

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)  
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-2020-3-114-122>

# Нейровизуализационные паттерны хронической недостаточности мозгового кровообращения с оценкой церебральной перфузии в зависимости от уровня когнитивных расстройств

© Чухонцева Е.С. \*, Морозова Т.Г., Борсуков А.В.

ФГБОУ ВО «Смоленский государственный медицинский университет» Минздрава России; 214019 Смоленск, ул. Крупской, 28, Российская Федерация

**Цель исследования:** оценить нейровизуализационные паттерны хронической недостаточности мозгового кровообращения с оценкой церебральной перфузии в зависимости от уровня когнитивных расстройств.

**Материал и методы.** Обследовано 58 человек в возрасте 50–79 лет: 45 пациентов с диагнозом «хроническая недостаточность мозгового кровообращения» (ХНМК) и 13 условно здоровых добровольцев. Пациенты с ХНМК были ранжированы на 3 группы в зависимости от тяжести когнитивных расстройств (КР). МР-протокол (Toshiba «Vantage Titan», 1,5 Тл) включал: T1-, T2-, T2\*-ВИ, DWI, FLAIR и бесконтрастную МР-перфузию (ASL – Arterial Spin Labeling). Анализ МР-паттернов ХНМК проводился по критериям STRIVE. По данным ASL-перфузии оценивался общий церебральный кровоток и регионарный в лобных и теменных долях.

**Результаты.** Выявлена зависимость между степенью лейкоареоза, типом расширения периваскулярных пространств Вирхова–Робина и уровнем КР. По данным ASL общий церебральный кровоток выше в группах без КР и у пациентов с выраженными КР. У пациентов с легкими КР – диффузное снижение церебральной перфузии. Данный феномен объясняется начальными нарушениями проницаемости гематоэнцефалического барьера, повреждением микроциркуляторного русла. Относительная гиперперфузия в коре лобных и теменных долей пациентов с деменцией свидетельствует о неэффективности усиления коркового кровотока и сформировавшемся шунтирующем кровотоке из-за высокого сопротивления измененных мелких церебральных сосудов в условиях высоких пульсативных свойств магистральных артерий.

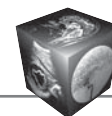
**Заключение.** ASL-перфузия – дополняющее звено к критериям STRIVE в диагностике ХНМК. Отсутствие изменения церебральной перфузии у пациентов с субъективными проявлениями ХНМК обуславливает целесообразность поиска новых методов диагностики доклинических стадий сосудистых когнитивных расстройств.

**Ключевые слова:** скорость церебрального кровотока, ASL-перфузия головного мозга, бесконтрастная МР-перфузия, хроническая недостаточность мозгового кровообращения, болезнь малых церебральных сосудов, когнитивные расстройства

**Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.**

**Для цитирования:** Чухонцева Е.С., Морозова Т.Г., Борсуков А.В. Нейровизуализационные паттерны хронической недостаточности мозгового кровообращения с оценкой церебральной перфузии в зависимости от уровня когнитивных расстройств. *Медицинская визуализация*. 2020; 24 (3): 114–122.  
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-2020-3-114-122>

**Поступила в редакцию:** 20.03.2020. **Принята к печати:** 08.05.2020. **Опубликована online:** 30.09.2020.



# Neuroimaging patterns of chronic cerebrovascular insufficiency with evaluation of cerebral perfusion depending on the level of cognitive disorders

© Ekaterina S. Chukhontseva\*, Tatyana G. Morozova, Aleksei V. Borsukov

Smolensk State Medical University; 28, Krupskoy str., Smolensk, 214019, Russian Federation

**Aim.** To evaluate the neuroimaging patterns of chronic cerebrovascular insufficiency with cerebral perfusion assessment depending on the level of cognitive impairment.

**Materials and methods.** The 58 patients aged 50–79 years were examined: 45 patients with a diagnosis of chronic cerebrovascular insufficiency and 13 conditionally healthy volunteers. Patients with Chronic cerebrovascular insufficiency were ranked into three subgroups depending on the severity of cognitive impairment (CI). T1-, T2, T2\*-VI, DWI, FLAIR and non-contrast MR perfusion (ASL) were included in the MR-protocol (Toshiba Vantage Titan, 1.5 T). The analysis of MRM patterns of Chronic cerebrovascular insufficiency was carried out according to STRIVE criteria. The total cerebral blood flow and regional in the frontal and parietal lobes were evaluated by the ASL-perfusion.

**Results.** A relationship was found between the degree of leukoaraiosis, the type of expansion of the perivascular spaces of Virchow-Robin and the level of CI. According to ASL, total cerebral blood flow is higher in groups without CI and in patients with severe CI. There is a diffuse decrease of cerebral perfusion in patients with mild CI. This phenomenon is explained by initial impairment of the blood-brain barrier permeability, damage to the microvasculature. Relative hyperperfusion in the cortex of the frontal and parietal lobes of patients with dementia indicates the ineffectiveness of increased cortical blood flow and the resulting shunt blood flow due to the high resistance of the altered small cerebral vessels under high pulsating properties of the main arteries.

**Conclusion.** ASL perfusion is a complementary link to the STRIVE criteria in the diagnosis of chronic cerebrovascular insufficiency. The absence of changes in cerebral perfusion in patients with subjective manifestations of chronic cerebrovascular insufficiency makes it advisable to search for new methods for the diagnosis of preclinical stages of vascular cognitive impairment.

**Keywords:** cerebral blood flow, ASL-perfusion of the brain, non-contrast MR-perfusion, chronic cerebrovascular insufficiency, small vessel disease, cognitive impairment

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

**For citation:** Chukhontseva E.S., Morozova T.G., Borsukov A.V. Neuroimaging patterns of chronic cerebrovascular insufficiency with evaluation of cerebral perfusion depending on the level of cognitive disorders. *Medical Visualization*. 2020; 24 (3): 114–122. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2020-3-114-122>

**Received:** 20.03.2020.

**Accepted for publication:** 08.05.2020.

**Published online:** 30.09.2020.

## Введение

Хроническая недостаточность мозгового кровообращения (ХНМК) – синдром хронического прогрессирующего поражения головного мозга сосудистой этиологии, который развивается в результате повторных острых нарушений мозгового кровообращения (клинически явных или бессимптомных) и/или хронической гипоперфузии головного мозга. В России большинство специалистов рассматривают это патологическое состояние как единое целое без выделения отдельных клинических синдромов. Данное представление формирует и целостный подход к диагностике и подбору терапии [1]. Чаще всего причиной ХНМК является поражение сосудов небольшого калибра – так называемая церебральная микроангиопатия, клас-

сическими причинами которой являются артериальная гипертензия и сахарный диабет [2, 3]. Указанные заболевания сопровождаются нарушением функции эндотелия сосудов головного мозга, что в свою очередь ведет к сдвигу баланса между вазодилатацией и вазоконстрикцией в сторону вазоконстрикции, к повышению проницаемости гематоэнцефалического барьера и развитию феномена сладжа и тромбоза в небольших сосудах [4, 5]. В последние десятилетия в мировой клинической медицине появился и исследуется клинико-радиологический феномен, получивший название “болезнь мелких церебральных сосудов” (БЦМС) – small vessel disease. Данный термин объединяет клинические, радиологические, биохимические признаки поражения перфо-



рантных артерий, артериол, венул и капилляров, которые являются элементами кровоснабжения глубоких структур головного мозга [6]. По мнению зарубежных ученых, БЦМС является причиной 45% деменций [7, 8], что обосновывает постоянный интерес и более глубокое изучение данной проблемы. К БЦМС, отражающей ХНМК, в настоящее время относят недавний мелкий субкортикальный инфаркт, лакуны, гиперинтенсивность белого вещества (ГИБВ), лакуны предположительно сосудистого происхождения, расширенные периваскулярные пространства, церебральные микрокровоизлияния и атрофию вещества мозга [9]. Для унификации заключений магнитно-резонансной томографии (МРТ) рекомендуется описывать изменения при БЦМС по стандарту STRIVE (STandard for Reporting Vascular changes on nEuroimaging) [9]. Изучение перфузии мозга, которое не отражено в данном стандарте, крайне важно для диагностики различных цереброваскулярных и дегенеративных заболеваний и, как следствие, когнитивных и психических нарушений, старения [10]. Одним из основных параметров перфузии мозга является скорость мозгового кровотока (CBF – Cerebral Blood Flow), измеряемая в мл/100 г/мин. К методикам оценки CBF относятся перфузионная компьютерная томография (КТ), однофотонная эмиссионная КТ и “золотой стандарт” количественного измерения перфузии мозга – позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ) с использованием короткоживущих радиоактивных маркеров.

Бесконтрастная МР-перфузия (метод ASL – arterial spin labeling) является экономически доступным методом исследования не только для крупных центров, как вышеперечисленные методы, но и для многих клинических стационаров [11].

В настоящее время проведен ряд экспериментов по валидации и стандартизации значений CBF в сравнении с ПЭТ [12–14]. У здоровых добровольцев показана высокая корреляция значений CBF, измеренных с помощью ПЭТ и ASL. Также сопоставимыми оказались данные ASL перфузии мозга по сравнению с контрастной МР-перфузией [15, 16], перфузионной КТ [17, 18].

В предыдущих исследованиях было продемонстрировано локальное снижение кровотока при лобно-височной деменции, болезни Альцгеймера и умеренных когнитивных нарушениях [19–21]. Поскольку большинство исследований включало выборку пациентов уже с выраженной деменцией независимо от этиологии, представляет интерес изучение перфузионных характеристик доклинических стадий ХНМК.

## Цель исследования

Оценить нейровизуализационные паттерны ХНМК с оценкой церебральной перфузии в зависимости от уровня когнитивных расстройств.

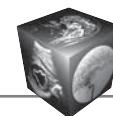
## Материал и методы

В исследовании принимало участие 58 человек в возрасте 50–79 лет, среди них 45 пациентов (30 женщин и 15 мужчин, медиана возраста 66 [63; 70] лет) с клинически выставленным диагнозом “хроническая недостаточность мозгового кровообращения” и МРТ-признаками церебральной микроангиопатии. Данные пациенты были разделены на 3 исследуемые группы: I – пациенты без когнитивных нарушений, но с симптомами ранней стадии ХНМК, имеющие по шкале MoCA (Монреальской оценки когнитивной функции) более 26 баллов ( $n = 15$ ), II – пациенты с легкими и умеренными когнитивными нарушениями (по MoCA – от 20 до 26 баллов) ( $n = 18$ ), III – пациенты с деменцией (по MoCA – менее 20 баллов) ( $n = 12$ ). Группу контроля составили 13 условно здоровых добровольцев (7 женщин и 6 мужчин, медиана возраста 53 [50; 57] года) без клинической симптоматики и очаговых изменений в веществе головного мозга по данным МРТ.

Нейровизуализация головного мозга проводилась при помощи магнитно-резонансного томографа “Vantage Titan” (Toshiba, Япония) с величиной магнитной индукции 1,5 Тл.

Протокол обследования включал: T1-, T2-, T2\*-взвешенные изображения, диффузионно-взвешенные изображения (DWI), FLAIR и бесконтрастную МР-перфузию (ASL) в аксиальной и сагиттальной проекциях для оценки вещества мозга и получения подробных анатомических данных с целью последующего наложения на них карт кровотока. Принципиальным в исследовании являлось использование режима перфузионной МРТ без введения контрастного вещества (ASL).

Визуальный анализ МР-паттернов ХНМК проводился по критериям STRIVE двумя независимыми нейрорадиологами [9]. Лакуны оценивались в белом веществе полушарий и подкорковых структурах количественно: <5, 5–10 и >10. ГИБВ анализировалась качественно по шкале лейкоареоза Fazekas (стадии 0–3, далее Fz0–Fz3), микрокровоизлияния учитывались по категориям: <5, 5–10 и >10 отдельно в подкорковых структурах и по долям мозга. Периваскулярные пространства оценивали по трем типам: I тип – наличие вдоль лентикулоспирных артерий, входящих в базальные ганглии через переднее перфорированное вещество; II тип – вдоль путей перфорирующих медуллярных артерий, когда они входят в корти-



кальное серое вещество по высоким выпуклостям и распространяются на белое вещество; III тип – в среднем мозге. Недавние мелкие субкортикальные инфаркты у исследуемой группы не встречались. Оценка атрофии головного мозга проводилась путем измерения ширины боковых желудочков на уровне передних рогов, тел и ширины III желудочка с определением вентрикуло-краниальных индексов. Данные ASL обрабатывались в ASLtbx с получением цветowych перфузионных карт CBF. Для измерения общего церебрального кровотока обозначалась область интереса (ROI – region of interest). Полученные значения CBF сопоставлялись с выраженностью МР-паттернов ХНМК и уровнем когнитивных расстройств. Демографические и клинические данные, а также результаты измерений МР-паттернов и показателей церебральной перфузии заносились в базу данных, созданную в Microsoft Excel (Office 2016). Статистическая обработка данных проводилась с помощью статистического пакета Statistica, версия 6.0 с использованием парного двухвыборочного t-теста, метода Крускаллы–Уоллиса ( $p \leq 0,05$ ).

### Результаты

В результате нашего исследования были получены и проанализированы МР-изображения головного мозга испытуемых пациентов по критериям STRIVE. Данные по частоте встречаемости того или иного признака представлены в табл. 1.

В режиме DWI у всех пациентов (100%) была исключена острая ишемия головного мозга.

По данным, представленным в табл. 1, не выявлено статистической зависимости между наличи-

ем у пациентов сосудистых лакун и уровнем когнитивной дисфункции ( $p > 0,05$ ). В I исследуемой группе лейкоареоз Fz1–Fz2 выявлен в 66,6% случаев, во II группе – в 83,4%, в III группе – в 100% случаев. Прослеживается прямая пропорциональная зависимость между степенью лейкоареоза и уровнем когнитивных расстройств (чем больше уровень когнитивного дефицита, тем выше степень лейкоареоза встречается в данной исследуемой группе) ( $p = 0,004$ ). Аналогичный тип зависимости характерен для признака расширенных периваскулярных пространств Вирхова–Робина ( $p = 0,002$ ). Недостаточной выборка оказалась для определения взаимосвязи между наличием микрокровоизлияний и атрофии вещества головного мозга.

На этапе постобработки ASL-данных из 58 исследуемых пациентов были исключены из статистической обработки трое (1 пациент из II исследуемой группы, 2 – из III группы). У данных пациентов определялось выраженное снижение показателя CBF (мозговой кровотока) по одному из полушарий головного мозга с аномальным повышением перфузии в другом. Данные изменения отмечались у лиц как пожилого, так и среднего возраста с признаками атеросклеротического поражения брахиоцефальных артерий (стеноз одной из внутренних сонных артерий более 60%) по данным ультразвукового исследования. Зависимость когнитивных функций от уровня церебральной перфузии у данных пациентов не оценивалась для нормальности распределения выборки.

Средняя скорость церебрального кровотока (CBF – cerebral blood flow) в мл/100 г/мин, оценен-

**Таблица 1.** МР-паттерны хронической ишемии головного мозга в исследуемых группах (по стандарту STRIVE)  
**Table 1.** MR patterns of chronic cerebral ischemia in the studied groups (according to the STRIVE standard)

| МР-паттерны                              | I группа – пациенты без КР**, n (%) | II группа – с легкими КР, n (%) | III группа – с выраженными КР, n (%) |
|--|-------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|
| Лакуны                                   | 1 (6,7)                             | 0 (0)                           | 2 (16,7)                             |
| ГИБВ*:                                   |                                     |                                 |                                      |
| Fazekas 0                                | 5 (33,3)                            | 3 (16,6)                        | 0 (0)                                |
| Fazekas 1                                | 8 (53,4)                            | 7 (38,9)                        | 2 (16,6)                             |
| Fazekas 2                                | 2 (13,3)                            | 8 (44,5)                        | 5 (41,7)                             |
| Fazekas 3                                | 0 (0)                               | 0 (0)                           | 5 (41,7)                             |
| Периваскулярные пространства (по типам): |                                     |                                 |                                      |
| I тип                                    | 2 (13,3)                            | 8 (44,5)                        | 5 (41,7)                             |
| II тип                                   | 0 (0)                               | 5 (27,8)                        | 6 (50)                               |
| III тип                                  | 0 (0)                               | 0 (0)                           | 1 (8,3)                              |
| Микрокровоизлияния                       | 0 (0)                               | 1 (5,6)                         | 1 (8,3)                              |
| Атрофия                                  | 0 (0)                               | 1 (5,6)                         | 3 (25)                               |

\*ГИБВ – гиперинтенсивность белого вещества, \*\*КР – когнитивные расстройства.

**Таблица 2.** Медианы скорости церебрального кровотока в мл/100 г/мин у пациентов с хронической ишемией головного мозга в исследуемых группах**Table 2.** Median cerebral blood flow in ml /100 g / min in patients with chronic cerebral ischemia in the study groups

| Зона интереса  | СВФ* в I группе – без КР**, мл/100 г/мин | СВФ во II группе – с легкими КР, мл/100 г/мин | СВФ в III группе – с тяжелыми КР, мл/100 г/мин |
|--|--|---|--|
| Общий мозговой кровоток по полушариям мозга                          | 73,7 [69,6; 76,7]                        | 45,6 [44,3; 49,7]                             | 71,9 [70,3; 75,5]                              |
| Регионарный кровоток в лобной и теменной коре                        | 70,3 [68,2; 73,5]                        | 53,5 [52,1; 54,6]                             | 88,5 [85,4; 90,3]                              |
| Регионарный кровоток в подкорковых структурах и семиовальных центрах | 68,7 [66,3; 83,9]                        | 43,7 [41,3; 45,5]                             | 33,3 [31,2; 34,5]                              |

\*СВФ – cerebral blood flow /скорость церебрального кровотока, \*\*КР – когнитивные расстройства.

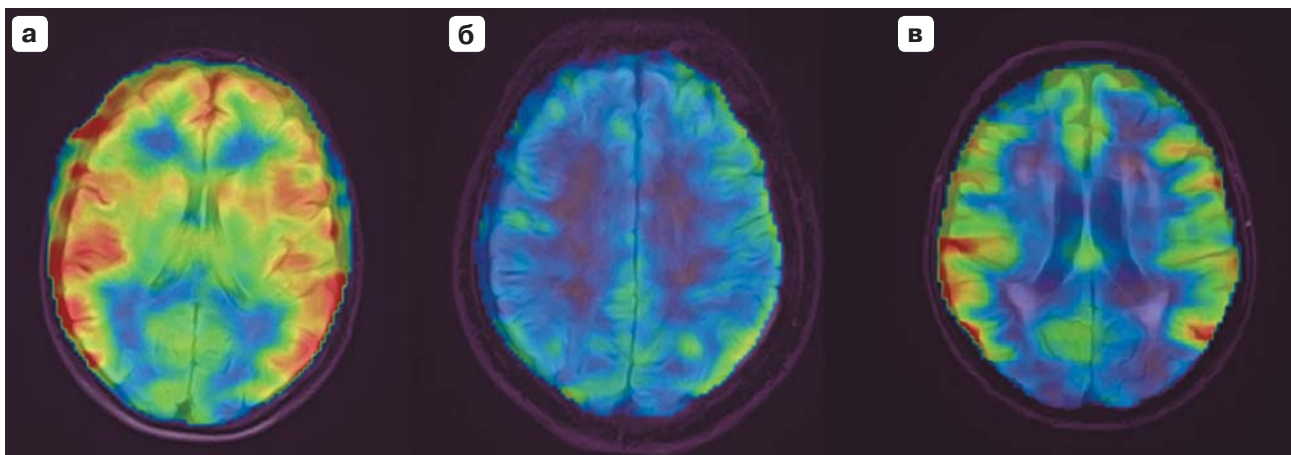
ная при помощи ROI-анализа по полученным ASL-изображениям в исследуемых группах, представлена в табл. 2.

По данным ASL-перфузии при сопоставлении исследуемых групп вычислены статистически значимые различия для параметра СВФ, данный показатель значимо выше в I и III группах –  $M = 73,7$  [69,6; 76,7] и  $M = 71,9$  [70,3; 75,5] мл/100 г/мин соответственно и ниже во II –  $M = 45,6$  [44,3; 49,7] мл/100 г/мин ( $p = 0,001$ ). У всех пациентов II группы ( $n = 17$ ) выявлено диффузное снижение церебральной перфузии. При оценке регионарного кровотока у данных пациентов гипоперфузия выявляется как в области коры головного мозга, так и в подкорковых структурах и белом веществе мозга. В III группе при нормальных показателях общего мозгового кровотока у всех пациентов ( $n = 10$ ) выявлены статистически значимое снижение регионарного кровотока в глубоких структурах

головного мозга и регионарная гиперперфузия коры головного мозга у 80% испытуемых ( $n = 8$ ) (см. рисунок).

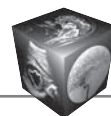
### Обсуждение

Дисрегуляторные расстройства в системе артерио-, вено- и ликворотока являются ведущими проявлениями синдрома когнитивных нарушений у больных с ХНМК [22–24], а именно их наличие наряду с распространенностью лейкоареоза 2 и 3 стадии по шкале Fazekas определяется Международной ассоциацией сосудистых поведенческих и когнитивных расстройств VASCOG (2014) в качестве диагностических критериев сосудистых когнитивных расстройств [25]. В нашем исследовании подтверждена зависимость между степенью лейкоареоза, а также типом расширения периваскулярных пространств и уровнем умеренных и выраженных когнитивных расстройств, однако



**Рисунок.** Карты СВФ, созданные в режиме ASL-перфузии головного мозга. **а** – пациент I исследуемой группы с субъективными жалобами; **б** – пациент II группы с легкими когнитивными нарушениями; **в** – пациент III группы с тяжелым когнитивным дефицитом.

**Figure.** CBF maps created in ASL perfusion of the brain. **a** – patient of the study group I with subjective complaints; **b** – a patient of group II with mild cognitive impairment; **v** – a patient of group III with severe cognitive deficit.



у пациентов с субъективными жалобами критерии STRIVE не объективизируют выставленный диагноз ХНМК и не подтверждают БЦМС.

Определение церебральной перфузии методом ASL у пациентов с легкими когнитивными нарушениями выявило феномен гипоперфузии, что объясняется начальными нарушениями проницаемости гематоэнцефалического барьера, повреждением микроциркуляторного русла и коррелирует с появлением у данной группы более выраженной ГИБВ (Fazekas 1–2). У пациентов с деменцией значимая гипоперфузия в подкорковых структурах и белом веществе мозга сочеталась с относительной гиперперфузией в коре лобных и теменных долей, что свидетельствует о нарушении нейроваскулярного взаимодействия [25], неэффективности усиления коркового кровотока. Данный ASL-паттерн можно объяснить сформировавшимся компенсаторно шунтирующим кровотоком через короткие артериовенулярные пути, что создает условия неэффективности извлечения глюкозы на уровне капилляров. Данный механизм в развитии когнитивных расстройств был обозначен L. Ostergaard как капиллярная дисфункция в 2016 г. [26]. Предполагается, что наиболее вероятными причинами для шунтирующего кровотока в коре могут быть высокое сопротивление измененных мелких сосудов белого вещества с бедной сетью анастомозов и ее разветвленность в коре, что в условиях высоких пульсативных свойств магистральных артерий при ЦМА способствует объемному перераспределению кровотока [11, 27].

### Заключение

В исследовании определены нейровизуализационные паттерны ХНМК по критериям STRIVE у пациентов с наличием когнитивных расстройств. Церебральная перфузия, определяемая методом ASL, является дополняющим и перспективным звеном в диагностике ХНМК: у пациентов с легкими когнитивными расстройствами статистически подтверждена диффузная гипоперфузия, у пациентов с деменцией – усиление коркового кровотока и снижение кровотока в белом веществе и подкорковых структурах ( $p = 0,001$ ). Отсутствие убедительных данных об изменении церебральной перфузии у пациентов с начальными проявлениями ХНМК обуславливает целесообразность поиска иных усовершенствованных методов диагностики ранних, доклинических стадий сосудистых когнитивных расстройств.

**Источник финансирования и конфликт интересов.** Авторы данной статьи подтвердили

отсутствие финансовой поддержки исследования и конфликта интересов, о которых необходимо сообщить.

### Участие авторов

Чухонцева Е.С. – проведение исследования, сбор и статистическая обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста.

Морозова Т.Г. – концепция и дизайн исследования, анализ и интерпретация полученных данных, подготовка и редактирование текста, ответственность за целостность всех частей статьи.

Борсуков А.В. – концепция и дизайн исследования, утверждение окончательного варианта статьи.

### Authors' participation

Chukhontseva E.S. – conducting research, collection and statistical analysis of data, analysis and interpretation of the obtained data, writing text.

Morozova T.G. – concept and design of the study, analysis and interpretation of the obtained data, text preparation and editing, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Borsukov A.V. – concept and design of the study, approval of the final version of the article.

### Список литературы

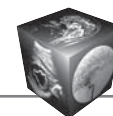
1. Гудкова В.В., Стаховская Л.В. Хроническая недостаточность мозгового кровообращения. *Справочник поликлинического врача*. 2004; 5: 47–51.
2. Hachinski V. Vascular dementia: a radical redefinition. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*. 1994; 5 (3–4):130–132. <https://doi.org/10.1159/000106709>
3. Hershey L.A., Olszewski W.A. Ischemic vascular dementia. In: *Handbook of Demented Illnesses*. Ed. J.C. Morris. New York etc.: Marcel Dekker, Inc., 1994: 335–351.
4. Яхно Н.Н., Левин О.С., Дамулин И.В. Сопоставление клинических и МРТ-данных при дисциркуляторной энцефалопатии. Сообщение 1: двигательные нарушения. *Неврологический журнал*. 2001; 6 (2): 10–16.
5. Яхно Н.Н., Левин О.С., Дамулин И.В. Сопоставление клинических и МРТ-данных при дисциркуляторной энцефалопатии. Сообщение 2: когнитивные нарушения. *Неврологический журнал*. 2001; 6 (3): 10–19.
6. Shi Y., Wardlaw J.M. Update on cerebral small vessel disease: a dynamic whole-brain disease. *Br. Med. J.* 2016; 1 (3): 83–92. <https://doi.org/10.1136/svn-2016-000035>
7. Pantoni L. Cerebral small vessel disease: from pathogenesis and clinical characteristics to therapeutic challenges. *The Lancet Neurology*. 2010; 9 (7): 689–701. [https://doi.org/10.1016/s1474-4422\(10\)70104-6](https://doi.org/10.1016/s1474-4422(10)70104-6)
8. Reed B.R., Mungas D.M., Kramer J.H., Ellis W., Vinters H.V., Zarow C., Jagust W.J., Chui H.C. Profiles of neuropsychological impairment in autopsy-defined Alzheimer's disease and cerebrovascular disease. *Brain*. 2007; 130 (3): 731–739. <https://doi.org/10.1093/brain/awl385>
9. Wardlaw J.M., Smith E.E., Biessels G.J. et al. Neuroimaging standards for research into small vessel disease and its contribution to ageing and neurodegeneration.



- The Lancet Neurology*. 2013; 12: 822–838. [https://doi.org/10.1016/s1474-4422\(13\)70124-8](https://doi.org/10.1016/s1474-4422(13)70124-8)
10. Detre J.A., Wang J., Wang Z., Rao H. Arterial spin-labeled perfusion MRI in basic and clinical neuroscience. *Curr. Opin. Neurol.* 2009; 22 (4): 348–355. <https://doi.org/10.1097/wco.0b013e32832d9505>
  11. Сергеева А.Н., Добрынина Л.А., Гаджиева З.Ш., Забитова М.Р. и др. Церебральный кровоток, измеренный с помощью МРТ в режиме маркировки артериальных спинов (arterial spin labeling asl), и МРТ-признаки возраст-зависимой церебральной микроангиопатии (болезни малых сосудов). *REJR*. 2019; 9 (4): 8–17. <https://doi.org/10.21569/2222-7415-2019-9-4-8-17>
  12. Ye F.Q., Berman K.F., Ellmore T., Esposito G., van Horn J.D., Yang Y., Duyn J., Smith A.M., Frank J.A., Weinberger D.R., McLaughlin A.C. H(2)(15)O PET validation of steady-state arterial spin tagging cerebral blood flow measurements in humans. *Magn. Reson. Med.* 2000; 44: 450–456. [https://doi.org/10.1002/1522-2594\(200009\)44:3<450::aid-mrm16>3.0.co;2-0](https://doi.org/10.1002/1522-2594(200009)44:3<450::aid-mrm16>3.0.co;2-0)
  13. Kamano H., Yoshiura T., Hiwatashi A., Abe K., Togao O., Yamashita K., Honda H. Arterial spinlabeling in patients with chronic cerebral artery steno-occlusive disease: correlation with (15)O-PET. *Acta Radiol.* 2013; 54: 99–106. <https://doi.org/10.1258/ar.2012.120450>
  14. Zhang K., Herzog H., Mauler J., Filss C., Okell T.W., Kops E.R., Tellmann L., Fischer T., Brocke B., Sturm W., Coenen H.H., Shah N.J. Comparison of cerebral blood flow acquired by simultaneous [15O] water positron emission tomography and arterial spin labeling magnetic resonance imaging. *J. Cerebral. Blood Flow & Metabolism*. 2014; 34: 1373–1380. <https://doi.org/10.1038/jcbfm.2014.92>
  15. Пронин И.Н., Фадеева Л.М., Подопрigorа А.Е., Захарова Н.Е., Серков С.В., Родионов П.В., Шульц Е.И., Коршунов А.Е., Усачев Д.Ю., Лукшин В.А., Селик А., Потапов А.А., Корниенко В.Н. Спиновое маркирование артериальной крови (ASL) – метод визуализации и оценки мозгового кровотока. *Лучевая диагностика и терапия*. 2012; 3 (3): 64–78.
  16. Zhou Y., Rodgers Z.B., Kuo A.H. Cerebrovascular reactivity measured with arterial spin labeling and blood oxygen level dependent techniques. *Magn. Resonance Imaging*. 2015; 33 (5): 566–576. <https://doi.org/10.1016/j.mri.2015.02.018>
  17. Tian B., Liu Q., Wang X., Chen S., Xu B., Zhu C., Lu J. Chronic intracranial artery stenosis: Comparison of whole-brain arterial spin labeling with CT perfusion. *Clin. Imaging*. 2018; 52: 252–259. <https://doi.org/10.1016/j.clinimag.2018.08.005>
  18. Wang R., Yu S., Alger J.R., Zuo Z., Chen J., Wang R., An J., Wang B., Zhao J., Xue R., Wang D.J. Multi-delay arterial spin labeling perfusion MRI in moyamoya disease-comparison with CT perfusion imaging. *Eur. Radiol.* 2014; 24 (5): 1135–1144. <https://doi.org/10.1007/s00330-014-3098-9>
  19. Chao L.L., Buckley S.T., Kornak J., Schuff N., Madison C., Yaffe K., Miller B.L., Kramer J.H., Weiner M.W. ASL perfusion MRI predicts cognitive decline and conversion from MCI to dementia. *Alzheimer Dis. Assoc. Disord.* 2010; 24 (1): 19–27. <https://doi.org/10.1097/wad.0b013e3181b4f736>
  20. Du A.T., Jahng G.H., Hayasaka S., Kramer J.H., Rosen H.J., Gorno-Tempini M.L., Rankin K.P., Miller B.L., Weiner M.W., Schuff N. Hypoperfusion in frontotemporal dementia and Alzheimer disease by arterial spin labeling MRI. *Neurology*. 2006; 67: 1215–1220. <https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000238163.71349.78>
  21. Wolf R. L., Detre J.A. Clinical neuroimaging using arterial spin labeled perfusion magnetic resonance imaging. *Neurotherapeutics*. 2007; 4: 346–359. <https://doi.org/10.1016/j.nurt.2007.04.005>
  22. Добрынина Л.А., Гаджиева З.Ш., Калашникова Л.А., Ахметзянов Б.М., Кремнева Е.И., Кротенкова М.В., Лагода Д.Ю., Забитова М.Р., Поддубская А.А., Бердалин А.Б. Нейропсихологический профиль и факторы сосудистого риска у больных с церебральной микроангиопатией. *Анналы клинической и экспериментальной неврологии*. 2018; 4: 5–15. <https://doi.org/10.25692/ACEN.2018.4.1>
  23. Sachdev P., Kalaria R., O'Brien J., Skoog I., Alladi S., Black S.E., Blacker D., Blazer D.G., Chen C., Chui H., Ganguli M., Jellinger K., Jeste D.V., Pasquier F., Paulsen J., Prins N., Rockwood K., Roman G., Scheltens P.; International Society for Vascular Behavioral and Cognitive Disorders. Diagnostic criteria for vascular cognitive disorders: a VASCOG statement. *Alzheimer Disease & Associated Disorder*. 2014; 28: 206–218. <https://doi.org/10.1097/wad.0000000000000034>
  24. Lawrence A.J., Patel B., Morris R.G., MacKinnon A.D., Rich P.M., Barrick T.R., Markus H.S. Mechanisms of cognitive impairment in cerebral small vessel disease: multimodal MRI results from the St George's cognition and neuroimaging in stroke (SCANS) study. *PLoS One*. 2013; 8 (4): e61014. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0061014>
  25. Dai W., Lopez O.L., Carmichael O.T., Becker J.T., Kuller L.H., Gach H.M. Mild cognitive impairment and Alzheimer disease: patterns of altered cerebral blood flow at MR imaging. *Radiology*. 2009; 250 (3): 856–866. <https://doi.org/10.1148/radiol.2503080751>
  26. Østergaard L., Engedal T.S., Moreton F., Hansen M.B., Wardlaw J.M., Dalkara T., Markus H.S., Muir K.W. Cerebral small vessel disease: Capillary pathways to stroke and cognitive decline. *J. Cerebral. Blood Flow & Metabolism*. 2016; 36 (2): 302–325. <https://doi.org/10.1177/0271678x15606723>
  27. Rivera-Rivera L.A., Schubert T., Turski P., Johnson K.M., Berman S.E., Rowley H.A., Carlsson C.M., Johnson S.C., Wieben O. Changes in intracranial venous blood flow and pulsatility in Alzheimer's disease: A 4D flow MRI study. *J. Cerebral. Blood Flow & Metabolism*. 2017; 37 (6), 2149–2158. <https://doi.org/10.1177/0271678x16661340>

## References

1. Gudkova V.V., Stakhovskaya L.V. Chronic insufficiency of brain blood circulation. *Spravochnik poliklinicheskogo vracha*. 2004; 5: 47–51. (In Russian)
2. Hachinski V. Vascular dementia: a radical redefinition. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*. 1994; 5 (3–4): 130–132. <https://doi.org/10.1159/000106709>
3. Hershey L.A., Olszewski W.A. Ischemic vascular dementia. In: Handbook of Demented Illnesses. Ed. J.C. Morris. New York etc.: Marcel Dekker, Inc., 1994: 335–351.
4. Yakhno N.N., Levin O.S., Damulin I.V. Comparison of clinical and MRI findings in dyscirculatory encephalopathy. Message 1: motor impairments. *The Neurological Journal*. 2001; 6 (2): 10–16. (In Russian)



5. Yakhno N.N., Levin O.S., Damulin I.V. Comparison of clinical and MRI findings in dyscirculatory encephalopathy. Message 2: Cognitive impairments. *The Neurological Journal*. 2001; 6 (3): 10–19. (In Russian)
6. Shi Y., Wardlaw J.M. Update on cerebral small vessel disease: a dynamic whole-brain disease. *Br. Med. J.* 2016; 1 (3): 83–92. <https://doi.org/10.1136/svn-2016-000035>
7. Pantoni L. Cerebral small vessel disease: from pathogenesis and clinical characteristics to therapeutic challenges. *The Lancet Neurology*. 2010; 9 (7): 689–701. [https://doi.org/10.1016/s1474-4422\(10\)70104-6](https://doi.org/10.1016/s1474-4422(10)70104-6)
8. Reed B.R., Mungas D.M., Kramer J.H., Ellis W., Vinters H.V., Zarow C., Jagust W.J., Chui H.C. Profiles of neuropsychological impairment in autopsy-defined Alzheimer's disease and cerebrovascular disease. *Brain*. 2007; 130 (3): 731–739. <https://doi.org/10.1093/brain/awl385>
9. Wardlaw J.M., Smith E.E., Biessels G.J. et al. Neuroimaging standards for research into small vessel disease and its contribution to ageing and neurodegeneration. *The Lancet Neurology*. 2013; 12: 822–838. [https://doi.org/10.1016/s1474-4422\(13\)70124-8](https://doi.org/10.1016/s1474-4422(13)70124-8)
10. Detre J.A., Wang J., Wang Z., Rao H. Arterial spin-labeled perfusion MRI in basic and clinical neuroscience. *Curr. Opinion Neurol.* 2009; 22 (4): 348–355. <https://doi.org/10.1097/wco.0b013e32832d9505>
11. Sergeeva A.N., Dobrynina L.A., Gadgieva Z.Sh., Zabitova M.R. et al. Cerebral blood flow measured with MRI arterial spin labeling (ASL) and neuroimaging signs of age-related small vessel disease. *REJR*. 2019; 9 (4): 8–17. <https://doi.org/10.21569/2222-7415-2019-9-4-8-17>. (In Russian)
12. Ye F.Q., Berman K.F., Ellmore T., Esposito G., van Horn J.D., Yang Y., Duyn J., Smith A.M., Frank J.A., Weinberger D.R., McLaughlin A.C. H(2)(15)O PET validation of steady-state arterial spin tagging cerebral blood flow measurements in humans. *Magn. Reson. Med.* 2000; 44: 450–456. [https://doi.org/10.1002/1522-2594\(200009\)44:3<450::aid-mrm16>3.0.co;2-0](https://doi.org/10.1002/1522-2594(200009)44:3<450::aid-mrm16>3.0.co;2-0)
13. Kamano H., Yoshiura T., Hiwatashi A., Abe K., Togao O., Yamashita K., Honda H. Arterial spinlabeling in patients with chronic cerebral artery steno-occlusive disease: correlation with (15)O-PET. *Acta Radiol.* 2013; 54: 99–106. <https://doi.org/10.1258/ar.2012.120450>
14. Zhang K., Herzog H., Mauler J., Filss C., Okell T.W., Kops E.R., Tellmann L., Fischer T., Brocke B., Sturm W., Coenen H.H., Shah N.J. Comparison of cerebral blood flow acquired by simultaneous [15O] water positron emission tomography and arterial spin labeling magnetic resonance imaging. *J. Cerebral. Blood Flow & Metabolism*. 2014; 34: 1373–1380. <https://doi.org/10.1038/jcbfm.2014.92>
15. Pronin I.N., Fadeeva L.M., Podoprigora A.E., Zakharova N.E., Serkov S.V., Rodionov P.V., Shults E.I., Korshunov A.E., Usachev D. Yu., Lukshin V.A., Celik A., Potapov A.A., Kornienko V.N. Arterial spin labeling (ASL): method of cerebral blood flow visualization and quantification. *Lučevaya diagnostika i terapiya*. 2012; 3 (3): 64–78. (In Russian)
16. Zhou Y., Rodgers Z.B., Kuo A.H. Cerebrovascular reactivity measured with arterial spin labeling and blood oxygen level dependent techniques. *Magn. Resonance Imaging*. 2015; 33 (5): 566–576. <https://doi.org/10.1016/j.mri.2015.02.018>
17. Tian B., Liu Q., Wang X., Chen S., Xu B., Zhu C., Lu J. Chronic intracranial artery stenosis: Comparison of whole-brain arterial spin labeling with CT perfusion. *Clin. Imaging*. 2018; 52: 252–259. <https://doi.org/10.1016/j.clinimag.2018.08.005>
18. Wang R., Yu S., Alger J.R., Zuo Z., Chen J., Wang R., An J., Wang B., Zhao J., Xue R., Wang D.J. Multi-delay arterial spin labeling perfusion MRI in moyamoya disease-comparison with CT perfusion imaging. *Eur. Radiol.* 2014; 24 (5): 1135–1144. <https://doi.org/10.1007/s00330-014-3098-9>
19. Chao L.L., Buckley S.T., Kornak J., Schuff N., Madison C., Yaffe K., Miller B.L., Kramer J.H., Weiner M.W. ASL perfusion MRI predicts cognitive decline and conversion from MCI to dementia. *Alzheimer Dis. Assoc. Disord.* 2010; 24 (1): 19–27. <https://doi.org/10.1097/wad.0b013e3181b4f736>
20. Du A.T., Jahng G.H., Hayasaka S., Kramer J.H., Rosen H.J., Gorno-Tempini M.L., Rankin K.P., Miller B.L., Weiner M.W., Schuff N. Hypoperfusion in frontotemporal dementia and Alzheimer disease by arterial spin labeling MRI. *Neurology*. 2006; 67: 1215–1220. <https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000238163.71349.78>
21. Wolf R. L., Detre J.A. Clinical neuroimaging using arterial spin labeled perfusion magnetic resonance imaging. *Neurotherapeutics*. 2007; 4: 346–359. <https://doi.org/10.1016/j.nurt.2007.04.005>
22. Dobrynina L.A., Gadzhieva Z.Sh., Kalashnikova L.A., Akhmetzyanov B. M., Kremneva E. I., Krotenkova M.V., Lagoda D.Yu., Zabitova M.R., Poddubskaya A.A., Berdalin A.B. Neuropsychological profile and vascular risk factors in patients with cerebral microangiopathy. *Annals of clinical and experimental neurology*. 2018;4: 5–15. <https://doi.org/10.25692/ACEN.2018.4.1> (In Russian)
23. Sachdev P., Kalaria R., O'Brien J., Skoog I., Alladi S., Black S.E., Blacker D., Blazer D.G., Chen C., Chui H., Ganguli M., Jellinger K., Jeste D.V., Pasquier F., Paulsen J., Prins N., Rockwood K., Roman G., Scheltens P.; International Society for Vascular Behavioral and Cognitive Disorders. Diagnostic criteria for vascular cognitive disorders: a VASCOG statement. *Alzheimer Disease & Associated Disorder*. 2014; 28: 206–218. <https://doi.org/10.1097/wad.0000000000000034>
24. Lawrence A.J., Patel B., Morris R.G., MacKinnon A.D., Rich P.M., Barrick T.R., Markus H.S. Mechanisms of cognitive impairment in cerebral small vessel disease: multimodal MRI results from the St George's cognition and neuroimaging in stroke (SCANS) study. *PLoS One*. 2013; 8 (4): e61014. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0061014>
25. Dai W., Lopez O.L., Carmichael O.T., Becker J.T., Kuller L.H., Gach H.M. Mild cognitive impairment and Alzheimer disease: patterns of altered cerebral blood flow at MR imaging. *Radiology*. 2009; 250 (3): 856–866. <https://doi.org/10.1148/radiol.2503080751>
26. Østergaard L., Engedal T.S., Moreton F., Hansen M.B., Wardlaw J.M., Dalkara T., Markus H.S., Muir K.W. Cerebral small vessel disease: Capillary pathways to stroke and cognitive decline. *J. Cerebral. Blood Flow & Metabolism*. 2016; 36 (2): 302–325. <https://doi.org/10.1177/0271678x15606723>
27. Rivera-Rivera L.A., Schubert T., Turski P., Johnson K.M., Berman S.E., Rowley H.A., Carlsson C.M., Johnson S.C., Wieben O. Changes in intracranial venous blood flow and pulsatility in Alzheimer's disease: A 4D flow MRI study. *J. Cerebral. Blood Flow & Metabolism*. 2017; 37 (6): 2149–2158. <https://doi.org/10.1177/0271678x16661340>





**Для корреспонденции\*:** Чухонцева Екатерина Сергеевна – 214019 Смоленск, ул. Крупской, 28. E-mail: chukhontsevae@mail.ru

**Чухонцева Екатерина Сергеевна** – научный сотрудник научного исследовательского центра ФГБОУ ВО “Смоленский государственный медицинский университет” Минздрава России, Смоленск. <https://orcid.org/0000-0003-4571-2354>

**Морозова Татьяна Геннадьевна** – доктор мед. наук, заведующая кафедрой лучевой диагностики и лучевой терапии ФГБОУ ВО “Смоленский государственный медицинский университет” Минздрава России, старший научный сотрудник проблемной научно-исследовательской лаборатории “Диагностические исследования и малоинвазивные технологии” ФГБОУ ВО “Смоленский государственный медицинский университет” Минздрава России, Смоленск. <https://orcid.org/0000-0003-4983-5300>

**Борсуков Алексей Васильевич** – профессор, доктор мед. наук, директор проблемной научно-исследовательской лаборатории “Диагностические исследования и малоинвазивные технологии” ФГБОУ ВО “Смоленский государственный медицинский университет” Минздрава России, Смоленск. <https://orcid.org/0000-0003-4047-7252>

**Contact\*:** Ekaterina S. Chukhontseva – 28, Krupskaya str., 214019, Smolensk, Russia. E-mail: chukhontsevae@mail.ru

**Ekaterina S. Chukhontseva** – researcher at the Research Center of the Smolensk State Medical University, Smolensk. <https://orcid.org/0000-0003-4571-2354>

**Tatyana G. Morozova** – Doct. of Sci. (Med.), Head of the Department of Radiation Diagnostics and Radiation Therapy Smolensk State Medical University, Senior Researcher of the Problem Research Laboratory “Diagnostic Research and Minimally Invasive Technologies” Smolensk State Medical University, Smolensk. <https://orcid.org/0000-0003-4983-5300>

**Aleksei V. Borsukov** – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Director of the Problem Research Laboratory “Diagnostic Research and Minimally Invasive Technologies” Smolensk State Medical University, Smolensk. <https://orcid.org/0000-0003-4047-7252>