишь диагностической визуализацией АА. ТДС может являться также методом выбора при мониторинге интрааневризматического тромбоза после эмболизации аневризмы.

Возможно, что дальнейшие разработки программного обеспечения предложат изображение ТДС с высокой разрешающей способностью, улучшая клиническое значение метода.

## Участие авторов

Хамидова Л.Т. – концепция и дизайн исследования, проведение исследования, сбор и обработка данных, статистическая обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста, подготовка и редактирование текста, участие в научном дизайне, подготовка, создание опубликованной работы, ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Рыбалко Н.В. – концепция и дизайн исследования, статистическая обработка данных, подготовка и редактирование текста, участие в научном дизайне, подготовка, создание опубликованной работы.

Крылов В.В. – концепция и дизайн исследования, анализ и интерпретация полученных данных, участие в научном дизайне, утверждение окончательного варианта статьи.

Петриков С.С. – концепция и дизайн исследования, анализ и интерпретация полученных данных, участие в научном дизайне, утверждение окончательного варианта статьи,

Климов А.Б. – проведение исследования, сбор и обработка данных.

## Authors' participation

Khamidova L.T. – concept and design of the study, conducting research, collection and analysis of data, statistical analysis, analysis and interpretation of the obtained data, writing text, text preparation and editing, participation in scientific design, preparation and creation of the published work, responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article.

Rybalko N.V. – concept and design of the study, statistical analysis, text preparation and editing, participation in scientific design, preparation and creation of the published work.



Krylov V.V. – concept and design of the study, analysis and interpretation of the obtained data, participation in scientific design, approval of the final version of the article.

Petrikov S.S. – concept and design of the study, analysis and interpretation of the obtained data, participation in scientific design, approval of the final version of the article.

Klimov A.B. – conducting research, collection and analysis of data.

### Список литературы

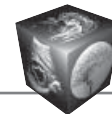
1. Rinkel G.J., Djibuti M., Algra A., van Gijn J. Prevalence and risk of rupture of intracranial aneurysms: a systematic review. *Stroke*. 1998; 29 (1): 251–256. <https://doi.org/10.1161/01.str.29.1.251>
2. Lupetin A.R., Davis D.A., Beckman I., Dash N. Transcranial Doppler sonography. Part 2. Evaluation of intracranial and extracranial abnormalities and procedural monitoring. *Radiographics*. 1995; 15 (1): 193–209. <https://doi.org/10.1148/radiographics.15.1.7899597>
3. Лелюк В.Г., Лелюк С.Э. Основные принципы гемодинамики и ультразвукового исследования сосудов: Клиническое руководство по ультразвуковой диагностике. В 5 томах / Под ред. В.В. Митькова. М.: Видар, 2005; Т. 4: 221–256.
4. Крылов В.В., Дашьян В.Г., Леманев В.Л., Далибалдян В.А., Лукьянчиков В.А., Нахабин О.Ю., Токарев А.С., Полунина Н.А., Сенько И.В., Хамидова Л.Т., Кудряшова Н.А., Григорьева Е.В. Хирургическое лечение больных с двусторонним окклюзионно-стенотическими поражениями брахиоцефальных артерий. *Нейрохирургия*. 2014; (4): 16–25.
5. Крылов В.В., Леманев В.Л., Дашьян В.Г., Левченко О.В., Далибалдян В.А., Лукьянчиков В.А., Нахабин О.Ю., Полунина Н.А., Токарев А.С., Сенько И.В., Хамидова Л.Т. Хирургическое лечение пациентов с сочетанием интракраниальных аневризм и атеросклеротического поражения брахиоцефальных артерий. *Российский нейрохирургический журнал им. А.Л. Поленова*. 2014; 2: 44–53.
6. Klotzsch C., Kuhne D., Berlitz P. Diagnosis of giant fusiform basilar aneurysm by color-coded transcranial duplex sonography. *Cerebrovasc. Dis*. 1994; 4: 371–372. <https://doi.org/10.1159/000108510>
7. Klotzsch C., Nahser H.C., Fischer B., Henkes H., Kuhne D., Berlitz P. Vasualisation of intracranial aneurysms by transcranial duplex sonography. *Neuroradiology*. 1996; 38 (6): 555–559. <https://doi.org/10.1007/bf00626097>
8. Baumgartner R.W., Mattle H.P., Kothbauer K., Schoth G. Transcranial color-coded Duplex sonography in cerebral aneurysms. *Stroke*. 1994; 25 (12): 2429–2434. <https://doi.org/10.1161/01.str.25.12.2429>
9. Becker G., Linder A., Bogdahn U. Imaging of the vertebrobasilar system by transcranial colour-coded real-time sonography. *J. Ultrasound Med*. 1993; 12: 395–401. <https://doi.org/10.7863/jum.1993.12.7.395>
10. Conti A., Iacopino D.G., Spada A., Cardali S.M., Giusa M., La Torre D., Campenni A., Penna O., Baldari S., Tomasello F. Transcranial Doppler ultrasonography in the assessment of cerebral circulation arrest: improving sensitivity by transcervical and transorbital carotid insonation and serial examinations. *Neurocrit. Care*. 2009; 10 (3): 326–335. <https://doi.org/10.1007/s12028-009-9199-7>
11. Egea-Guerrero J.J., Revuelto-Rey J., Domínguez-Roldán J.M., Murillo-Cabezas F. Diagnosis of cerebral vasospasm

and transcranial Doppler: Isolated velocities are not enough. *Crit. Care Med*. 2010; 38 (10): 2083–2084. <https://doi.org/10.1097/CCM.0b013e3181eaa341>

12. Korja M., Kivisaari R., Jahromi B. R., Lehto H. Natural History of Ruptured but Untreated Intracranial Aneurysms. *Stroke*. 2017; 48 (4): 1081–1084. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.116.015933>
13. Lakhal K., Robert-Edan V., Fresco M., Ambrosi X., Riem R., Rodie-Talbere P.-A., Marest D, Cinotti R, Rozec B. Transcranial Doppler in the Diagnosis of Cerebral Vasospasm. A Call for a Dynamic Approach. *Crit. Care Med*. 2019; 47 (2): 164–165. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000003459>
14. Mastantuono J.M., Combescure C., Elia N., Tramèr M., Lysakowski C. Transcranial Doppler in the Diagnosis of Cerebral Vasospasm An Updated Meta-Analysis. *Crit. Care Med*. 2018; 46 (10): 1665–1672. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000003297>
15. Baumgartner R.W., Mattle H.P., Kothbauer K., Schroth G. Transcranial Color-Coded Duplex Sonography in Cerebral Aneurysms. *Stroke*. 1994; 25 (12): 2429–2434. <https://doi.org/10.1161/01.str.25.12.2429>
16. Wessels T., Bozzato A., Mull M., Klötzsch C. Intracranial collateral pathways assessed by contrast-enhanced three-dimensional transcranial color-coded sonography. *Ultrasound Med. Biol*. 2004; 30 (11): 1435–1440. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2004.05.011>

### References

1. Rinkel G.J., Djibuti M., Algra A., van Gijn J. Prevalence and risk of rupture of intracranial aneurysms: a systematic review. *Stroke*. 1998; 29 (1): 251–256. <https://doi.org/10.1161/01.str.29.1.251>
2. Lupetin A.R., Davis D.A., Beckman I., Dash N. Transcranial Doppler sonography. Part 2. Evaluation of intracranial and extracranial abnormalities and procedural monitoring. *Radiographics*. 1995; 15 (1): 193–209. <https://doi.org/10.1148/radiographics.15.1.7899597>
3. Leljuk V.G., Leljuk S.Je. The basic principles of hemodynamics and ultrasound examination of blood vessels. Clinical Guide to Ultrasound Diagnostics. In 5 is.; ed. V.V. Mit'kov. Moscow: Vidar Publ., 2005; Is.4: 221–256. (In Russian)
4. Krylov V.V., Dash'yan V.G., Lemenev V.L., Dalibaldyan V.A., Luk'yanchikov V.A., Nakhabin O.Yu., Tokarev A.S., Polunina N.A., Sen'ko I.V., Khamidova L.T., Kudryashova N.A., Grigor'eva E.V. Surgical treatment of patients with bilateral occlusive and stenotic diseases of brachiocephalic arteries. *Nejrohirurgija = The Russian Journal of Neurosurgery*. 2014; 4: 16–25. (In Russian)
5. Krylov V.V., Lemenev V.L., Dashyan V.G., Levchenko I.V., Dalibaldyan V.A., Luk'yanchikov V.A., Nakhabin O.Yu., Polunina N.A., Tokarev A.S., Senko I.V., Khamidova L.T. Surgical treatment of patients with intracranial aneurysms associated with atherosclerotic damage of brachiocephalic arteries. *Rossiiskij nejrohirurgicheskij zhurnal im. A.L. Polenova = Russian neurosurgical journal named after A.L. Polenov*. 2014; 2: 44–53. (In Russian)
6. Klotzsch C., Kuhne D., Berlitz P. Diagnosis of giant fusiform basilar aneurysm by color-coded transcranial duplex sonography. *Cerebrovasc. Dis*. 1994; 4: 371–372. <https://doi.org/10.1159/000108510>
7. Klotzsch C., Nahser H.C., Fischer B., Henkes H., Kuhne D., Berlitz P. Vasualisation of intracranial aneurysms by transcranial duplex sonography. *Neuroradiology*. 1996; 38 (6): 555–559. <https://doi.org/10.1007/bf00626097>



8. Baumgartner R.W., Mattle H.P., Kothbauer K., Schöth G. Transcranial color-coded Duplex sonography in cerebral aneurysms. *Stroke*. 1994; 25 (12): 2429–2434. <https://doi.org/10.1161/01.str.25.12.2429>
9. Becker G., Linder A., Bogdahn U. Imaging of the vertebrobasilar system by transcranial colour-coded real-time sonography. *J. Ultrasound Med.* 1993; 12: 395–401. <https://doi.org/10.7863/jum.1993.12.7.395>
10. Conti A., Iacopino D.G., Spada A., Cardali S.M., Giusa M., La Torre D., Campenni A., Penna O., Baldari S., Tomasello F. Transcranial Doppler ultrasonography in the assessment of cerebral circulation arrest: improving sensitivity by transcervical and transorbital carotid insonation and serial examinations. *Neurocrit. Care*. 2009; 10 (3): 326–335. <https://doi.org/10.1007/s12028-009-9199-7>
11. Egea-Guerrero J.J., Revuelto-Rey J., Domínguez-Roldán J.M., Murillo-Cabezas F. Diagnosis of cerebral vasospasm and transcranial Doppler: Isolated velocities are not enough. *Crit. Care Med.* 2010; 38 (10): 2083–2084. <https://doi.org/10.1097/CCM.0b013e3181eaa341>
12. Korja M., Kivisaari R., Jahromi B. R., Lehto H. Natural History of Ruptured but Untreated Intracranial Aneurysms. *Stroke*. 2017; 48 (4): 1081–1084. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.116.015933>
13. Lakhal K., Robert-Edan V., Fresco M., Ambrosi X., Riem R., Rodie-Talbere P-A., Marest D, Cinotti R, Rozec B. Transcranial Doppler in the Diagnosis of Cerebral Vasospasm. A Call for a Dynamic Approach. *Crit. Care Med.* 2019; 47 (2): 164–165. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000003459>
14. Mastantuono J.M., Combescure C., Elia N., Tramèr M., Lysakowski C. Transcranial Doppler in the Diagnosis of Cerebral Vasospasm An Updated Meta-Analysis. *Crit. Care Med.* 2018; 46 (10): 1665–1672. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000003297>
15. Baumgartner R.W., Mattle H.P., Kothbauer K., Schöth G. Transcranial Color-Coded Duplex Sonography in Cerebral Aneurysms. *Stroke*. 1994; 25 (12): 2429–2434. <https://doi.org/10.1161/01.str.25.12.2429>
16. Wessels T., Bozzato A., Mull M., Klötzsch C. Intracranial collateral pathways assessed by contrast-enhanced three-dimensional transcranial color-coded sonography. *Ultrasound Med. Biol.* 2004; 30 (11): 1435–1440. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2004.05.011>

**Для корреспонденции\*:** Хамидова Лайла Тимарбековна – 129090 Москва, Большая Сухареvская площадь, 3. Тел.: +7-926-019-00-95. E-mail: layla72@mail.ru

**Хамидова Лайла Тимарбековна** – канд. мед. наук, руководитель отделения ультразвуковой и функциональной диагностики НИИ скорой помощи имени Н.В. Склифосовского, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-9669-9164>

**Рыбалко Наталья Владимировна** – доктор мед. наук, ведущий научный сотрудник отделения ультразвуковой и функциональной диагностики НИИ скорой помощи имени Н.В. Склифосовского, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-6973-4430>

**Крылов Владимир Викторович** – академик РАН, доктор мед. наук, профессор, директор Клинического медицинского центра МГМСУ имени А.И. Евдокимова, заведующий кафедрой нейрохирургии и нейрореанимации МГМСУ имени А.И. Евдокимова, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-4136-628X>

**Петриков Сергей Сергеевич** – член-корр. РАН, доктор мед. наук, директор ГБУЗ НИИ скорой помощи имени Н.В. Склифосовского, профессор кафедры нейрохирургии и нейрореанимации МГМСУ имени А.И. Евдокимова, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-3292-8789>

**Климов Андрей Борисович** – канд. мед. наук, научный консультант отделения лучевой диагностики НИИ скорой помощи имени Н.В. Склифосовского, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-5980-3295>

**Contact\*:** Laila T. Khamidova – 129090 Moscow, Bolshaya Sukharevskaya Square, 3. Phone: +7-926-019-00-95. E-mail: layla72@mail.ru

**Laila T. Khamidova** – Cand. of Sci. (Med.), Head of the Department of Ultrasound and Functional Diagnostics in N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine of Health Department, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-9669-9164>

**Natalia V. Rybalko** – Doct. of Sci. (Med.), leading researcher of the Department of Ultrasound and Functional Diagnostics in N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine of Health Department, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-6973-4430>

**Vladimir V. Krylov** – Academician of the Russian Academy of Sciences, Doct. of Sci. (Med.), Director the Clinical medical center of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry” of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation for scientific work; Head of the Department of Neurosurgery and Neuroreanimation Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry” of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-4136-628X>

**Sergey S. Petrikov** – Corresponding member of the Russian Academy of Sciences, Doct. of Sci. (Med.), Director of the N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, associate professor of the Department of Neurosurgery and Neuroreanimation Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry” of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-3292-8789>

**Andrey B. Klimov** – Cand. of Sci. (Med.), scientific consultant Department of Endovascular treatment in N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine of Health Department, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-5980-3295>