

DOI: <https://doi.org/10.63769/1683-3295-2026-28-1-107-118>

Комплексная ультразвуковая диагностика при низкотоковом обходном шунтировании у пациентов с симптомной окклюзией внутренней сонной артерии

Контакты:

Гюльнара Кирам кызы
Гусейнова
gyuli73@mail.ru

Л.Т. Хамидова¹, Н.А. Полунина^{1,2}, Г.К. Гусейнова¹, В.А. Лукьянчиков¹⁻³, В.А. Далибалдян¹,
В.В. Крылов^{2,3}

¹ГБУЗ г. Москвы «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского Департамента здравоохранения г. Москвы»; Россия, 129090 Москва, Большая Сухаревская пл., 3;
²ФГАУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава России; Россия, 117513 Москва, ул. Островитянова, 1;

³Институт функциональной нейрохирургии ФГБНУ «Российский центр неврологии и нейронаук»; Россия, 125367 Москва, Волоколамское шоссе, 80

Ультразвуковое исследование – малоинвазивный и высокоинформативный метод обследования пациентов с атеросклеротическим поражением брахиоцефальных артерий.

В статье представлен алгоритм обследования пациентов с симптомной окклюзией внутренней сонной артерии, которым планируется проведение реваскуляризирующих вмешательств. Освещены задачи и возможности ультразвуковой диагностики на разных этапах лечения пациентов с данной патологией. Особое внимание уделено обсуждению показателей, являющихся предикторами несостоятельности сформированных экстра-интракраниальных низкотоковых обходных шунтов. Рассмотрены примеры функционирующих и несостоятельных анастомозов.

Ключевые слова: внутренняя сонная артерия, окклюзия, экстра-интракраниальный микроанастомоз, поверхностная височная артерия, ультразвуковое исследование, анастомоз, низкотоковый экстра-интракраниальный шунт

Для цитирования: Хамидова Л.Т., Полунина Н.А., Гусейнова Г.К. и др. Комплексная ультразвуковая диагностика при низкотоковым обходном шунтировании у пациентов с симптомной окклюзией внутренней сонной артерии. Нейрохирургия 2026;28(1):107–18.

DOI: <https://doi.org/10.63769/1683-3295-2026-28-1-107-118>

Comprehensive ultrasound diagnostics for low-flow bypass in patients with symptomatic occlusion of the internal carotid artery

L.T. Khamidova¹, N.A. Polunina^{1,2}, G.K. Guseynova¹, V.A. Lukyanchikov¹⁻³, V.A. Dalibaldyan¹, V.V. Krylov^{2,3}

¹N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, Moscow Healthcare Department; 3 Bolshaya Sukharevskaya Ploshchad', Moscow 129090, Russia;

²N.I. Pirogov Russian National Research Medical University, Ministry of Health of Russia; 1 Ostrovityanova St., Moscow 117513, Russia;

³Institute of Functional Neurosurgery, Russian Center of Neurology and Neurosciences; 80 Volokolamskoye Shosse, Moscow 125367, Russia

Contacts: Gulnara Kiram kyzy Guseynova gyuli73@mail.ru

Ultrasound scan is a minimally invasive and highly informative method of examination of patients with atherosclerotic lesions of the brachiocephalic arteries. The article presents an algorithm of examination of patients with symptomatic occlusion of the internal carotid artery who are scheduled for revascularization interventions. The aims and capabilities of ultrasound diagnostics at various stages of treatment of the patients with this pathology are described. Special attention is paid to discussion of indicators predicting failure of extracranial-intracranial low-flow bypasses. Examples of functioning and failed anastomoses are presented.

Keywords: internal carotid artery, occlusion, extracranial-intracranial micro-bypass, superficial temporal artery, ultrasound scan, anastomosis, low-flow extracranial-intracranial bypass

For citation: Ryzhkova E.S., Lukyanchikov V.A., Senko I.V. et al. Comprehensive ultrasound diagnostics for low-flow bypass in patients with symptomatic occlusion of the internal carotid artery. *Neurokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery* 2026;28(1):107–118.
DOI: <https://doi.org/10.63769/1683-3295-2026-28-1-107-118>

ВВЕДЕНИЕ

Микрососудистая нейрохирургия начала активно развиваться в 1960–1970-х годах в результате работы нескольких команд нейрохирургов по всему миру. Официальная дата начала использования ревазуляризирующей хирургии при патологиях головного мозга – 30 октября 1967 г., когда профессор M.G. Yasargil выполнил первый экстра-интракраниальный микроанастомоз пациенту с синдромом Марфана и окклюзией средней мозговой артерии (СМА) [1]. В отечественной нейрохирургии подобные вмешательства начали выполнять с 1970–1980-х годов. В 1984 г. В.В. Лебедев и соавт. первые в отечественной литературе опубликовали результаты работы, посвященной выполнению экстра-интракраниального микроанастомоза у пациентов с ишемическим инсультом вследствие окклюзии внутренней сонной артерии (ВСА) [2]. К 2000 г. в НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского был накоплен опыт 118 подобных вмешательств у пациентов с атеросклеротическим поражением ВСА [3]. В 1987 г. В.П. Сакович и соавт. первые в СССР опубликовали результаты применения ревазуляризирующей хирургии у пациента с аневризмой сосудов головного мозга [4].

В последние годы в русскоязычной литературе происходит замена термина «экстра-интракраниальный микроанастомоз» на более актуальный – низкопоточный экстра-интракраниальный обходной шунт (нпЭИКШ) [5].

К настоящему времени нет единого мнения о целесообразности выполнения данных вмешательств у пациентов со стеноокклюзирующим поражением брахиоцефальных артерий (БЦА). Согласно данным ряда работ проведение этой операции показано пациентам с ишемическим инсультом на фоне окклюзии ВСА, у которых развивается недостаточность церебрального перфузионного резерва вследствие нарушения коллатерального кровоснабжения и/или ауторегуляции мозгового кровотока [6, 7]. Особенности и возможности комплексной ультразвуковой диагностики на разных этапах лечения пациентов с симптомной окклюзией ВСА – важнейший компонент при проведении ревазуляризирующих вмешательств.

К основным задачам ультразвуковой диагностики на разных этапах лечения пациентов с симптомной окклюзией ВСА относят определение параметров состояния стенки и просвета экстра- и интракраниальных отделов БЦА, анализ качественных и количественных характеристик доплеровского спектра, косвенную оценку функциональной состоятельности

естественных анастомозов, определение выбора артерий-доноров при ревазуляризирующей хирургии.

МЕТОДИКА И ТЕХНИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В предоперационном периоде пациенту последовательно выполняют ряд исследований, включающих сканирование БЦА, поверхностной височной артерии (ПВА) со стороны поражения, оценку работы естественных анастомозов – определение кровотока по ипсилатеральной СМА, сравнение с показателями по контралатеральной СМА и проведение пробы с гипервентиляцией, оценку состояния назоорбитального анастомоза (НОА). Применяют ряд ультразвуковых режимов: серошкальный В-режим, цветное дуплексное сканирование, энергетическое доплеровское картирование, тканевое недоплеровское картирование (В-flow), тканевое доплеровское картирование. Используют различные датчики: конвексный датчик с частотой сканирования 5–8 МГц для дистального отдела сонных артерий, линейный с частотой сканирования 4–12 МГц для экстракраниального отдела БЦА, секторный с частотой сканирования 1–5 МГц – для интракраниального. При выполнении ультразвукового исследования (УЗИ) оценивают состояние стенок артерий, определяют объемный кровоток и пиковую систолическую скорость (ПСС), оценивают спектр и направление кровотока [8, 9].

Для интраоперационных исследований применяют портативную систему транскраниальной доплерографии MULTI-DOP с использованием датчиков DWL MikroProbe 16 МГц диаметрами 1, 2 и 3 мм. Во время исследования оценивают направление кровотока и ПСС в зоне сформированного анастомоза, а также исключают первичный тромбоз шунта [10].

В послеоперационном периоде УЗИ применяют как метод ранней диагностики состоятельности сформированного нпЭИКШ, используют линейный датчик с частотой сканирования 4–12 МГц и оценивают объемный кровоток и ПСС.

Исследование в дооперационном периоде. В дооперационном периоде обследование начинают со стандартного дуплексного сканирования сонных и позвоночных артерий, которое выполняют в положении пациента лежа на спине с применением конвексного, линейного и секторного датчиков (рис. 1). Исследование проводят полипозиционно с использованием серошкального В-режима, цветного, энергетического, тканевого доплеровского картирования. Для анализа состояния общей сонной артерии (ОСА) датчик располагают по переднему или



Рис. 1. Сканирование экстракраниального отдела брахиоцефальных артерий, положение датчика и эхограммы: *а* – продольное сканирование общей сонной артерии (ОСА), уровень бифуркации ОСА; *б* – продольное сканирование внутренней сонной артерии (ВСА), допллерограмма по ВСА; *в* – продольное сканирование наружной сонной артерии (НСА), допллерограмма по НСА; *г* – поперечное сканирование сонных артерий (желтые стрелки)

Fig. 1. Scan of the extracranial part of the brachiocephalic arteries, positions of the probe and echogram: *a* – longitudinal scanning of the common carotid artery (CCA), CCA bifurcation level; *b* – longitudinal scanning of the internal carotid artery (ICA), ICA dopplergram; *v* – longitudinal scanning of the external carotid artery (ECA), ECA dopplergram; *r* – transverse scan of the carotid arteries (yellow arrows)

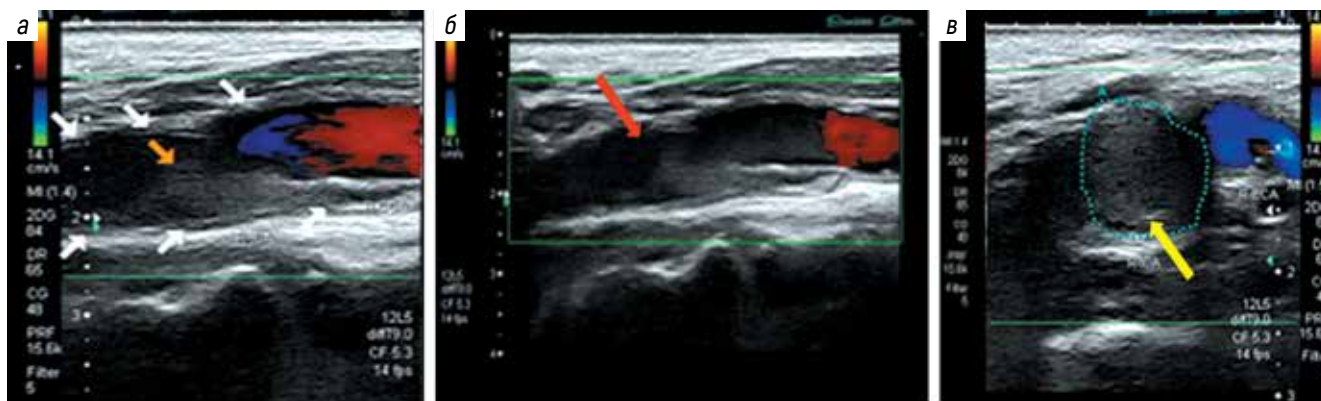


Рис. 2. Острый тромбоз внутренней сонной артерии (ВСА), эхограммы: продольное сечение сканирования ВСА (а, б); поперечное сечение сканирования ВСА (в): а – увеличение диаметра сосуда (дилатация просвета) – белые стрелки; б – неоднородная структура пониженной эхогенности (тромботическое наложение) в просвете ВСА – красная стрелка; в – в режиме цветового доплеровского картирования отсутствие кровотока в зоне окклюзии – желтая стрелка

Fig. 2. Acute thrombosis of the internal carotid artery (ICA), echograms: longitudinal section of ICA scan (a, b); transverse section of ICA scan (b): a – increased vessel diameter (lumen dilatation) – white arrows; б – heterogenous structure of decreased echogenicity (thrombotic imposition) in the ICA lumen – red arrow; в – color Doppler mapping in the absence of blood flow in the occlusion area – yellow arrow

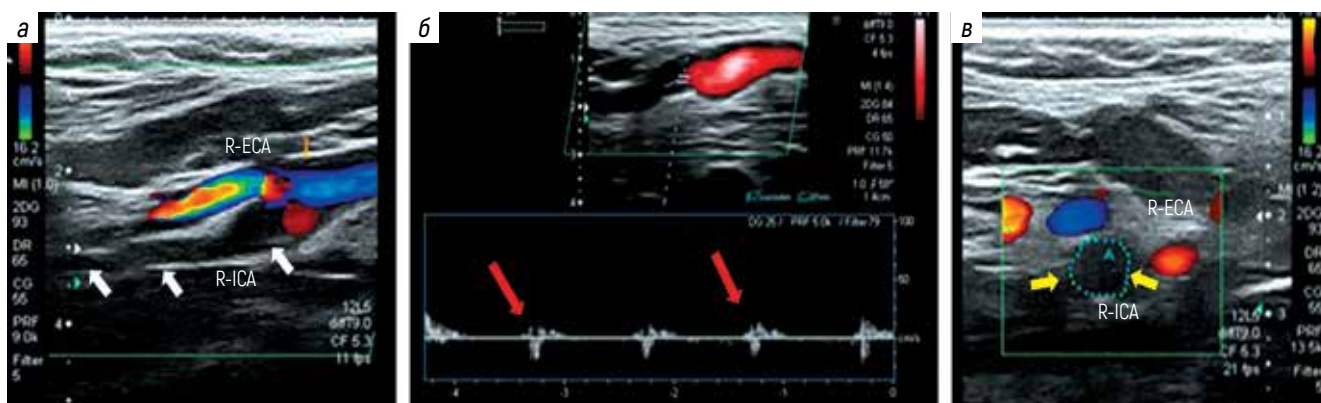


Рис. 3. Хроническая окклюзия внутренней сонной артерии (ВСА), эхограммы: а – продольное сечение сканирования ВСА; уменьшение диаметра сосуда (редукция просвета) – белые стрелки; б – доплерограмма; перед зоной окклюзии ВСА ревербирующий кровоток – красные стрелки; в – поперечное сечение сканирование ВСА; нарушение дифференцировки от окружающих тканей сосуда – желтые стрелки. Примечание. R-ICA – правая ВСА, R-ECA – правая наружная сонная артерия

Fig. 3. Chronic occlusion of the internal carotid artery (ICA), echograms: а – longitudinal section of ICA scan; decreased vessel diameter (lumen reduction) – white arrows; б – dopplergram; in front of the ICA occlusion area, reverberating blood flow – red arrows; в – transverse section of ICA scan; abnormal differentiation from the surrounding tissues – yellow arrows. Note. R-ICA – right ICA, R-ECA – right external carotid artery

заднему краю *m. sternocleidomastoideus*. Слева визуализация устья ОСА, как правило, ограничена. Для визуализации ВСА и наружной сонной артерии (НСА) получают изображение бифуркации ОСА, которой соответствует область с более широким диаметром сосуда. При исследовании ВСА датчик поворачивают в латеральном направлении, НСА – в медиальном. При соблюдении всех условий ВСА может быть визуализирована до уровня входа в полость черепа через *canalis caroticus*. Датчик при этом располагают под углом приблизительно 45° к плоскости нижней челюсти в проекции ее угла. После сканирования в продольной плоскости датчик располагают перпендикулярно продольной оси сосуда и под углом 40–60° к поверхности шеи для сканирования в поперечной плоскости [8, 9].

Одна из форм стеноокклюзирующего поражения БЦА – полная закупорка сосуда (окклюзия), которую в зависимости от давности процесса подразделяют на острый тромбоз и хроническую окклюзию.

У пациента с острым тромбозом на эхограммах наблюдают дилатацию просвета за счет гетерогенных тромботических наложений с флотирующими элементами (рис. 2).

У пациентов с хронической окклюзией ВСА отмечают редукцию просвета, нарушение дифференцировки сосуда от окружающих тканей и единичные локусы реверсивного кровотока (рис. 3).

После выявления окклюзии ВСА проводят оценку сохранности цереброваскулярного резерва головного мозга. Золотым стандартом являются перфузионные исследования, но при ограничении возможности

их проведения можно применить методы ультразвуковой диагностики для косвенной оценки функциональной состоятельности естественных экстра- и интракраниальных анастомозов. С этой целью проводят исследование НОА, который является естественным анастомозом между конечной ветвью глазной артерии — надблоковой артерией (НБА) из бассейна ВСА — и лобной ветвью ПВА из бассейна НСА [8, 11]. Также проводят транскраниальное дуплексное сканирование для оценки кровотока по ипсилатеральной СМА, сравнения результатов с показателями по контралатеральной СМА и выполняют пробу с гипервентиляцией, оценивая состоятельность естественных интракраниальных анастомозов (передней и задней соединительных артерий) [8, 11].

При оценке НОА исследуют состояние НБА, для этого применяют датчики 4 или 7 МГц в постоянном волновом режиме. Пациент находится в положении лежа на спине, дистальный конец датчика устанавливают в медиальный угол глазницы так, чтобы метка

линейного датчика была направлена в проекцию перекреста зрительных нервов. Легкими движениями проксимального конца датчика достигается максимальный устойчивый сигнал. В норме кровоток в НБА направлен к мягкотканым покровам черепа (антеградный кровоток из черепа в глазницу), т.е. навстречу вектору ультразвукового сигнала (к датчику) с регистрацией доплерограммы выше изолинии. Пиковая систолическая скорость по НБА должна быть не менее 20–40 см/с [8] (рис. 4).

Для оценки функциональной состоятельности НОА также возможно применить компрессионные пробы в последовательном кратковременном (3–5 с) пережатии ипсилатеральной ОСА, что в норме приводит к небольшому кратковременному подъему ПСС (овершуту) в НБА; также возможно отсутствие реакции на компрессию (см. рис. 4).

При окклюзии ВСА направление кровотока в НОА может меняться на ретроградное — в полость черепа,

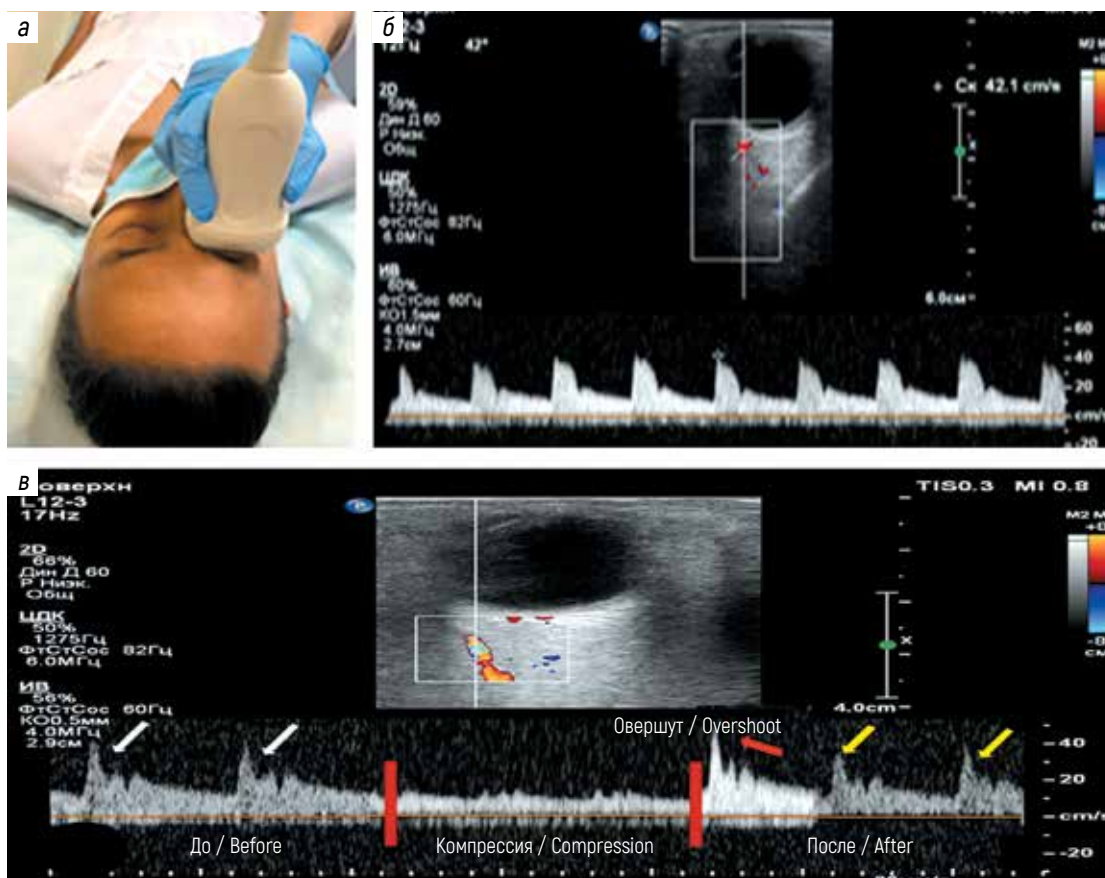


Рис. 4. Методика дуплексного сканирования надблоковой артерии (НБА) – оценка естественного экстра-интракраниального назоорбитального анастомоза: *а* – положение датчика при исследовании НБА, трансорбитальный доступ; *б* – доплерограмма НБА в норме: направление кровотока антеградное, магистральное, ламинарное (из черепа в глазницу), пиковая систолическая скорость (ПСС) в НБА – 40 см/с; *в* – проведение компрессионной пробы, эхограммы и доплерограммы: ПСС до пережатия ипсилатеральной общей сонной артерии (ОСА) (белые стрелки), кратковременный подъем ПСС (овершут) после прекращения компрессии ОСА (красная стрелка), восстановление кровотока по НБА после пережатия ипсилатеральной ОСА (желтые стрелки)

Fig. 4. Technique of duplex scanning of the supraorbital artery (STA) – evaluation of natural extracranial-intracranial naso-orbital anastomosis: *a* – position of the probe during STA examination, transorbital access; *б* – dopplergram of the normal STA: antegrade, laminar (from the skull to the orbit) blood flow, peak systolic velocity (PSV) in the STA is 40 cm/s; *в* – compression exam, echogram and dopplergram: PSV prior to clamping of the ipsilateral common carotid artery (CCA) (white arrows), transient increase in PSV (overshoot) after the end of CCA compression (red arrow), blood flow recovery in the STA after clamping of the ipsilateral CCA (yellow arrows)

что может косвенно свидетельствовать о нарушении церебрального перфузионного резерва.

При оценке состоятельности интракраниальных естественных анастомозов первоначально необходимо провести регистрацию ПСС по СМА на уровне М1 в состоянии покоя (рис. 5). Нормальные значения ПСС по СМА у практически здоровых лиц в разных возрастных группах по данным Р. Martin и соавт. представлены в табл. 1 [8].

Повторную регистрацию ПСС по СМА на уровне М1 измеряют после интенсивного вдоха-выдоха в течение 20–30 с. Прирост ПСС в СМА на 25 % и более косвенно свидетельствует о состоятельности механизма мозговой ауторегуляции (сохраненном перфузионном резерве) кровообращения у обследуемого пациента (см. рис. 5).

Таблица 1. Нормальные значения пиковой систолической скорости (Vps) по средней мозговой артерии у практически здоровых лиц в разных возрастных группах [8]

Table 1. Normal values of peak systolic velocity (Vps) in the middle cerebral artery in practically healthy individuals of different age groups [8]

Возраст, лет Age, years	$V_{ps}^{cm/s}$ $V_{ps}^{cm/s}$
20–39	113 (109–116)
40–59	106 (101–111)
≥60	92 (88–96)

Снижение ПСС в СМА более 20–25 % от исходной можно рассматривать как косвенный признак нарушения механизма мозговой ауторегуляции кровообращения

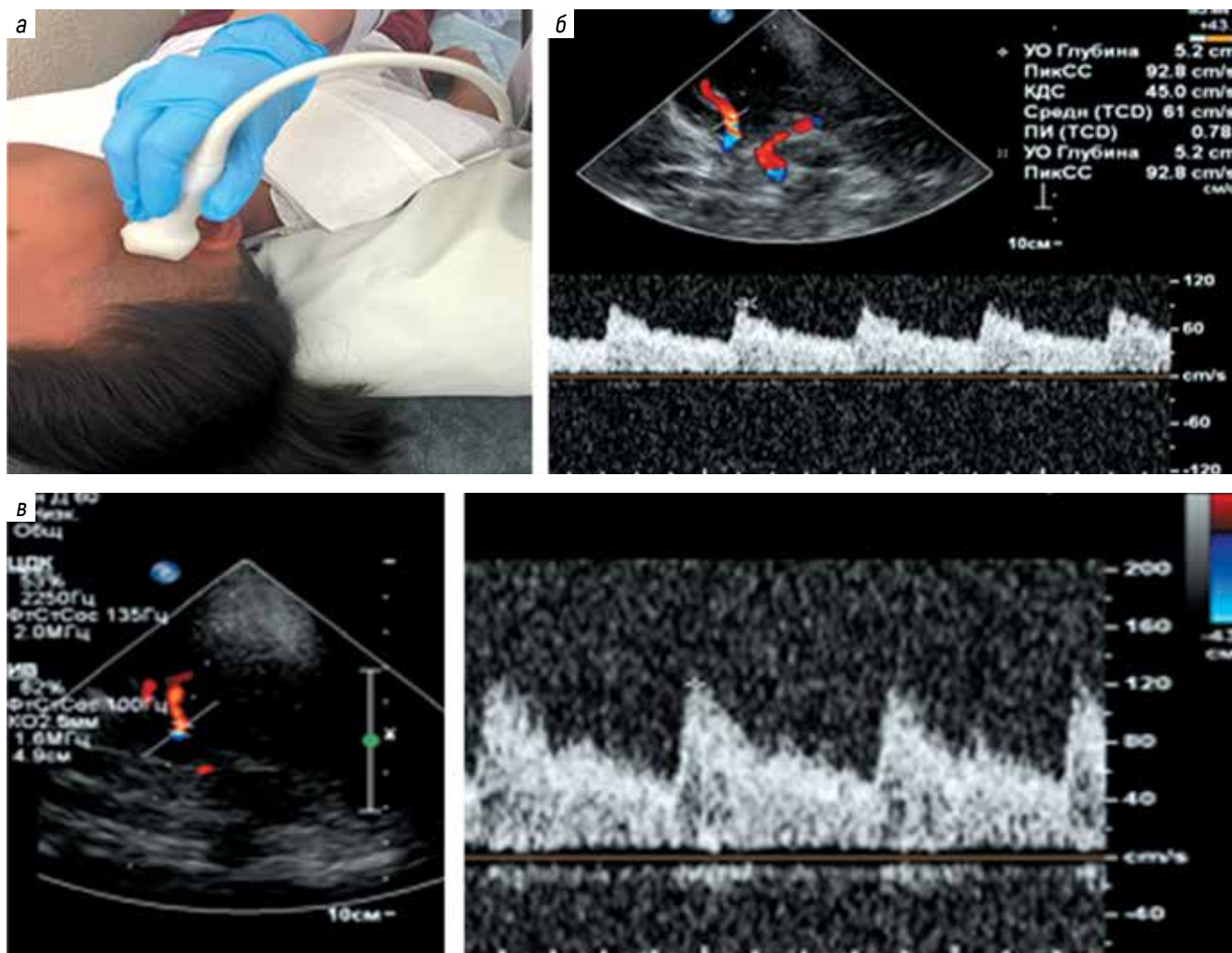


Рис. 5. Методика дуплексного сканирования средней мозговой артерии (СМА) при проведении пробы с гипервентиляцией – оценка интра-интракраниальных естественных анастомозов: а – выполнение транскраниального дуплексного сканирования через височное окно – транстемпоральный доступ; б – доплерограмма СМА в покое; пиковая систолическая скорость (ПСС) по СМА в сегменте М1 – 88 см/с; в – доплерограмма СМА при пробе с гипервентиляцией, ПСС по СМА в сегменте М1 – до 130 см/с

Fig. 5. Technique of duplex scanning of the middle cerebral artery (MCA) during hyperventilation test – evaluation of intracranial-intracranial natural anastomoses: а – transcranial duplex scan through the temporal window – transtemporal access; б – dopplergram of the MCA at rest; peak systolic velocity (PSV) in the M1 segment of the MCA is 88 cm/s; в – dopplergram of the MCA during hyperventilation test, PSV in the M1 segment of the MCA is up to 130 cm/s

(несостоятельности перфузионного резерва), в том числе у пациентов с выявленной симптомной окклюзией ВСА [11].

КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ 1

Пациент С., 65 лет, перенес ишемический инсульт в бассейне правой СМА на фоне окклюзии правой ВСА. Больному выполнено комплексное УЗИ, также оценена перфузия головного мозга.

При УЗИ БЦА выявлена окклюзия экстракраниального отдела ВСА (рис. 6, а). Внутренняя сонная артерия от устья расширена, просвет неоднородный за счет гетерогенных структур преимущественно пониженной эхогенности, в режимах цветового и энергетического доплеровского картирования перед зоной окклюзии регистрировался ревербирующий кровоток, а в зоне окклюзии кровотоков отсутствовал. По ипсилатеральной НБА определялся ретроградный кровоток с линейной скоростью 9 см/с (рис. 6, б). По данным транскраниального дуплексного сканирования на пораженной стороне в СМА регистрировался коллатеральный кровоток с ПСС 65 см/с, при проведении пробы с гипервентиляцией отмечено снижение ПСС до 34 см/с — на 47,7 % (рис. 6, в, г). Полученные данные УЗИ косвенно свидетельствовали о снижении перфузионного резерва головного мозга в бассейне окклюзированной артерии. Это подтверждено оценкой регионарного мозгового кровотока (РМК) по данным однофотонной эмиссионной компьютерной томографии (ОФЭКТ) при нативном исследовании и пробе с ацетазоламидом (пероральный прием в дозировке 20 мг/кг массы тела за 2 ч до 2-го исследования). У пациента при нативном исследовании выявлен очаг гипоперфузии с минимальным РМК 32–34 мл/100 г/мин, при выполнении пробы отмечено увеличение объема очага гипоперфузии с падением РМК до 24–26 мл/100 г/мин, что свидетельствовало о нарушении церебрального перфузионного резерва с развитием синдрома обкрадывания (рис. 6, д, е). Пациенту выполнен нпЭИКШ в плановом порядке.

КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ 2

Пациент Л., 68 лет, перенес ишемический инсульт в бассейне левой СМА на фоне окклюзии ВСА. Больному выполнено комплексное УЗИ, оценена перфузия головного мозга.

При УЗИ БЦА выявлена окклюзия экстракраниального отдела левой ВСА (рис. 7, а). Внутренняя сонная артерия от ампулы гипоплазирована, просвет неоднородный за счет гетерогенных структур преимущественно пониженной эхогенности, в режимах цветового и энергетического доплеровского картирования перед зоной окклюзии регистрировался ревербирующий кровоток, а в зоне окклюзии кровотоков отсутствовал. По ипсилатеральной НБА определялся антеградный кровоток с ПСС до 35 см/с (рис. 7, б). По данным транскраниального дуплексного сканирования на пораженной стороне в СМА регистрировался не стандартный коллатеральный

кровоток, а кровотоков магистрально-измененного характера с ПСС до 106 см/с. При проведении пробы с гипервентиляцией регистрировалось увеличение ПСС до 138 см/с (рис. 7, в, г). Увеличение пиковой скорости кровотока свидетельствовало о сохранности перфузионного резерва в бассейне окклюзированной артерии. Это подтверждено оценкой РМК по данным ОФЭКТ при нативном исследовании и пробе с ацетазоламидом. У пациента при нативном исследовании выявлен очаг гипоперфузии с минимальным РМК 33–35 мл/100 г/мин, при выполнении пробы отмечено повышение РМК до 37–39 мл/100 г/мин (на 11–12 % от исходного), что свидетельствовало о сохраненном церебральном перфузионном резерве (рис. 7, г–е). Пациент направлен на амбулаторное лечение у невролога без хирургического вмешательства.

Если по данным оценки состояния церебрального перфузионного резерва (в том числе с помощью методов нейровизуализации) у пациента выявляют показания к проведению нпЭИКШ, то последним этапом в рамках предоперационного исследования проводят оценку возможных артерий-доноров; в стандартных ситуациях речь идет о ветвях ПВА.

Визуализацию ПВА выполняют из периаурикулярного доступа с использованием различных режимов. При этом оценивают ее длину и диаметр, скорость кровотока, уровень бифуркации ПВА, а также измеряют параметры ее ветвей (лобной и теменной) для выбора оптимального донора с определением их диаметра, ПСС и объемного кровотока (рис. 8).

Интраоперационное обследование. Интраоперационную доплерографию проводят с использованием аппарата Multi-Dop T® и датчиками размерами 1–2 мм с рабочей частотой 16 МГц (рис. 9). Глубина проникновения ультразвукового датчика составляет 0,7–1,5 мм. Измерение кровотока в сосудах головного мозга начинают с глубины 1,2–1,4 мм и мощности датчика 90–100 %, затем, изменяя глубину и угол, получают максимально возможные амплитуду и интенсивность сигнала. Доплеровское исследование низкотокового шунта проводят в области сформированного анастомоза вдоль шва [10]. Интраоперационно оценивают проходимость анастомоза, направление кровотока в анастомозе и ПСС (см. рис. 9).

Ультразвуковое исследование в раннем послеоперационном периоде. В раннем послеоперационном периоде на 1–7-е сутки проводят контроль нпЭИКШ в височно-теменной области через трепанационное отверстие. Оценивают проходимость сосуда, определяют направление кровотока, ПСС и рассчитывают объемный кровоток (рис. 10).

В случае несостоятельности нпЭИКШ при исследовании в серошкальном В-режиме отмечают неоднородность просвета за счет тромботических масс, в режиме доплерографического картирования выявляют дефект окрашивания просвета с ревербирующим кровотоком, что с большей долей вероятности свидетельствует о закрытии шунта в дальнейшем (рис. 11).

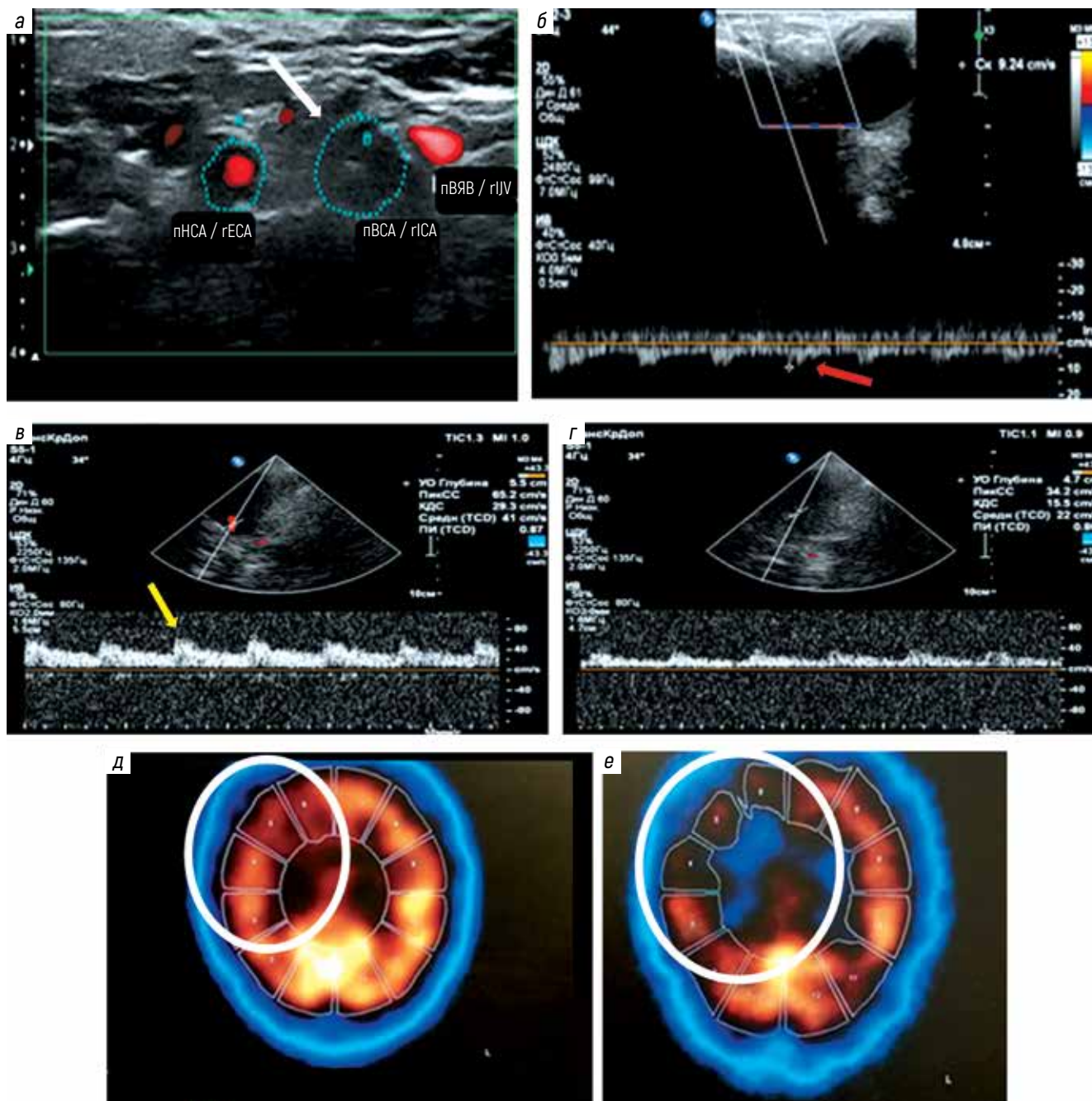


Рис. 6. Результаты комплексного обследования пациента с симптомной окклюзией правой внутренней сонной артерии (BCA): *а* – эхограмма, поперечное сканирование экстракраниального отдела правой ВСА (белой стрелкой указана окклюзия ее просвета); *б* – эхограмма, дуплексное сканирование ипсилатеральной надбровковой артерии, регистрируется ретроградный кровоток (красная стрелка) с пиковой систолической скоростью (ПСС) 9 см/с; *в* – эхограмма, дуплексное сканирование ипсилатеральной средней мозговой артерии (СМА) на уровне М1, регистрируется коллатеральный кровоток (желтая стрелка) с линейной скоростью 65 см/с; *г* – эхограмма СМА с регистрацией снижения ПСС по СМА на уровне М1 после пробы с гипервентиляцией до 34 см/с (более чем на 25 % от исходной); *д* – данные однофотонной эмиссионной компьютерной томографии (ОФЭКТ) головного мозга, белым овалом указана зона гипоперфузии в правом полушарии, регионарный мозговой кровоток (РМК) – 32–34 мл/100 г/мин; *е* – данные ОФЭКТ головного мозга после нагрузочной пробы с ацетазоламидом, белым овалом указано увеличение зоны гипоперфузии в правом полушарии, снижение РМК до 24–26 мл/100 г/мин (на 23–25 % от исходного).

Примечание: пНСА – правая наружная сонная артерия; пВСА – правая ВСА; пВЯВ – правая внутренняя яремная вена.

Fig. 6. Results of comprehensive examination of a patient with symptomatic occlusion of the right internal carotid artery (ICA): *a* – echogram, transverse scan of the extracranial part of the right ICA (white arrow indicated lumen occlusion); *b* – echogram, duplex scan of the ipsilateral supraorbital artery, retrograde blood flow is registered (red arrow) with peak systolic velocity (PSV) 9 cm/s; *v* – echogram, duplex scan of the ipsilateral middle cerebral artery (MCA) at the M1 level, collateral blood flow is registered (yellow arrow) with linear velocity of 65 cm/s; *г* – echogram of the ICA with registration of decreased PSV in the ICA at the M1 level after hyperventilation test to 34 cm/s [more than 25 % from baseline]; *д* – single-photon emission computed tomography (SPECT) of the brain, white oval indicates an area of hypoperfusion in the right hemisphere, regional cerebral blood flow (rCBF) is 32–34 mL/100 g/min; *е* – SPECT of the brain after acetazolamide challenge test, white oval indicates increased area of hypoperfusion in the right hemisphere, rCBF decreased to 24–26 mL/100 g/min (by 23–25 % from baseline).

Note. rECA – right external carotid artery; rICA – right ICA; rIJV – right internal jugular vein

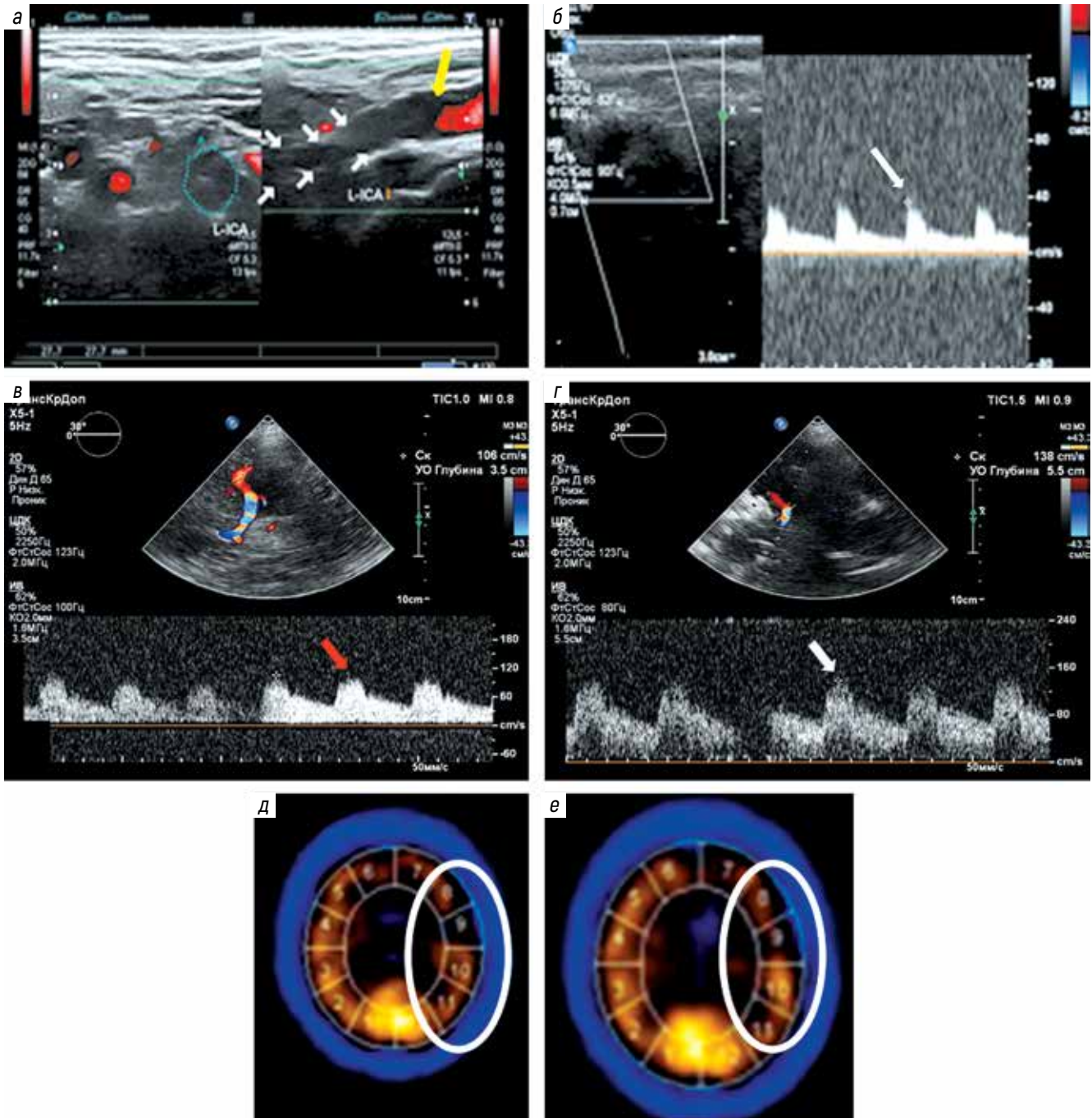


Рис. 7. Результаты комплексного обследования пациента с симптомной окклюзией левой внутренней сонной артерии (ВСА): *а* – эхограмма, поперечное сканирование экстракраниального отдела левой ВСА, желтой стрелкой указана окклюзия ее просвета; *б* – эхограмма, дуплексное сканирование ипсилатеральной надбровковой артерии, регистрируется антеградный кровоток (белая стрелка) с пиковой систолической скоростью (ПСС) 35 см/с; *в* – эхограмма, дуплексное сканирование ипсилатеральной средней мозговой артерии (СМА) на уровне М1, регистрируется магистрально-измененный кровоток (красная стрелка) с ПСС 106 см/с; *г* – доплерограмма СМА на уровне М1 после пробы с гипервентиляцией, ПСС увеличена до 138 см/с (белая стрелка); *д* – данные однофотонной эмиссионной компьютерной томографии (ОФЭКТ) головного мозга, белым овалом указана зона гипоперфузии в правом полушарии, регионарный мозговой кровоток (РМК) – 33–35 мл/100 г/мин; *е* – данные ОФЭКТ головного мозга после нагрузочной пробы с ацетазоламидом, белым овалом указано уменьшение зоны гипоперфузии в правом полушарии и повышение РМК до 37–39 мл/100 г/мин (на 11–12 % от исходного)

Fig. 7. Results of comprehensive examination of a patient with symptomatic occlusion of the left internal carotid artery (ICA): *a* – echogram, transverse scan of the extracranial part of the left ICA, yellow arrow indicates occlusion of its lumen; *б* – echogram, duplex scan of the ipsilateral supraorbital artery, antegrade blood flow (white arrow) with peak systolic velocity (PSV) of 35 cm/s is registered; *в* – echogram, duplex scan of the ipsilateral middle cerebral artery (MCA) at the M1 level, abnormal blood flow (red arrow) with PSV of 106 cm/s is registered; *г* – dopplergram of the MCA at the M1 level after hyperventilation test, PSV increased to 138 cm/s (white arrow); *д* – single-photon emission computed tomography (SPECT) of the brain, white oval indicates an area of hypoperfusion in the right hemisphere, regional cerebral blood flow (rCBF) 33–35 mL/100 g/min; *е* – SPECT of the brain after acetazolamide challenge test, white oval indicates decreased area of hypoperfusion in the right hemisphere and rCBF increase to 37–39 mL/100 g/min (by 11–12 % from baseline)

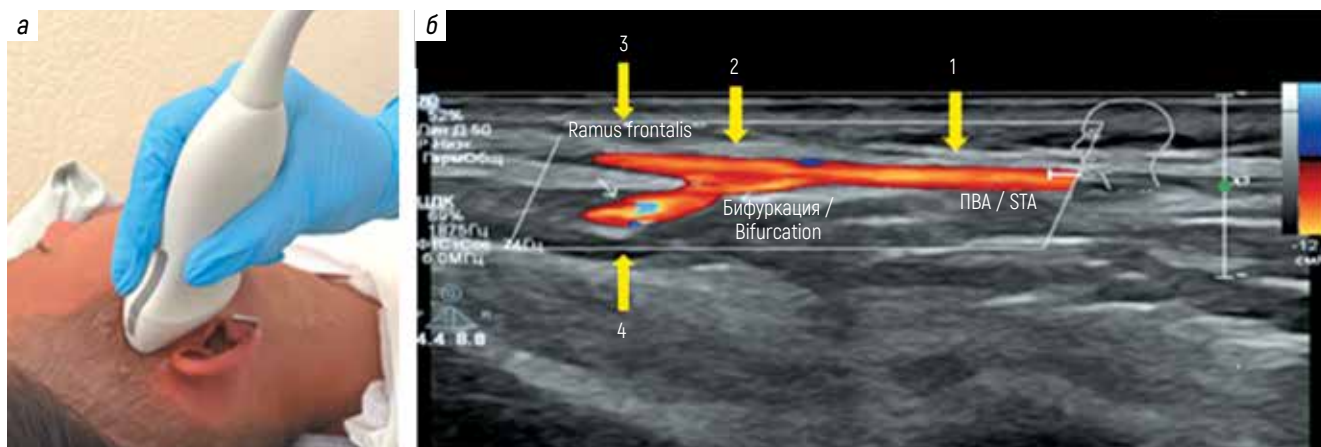


Рис. 8. Методика сканирования поверхностной височной артерии (ПВА) и ее ветвей: а – линейный датчик с частотой сканирования 4–12 МГц установлен в проекции ПВА в преаурикулярном доступе (на 1,0–1,5 см от козелка ушной раковины); б – эхограмма ПВА: 1 – основной ствол; 2 – область бифуркации; 3 – лобная ветвь; 4 – теменная ветвь

Fig. 8. Technique of scanning of the superficial temporal artery (STA) and its branches: a – linear probe with scanning frequency 4–12 MHz is positioned in the STA projection in preauricular access (1.0–1.5 cm from the tragus); б – STA echogram: 1 – main trunk; 2 – bifurcation area; 3 – frontal branch; 4 – parietal branch

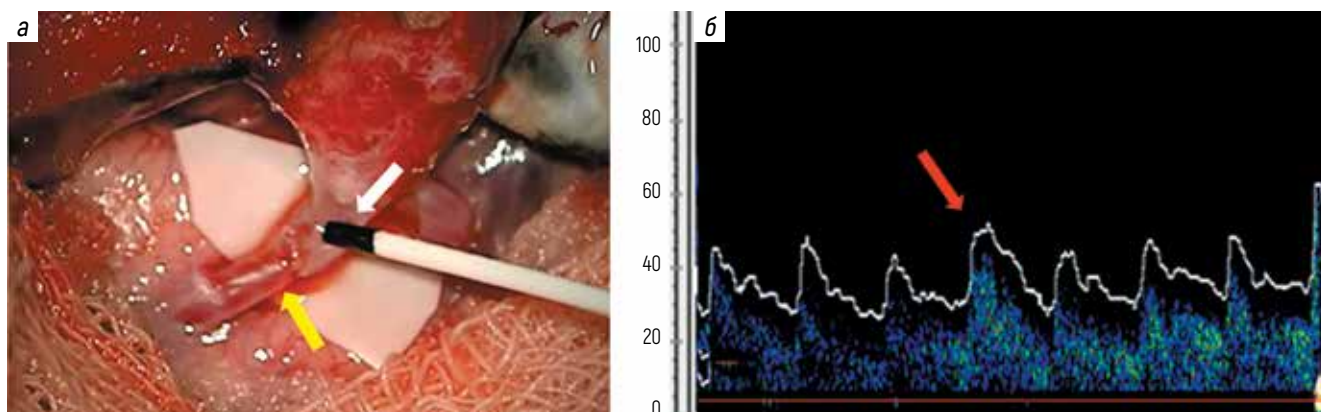


Рис. 9. Интраоперационная ультразвуковая оценка состоятельности сформированного низкопоточного экстра-интракраниального обходного шунта (нпЭИКШ): а – интраоперационная фотография, сканирование сформированного нпЭИКШ (желтая стрелка), микрососудистый датчик (белая стрелка) с частотой сканирования 16 МГц, диаметром 1 мм установлен в область анастомоза в зоне шва; б – интраоперационная доплерограмма кровотока в зоне анастомоза: регистрируется антеградный магистральный кровоток (красная стрелка), пиковая систолическая скорость – 45 см/с

Fig. 9. Intraoperative ultrasound evaluation of low-flow extracranial-intracranial bypass (IfEICB): a – intraoperative photo, scan of the formed IfEICB (yellow arrow), microvascular probe (white arrow) with scanning frequency 16 MHz, 1 mm diameter is positioned in the anastomosis area near the suture; б – intraoperative dopplergram of blood flow in the anastomosis area: antegrade normal blood flow (red arrow) is registered, peak systolic velocity is 45 cm/s

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Комплексная ультразвуковая диагностика — доступный, неинвазивный, высокоинформативный и точный метод, позволяющий оценить состояние возможных артерий-доноров у пациентов с симптомной окклюзией ВСА, выполнить косвенную оценку состояния ауторегуляции мозгового кровотока, оценить функционирование нпЭИКШ и выявить предикторы

несостоятельности сформированного шунта в послеоперационном периоде. Представленный последовательный алгоритм ультразвукового обследования пациента с окклюзией ВСА на всех этапах хирургического лечения возможно выполнять в региональных сосудистых центрах России для улучшения оказания помощи пациентам со стеноокклюзирующими поражениями БЦА.

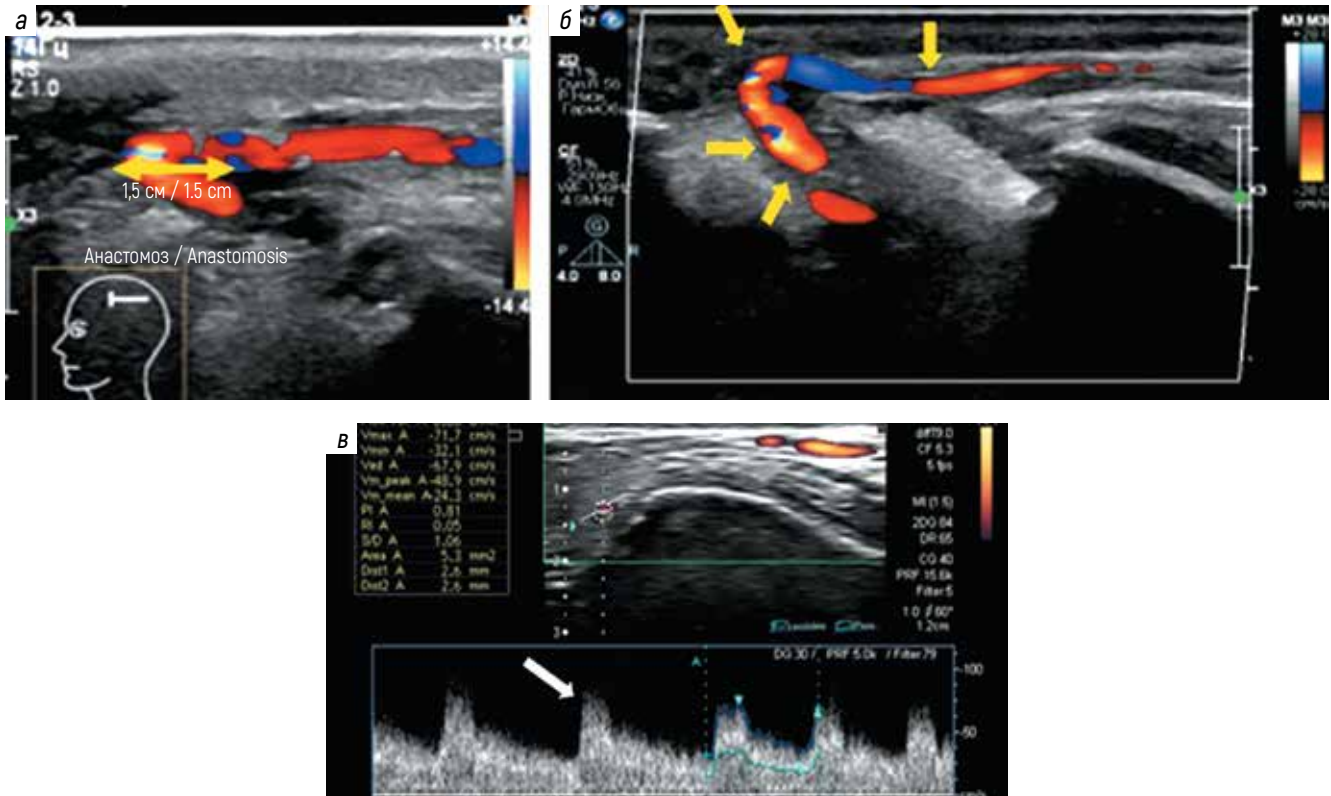


Рис. 10. Ультразвуковая оценка состоятельности низкопоточного экстра-интракраниального обходного шунта (нпЭИКШ) в послеоперационном периоде: а – эхограмма, функционирующий нпЭИКШ, визуализация через трепанационное отверстие (желтая стрелка) протяженностью 1,5 см; б – эхограмма, визуализация шунта на всем протяжении: 1 – экстракраниальная часть шунта (артерия-донор); 2 – шунт в области трепанационного отверстия; 3 – интракраниальная часть шунта; 4 – область анастомоза с артерией-реципиентом (корковая ветвь средней мозговой артерии); в – доплерограмма нпЭИКШ в режиме цветового доплеровского картирования, регистрируется ламинарный антеградный магистральный кровоток (белая стрелка), пиковая систолическая скорость – 80 см/с, объемный кровоток – 60 мл/мин

Fig. 10. Ultrasound evaluation of low-flow extracranial-intracranial bypass (IfEICB) in the postoperative period: а – echogram, functioning IfEICB, visualization through the trephination hole [red arrow], length 1.5 cm; б – echogram, whole length of the bypass is visualized: 1 – extracranial part of the bypass (donor artery); 2 – bypass in the area of the trephination hole; 3 – intracranial part of the bypass; 4 – area of the anastomosis with recipient artery (cortical branch of the middle cerebral artery); в – dopplergram of the IfEICB in the color Doppler mapping mode, laminal antegrade blood flow is registered [white arrow], peak systolic velocity – 80 cm/s, volumetric blood flow – 60 mL/min

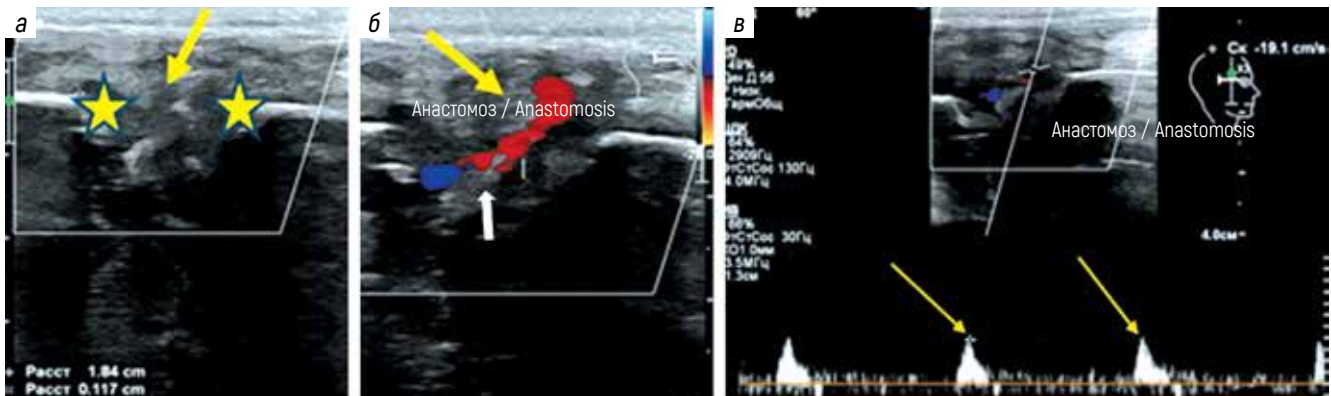


Рис. 11. Ультразвуковая оценка состоятельности низкопоточного экстра-интракраниального обходного шунта (нпЭИКШ) в послеоперационном периоде: а – эхограмма, нефункционирующий нпЭИКШ – через трепанационное отверстие протяженностью 1,8 см (звездочки) лоцируется шунт (желтая стрелка) с неоднородностью просвета за счет наложений тромботических масс пониженной эхогенности в В-режиме; б – в режимах цветового и энергетического доплеровского картирования выявлен дефект окрашивания просвета шунта (белая стрелка); в – доплерограмма: кровоток по шунту низкоамплитудный, с локасами ревербирующего компонента (желтые стрелки), пиковая систолическая скорость – $< 15-20\text{ cm/s}$

Fig. 11. Ultrasound evaluation of low-flow extracranial-intracranial bypass (IfEICB) in the postoperative period: а – echogram, nonfunctioning IfEICB – through the trephination hole, length 1.8 cm (asterisks), the bypass is visualized (yellow arrow) with heterogenous lumen due to thrombotic imposition with decreased echogenicity in the B-mode; б – color and power Doppler mapping show a defect of bypass lumen staining (white arrow); в – dopplergram: blood flow in the bypass is of low amplitude, with loci of reverberating component (yellow arrows), peak systolic velocity – $< 15-20\text{ cm/s}$

Литература | References

1. Операции реvascularизации головного мозга в сосудистой нейрохирургии. Под ред. В.В. Крылова, В.Л. Леменева. М.: БИНОМ, 2014. 272 с.
2. Cerebral revascularization surgeries in vascular neurosurgery. Eds. V.V. Krylov, V.L. Lemenev. Moscow: BINOM, 2014. 272 p. (In Russ.).
3. Лебедев В.В., Гельфенбейн М.С. Проблемы хирургического лечения ишемических инсультов в бассейне сонных артерий. Вопросы нейрохирургии 1984;2:53–61. Lebedev V.V., Gelfenbeyn M.S. Problems of surgical treatment of ischemic strokes in the carotid artery territory. Voprosy neyrokhirurgii = Burdenko's Journal of Neurosurgery 1984;2:53–61. (In Russ.).
4. Лебедев В.В., Крылов В.В. Неотложная нейрохирургия. М.: Медицина, 2000. 568 с. Lebedev V.V., Krylov V.V. Emergency neurosurgery. Moscow: Meditsina, 2000. 568 p. (In Russ.).
5. Сакович В.П., Спектор С.М., Журавлев А.В. Экстра-интракраниальный микрососудистый анастомоз (ЭИКМА) в хирургии артериальных аневризм головного мозга. Вопросы нейрохирургии 1987:13–9. Sakovich V.P., Spektor S.M., Zhuravlev A.V. Extracranial-intracranial microvascular anastomosis (EICMA) in surgery of arterial cerebral aneurysms. Voprosy neyrokhirurgii = Burdenko's Journal of Neurosurgery 1987:13–9. (In Russ.).
6. Крылов В.В., Лукьянчиков В.А., Полунина Н.А. Хирургическая реvascularизация головного мозга. М.: Изд-во «ПРИЗ», 2023. 380 с. Krylov V.V., Lukyanchikov V.A., Polunina N.A. Surgical revascularization of the brain. Moscow: PRIZ, 2023. 380 p. (In Russ.).
7. Крылов В.В., Лукьянчиков В.А., Токарев А.С. и др. Хирургическая профилактика ишемических инсультов с использованием экстра-интракраниального микроанастомоза (ЭИКШ) в каротидном бассейне. Ангиология и сосудистая хирургия 2016;22(4):116–21. Krylov V.V., Lukyanchikov V.A., Tokarev A.S. et al. Surgical prevention of ischaemic strokes by means of an extracranial microanastomosis (EICMA) in the carotid basin. Angiologiya i sosudistaya khirurgiya = Angiology and Vascular Surgery 2016;22(4):116–21. (In Russ.).
8. Лукшин В.А., Усачев Д.Ю., Шульгина А.А., Шевченко Е.В. Локальная гемодинамика после создания ЭИКМА у пациентов с симптоматическими окклюзиями сонных артерий. Журнал «Вопросы нейрохирургии» им. Н.Н. Бурденко 2019;83(3):29–41. DOI: 10.17116/neiro20198303129 Lukshin V.A., Usachev D.Yu., Shulgina A.A., Shevchenko E.V. Local cerebral hemodynamics following STA-MCA bypass in patients with symptomatic carotid occlusions. Voprosy khirurgii im. N.N. Burdenko = Burdenko's Journal of Neurosurgery 2019;83(3):29–41. (In Russ.). DOI: 10.17116/neiro20198303129
9. Лелюк В.Г., Лелюк С.Э. Основные принципы гемодинамики и ультразвукового исследования сосудов: клиническое руководство по ультразвуковой диагностике. В 5 т. Под ред. В.В. Митькова. М.: Видар, 2005. Т. 4. С. 221–256. Lelyuk V.G., Lelyuk S.E. Main principles of hemodynamics and ultrasound scanning of the vessels: clinical guidelines on ultrasound diagnostics. In 5 volumes. Ed. V.V. Mitkov. Moscow: Vidar, 2005. V. 4. P. 221–256. (In Russ.).
10. Куликов В.П. Основы ультразвукового исследования сосудов. М.: Видар-М, 2015. 392 с. Kulikov V.P. Basics of ultrasound examination of the vessels. Moscow: Vidar-M, 2015. 392 p. (In Russ.).
11. Хамидова Л.Т., Крылов В.В., Петриков С.С. Ультразвуковая и функциональная диагностика у пациентов с ишемическим инсультом и разрывами артериальных аневризм головного мозга. 2019. 388 с. Khamidova L.T., Krylov V.V., Petrikov S.S. Ultrasound and functional diagnostics in patients with ischemic stroke and ruptures of cerebral aneurysms. 2019. 388 p. (In Russ.).
12. Гайдар Б.В., Семенютин В.Б., Парфенов В.Е., Свистов Д.В. Транскраниальная доплерография в нейрохирургии. СПб.: Элби, 2008. 281 с. Gaidar B.V., Semenutin V.B., Parfenov V.E., Svistov D.V. Transcranial Doppler in neurosurgery. Saint Petersburg: Elbi, 2008. 281 p. (In Russ.).

Вклад авторов

Л.Т. Хамидова, Н.А. Полунина: разработка концепции и дизайна исследования, анализ и интерпретация данных, редактирование текста статьи; Г.К. Гусейнова: сбор, анализ и интерпретация данных, написание текста статьи, подготовка иллюстраций; В.А. Лукьянчиков, В.А. Далибалдян: редактирование текста статьи; В.В. Крылов: разработка концепции и дизайна исследования, окончательное утверждение текста статьи;

Authors' contributions

L.T. Khamidova, N.A. Polunina: study concept and design, data analysis and interpretation, article editing; G.K. Guseynova: data collection, analysis and interpretation, article writing, preparation of illustrations; V.A. Lukyanchikov, V.A. Dalibaldyan: article editing; V.V. Krylov: study concept and design, final article approval.

ORCID авторов / ORCID of authors

Л.Т. Хамидова / L.T. Khamidova: <https://orcid.org/0000-0002-9669-9164>
Н.А. Полунина / N.A. Polunina: <https://orcid.org/0000-0001-5680-4663>
В.А. Лукьянчиков / V.A. Lukyanchikov: <https://orcid.org/0000-0003-4518-9874>
В.А. Далибалдян / V.A. Dalibaldyan: <https://orcid.org/0000-0002-5993-3310>
В.В. Крылов / V.V. Krylov: <https://orcid.org/0000-0001-5256-0905>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Соблюдение прав пациентов. Все пациенты подписали информированное согласие на публикацию своих данных.

Compliance with patient rights. All patients signed an informed consent to the publication of their data.

Статья поступила: 10.01.2025. **Принята к публикации:** 11.12.2025. **Опубликована онлайн:** 10.04.2026.

Article submitted: 10.01.2025. **Accepted for publication:** 11.12.2025. **Published online:** 10.04.2026.