

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1490>

MPT-признаки структурных и перфузионных изменений при хронической ишемии головного мозга у ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС в отдаленном периоде

© Куликова Т.А.¹, Мешков Н.А.¹, Солодкий В.А.¹, Нуднов Н.В.¹, Сергеев Н.И.^{1, 2*}

¹ ФГБУ “Российский научный центр рентгенорадиологии” Минздрава России; 117997 Москва, ул. Профсоюзная, д. 86, Российская Федерация

² ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России; 117997 Москва, ул. Островитянова, д. 1, Российская Федерация

Цереброваскулярная болезнь (ЦВБ) выявлена у 87% из обследованных ликвидаторов последствий аварий (ЛПА) на ЧАЭС через 7–8 лет после участия в аварийно-восстановительных работах с дозой облучения $\leq 0,3$ Гр. Анализ проведенных исследований показывает, что результаты структурных методов лучевой диагностики не всегда коррелируют со степенью выраженности клинической картины. Перспективным представляется использование расширенного МРТ-обследования головного мозга для оценки корреляции анатомических и функциональных показателей различных групп наблюдения у лиц с хронической цереброваскулярной недостаточностью.

Цель исследования: сопоставить данные структурной МРТ головного мозга и показатели перфузии мозговой гемодинамики у ЛПА и пациентов контрольной группы.

Материал и методы. Обследовано 147 пациентов в возрасте от 55 до 87 лет с диагнозом: хроническая цереброваскулярная болезнь. Основная группа (ОГ) – 93 ЛПА, группа сравнения (ГС) – 54 пациента, не подвергавшихся радиационному воздействию. Выявленные изменения оценивались по степени атрофии белого и серого вещества, по степени глиозных изменений и сопоставлялись с данными перфузионных показателей.

Результаты. Признаки атрофического процесса головного мозга выявлены у 93,9% в ОГ и у 76,7% пациентов из ГС, микроангиопатии – у 100,0 и 83,4%. Риск развития атрофии и микроангиопатии у ЛПА составляет 1,24 ($p = 0,041$) и 1,14 ($p = 0,008$) соответственно. При сравнении показателей МРТ-перфузии (CBV, CBF и MTT) между корой и глией у пациентов ОГ и ГС установлено, что соотношение кора/глия между CBV и CBF в ОГ ниже, чем в ГС на 13,9 и 24,2% соответственно. Сравнительный анализ параметров МРТ-перфузии показал, что у ЛПА соотношение между CBV в глии и коре правого полушария меньше на 0,3 и 11,7%, а в левом полушарии – на 19,3 и 22,9%. CBF в глии правого полушария у ЛПА повышен на 6,9%, а в коре снижен на 14,2%, в левом полушарии – на 9,8 и 13,4% соответственно.

Выводы. Проведенное исследование показало высокую эффективность контрастной МРТ-перфузии, позволило выявить корреляцию структурных и перфузионных изменений в различных исследовательских группах.

Ключевые слова: цереброваскулярная болезнь; МРТ-перфузия; ликвидаторы последствий аварии на ЧАЭС; головной мозг

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Куликова Т.А., Мешков Н.А., Солодкий В.А., Нуднов Н.В., Сергеев Н.И. МРТ-признаки структурных и перфузионных изменений при хронической ишемии головного мозга у ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС в отдаленном периоде. *Медицинская визуализация*. 2024; 28 (3): 65–76. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1490>

Поступила в редакцию: 3.07.2024.

Принята к печати: 18.07.2024.

Опубликована online: 2.08.2024.



MRI-signs of structural and perfusion changes in chronic cerebral ischemia in liquidators of the aftermath of the Chernobyl nuclear power plant accident in the remote period

© Tatyana A. Kulikova¹, Nikolay A. Meshkov¹, Vladimir A. Solodkiy¹,
Nikolay V. Nudnov¹, Nikolay I. Sergeev^{1, 2*}

¹ Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 86, Profsoyusnaya str., Moscow 117997, Russian Federation

² Pirogov Russian National Research Medical University; 1, Ostriviyanova str., Moscow 117997, Russian Federation

Cerebrovascular disease (CVD) was detected in 87% of the examined liquidators of accidents at the Chernobyl Nuclear Power Plant 7–8 years after participating in emergency recovery work with a radiation dose of ≤ 0.3 Gy. Analysis of the conducted studies shows that the results of structural methods of radiation diagnostics do not always correlate with the severity of the clinical picture. The use of an extended MRI examination of the brain to assess the correlation of anatomical and functional indicators of various observation groups in people with chronic cerebrovascular insufficiency seems promising.

Purpose. To compare structural MRI data of the brain and indicators of cerebral hemodynamic perfusion in LPA and patients in the control group.

Materials and methods. 147 patients aged from 55 to 87 years old with a diagnosis of chronic cerebrovascular disease were examined. The main group – 93 patients, the comparison group – 54 patients who were not exposed to radiation. The identified changes were assessed by the degree of atrophy of white and gray matter, by the degree of gliosis changes, and were compared with the data of perfusion parameters.

Results. Signs of the atrophic process of the brain were detected in 93.9% of the main group and in 76.7% of patients from the comparison group, microangiopathy – in 100.0 and 83.4%. The risk of developing atrophy and microangiopathy in LPA is 1.24 ($p = 0.041$) and 1.14 ($p = 0.008$), respectively. When comparing MRI perfusion parameters (CBV, CBF and MTT) between the cortex and glia in patients of the main and control groups, it was found that the cortex/glia ratio between CBV and CBF in the OG is lower than in the GS by 13.9 and 24.2, respectively %. A comparative analysis of MRI perfusion parameters showed that in LPA the ratio between CBV in the glia and cortex of the right hemisphere is lower, by 0.3 and 11.7%, and in the left hemisphere – by 19.3 and 22.9%. CBF in the glia of the right hemisphere of the LPA is increased by 6.9%, and in the cortex it is decreased by 14.2%, in the left hemisphere – by respectively 9.8 and 13.4%.

Conclusions. The study showed the high efficiency of contrast MRI perfusion and made it possible to identify the correlation of structural and perfusion changes in different research groups.

Keywords: cerebrovascular disease; MRI perfusion; liquidators of the consequences of the Chernobyl accident; brain

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

For citation: Kulikova T.A., Meshkov N.A., Solodkiy V.A., Nudnov N.V., Sergeev N.I. MRI-signs of structural and perfusion changes in chronic cerebral ischemia in liquidators of the aftermath of the Chernobyl nuclear power plant accident in the remote period. *Medical Visualization*. 2024; 28 (3): 65–76.
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1490>

Received: 3.07.2024.

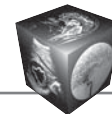
Accepted for publication: 18.07.2024.

Published online: 2.08.2024.

Введение

Цереброваскулярная болезнь (ЦВБ) выявлена у 87% из обследованных ликвидаторов последствий аварии (ЛПА) с дозой облучения $\leq 0,3$ Гр, а в группу риска по ЦВБ входят ЛПА 1986 г. участия в аварийно-восстановительных работах, облученные в дозе более 0,15 Гр. В результате прогрессивного течения цереброваскулярной недостаточности с преобладанием психовегетативного, психоорганического и вестибулоатактического

синдромов заболевание приводит к интеллектуально-мнестическим и тревожно-депрессивным расстройствам, являющихся основной причиной снижения качества жизни и инвалидизации. У данной категории лиц выявлялись прогрессирующие структурно-функциональные повреждения головного мозга в коре, подкорке и стволе мозга, а также признаки атрофического процесса головного мозга в виде расширения субарахноидальных пространств [1, 2]. Локальные расширения



субарахноидальных пространств были выявлены у 82% обследованных, расширение желудочковой системы мозга – у 34%. Спустя 10–15 лет атрофические процессы в коре и подкорковых структурах в виде единичных и множественных очагов глиозных изменений мозговой ткани вокруг тел передних и задних рогов боковых желудочков и лейкоареоз выявлялись уже у большинства обследованных – 73,5 и 51,5% соответственно [3, 4].

По данным И.М. Левашкиной и С.В. Серебряковой (2016), нейровизуализация с применением высокопольной МРТ головного мозга выявила наружную заместительную гидроцефалию у 84% ЛПА (контроль 65%), смешанную – в 51% (16%), а также последствия лакунарных инфарктов в виде кист в области базальных ядер, окруженных зонами глиоза [5, 6]. Органические изменения белого вещества головного мозга и лакуны рассматриваются как главные проявления патологии мелких сосудов, приводящие к цереброваскулярной микроангиопатии [7], при этом выявляемость таких признаков по данным МРТ в виде гиперинтенсивных очагов в белом веществе, расширения периваскулярных и субарахноидальных пространств и желудочков мозга, церебральных микрокровоизлияний существенно возрастает у лиц старше 60 лет [8].

Анализ проведенных исследований показывает, что результаты структурных методов лучевой диагностики не всегда коррелируют со степенью выраженности клинической картины. Современная контрастная методика магнитно-резонансной перфузии хорошо зарекомендовала себя в онкологической практике [9, 10], а также в диагностике ишемических изменений головного мозга [11, 12]. Представляет большой интерес использование расширенного МРТ-обследования головного мозга для оценки корреляции анатомических и функциональных изменений различных групп наблюдения с клиническими проявлениями хронической ЦВБ.

Вместе с тем в доступной литературе не встретились работы, посвященные углубленному исследованию этих параметров у ЛПА.

Цель исследования: выявление и оценка выраженности МРТ-проявлений цереброваскулярной болезни у ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС в отдаленном периоде.

Материал и методы

Материалом исследования послужили данные комплексной МРТ головного мозга у пациентов, проходивших обследование в ФГБУ “Российский научный центр рентгенорадиологии” с диагнозом: хроническая цереброваскулярная болезнь. Всего было обследовано 147 пациентов мужского пола

в возрасте от 55 до 87 лет (средний возраст $68,8 \pm 0,9$ года). Из них основную группу (ОГ) составили 93 ЛПА на Чернобыльской АЭС, контрольную группу, или группу сравнения (ГС), – 54 пациента, не подвергавшихся радиационному воздействию.

Критерии включения пациентов в исследование: возраст старше 55 лет, мужской пол, наличие дисциркуляторной энцефалопатии I–III стадии, информированное согласие на участие в исследовании.

Критерии исключения: новообразования головного мозга, инсульты, черепно-мозговые травмы, хроническая сердечная недостаточность, нарушения ритма сердца, хроническая обструктивная болезнь легких, соматические и инфекционные заболевания с энцефалопатией, психические и соматические заболевания в стадии декомпенсации. В работе не выполнялся анализ состояния экстракраниальных артерий и сердца.

Протокол МРТ включал в себя 4 этапа, у каждого из которых были следующие задачи:

1. Структурная МРТ: “анатомическая” последовательность в аксиальной и сагиттальной проекциях – T2ВИ-AX+SAG, последовательность с подавлением сигнала от движущейся жидкости в аксиальной и корональной проекциях – FLAIR-AX+COR, прекоонтрастная последовательность T1-AX, градиентная последовательность для визуализации скрытых микрокровоизлияний – T2*_hemo-ax, и диффузионно-взвешенная последовательность – DWI. Указанные последовательности позволяли исключить острые гематомы и оценить хронические структурные изменения. Глиозные изменения оценивались по шкале Fazekas (1987) с распределением на две условные подгруппы по степени выраженности: 0–1-я стадия и 2–3-я стадия. Также оценивалась степень атрофии вещества головного мозга по шкале от 1 до 3 на основании измерения индекса боковых желудочков (индекс Эванса) и степени расширения борозд в мм (рис. 1-1).

2. Визуализация сосудистого русла: времяпротект-ная 3D-бесконтрастная ангиография сосудов виллизиева круга (3D-TOF) и 3D-венография венозных синусов. Выполнялась для исключения острых обструктивных нарушений (рис. 1-2).

3. Перфузионная часть: вначале выполнялась бесконтрастная ASL-перфузия в качестве дополнительного метода контроля показателей скорости мозгового кровотока, затем проводилась контрастная DSC-T2*-перфузия. Для расчета показателей мозгового кровотока на перфузионных картах использовалось 5 зон измерения (ROI):

- #ROI-1 – участок белого вещества (глия) лобной доли правого полушария;

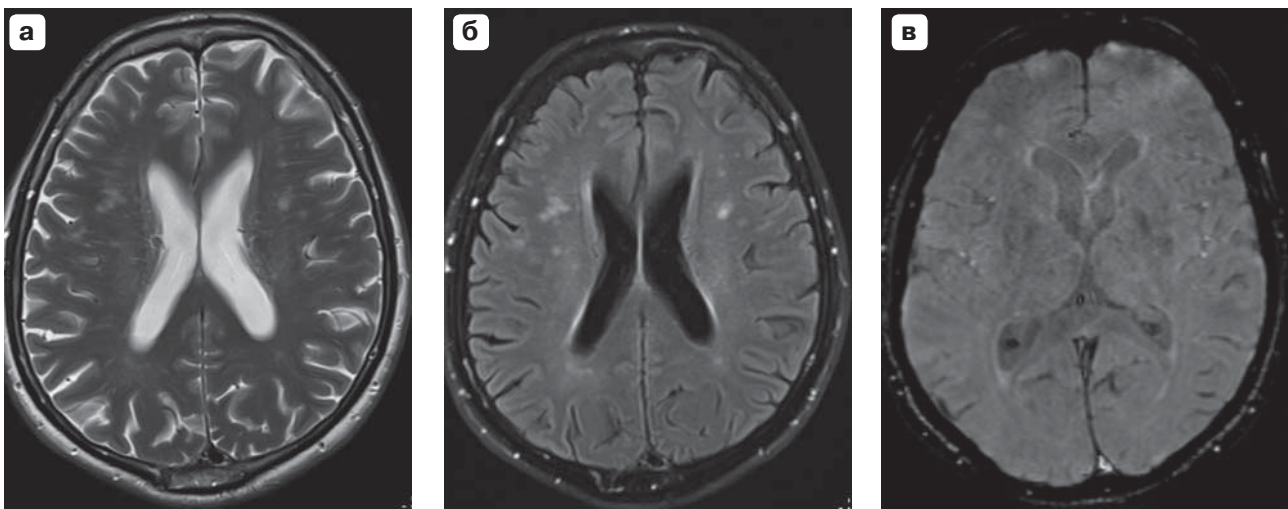


Рис. 1-1. Пациент В., 1956 г.р., основная группа. МРТ головного мозга в режимах: **а** – T2ВИ; **б** – FLAIR; **в** – T2*_{hemo}. В режиме Flair определяются множественные сливающиеся очаги глиоза в обоих полушариях.

Fig. 1-1. Patient B., born in 1956, main group. MRI of the brain in: **a** – T2WI; **б** – FLAIR; **в** – T2*_{hemo} modes. In Flair mode, multiple confluent foci of gliosis are detected in both hemispheres.

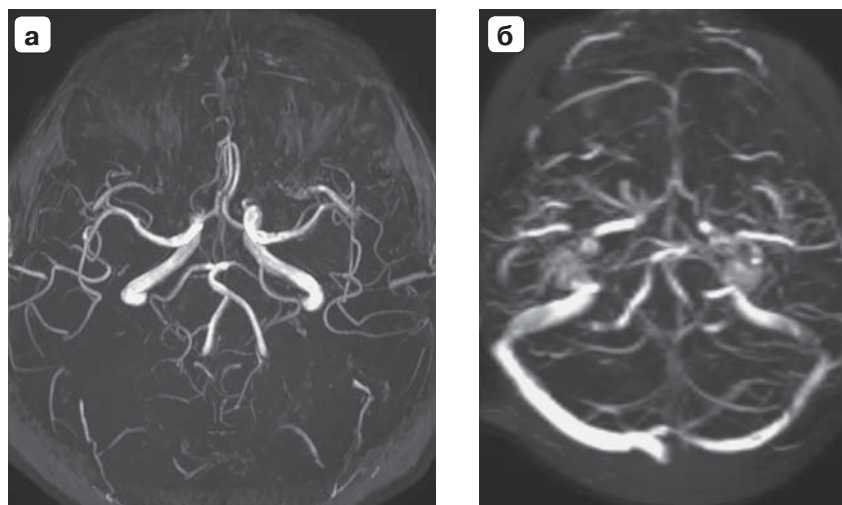


Рис. 1-2. Пациент В., 1956 г.р., основная группа. МРТ головного мозга в режимах: **а** – 3D-TOF – ангиография сосудов виллизиева круга; **б** – венография венозных синусов головного мозга. **а** – по данным обследования патологии не выявлено; **в** – асимметричная визуализация поперечных венозных синусов обусловлена пульсаторными движениями.

Fig. 1-2. Patient B., born in 1956, main group. MRI of the brain in modes: **a** – 3D-TOF – angiography of the vessels of the circle of Willis; **б** – venography of the venous sinuses of the brain. **a** – according to the examination, no pathology was detected; **в** – asymmetric visualization of the transverse venous sinuses is due to pulsatory movements.

- #ROI-2 – участок серого вещества (кора) лобной доли правого полушария;
- #ROI-3 – участок слияния венозных синусов (поперечных и сагиттального);
- #ROI-4 – участок белого вещества (глия) лобной доли левого полушария;
- #ROI-5 – участок серого вещества (кора) лобной доли левого полушария.

С помощью указанных ROI рассчитывались следующие перфузионные показатели:

- церебральный объем крови CBV (cerebral blood volume) – общий объем крови в выбранном участке мозговой ткани в миллилитрах крови на 100 г мозгового вещества (мл/100 г);
- церебральный кровоток CBF (cerebral blood flow) – скорость прохождения объема крови че-

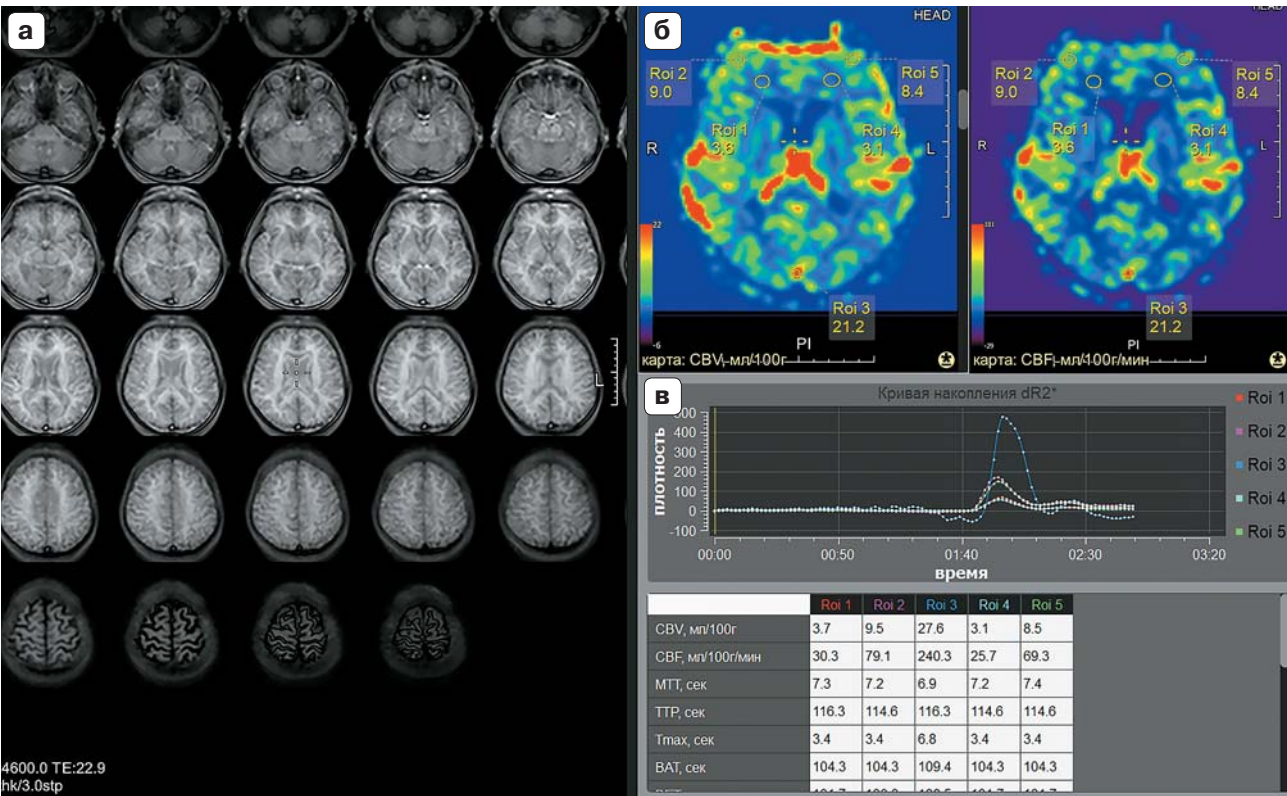
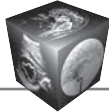


Рис. 1-3. Пациент В., 1956 г.р., основная группа. МРТ головного мозга в режимах: **а** – ASL-перфузии; **б** – контрастная T2WI*_DSC-перфузия; **в** – разметка цветowych карт CBV и CBF с помощью пяти зон интереса (ROI) – белое и серое вещество, венозный синус. В таблице представлены численные значения выделенных ROI.

Fig. 1-3. Patient B., born in 1956, main group. MRI of the brain in modes: **а** – ASL perfusion; **б** – contrast T2WI*_DSC – perfusion; **в** – Marking of CBV and CBF color maps using five regions of interest (ROI) – white and gray matter, venous sinus. The table presents the numerical values of the selected ROIs.

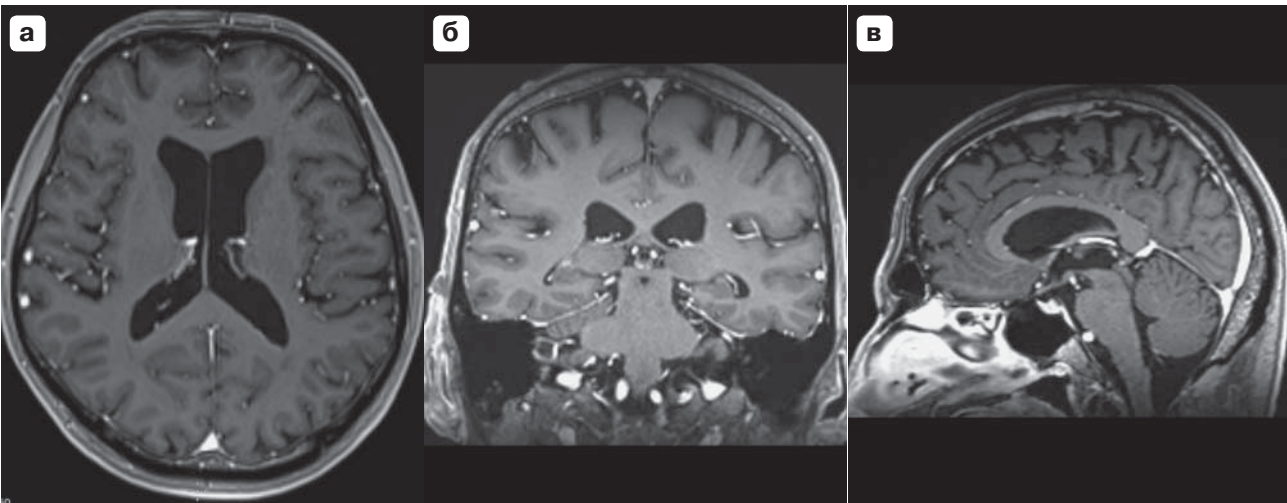


Рис. 1-4. Пациент В., 1956 г.р., основная группа. МРТ головного мозга в режиме 3DТ1 с контрастным усилением, с реконструкцией изображений в трех проекциях: **а** – аксиальная, **б** – фронтальная, **в** – сагиттальная. По данным обследования очагов патологического контрастирования не выявлено.

Fig. 1-4. Patient B., born in 1956, main group. MRI of the brain in 3DТ1 mode with contrast enhancement, in three projections: **а** – axial, **б** – frontal, **в** – sagittal. According to the examination, no foci of pathological contrast enhancement were identified.



рез заданный объем ткани мозга за единицу времени в миллилитрах крови на 100 г мозгового вещества в минуту (мл/100 г/мин);

- среднее время прохождения МТТ (mean transit time), за которое кровь проходит по сосудистому руслу выбранного участка мозговой ткани в секундах (с) (рис. 1-3).

4. Контрастное усиление: заканчивался протокол выполнением 3D T1 +C AX, для исключения новообразований головного мозга, скрытых сосудистых аномалий (рис. 1-4).

Сравнение групп проводилось по параметрам церебральной перфузии (CBF, CBV, МТТ), степени атрофии и церебральной микроангиопатии с нормальными значениями перфузионных параметров белого и серого вещества [13].

Статистическая обработка данных проводилась с использованием программ Microsoft Excel 2016 и Statistica 10.0. Проверка нормальности распределения данных выполнена по критерию Шапиро-Уилка. Нормально распределенные количественные данные представлены в виде средней арифметической (М) и стандартного отклонения (SD). Для оценки различий между показателями использовали относительный риск (ОР) и 95% доверительные интервалы (ДИ), значимости различий – критерий χ^2 . Различия показателей считались статистически значимыми при уровне значимости $p < 0,05$. Показатели с уровнем значимости $>0,05$ до $<0,10$ рассматривались в качестве тенденций.

Результаты исследования

Средний возраст ЛПА составлял 69,56 (7,34) года, пациентов в ГС – 67,95 (8,67) года, статистически значимых различий между группами не обнаружено – $p = 0,390$. Возраст выявления ЦВБ (постановки диагноза) составил 46,25 (8,86) и 42,18 (7,59) года соответственно ($p = 0,148$), длительность заболевания – 23,56 (6,54) и 24,55 (5,13) года, статистически значимых различий между этими величинами не установлено ($p = 0,523$).

По данным МРТ-исследования с контрастным усилением ни в одном наблюдении дополнительных объемных образований выявлено не было. Установлено, что признаки атрофии головного мозга встречаются у 93,9% ЛПА и у 77,3% пациентов из ГС, микроангиопатии – у 100,0 и 86,4% соответственно. Риск атрофии и микроангиопатии у ЛПА составляет 1,22 (0,96–1,54; $p = 0,041$) и 1,16 (0,98–1,37; $p = 0,008$) соответственно. Распределение ЛПА и пациентов в ГС по степени поражения представлено на рис. 2.

На рис. 2 показано, что частота обследованных без атрофии в ГС выше, чем в ОГ, в 3,71 (0,97–14,18; $p = 0,041$) раза. Частота атрофии I степени в обеих группах сопоставима, частота II степени в ОГ в 1,57 (0,74–3,34; $p = 0,211$) встречалась чаще, чем в ГС. Частота микроангиопатии I степени среди ЛПА в 1,09 (0,64–1,69; $p = 0,714$) раза превышает аналогичный показатель в ГС, частота II степени выше в ГС – 1,04 (0,49–2,19; $p = 0,919$). Пациенты с III степенью атрофии и микроангио-

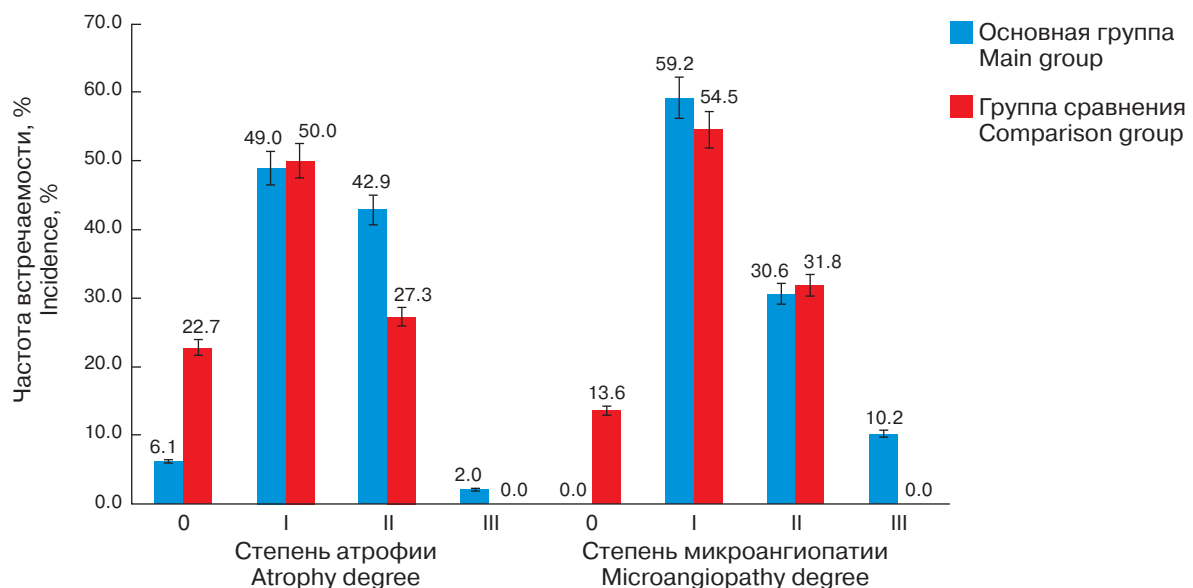
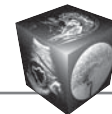


Рис. 2. Частота встречаемости атрофии и микроангиопатии в зависимости от степени поражения в основной группе и группе исследования.

Fig. 2. Incidence of atrophy and microangiopathy depending on the degree of damage in the main group and the study group.

**Таблица 1.** Результаты МРТ-исследования основных показателей мозгового кровотока**Table 1.** Results of MRI studies of the main indicators of cerebral blood flow

Параметры МРТ-перфузии MRI Perfusion Parameters	Основная группа Main group (MG)	Группа сравнения Comparison group (CG)
	M (SD)	M (SD)
CBV Глия правое полушарие, мл/100 г CBV Glia right hemisphere, ml/100 g	2.60 (1.02)	2.41 (1.02)
CBV Кора правое полушарие, мл/100 г CBV Cortex right hemisphere, ml/100 g	10.33 (4.69)	11.70 (6.33)
CBV Глия левое полушарие, мл/100 г CBV Glia left hemisphere, ml/100 g	2.86 (0.99)	3.11 (3.16)
CBV Кора левое полушарие, мл/100 г CBV Cortex left hemisphere, ml/100 g	9.56 (4.56)	12.94 (7.19)
CBF Глия правое полушарие, мл/100 г/мин CBF Glia right hemisphere, ml/100 g/min	19.75 (8.59)	18.13 (8.09)
CBF Кора правое полушарие, мл/100 г/мин CBF Cortex right hemisphere, ml/100 g/min	75.42 (35.34)	86.72 (58.91)
CBF Глия левое полушарие, мл/100 г/мин CBF Glia left hemisphere, ml/100 g/min	20.30 (14.55)	22.51 (27.75)
CBF Кора левое полушарие, мл/100 г/мин CBF Cortex left hemisphere, ml/100 g/min	72.44 (37.51)	82.69 (58.97)
MTT Глия правое полушарие, с MTT Glia right hemisphere, s	8.17 (3.47)	8.34 (2.37)
MTT Кора правое полушарие, с MTT Cortex right hemisphere, s	8.80 (3.29)	10.46 (9.65)
MTT Глия левое полушарие, с MTT Glia left hemisphere, s	8.10 (3.32)	8.33 (2.16)
MTT Кора левое полушарие, с MTT Cortex left hemisphere, s	8.79 (3.49)	9.85 (4.38)

патии выявлены только среди ЛПА. Показатели основных параметров МРТ-перфузии у пациентов в ОГ и ГС представлены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, полученные данные не имели существенных различий и сопоставимы по группам, за исключением показателя “CBV Кора левое полушарие”, значение которого в ОГ меньше, чем в ГС, в 1,3 раза ($p = 0,061$). Выявленные явления гипоперфузии можно объяснить нарушением процессов сосудистой ауторегуляции при более выраженных формах хронической ЦВБ.

На рис. 3 представлены соотношения CBV, CBF и MTT между корой и глией правого и левого полушария у ЛПА и у пациентов в ГС.

На рис. 3 видно, что максимальное соотношение CBV и CBF между корой и глией правого полушария – 4,9 и 4,8 соответственно выявлено в ГС. В ОГ эти показатели составили 4,3 и 3,9. Сравнение показателей, приведенных на рис. 1, показало, что соотношение кора/глия между CBV и CBF в правом полушарии в ГС выше, чем в ОГ, на 12,9 и 21,2% соответственно, между MTT – на 16,5%.

В левом полушарии соотношение между CBF в ОГ на 10,9% превышает аналогичный показатель в ГС.

Для оценки состояния перфузии головного мозга проводился сравнительный анализ асимметричности мозгового кровотока в левом и правом полушариях по соотношению параметров перфузии. При сравнении данных, приведенных на рис. 1, с соотношением, рассчитанным по нормальным значениям перфузионных параметров серого и белого вещества головного мозга, установлено, что в ОГ соотношение CBV в правом полушарии превышено в 2,2 раза, в левом – в 2,0 раза, CBF – в 1,7 раза. В ГС соотношение CBV в правом полушарии превышено в 2,4 раза, в левом – в 2,1 раза, CBF – в 2,0 и 1,5 раза.

Выполнен сравнительный анализ состояния мозгового кровотока в левом и правом полушариях по соотношению параметров перфузии между ОГ и ГС и в каждой группе (табл. 2).

Как видно из табл. 2, оценка соотношения CBV, CBF и MTT в правом и левом полушариях между ОГ и ГС не выявила существенных различий – макси-

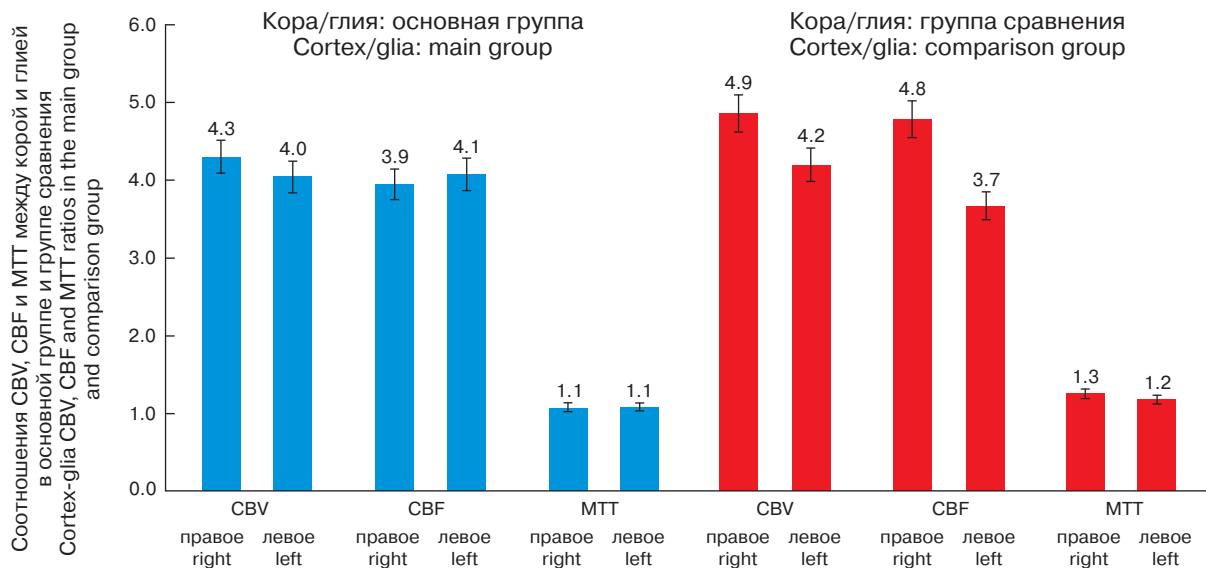


Рис. 3. Соотношения параметров перфузии между корой и глией правого и левого полушария в группах исследования и сравнения.

Fig. 3. Correlations of perfusion parameters between the cortex and glia of the right and left hemispheres in the study and comparison groups.

Таблица 2. Результаты сравнительного анализа параметров перфузии между группами и в каждой группе

Table 2. Results of comparative analysis of perfusion parameters between groups and in each group

Параметры Options	Между группами ОГ/ГС Between groups	Соотношение Ratio	В группах ОГ и ГС In groups	Соотношение Ratio
CBV	Глия правое Glia right	1.0	Глия правое / левое ОГ Glia right/left OG	1.0
CBV	Кора правое Cortex right	0.9	Кора правое / левое ОГ Cortex right / left OG	1.1
CBV	Глия левое Glia left	0.8	Глия правое / левое ГС Glia right / left GS	0.8
CBV	Кора левое Cortex left	0.8	Кора правое / левое ГС Cortex right / left GS	1.0
CBF	Глия правое Glia right	1.1	Глия правое / левое ОГ Glia right / left OG	0.9
CBF	Кора правое Cortex right	0.9	Кора правое / левое ОГ Cortex right / left OG	1.0
CBF	Глия левое Glia left	0.9	Глия правое / левое ГС Glia right / left GS	0.8
CBF	Кора левое Cortex left	0.9	Кора правое / левое ГС Cortex right / left GS	1.0
MTT	Глия правое Glia right	1.0	Глия правое / левое ОГ Glia right / left OG	1.0
MTT	Кора правое Cortex right	0.8	Кора правое / левое ОГ Cortex right / left OG	1.0
MTT	Глия левое Glia left	1.1	Глия правое / левое ГС Glia right / left GS	1.0
MTT	Кора левое Cortex left	0.9	Кора правое / левое ГС Cortex right / left GS	1.1

**Таблица 3.** Результаты сравнительного анализа параметров перфузии в основной группе и группе сравнения с показателями нормы**Table 3.** Results of a comparative analysis of perfusion parameters in the main group and comparison group with normal values

Параметры Options	Группы Groups	Глия правое Glia right		Глия левое Glia left		Кора правое Cortex right		Кора левое Cortex left	
		<N	>N	<N	>N	<N	>N	<N	>N
CBV	ОГ / MG	35.4 *	62.5	37.2	60.4	4.2	95.8	4.2	93.8
	ГС / CG	36.4	50.0	36.4	63.6	4.5	95.5	4.5	95.5
CBF	ОГ / MG	72.9	27.1	81.3	18.8	37.5	62.5	39.1	39.6
	ГС / CG	76.8	22.3	77.3	22.7	45.5	54.5	41.2	40.9
MTT	ОГ / MG	2.1	95.8	2.1	97.9	0.0	97.9	0.0	97.9
	ГС / CG	9.1	90.9	4.5	95.7	0.0	100.0	0.0	100.0

* $p = 0.027$.

мальная величина соотношения составила всего лишь 1,1 при межгрупповом сравнении CBF в глии правого полушария. Сравнительный анализ показателей выявил, что соотношение между CBV в коре правого полушария в ОГ на 11,7% меньше, чем в ГС, в глии и коре левого полушария – на 19,0 и 21,9% соответственно. Соотношение между CBF в коре правого полушария ОГ на 13,0%, в глии и коре левого полушария – на 9,8 и 12,4% ниже, чем в ГС. Соотношение между MTT в коре правого полушария ОГ на 15,9%, а в коре левого полушария на 10,8% ниже, чем в ГС.

Максимальное значение при оценке соотношения параметров перфузии в правом и левом полушариях каждой из групп, выявленное в ОГ при сравнении CBV в коре правого и левого полушарий, составило 1,1, как и при межгрупповом сравнении. В ОГ превышение показателей CBV и CBF в коре правого полушария составило 8,0 и 4,1% соответственно, в ГС выявлено только превышение на 4,9% показателя CBF. Максимальное различие в ГС в глии правого полушария между CBV и CBF составило 17,3 и 19,5% соответственно. Соотношение в ГС между MTT в коре правого полушария на 6,2% выше, чем в коре левого полушария. Приведенные в табл. 1 показатели сравнивали с нормальными значениями перфузионных параметров серого и белого вещества головного мозга [13]. Результаты сравнения представлены в табл. 3.

Из табл. 3 видно, что частота CBV и CBF в глии и коре правого полушария в ОГ, превышающая нормальные значения перфузионных параметров, выше, чем в ГС, в левом полушарии эти соотношения имеют обратный характер. Частота MTT в глии с превышением нормальных значений в ОГ повышена в обоих полушариях, а в коре – снижена.

Обсуждение

Исследование посвящено оценке нарушений церебрального кровообращения у ЛПА на Чернобыльской АЭС в отдаленном периоде с использованием расширенного протокола нейровизуализации с применением контрастной МРТ-перфузии. Изучены основные структурные проявления ЦВБ в ОГ и ГС. К особенностям нарушения мозговой гемодинамики у ЛПА можно отнести повышенный риск развития атрофического процесса (ОР = 1,22; $p = 0,041$) и микроангиопатии (ОР = 1,6; $p = 0,008$) в связи с более ранним развитием у ЛПА цереброваскулярных заболеваний [14]. Выполнено сравнение параметров перфузии головного мозга (скорость (CBF), объем кровотока (CBV) и время транзита крови (MTT)) у ЛПА и у лиц, не подвергавшихся воздействию радиации. Анализ асимметричности мозгового кровотока в левом и правом полушариях по соотношению CBV, CBF и MTT между корой и глией правого и левого полушария с нормальными значениями выявил, что у ЛПА превышение соотношения CBV составило в правом полушарии 2,2 раза, в левом – 2,0 раза, CBF – 1,7 раза. В группе сравнения ГС соотношение CBV в правом полушарии превышено в 2,4 раза, в левом – в 2,1 раза, CBF – в 2,0 и 1,5 раза, $p = 0,06$.

Сравнение показателей мозговой перфузии у ЛПА и пациентов из ГС с показателями условной нормы [15] выявило, что частота превышений нормы CBV и CBF в глии и коре правого полушария выше у ЛПА, а в левом полушарии – в ГС. Частота MTT в глии с превышением нормальных значений у ЛПА повышена в обоих полушариях, в коре этот показатель – ниже нормы [16].

Выявленные явления гипоперфузии можно объяснить нарушением процессов сосудистой ауторегуляции при более выраженных формах.



Таким образом, проведенное исследование показало высокую эффективность контрастной МРТ-перфузии, позволило выявить корреляцию структурных и перфузионных изменений в различных исследовательских группах.

Выводы

1. Признаки атрофического процесса головного мозга выявлены у 93,9% в основной группе и у 76,7% пациентов из группы сравнения, микроангиопатии – у 100,0 и 83,4% соответственно. Риск развития атрофии и микроангиопатии у ЛПА составляет 1,24 (0,96–1,59; $p = 0,041$) и 1,14 (0,98–1,33; $p = 0,008$) соответственно.

2. При сравнении показателей МРТ-перфузии (CBV, CBF и МТТ) между корой и глией у пациентов основной и контрольной группы установлено, что соотношение кора/глия между CBV и CBF в основной группе ниже, чем в группе сравнения, на 13,9 и 24,2% соответственно.

3. Сравнительный анализ параметров МРТ-перфузии показал, что у ЛПА соотношение между CBV в глии и коре правого полушария меньше, чем у пациентов на 0,3 и 11,7%, а в левом полушарии – на 19,3 и 22,9% соответственно. CBF в глии правого полушария у ЛПА повышен на 6,9%, а в коре снижен на 14,2%, в левом полушарии – на 9,8 и 13,4% соответственно.

4. Сравнение параметров перфузии с референсными значениями выявило, что частота превышения нормы CBV и CBF в глии и коре правого полушария выше у ЛПА, а в левом полушарии – у пациентов группы сравнения. Частота МТТ в глии с превышением нормальных значений у ЛПА повышена в обоих полушариях, в коре этот показатель – ниже нормы.

Участие авторов

Куликова Т.А. – обзор публикаций по теме статьи, проведение исследования, написание текста.

Мешков Н.А. – сбор и обработка данных, статистическая обработка данных.

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

Нуднов Н.В. – участие в научном дизайне, ответственность за целостность всех частей статьи.

Сергеев Н.И. – анализ и интерпретация полученных данных, подготовка, создание опубликованной работы.

Authors' participation

Kulikova T.A. – review of publications, conducting research, writing text.

Meshkov N.A. – collection and analysis of data, statistical analysis.

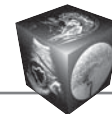
Solodkiy V.A. – concept and design of the study, approval of the final version of the article.

Nudnov N.V. – participation in scientific design, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Sergeev N.I. – analysis and interpretation of the obtained data, preparation and creation of the published work.

Список литературы

1. Степаненко И.В. Оценка особенностей изменений головного мозга у ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС по результатам современных нейровизуальных методов обследования. *Украинский нейрохирургический журнал*. 2002; 3: 57–61.
2. Горский А.И., Максютин М.А., Чекин С.Ю., Корело А.М., Кочергина Е.В., Зеленская Н.С., Иванов В.К. Влияние облучения на заболеваемость атеросклерозом среди участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльской атомной электростанции. *Радиация и риск (Бюллетень национального радиационно-эпидемиологического регистра)*. 2023; 32 (4): 14–23. <http://doi.org/10.21870/0131-3878-2023-32-4-14-23>
3. Мешков Н.А., Куликова Т.А., Вальцева Е.А. Клинико-эпидемиологическая оценка влияния факторов риска на развитие болезней системы кровообращения у ликвидаторов последствий чернобыльской катастрофы. *Радиация и риск (Бюллетень национального радиационно-эпидемиологического регистра)*. 2016; 25 (1): 94–107.
4. Литовченко Т.А., Завальная Е.П., Тондир О.Л., Тацкий Н.П. Особенности течения цереброваскулярных нарушений у ликвидаторов аварии на Чернобыльской АЭС в отдаленном периоде. *Восточно-европейский журнал семейной медицины*. 2017; 1: 69–74.
5. Левашкина И.М., Серебрякова С.В. Возможности высокопольной магнитно-резонансной томографии в оценке дегенеративных изменений головного мозга у ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС в отдаленном периоде. *Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях*. 2016; 4: 98–103. <http://doi.org/10.25016/2541-7487-2016-0-4-98-103>
6. Ефремушкин Г.Г., Подсонная И.В. Артериальная гипертензия и дисциркуляторная энцефалопатия - что первично? *CardioComatica*. 2011; 2 (4): 28–34.
7. Яхно Н.Н., Левин О.С., Дамулин И.В. Сопоставление клинических и МРТ-данных при дисциркуляторной энцефалопатии. *Неврологический журнал*. 2001; 6 (3): 16–18.
8. Cannistraro R.J., Badi M., Eidelman B.H. et al. CNS small vessel disease: a clinical review. *Neurology*. 2019; 92 (24): 1146–1156. <http://doi.org/10.1212/WNL.00000000000007654>
9. Сергеев Н.И., Ребрикова В.А., Котляров П.М., Солодкий В.А. T2*-перфузия в определении фрагментов остаточной ткани опухоли у пациентов с глиомами высокой степени злокачественности после хирургического лечения в подострый постоперационный период. *Вестник российского научного центра рентгенодиагностики*. 2020; 20 (1): 15–27.
10. Станжевский А.А., Тютин Л.А. Роль перфузионных технологий в оценке гемодинамики опухолей головного мозга. *Трансляционная медицина*. 2015; 4: 41–47.
11. Семенов С.Е., Портнов Ю.М., Хромов А.А., Нестеровский А.В., Хромова А.Н., Семенов А.С. Исследование перфузии при нарушениях церебрального кровообращения. Часть II (частная КТ- и МР-семиотика, паттерны патологических изменений).



Обзор. Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний. 2017; 6 (1): 102–111.

<https://doi.org/10.17802/2306-1278-2017-1-102-111>

12. Ананьева Н.И., Трофимова Т.Н. КТ- и МРТ-диагностика острых ишемических инсультов. СПб.: Издательский дом СПбМАПО, 2006.
13. Shetty S.H., Lev M.H. CT perfusion. In: Gonzalez R.G., Hirsch J.A., Koroshetz W.J. et al. (eds). *Acute Ischemic Stroke. Imaging and Intervention*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006.
14. Martsynkevych O.O. Viddaleni nevrolohichni naslidky oprominennia u likvidatorov avarii na ChAES [The late neurological radiation sequelae in participants in the cleanup of the accident at the Chernobyl Atomic Electric Power Station]. *Lik. Sprava*. 1997; 6: 29–31. PMID: 9589919 (In Ukrainian)
15. Морозов С.П., Насникова И.Ю., Шмырев В.И. и др. Перфузионная компьютерная томография в диагностике острого нарушения мозгового кровообращения. *Кремлевская медицина*. 2011; 1: 21–24.
16. Calamante F., Thomas D.L., Pell G.S. et al. Measuring cerebral blood flow using magnetic resonance imaging techniques. *J. Cereb. Blood Flow. Metab.* 1999; 19 (7): 701–735. <http://doi.org/10.1097/00004647-199907000-00001>
- consequences of the Chernobyl nuclear power plant accident in the long-term period. *Medico-Biological and Socio-Psychological Problems of Safety in Emergency Situations*. 2016; 4: 98–103. <http://doi.org/10.25016/2541-7487-2016-0-4-98-103>. (In Russian)
6. Efremushkin G.G., Podsonnaya I.V. Arterial hypertension and dyscirculatory encephalopathy - what comes first? *CardioSomatics*. 2011; 2 (4): 28–34. (In Russian)
7. Yakhno N.N., Levin O.S., Damulin I.V. Comparison of clinical and MRI data in dyscirculatory encephalopathy. *Neurol. J.* 2001; 6 (3): 16–18. (In Russian)
8. Cannistraro R.J., Badi M., Eidelman B.H. et al. CNS small vessel disease: a clinical review. *Neurology*. 2019; 92 (24): 1146–1156. <http://doi.org/10.1212/WNL.00000000000007654>
9. Sergeev N.I., Rebrikova V.A., Kotlyarov P.M., Solodkiy V.A. T2*-perfusion in determining fragments of residual tumor tissue in patients with high-grade gliomas after surgical treatment in the subacute postoperative period. *Bulletin of the Russian Scientific Center of X-ray Radiology*. 2020; 20 (1): 15–27. (In Russian)
10. Stanzhevsky A.A., Tyutin L.A. The role of perfusion technologies in assessing the hemodynamics of brain tumors. *Translational Medicine*. 2015; 4: 41–47. (In Russian)
11. Semenov S.E., Portnov Yu.M., Khromov A.A. et al. Study of perfusion in cerebral circulation disorders. Part II (particular CT and MR semiotics, patterns of pathological changes). Review. *Complex problems of cardiovascular diseases*. 2017; 6 (1): 102–111. <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2017-1-102-111> (In Russian)
12. Ananyeva N.I., Trofimova T.N. CT and MRI diagnostics of acute ischemic strokes. SPb.: Publishing house SPbMAPO, 2006. (In Russian)
13. Shetty S.H., Lev M.H. CT perfusion. In: Gonzalez R.G., Hirsch J.A., Koroshetz W.J. et al. (eds). *Acute Ischemic Stroke. Imaging and Intervention*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006.
14. Martsynkevych O.O. Viddaleni nevrolohichni naslidky oprominennia u likvidatorov avarii na ChAES [The late neurological radiation sequelae in participants in the cleanup of the accident at the Chernobyl Atomic Electric Power Station]. *Lik. Sprava*. 1997; 6: 29–31. PMID: 9589919 (In Ukrainian)
15. Morozov S.P., Nasnikova I.Yu., Shmyrev V.I. et al. Perfusion computed tomography in the diagnosis of acute cerebrovascular accident. *Kremlin Medicine*. 2011; 1: 21–24. (In Russian)
16. Calamante F., Thomas D.L., Pell G.S. et al. Measuring cerebral blood flow using magnetic resonance imaging techniques. *J. Cereb. Blood Flow. Metab.* 1999; 19 (7): 701–735. <http://doi.org/10.1097/00004647-199907000-00001>

References

1. Stepanenko I.V. Assessment of the characteristics of brain changes in liquidators of the consequences of the Chernobyl accident based on the results of modern neurovisual examination methods. *Ukrainian Neurosurgical Journal*. 2002; 3: 57–61. (In Russian)
2. Gorsky A.I., Maksyutov M.A., Chekin S.Yu. et al. The influence of radiation on the incidence of atherosclerosis among participants in the liquidation of the consequences of the accident at the Chernobyl nuclear power plant. *Radiation and risk (Bulletin of the national radiation-epidemiological register)*. 2023; 32 (4): 14–23. <http://doi.org/10.21870/0131-3878-2023-32-4-14-23> (In Russian)
3. Meshkov N.A., Kulikova T.A., Valtseva E.A. Clinical and epidemiological assessment of the influence of risk factors on the development of diseases of the circulatory system among liquidators of the consequences of the Chernobyl disaster. *Radiation and risk (Bulletin of the national radiation-epidemiological register)*. 2016; 25 (1): 94–107. (In Russian)
4. Litovchenko T.A., Zavalnaya E.P., Tondii O.L., Tatsiy N.P. Features of the course of cerebrovascular disorders in the liquidators of the accident at the Chernobyl nuclear power plant in the long-term period. *Eastern Eur. J. Family Med.* 2017; 1: 69–74. (In Russian)
5. Levashkina I.M., Serebryakova S.V. Possibilities of high-field magnetic resonance imaging in assessing degenerative changes in the brain in liquidators of the



Для корреспонденции*: Сергеев Николай Иванович – e-mail: sergeevnickolay@yandex.ru

Куликова Татьяна Анатольевна – канд. мед. наук, заведующая терапевтическим отделением клиники ядерной медицины ФГБУ «Российский научный центр рентгенодиагностики» Минздрава России, Москва.

Мешков Николай Алексеевич – академик РАН, доктор мед. наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории лучевой терапии и комплексных методов лечения онкологических заболеваний НИО комплексной диагностики заболеваний и радиотерапии ФГБУ «Российский научный центр рентгенодиагностики» Минздрава России, Москва. <http://orcid.org/0000-0001-6139-5833>

Солодкий Владимир Алексеевич – академик РАН, доктор мед. наук, профессор, директор ФГБУ «Российский научный центр рентгенодиагностики» Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-1641-6452>

Нуднов Николай Васильевич – доктор мед. наук, профессор, заместитель директора по научной работе ФГБУ «Российский научный центр рентгенодиагностики» Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-5994-0468>

Сергеев Николай Иванович – доктор мед. наук, заведующий лабораторией рентгенодиагностики научно-исследовательского отдела комплексной диагностики заболеваний и радиотерапии ФГБУ «Российский научный центр рентгенодиагностики» Минздрава России; профессор кафедры рентгенодиагностики ФДПО ФГАУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-4147-1928>

Contact*: Nikolay I. Sergeev – e-mail: sergeevnickolay@yandex.ru

Tatyana A. Kulikova – Cand. of Sci. (Med.), Head of the therapeutic department of the nuclear medicine clinic of the Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow.

Nikolay A. Meshkov – Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, Doct. of Sci. (Med.), Professor, Chief Researcher of the Laboratory of Radiation Therapy and Complex Methods for the Treatment of Oncological Diseases of the Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <http://orcid.org/0000-0001-6139-5833>

Vladimir A. Solodkiy – Academician of the Russian Academy of Sciences, Doct. of Sci. (Med.), Professor, Director of the Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-1641-6452>

Nikolay V. Nudnov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Deputy Director for Scientific Work of the Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-5994-0468>

Nikolay I. Sergeev – Doct. of Sci. (Med.), Head of the Laboratory of X-ray Radiology of the Research Department of Complex Diagnostics of Diseases and Radiotherapy of the Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; Professor of the Department Roentgenoradiology of FDPO of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-4147-1928>