

ВОЗМОЖНОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ЦЕРЕБРАЛЬНОГО КРОВОТОКА У ПАЦИЕНТОВ С ОСТРЫМ ИШЕМИЧЕСКИМ ИНСУЛЬТОМ, ПОЛУЧАВШИХ РАЗЛИЧНЫЕ ВИДЫ РЕПЕРФУЗИОННОЙ ТЕРАПИИ

Захматова Т. В.^{1,2}, Хадисова А. Г.²

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И. И. Мечникова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

Контактная информация:

Захматова Татьяна Владимировна,
ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова»
Минздрава России,
ул. Аккуратова, д. 2, Санкт-Петербург,
Россия, 197341.
E-mail: tvzakh@mail.ru

*Статья поступила в редакцию 11.12.2023
и принята к печати 15.02.2024.*

Резюме

Актуальность. Острый ишемический инсульт (ОИИ) ассоциирован с высоким уровнем смертности, инвалидности и значительными экономическими затратами. Эффективность лечения напрямую зависит от продолжительности «терапевтического окна». Следовательно, для быстрой диагностики, динамического контроля, своевременного принятия тактических решений и прогнозирования результатов лечения необходим доступный, максимально объективный и воспроизводимый диагностический метод. **Цель работы** — определить возможности дуплексного сканирования экстра- и интракраниальных артерий для оценки церебрального кровотока на ранних сроках лечения ОИИ. **Материалы и методы.** В исследование вошли 460 пациентов с ОИИ, у которых изменения церебральной гемодинамики оценивались с помощью дуплексного сканирования до лечения и после применения различных методов реперфузии — системной тромболитической терапии, тромбэкстракции, стентирования и их комбинации. Был проведен ряд клиничко-лучевых сопоставлений с использованием клинических шкал (NIHSS, Rankin) и лучевых методов (мультиспиральной компьютерной томографии, компьютерно-томографической ангиографии и рентгеноконтрастной ангиографии). **Результаты.** В исследовании подтвердили сопоставимость результатов дуплексного сканирования интракраниальных артерий с ангиографическими данными, установили взаимосвязь наличия и степени стенооокклюзирующего поражения экстракраниальных артерий с функциональными и клиническими исходами лечения. Особенностью гемодинамики в интракраниальных артериях в ранние сроки после лечения явилось преобладание гиперперфузии, наличие которой коррелировало с благоприятным клиническим исходом. **Заключение.** Дуплексное сканирование артерий шеи и головного мозга у пациентов с ОИИ может служить методом выбора не только для неинвазивной первичной диагностики поражения, но и контроля эффективности ревазуляризации и прогнозирования исходов.

Ключевые слова: дуплексное сканирование, интракраниальные артерии, острый ишемический инсульт, тромболитическая терапия, тромбэкстракция, экстракраниальные артерии.

Для цитирования: Захматова Т.В., Хадисова А.Г. Возможности ультразвукового исследования церебрального кровотока у пациентов с острым ишемическим инсультом, получавших различные виды реперфузионной терапии. *Трансляционная медицина*. 2024; 11(2): 157-169. DOI: 10.18705/2311-4495-2024-11-2-157-169. EDN: PFXABB

////////////////////////////////////

POSSIBILITIES OF ULTRASOUND EXAMINATION OF THE CEREBRAL BLOOD FLOW IN PATIENTS WITH ACUTE ISCHEMIC STROKE TREATED BY VARIOUS TYPES OF REPERFUSION THERAPY

Tatiana V. Zakhmatova^{1,2}, Amina G. Hadisova²

¹ Almazov National Medical Research Centre, Saint Petersburg, Russia

² North-Western State Medical University named after I. I. Mechnikov, Saint Petersburg, Russia

Corresponding author:

Tatiana V. Zakhmatova,
Almazov National Medical Research Centre,
Akkuratova str., 2, Saint Petersburg, Russia,
197341.

E-mail: tvzakh@mail.ru

Received 11 December 2023, accepted
15 February 2024.

////////////////////////////////////

Abstract

Relevance. Acute ischemic stroke (AIS) is associated with a high level of mortality, disability and, therefore, corresponding economic costs. The effectiveness of treatment is directly dependent on the duration of the “therapeutic window”. Therefore, for the fastest diagnosis, dynamic control, timely adoption of tactical decisions and prediction of treatment results, an accessible, objective and reproducible diagnostic method is required. **Purpose.** To determine the possibilities of duplex ultrasound of extra- and intracranial arteries at the early stages of AIS treatment. **Methods.** The study included 460 patients with AIS before and after using various reperfusion methods: systemic thrombolytic therapy, thrombectomy, stenting, and its combinations. Clinical-radiological comparisons were made using clinical scales and radiological methods: computed tomography, computed angiography and radioangiography. **Results.** The study confirmed comparability of the results of vascular intracranial ultrasound with the data of angiography. The relationship between the presence and degree of stenocclusive lesions of extracranial arteries and the functional and clinical outcome has been established. Hemodynamics in the intracranial arteries at the early stages after treatment were characterized by hyperperfusion, correlated with a favorable clinical outcome. **Conclusion.** Cerebral ultrasound in patients with AIS can serve as the method of choice for non-invasive primary diagnosis and monitoring the effectiveness of revascularization and predicting outcomes.

Key words: acute ischemic stroke, extracranial arteries, intracranial arteries, thrombectomy, thrombolytic therapy, ultrasound duplex scanning.

For citation: Zakhmatova TV, Hadisova AG. Possibilities of ultrasound examination of the cerebral blood flow in patients with acute ischemic stroke treated by various types of reperfusion therapy. *Translational Medicine*. 2024; 11(2): 157-169. (In Rus.) DOI: 10.18705/2311-4495-2024-11-2-157-169. EDN: PFXABB

Список сокращений: ВСА — внутренняя сонная артерия, ДС — дуплексное сканирование, КТА — компьютерно-томографическая ангиография, МСКТ — мультиспиральная компьютерная томография, ОИИ — острый ишемический инсульт, СМА — средняя мозговая артерия, ТЛТ — тромболитическая терапия, ТЭ — тромбэкстракция, ЦАГ — рентгеноконтрастная церебральная ангиография, ТАМХ — усредненная по времени максимальная скорость кровотока, Vsist — систолическая скорость кровотока.

Введение

Острый ишемический инсульт (ОИИ) переносят около 13,7 млн человек в год, а летальность составляет 5,5 млн в год, являясь второй ведущей причиной смерти в мире. Среди всех инсультов до 80 % являются ишемическими, распространенность которых значительно увеличилась в течение последних 30 лет, что связывают, в первую очередь, с расширением возможностей диагностики [1]. Большая вариабельность возраста пациентов, включая трудоспособных лиц, распространение во всех этнических группах, а также существенные затраты системы здравоохранения на лечение данной патологии свидетельствуют об актуальности и важном социально-экономическом значении рассматриваемой проблемы в настоящее время.

Согласно современным рекомендациям Американской ассоциации сердца и инсульта (AHA/ASA, 2016), пациентам следует выполнять механическую тромбэктомию с использованием стент-ретривера, если они соответствуют всем перечисленным критериям: 1) оценка по модифицированной шкале Рэнкина (mRS) от 0 до 1; 2) бассейн ассоциированной артерии — внутренняя сонная артерия (ВСА) или средняя мозговая артерия (СМА) в сегменте M1; 3) возраст старше 18 лет; 4) оценка по шкале Национального института

здравоохранения (NIHSS) — 6 и более; 5) оценка по шкале ASPECTS — 6 и более; 6) возможность начать эндоваскулярное лечение в течение 6 часов после появления симптомов. В рекомендациях отмечено, что при наличии у пациента показаний к внутривенной тромболитической терапии (ТЛТ), она должна быть проведена, даже если рассматривается возможность эндоваскулярного лечения [2]. Предполагается, что сочетание ТЛТ и тромбэкстракции (ТЭ) позволит повысить эффективность лечения пациентов с ОИИ. Очевидной является необходимость изучения долгосрочных результатов в динамике, данные о которых в современной литературе немногочисленны. В систематическом обзоре, основанном на материале 8 исследований, сообщается, что сочетание ТЭ и ТЛТ не приводило к увеличению смертности, позволяло снизить частоту случаев потери трудоспособности в отдаленном периоде при обязательном условии проведения его строго в соответствии с рекомендациями, приведенными выше [2]. Представляется целесообразным поиск дополнительных доказательств, чтобы установить, какой метод реперфузии является более эффективным, а также определить исходные параметры, позволяющие на ранних этапах прогнозировать функциональные результаты у пациентов с ОИИ, для принятия тактических решений.

Цель — определить возможности дуплексного сканирования (ДС) экстра- и интракраниальных артерий для оценки церебрального кровотока на ранних сроках лечения ОИИ и выделить параметры, которые целесообразно использовать для раннего прогнозирования результатов различных методов лечения.

Материалы и методы

В настоящем проспективном исследовании было обследовано 460 пациентов с ОИИ до лече-

Таблица 1. Распределение пациентов по возрасту и полу

Table 1. Distribution of patients by age and gender

Пол	Возрастные категории, лет								Всего (%)
	20–39		40–59		60–79		80–100		
	Абс.	%	Абс.	%	Абс.	%	Абс.	%	Абс.
Мужчины	6	1,3	57	12,4	107	23,3	40	8,7	210
Женщины	7	1,5	30	6,5	141	30,6	72	15,7	250
Всего	13	2,8	87	18,9	248	53,9	112	24,4	460

ния и на 1, 3, 7 сутки после восстановления кровотока. Мужчины составили 45,6 % (210 человек), женщины — 54,4 % (250 пациентов), возраст обследованных — от 23 до 97 лет, средний возраст составил 69 лет (табл. 1). Группы мужчин и женщин были сопоставимы по возрасту. Критериями исключения явились: наличие первичного кровоизлияния в мозг, церебральных артериовенозных мальформаций, непроницаемость височных акустических окон для ультразвука.

ТЛТ была проведена 263 пациентам (группа 1), ТЭ — 87 (группа 2), сочетанное применение ТЛТ и ТЭ — 91 пациенту (группа 3), тромбэкстракция с установкой стента — 19 пациентам (группа 4), рисунок 1.

Комплексное обследование пациентов включало неврологический осмотр, лабораторные исследования, электрокардиографию, эхокардиографию, ДС брахиоцефальных и интракраниальных артерий, мультиспиральную компьютерную томографию (МСКТ) и/или магнитно-резонансную томографию головного мозга, перфузионную компьютерную томографию, спиральную компьютерно-томографическую ангиографию (КТА) сосудов головного мозга, рентгеноконтрастную церебральную ангиографию (ЦАГ). ДС выполняли на ультразвуковом аппарате Vivid E9 компании GE с использованием линейного датчика частотой 5–7,5 МГц при исследовании экстракраниальных артерий и секторного датчика частотой 2–2,5 МГц при исследовании интракраниальных артерий. МСКТ проводили на аппарате Somatom Emotion16 с системой внутривенного болюсного контрастирования MEDRAD Stellant

Injection System и томографе Canon Aquilion Prime SP и GE Revolution EVO. ЦАГ выполняли на ангиографической установке GE Innova IGS 540. Для оценки тяжести неврологического статуса использовали шкалу Национального института здоровья (National Institutes of Health Stroke Scale, NIHSS) и модифицированную шкалу Rankin (mRs).

При ДС проводили оценку подключичных, общих и внутренних сонных артерий, на интракраниальном уровне — изучали параметры кровотока в средней, задней и передней мозговых, позвоночной (V4 сегмент) и базилярной артериях. Оценку проходимости экстракраниальных артерий проводили при продольном и поперечном сканировании в В-режиме, с использованием цветового, энергетического картирования кровотока и импульсно-волновой доплерографии. Исследовали состояние сосудистой стенки, локализацию и протяженность поражения, оценивали степень стеноза. Для определения выраженности стенозирующего процесса в артериях использовали анализ скоростных показателей и спектральных характеристик кровотока, а также оценивали остаточный диаметр в зоне максимального стенозирования. Выявленные стенозические поражения были подразделены на стенозы до 50 %, 50–69 %, 70 % и более площади просвета артерии (рис. 2) [3].

При исследовании интракраниальных артерий оценивали: проходимость артерии, систолическую (V_{sist}) и усредненную по времени максимальную (TAMX) скорости кровотока, индексы периферического сопротивления в интракраниальных артериях с определением коэффициента

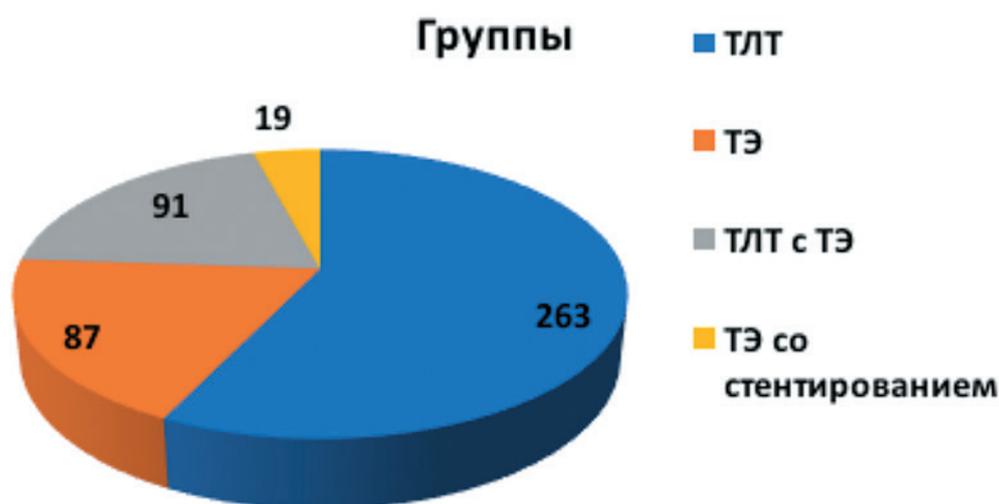


Рис. 1. Распределение пациентов по группам в зависимости от вида проводимой реперфузионной терапии

Figure 1. Distribution of patients depending on the type of reperfusion therapy

асимметрии до лечения, а также на 1, 3 и 7 сутки после проведенной терапии. Характеристики кровотока подразделяли на нормальные, гипо- и гиперперфузию (табл. 2) [4].

Результаты ДС интракраниальных артерий сопоставляли с данными КТА сосудов головного мозга в качестве референсного метода. МСКТ головного мозга выполняли всем пациентам до и после лечения с целью исключения внутримозгового кровоизлияния и оценки степени ишемических изменений. Для количественной оценки сте-

пени ишемического повреждения головного мозга применяли шкалу ASPECTS. ЦАГ выполняли пациентам, которым были показаны рентгенэндоваскулярные методы восстановления церебрального кровотока (197 человек).

Для обработки полученных данных использовался статистический пакет программ Statistica 12.0, SPSS Statistics 17.0. Сравнение групп по количественным показателям проводили с помощью U-критерия Манна-Уитни, по качественным показателям — при помощи точного критерия Фишера

Таблица 2. Критерии оценки кровотока в интракраниальных артериях у пациентов с ОИИ

Table 2. Criteria for assessing blood flow in intracranial arteries in patients with AIS

Артерия	Гипо-перфузия		Гиперперфузия
	Vsist, см/с	TAMX, см/с	Vsist, см/с
СМА	< 60	< 40	> 220
ПМА	< 45	< 30	> 155
ЗМА	< 40	< 25	> 145
ПА	< 20	< 15	> 120
БА	< 30	< 20	> 140

Примечание: ПМА — передняя мозговая артерия, ЗМА — задняя мозговая артерия, ПА — позвоночная артерия, БА — базилярная артерия.

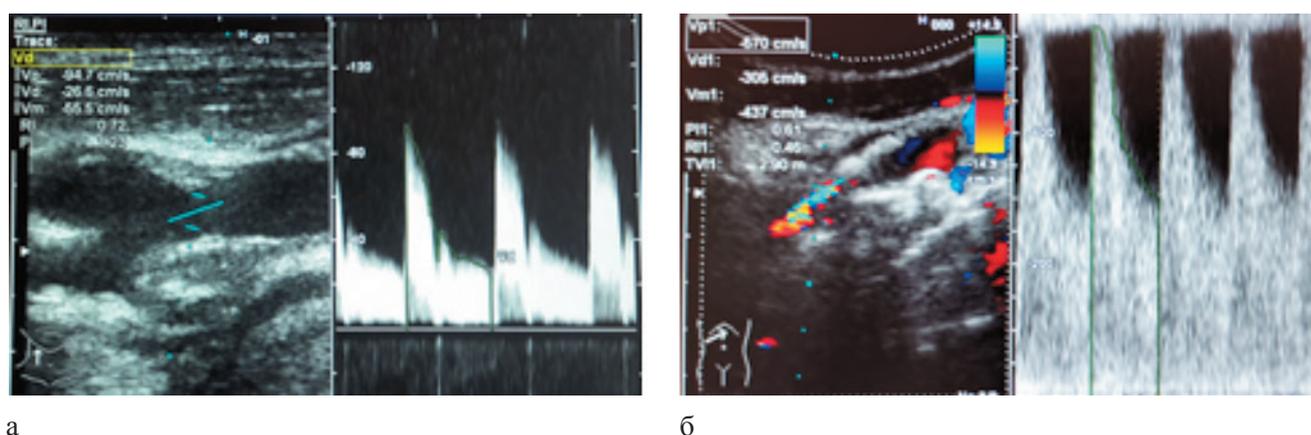


Рис. 2. Дуплексное сканирование сонных артерий на экстракраниальном уровне: гемодинамически незначимый стеноз ОСА в области бифуркации (50 % по ECST) с систолической скоростью кровотока 95 см/с (а), субокклюзия ВСА (стеноз 90 % по NASCET) с ускорением систолической скорости кровотока до 570 см/с и диастолической скорости кровотока 305 см/с (б)

Figure 2. Carotid extracranial arteries ultrasound: hemodynamically insignificant stenosis of the carotid bifurcation (50 %, ECST) with a systolic blood flow velocity 95 cm/s (a), subocclusion of the ICA (stenosis 90 %, NASCET) with acceleration of the systolic blood flow velocity to 570 cm/s and diastolic blood flow velocity 305 cm/s (b)

или Хи-квадрат (χ^2). При проверке статистических гипотез допустимым уровнем ошибки первого типа считалось значение, не превышающее показатель 0,05. Для оценки корреляционной связи параметров использовался метод Спирмена.

Результаты

Время от начала ОИИ до проведения МСКТ и до начала лечения в группах значимо не различалось и в среднем составило 2–3 часа. Распределение пациентов каждой группы по размерам очага, определенного при МСКТ, представлено на рисунке 3. С наибольшей частотой во всех группах регистри-

ровали очаги до 2 см. Достоверно чаще обширные поражения (4–5 см и более 10 см) встречались в группе пациентов, которым выполняли стентирование. Результаты МСКТ головного мозга и КТА церебральных артерий обследованных пациентов представлены в таблицах 3 и 4, данные ультразвукового исследования (ДС) — в таблице 5.

Наиболее частым инфаркт-ассоциированным бассейном во всех группах являлся бассейн СМА, при этом данные КТА и ДС были сопоставимы в 94,1 % случаев (рис. 4, 5). Наибольший процент расхождений наблюдался при поражении дистальных сегментов СМА.

Таблица 3. Результаты МСКТ головного мозга у пациентов с ОИИ

Table 3. Results of cerebral MSCT in patients with AIS

Размер очага	Группа 1		Группа 2		Группа 3		Группа 4
	n	%	n	%	n	%	n
Очаг ишемии не выявлен	30	11,4	5	5,7	6	6,6	2
До 1 см	96	36,5	18	20,7	30	32,9	5
1–2 см	84	32,0	25	28,8	22	24,2	2
2–3 см	23	8,7	7	8,0	8	8,8	1
3–4 см	11	4,2	12	13,8	7	7,7	1
4–5 см	13	4,9	13*	15,0*	13*	14,3*	6*
Более 10 см	6	2,3	7*	8,0*	5*	5,5*	2*

* Значимые статистические различия в группах инвазивного и неинвазивного лечения.

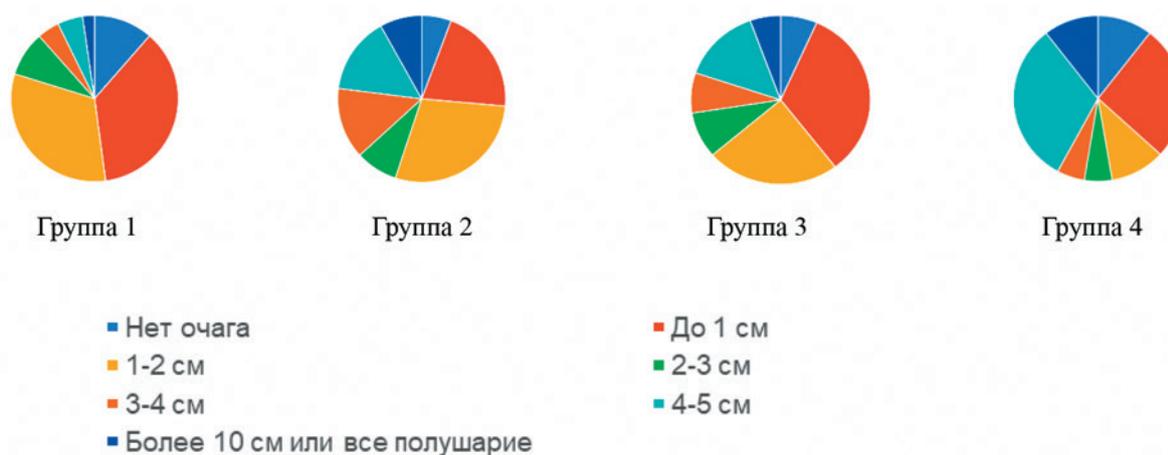


Рис. 3. Распределение пациентов четырех групп в зависимости от размера очага по данным МСКТ

Figure 3. Distribution of patients in four groups depending on the size of the lesion according to MSCT data

Таблица 4. Результаты КТА сосудов головного мозга у пациентов с ОИИ

Table 4. Results of CTA of cerebral vessels in patients with AIS

Данные КТА	Группа 1, n (%)	Группа 2, n (%)	Группа 3, n (%)	Группа 4, n (%)	Всего, n (%)
Тромбоз М1-СМА	88 (33,5)	30 (34,5)	40 (44,0)	16 (84,2)	166 (36,1)
Тромбоз М2 и М3-СМА	135 (51,3)	32 (36,8)	44 (48,4)	5 (26,3)	216 (47,0)
Тромбоз ПМА	28 (10,6)	6 (6,9)	12 (13,2)	5 (26,3)	51 (11,1)
Тромбоз ЗМА	39 (14,8)	17 (19,5)	9 (9,9)	6 (31,6)	71 (15,4)
Тромбоз ПА	15 (5,7)	11 (12,6)	9 (9,9)	4 (21,1)	39 (8,5)
Тромбоз БА	17 (6,5)	13 (14,9)	7 (7,7)	5 (26,3)	42 (9,1)
Окклюзия ВСА	29 (11,0)	21 (24,1)	15 (16,5)	1 (5,3)	66 (14,3)
Стеноокклюдизирующего поражения не выявлено	28 (10,6)	–	3 (3,3)	2 (10,5)	33 (7,2)

Таблица 5. Результаты ДС интракраниальных артерий до лечения пациентов

Table 5. Results of intracranial arteries duplex ultrasound before treatment

Данные ДС	Группа 1, n (%)	Группа 2, n (%)	Группа 3, n (%)	Группа 4, n (%)	Всего, n (%)
Тромбоз М1-СМА	88 (33,4)	32 (36,8)	43 (47,3)	9 (47,4)	172 (37,4)
Тромбоз М2 и М3-СМА	119 (45,2)	32 (36,8)	47 (51,6)	5 (26,3)	203 (44,1)
Тромбоз ПМА	27 (10,3)	4 (4,6)	13 (14,3)	5 (26,3)	49 (10,7)
Тромбоз ЗМА	39 (14,8)	19 (21,8)	10 (11,0)	5 (26,3)	73 (15,9)
Тромбоз ПА	14 (5,3)	11 (12,6)	10 (11,0)	4 (21,1)	39 (8,5)
Тромбоз БА	17 (6,5)	9 (10,3)	8 (8,8)	5 (26,3)	39 (8,5)
Стеноз М1-СМА	3 (1,1)	-	-	-	3 (0,7)
Стеноокклюдизирующего поражения не выявлено	27 (10,3)	-	5 (5,5)	2 (10,5)	34 (7,4)

Примечание: ПМА — передняя мозговая артерия, ЗМА — задняя мозговая артерия, ПА — позвоночная артерия, БА — базилярная артерия.

При ультразвуковом исследовании экстракраниальных артерий наиболее часто во всех группах встречали гемодинамически незначимые стенозы до 50 % либо стеноокклюдизирующие поражения брахиоцефальных артерий отсутствовали (табл. 6).

По данным клинической оценки включенных в исследование пациентов до и после лечения, наиболее высокий балл по шкале NIHSS отмечали в группе 3 по сравнению с группой ТЛТ ($p = 0,032$). После лечения результаты клинической оценки

по шкале NIHSS и шкале Rankin значимо не отличались от исходных ($p > 0,05$), что обосновывает необходимость применения инструментальных методов и поиска ранних предикторов восстановления гемодинамики и функциональных исходов.

При сравнении ТАМХ в интракраниальных артериях до лечения в группе ТЛТ нормальные значения регистрировались у 167 (63,5 %), сниженные — у 93 (35,4 %), повышенные — у 3 (1,1 %) пациентов; в группе ТЭ — у 33 (38,0 %), 53 (60,9 %)

и у 1 (1,1 %) соответственно; в группе комбинированного лечения (ТЛТ и ТЭ) — у 42 (46,2 %), 47 (51,6 %) и 2 (2,2 %) соответственно; в группе соче-

тания ТЭ со стентированием нормальные параметры выявлены у 6 человек (31,6 %), сниженные — у 13 (68,4 %) лиц. Таким образом, в 44,8 % случаев

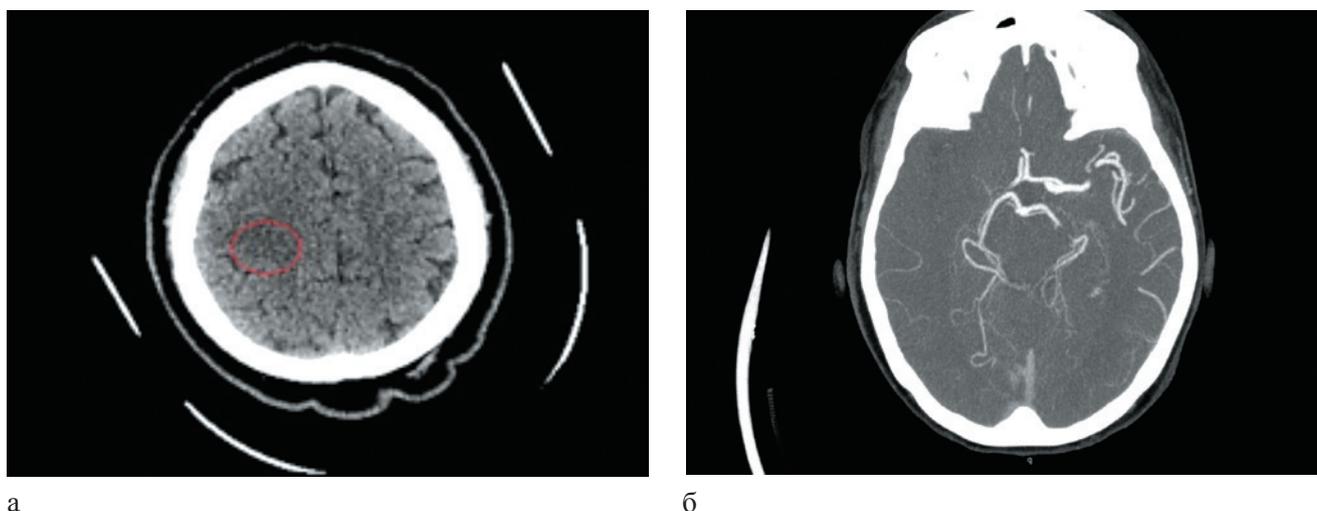


Рис. 4. Мультиспиральная компьютерная томография головного мозга в аксиальной проекции: очаг ишемии в лобной доле справа размером 1,8 x 1,4 см (а). Компьютерная ангиография артерий головного мозга в аксиальной проекции: окклюзия М1 сегмента СМА справа (б)

Figure 4. Cerebral computed tomography in axial plane: a focus of ischemia in the right frontal lobe 1.8 x 1.4 cm (a). Computed angiography of the cerebral arteries in the axial plane: occlusion of the M1 segment of the right MCA (b)

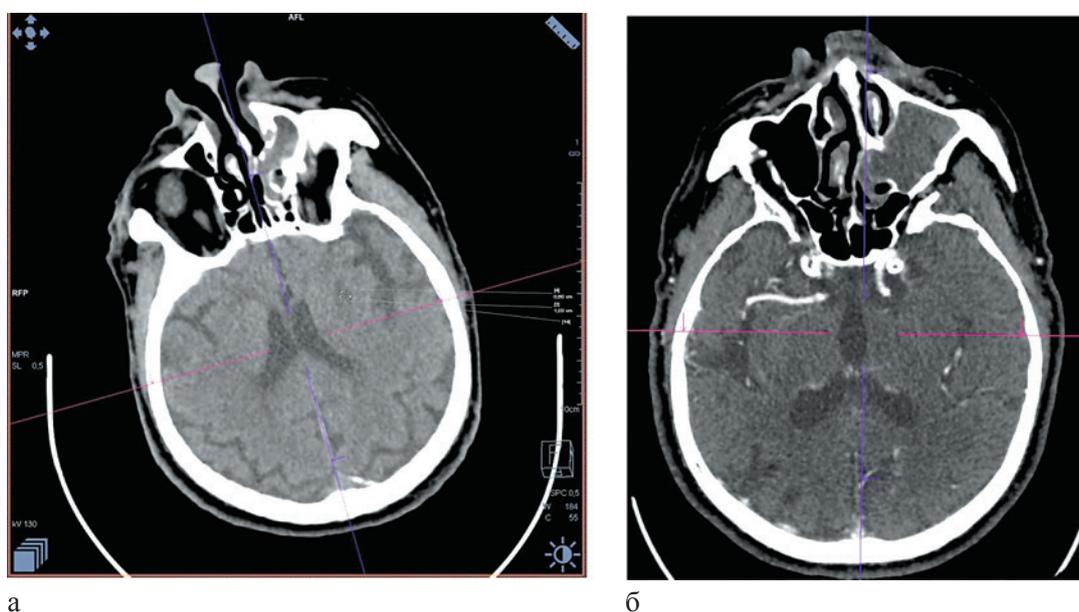


Рис. 5. Мультиспиральная компьютерная томография головного мозга в аксиальной проекции: очаг ишемии в левой островковой доле размером 1,0 x 0,6 см (а). Компьютерная ангиография артерий головного мозга в аксиальной проекции: окклюзия М1 сегмента СМА слева (б)

Figure 5. Cerebral computed tomography in axial plane: a focus of ischemia in the left insular lobe 1.0 x 0.6 cm (a). Computed angiography of the cerebral arteries in the axial plane: occlusion of the M1 segment of the MCA on the left (b)

Таблица 6. Результаты ДС экстракраниальных артерий в группах обследованных пациентов

Table 6. Results of extracranial duplex ultrasound in examined patients

Степень стенозирования (%)	Группа 1, абс. (%)	Группа 2, абс. (%)	Группа 3, абс. (%)	Группа 4, абс. (%)
Менее 50	75 (28,6)	21 (24,2)	28 (30,8)	2 (10,5)
50–59	44 (16,7)	21 (24,2)	17 (18,7)	2 (10,5)
60–69	23 (8,7)	7 (8,0)	9 (9,9)	1 (5,3)
70–79	8 (3,0)	13 (14,9)	14 (15,4)	2 (10,5)
80–90	5 (2,0)	10 (11,5)	7 (7,7)	4 (21,1)
Окклюзия	4 (1,5)	11 (12,6)	5 (5,5)	2 (10,5)
Стенооокклюзирующего поражения не выявлено	104 (39,5)	4 (4,6)	11 (12,0)	6 (31,6)

выявили снижение скоростных показателей кровотока в сосудах головного мозга (рис. 6).

Индексы периферического сопротивления изменялись следующим образом: в группе 1 в пределах нормальных значений находились у 30 (11,4 %) пациентов, снижены — у 180 (68,4 %), повышены — у 53 (20,2 %); в группе 2 — у 6 (6,9 %), 33 (37,9 %) и 48 (55,2 %) соответственно. В группах 3 и 4 нормальные индексы периферического сопротивления имели 7 (7,7 %) и 2 (10,5 %) пациента, сниженные — 46 (50,5 %) и 6 (31,6 %), повышенные — 38 (41,8 %) и 11 (57,9 %) соответственно.

По данным ЦАГ, выполненной в группах 2, 3 и 4 после эндоваскулярного лечения (197 исследований), полное восстановление кровотока зарегистрировано у 70 (80,5 %), 90 (98,9 %) и 19 (100 %) пациентов соответственно; частичное восстановление — у 16 (18,4 %) пациентов группы 2 и 1 (1,1 %) пациента группы 3. Восстановления кровотока не удалось достичь в единственном случае после тромбэкстракции (1,1 %) в связи с развитием геморрагической трансформации очага ишемии. Таким образом, в рассматриваемых группах пациентов эндоваскулярное лечение в целом оказалось эффективным в 99,5 % случаев (рис. 7).

После применения ТЛТ (группа 1) восстановление кровотока наблюдали у 88 (33,5 %) пациентов, что существенно уступало результатам в группах с использованием эндоваскулярного лечения ($p = 0,0001$). Характеристика кровотока в интракраниальных артериях при ДС на 1, 3 и 7 суток после лечения приведена в таблице 7.

Основные изменения церебральной гемодинамики в первые 7 суток после лечения ОИИ заключались в гиперперфузии, восстановление крово-

тока до нормальных параметров к 7 суткам после лечения определяли в 4,6 % случаев в группе ТЛТ и в 36,0 % случаев — в группах инвазивного лечения (рис. 8).

Результаты ДС после лечения были сопоставимы с ангиографическими данными в 97,8 % случаев. Получена статистически значимая корреляционная связь между восстановлением кровотока по результатам ДС на 7 сутки после лечения и клиническим улучшением на момент выписки ($r = 0,76$, $p < 0,05$). Аналогичная сильная взаимосвязь с клиническим исходом была подтверждена для данных ЦАГ ($r = 0,69$, $p < 0,05$). Сильную корреляционную связь установили между выявлением не только нормального кровотока, но и синдромом гиперперфузии в интракраниальных артериях в ранние сроки после лечения и клиническим исходом ($r = 0,86$ и $0,79$ соответственно, $p < 0,05$). Исходное снижение скоростных параметров (ТАМХ) и резистивного индекса в интракраниальных артериях имело значимую обратную корреляционную связь с исходом заболевания и степенью восстановления кровотока ($r = -0,69$ и $-0,85$ соответственно). Проведен анализ частоты и степени поражения экстракраниальных артерий, и установлено, что наличие и степень стенозирования артерий шеи имели отрицательную связь умеренной силы со степенью восстановления кровотока после лечения ($r = 0,64$, $p < 0,05$).

Обсуждение результатов

Применение ДС экстра- и интракраниальных артерий при ОИИ охватывает целый ряд диагностических, тактических и прогностических задач, дает ценную информацию о проходимости

артерий шеи и головного мозга и имеет ряд преимуществ перед другими методами нейровизуализации [4]. Основными ограничениями ДС являются оператор-зависимость, непроницаемость транстемпоральных акустических окон, которая встречалась в исследовании у 4,6 % пациентов, что совпадает с данными других авторов (5–20 % случаев) [5].

По данным литературы, результаты ДС были сопоставимы с данными ЦАГ и КТА [6, 7], сопоставимость результатов ультразвукового исследования экстра- и интракраниальных артерий для диагностики поражений, требующих хирур-

гической реваскуляризации или тромболизиса, достигает 94,1 % в сравнении с КТА. Точность определения локализации окклюзии уменьшается при наличии тандемных поражений и составляет 75–96 % [5, 8].

При обширном поражении головного мозга (ишемическом или геморрагическом) отек тканей может увеличиваться в динамике и изменять скорость кровотока в СМА в первые часы и дни после развития инсульта. По данным Н. Finnsdóttir и соавторов (2020), скорость кровотока в СМА при ДС менее 30 см/с в течение первых 12 часов острого инсульта коррелировала с плохим вос-

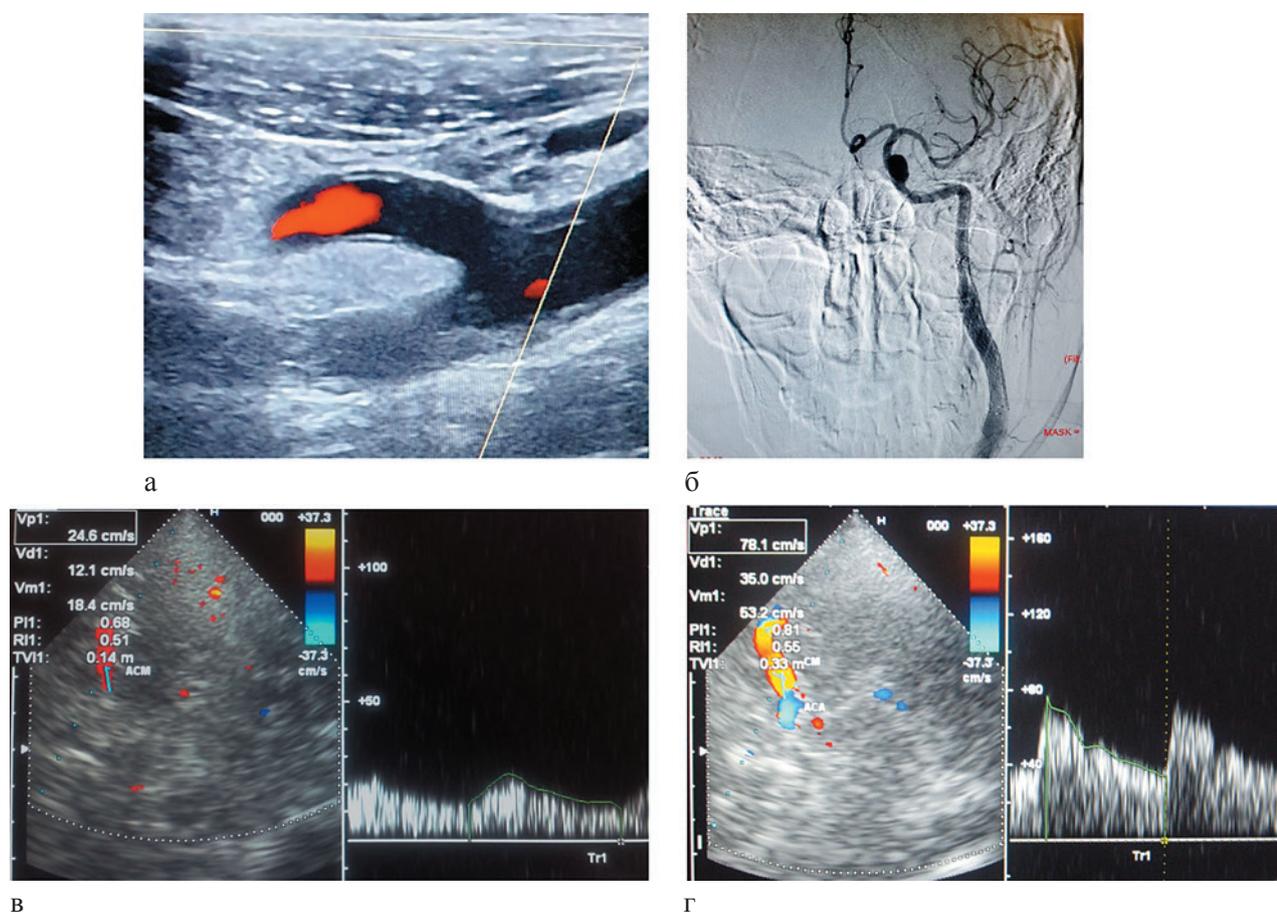


Рис. 6. Дуплексное сканирование брахиоцефальных артерий: тромбоз ВСА слева (а). Церебральная рентгеноконтрастная ангиография: состояние после стентирования ВСА слева, стент проходим, дефектов контрастирования артерий не выявлено (б). Транскраниальное дуплексное сканирование артерий головного мозга через височное окно: низкоскоростной коллатеральный кровоток в М1 сегменте СМА слева до лечения (в), после стентирования ВСА скоростные показатели в М1 сегменте СМА слева в пределах нормативных значений (г)

Figure 6. Brachiocephalic arteries ultrasound: thrombosis of the left ICA (a). Cerebral X-ray contrast angiography: condition after stenting of the left ICA, the stent is passable, no arterial contrast defects were identified (b). Transcranial duplex ultrasound of the cerebral arteries through the temporal window: low-speed collateral blood flow in the M1 segment of the left MCA before treatment (c), after stenting of the ICA, blood flow velocity in the M1 segment of the left MCA are within the normative values (d)

становлением [8]. В настоящей работе выявлена значимая взаимосвязь скоростных показателей в интракраниальных артериях с клиническими и функциональными исходами, что позволяет

рассматривать метод ДС в качестве инструмента для мониторинга церебрального кровотока у пациентов с ОИИ и оценки прогнозирования результатов лечения.

Таблица 7. Результаты ДС интракраниальных артерий в ранние сроки после лечения

Table 7. Results of intracranial arteries duplex ultrasound at the early stages after treatment

Результат ДС	Сроки после лечения	Группа 1, n (%)	Группа 2, n (%)	Группа 3, n (%)	Группа 4, n (%)
Нормальный кровоток	1 сут.	5 (1,9)	18 (20,7)	9 (9,9)	6 (31,6)
	3 сут.	8 (3,1)	21 (24,1)	24 (26,4)	6 (31,6)
	7 сут.	12 (4,6)	24 (27,6)	39 (42,9)	8 (42,1)
Гипоперфузия	1 сут.	6 (2,3)	11 (12,6)	8 (8,8)	1 (5,3)
	3 сут.	4 (1,5)	8 (9,2)	6 (6,6)	—
	7 сут.	4 (1,5)	5 (5,7)	2 (2,2)	—
Гиперперфузия	1 сут.	17 (6,5)	57 (65,6)	74 (81,3)	12 (63,1)
	3 сут.	18 (6,8)	57 (65,6)	61 (67,0)	13 (68,4)
	7 сут.	14 (5,3)	57 (65,6)	50 (54,9)	11 (57,9)
Отсутствие кровотока	1 сут.	235 (89,3)	1 (1,1)	—	—
	3 сут.	233 (88,6)	1 (1,1)	—	—
	7 сут.	233 (88,6)	1 (1,1)	—	—



а



б

Рис. 7. Рентгеноконтрастная церебральная ангиография во фронтальной проекции: отсутствие контрастирования СМА — окклюзия М1 сегмента СМА (а), восстановление кровотока в СМА после тромбэкстракции (б)

Figure 7. X-ray contrast cerebral angiography in the frontal plane: lack of MCA contrast — occlusion of the M1 segment of the MCA (a), restoration of blood flow in the MCA after thrombectomy (b)

В раннем периоде после лечения среди обследованных пациентов чаще всего наблюдалась гиперперфузия. По данным зарубежных авторов, гиперперфузия в интракраниальных артериях в раннем периоде после лечения ОИИ может иметь прогностическое значение [9]. Среди обследованных нами пациентов данный феномен был связан с благоприятными клиническими и функциональными исходами.

В работе Y. J. Chang (2020) доказано прогностическое значение экстракраниальных стенозов для ранних и отдаленных (12 мес.) функциональных результатов лечения ОИИ [10]. В нашем исследовании выявлена взаимосвязь церебральной гипоперфузии и снижения уровня периферического сопротивления в интракраниальных сосудах с неблагоприятными ранними результатами.

Заключение

В настоящей работе подтвердили значимую сопоставимость результатов ультразвукового исследования интракраниальных артерий с данными компьютерной ангиографии: 94,1 % до лечения и 97,8 % после реперфузии. Среди исходных параметров ДС артерий шеи и головного мозга на клинический исход оказывают влияние наличие и степень стеноокклюзирующего поражения брахиоцефальных артерий, скоростные показатели кровотока и индексы периферического сопротивления в интракраниальных артериях. В раннем периоде после лечения ОИИ изменения кровотока в интракраниальных артериях пред-

ставлены в основном гиперперфузией, наличие которой коррелирует с благоприятным клиническим исходом. Наилучшие результаты лечения (полное восстановление кровотока) были достигнуты при применении ТЭ, а также при сочетании ТЭ с ТЛТ и стентированием (80,5 %, 98,9 % и 100 % соответственно). Восстановление кровотока после ТЛТ наблюдали в 33,5 % случаев, что существенно уступает результатам в группах с использованием эндоваскулярного лечения ($p = 0,0001$).

Конфликт интересов / Conflict of interest

Авторы заявили об отсутствии потенциально-го конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest.

Список литературы / References

1. Bracard S, Ducrocq X, Mas JL, et al. Mechanical thrombectomy after intravenous alteplase versus alteplase alone after stroke (THRACE): a randomised controlled trial. *Lancet Neurol.* 2016;15(11):1138–47. DOI: 10.1016/S1474-4422(16)30177-6.
2. Meurer WJ, Barth BE, Gaddis G, et al. Rapid systematic review: intra-arterial Thrombectomy (“clot retrieval”) for selected patients with acute ischemic stroke. *J Emerg Med.* 2017;52(2):255–61. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jemermed.2016.10.004>.
3. Glushkov NI, Ivanov MA, Zagorulko AA, et al. Choice of tactical approaches for combined coronary and carotid lesions of atherosclerotic genesis. *Profilakticheskaya i klinicheskaya medicina.* 2019;3:53–58. In Russian [Глушков Н.И., Иванов М.А., Загорюлько А.А. и др. Выбор

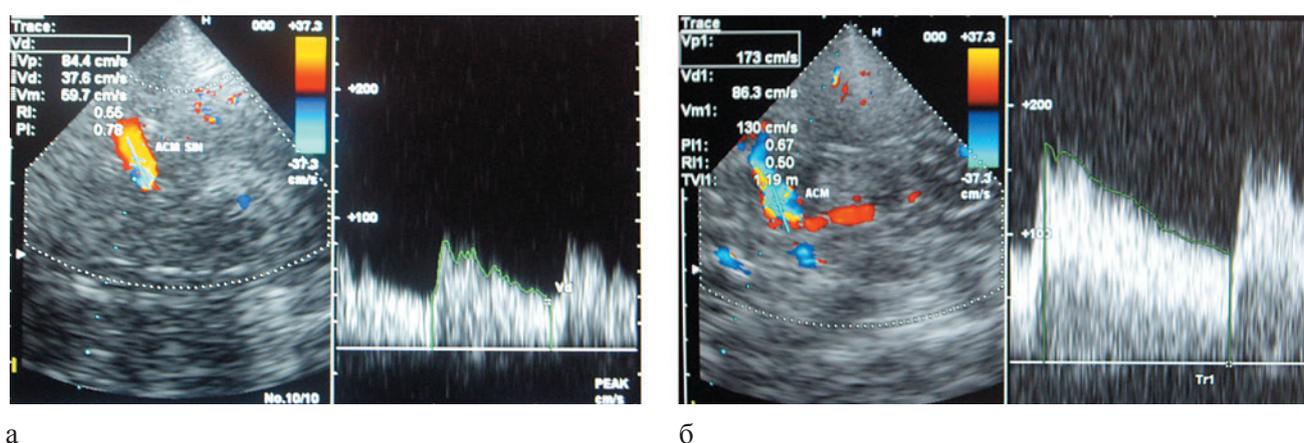


Рис. 8. Транскраниальное дуплексное сканирование артерий головного мозга через височное окно: после проведения тромбэкстракции скоростные показатели в СМА в пределах нормативных значений (а) и превышают норму — синдром гиперперфузии в СМА (б)

Figure 8. Transcranial duplex ultrasound of the cerebral arteries through the temporal window: after thrombectomy, blood flow velocity in the MCA are within the normative values (a) and exceed the norm — hyperperfusion syndrome in the MCA (b)

тактических подходов при сочетанном поражении коронарного и каротидного русла атеросклеротического генеза. Профилактическая и клиническая медицина. 2019;3:53–58].

4. Kulikov VP, Shul'gina LE, Dicheskul ML, et al. Ultrasound diagnostic of vascular diseases. M.: STROM, 2015. 508 p. In Russian [Куликов В.П., Шульгина Л.Э., Дическул М.Л. и др. Ультразвуковая диагностика сосудистых заболеваний. М.: СТРОМ, 2015. Вып. 3. 508 с.].

5. Robba C, Goffi A, Geeraerts T, et al. Brain ultrasonography: methodology, basic and advanced principles and clinical applications. A narrative review. *Intensive Care Medicine*. 2019;45(7):913–927. DOI: 10.1007/s00134-019-05610-4

6. Zhou J, Shan Y, Hu P. A systematic review and meta-analysis on transcranial doppler in diagnosing ischemic cerebrovascular disease. *Annals of Palliative Medicine*. 2021;10 (8):8963–8971.

7. Hamidova LT. Ultrasound and functional diagnostic methods in patients with ischemic stroke and ruptured cerebral arterial aneurysms. Moscow, 2020. 386 p. In Russian [Хамидова Л.Т. Ультразвуковые и функциональные методы исследования у больных с ишемическим инсультом и разрывами артериальных аневризм головного мозга. М., 2020. 386 с.].

8. Finnsdóttir H, Szegedi I, Oláh L, et al. The applications of transcranial Doppler in ischemic stroke. *Ideggyogyaszati szemle*. 2020;73(11–12):367–378. DOI: 10.18071/isz.73.0367.

9. Moniche F, Escudero-Martínez I, Mancha F, et Al. The Value of Transcranial Doppler Sonography in Hyperperfusion Syndrome after Carotid Artery Stenting: A Nationwide Prospective Study. *J Stroke*. 2020;22(2):254–257. DOI: 10.5853/jos.2020.00682. DOI: 10.5853/jos.2020.00682.

10. Chang YJ, Liu CK, Wu WP, et al. The prediction of acute ischemic stroke patients' long-term functional outcomes treated with bridging therapy. *BMC Neurol*. 2020; 22. DOI: 10.1186/s12883-020-1610-1.

Информация об авторах:

Захматова Татьяна Владимировна, д.м.н., доцент кафедры лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России, доцент кафедры лучевой диагностики ФГБОУ ВО «СЗГМУ им. И. И. Мечникова» Минздрава России;

Хадисова Амина Гаджиевна, аспирант кафедры лучевой диагностики ФГБОУ ВО «СЗГМУ им. И. И. Мечникова» Минздрава России.

Authors information:

Tatiana V. Zahmatova, M. D. Med., associate professor of radiology department, Almazov National Medical Research Centre, associate professor of radiology department, North-West State Medical University named after I. I. Mechnikov, Saint Petersburg, Russian Federation.

Amina G. Hadisova, postgraduate student, North-Western State Medical University named after I. I. Mechnikov.