

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1506>

Оценка и сравнительный анализ параметров перфузионной ОФЭКТ головного мозга у ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС с дисциркуляторной энцефалопатией в отдаленном периоде после облучения

© Куликова Т.А.*, Мешков Н.А., Солодкий В.А., Фомин Д.К.,
Борисова О.А., Нуднов Н.В.

ФГБУ «Российский научный центр рентгенодиагностики» Минздрава России; 117997 Москва, ул. Профсоюзная, д. 86, Российская Федерация

Цель исследования: сравнительный анализ параметров ОФЭКТ-перфузии головного мозга у ликвидаторов последствий аварии (ЛПА) на Чернобыльской АЭС с дисциркуляторной энцефалопатией (ДЭП) в отдаленном периоде, выбор показателей для мониторинга их состояния и оценки эффективности лечения.

Материал и методы. Выполнено ОФЭКТ-исследование головного мозга у ЛПА на ЧАЭС и необлученных пациентов с ДЭП. Обследовано 147 пациентов мужского пола, в том числе 93 (возраст 69,38 (6,42) года) – основная группа и 54 пациента (70,70 (7,25)) – группа сравнения (ГС). Различий по возрасту не установлено ($p = 0,347$). Исследование проводилось на ОФЭКТ-КТ-системе General Electric, Healthcare Discovery NM/CT 670 Pro. Сцинтиграфия головного мозга выполнялась с использованием ^{99m}Tc -теоксима (Россия). Для визуализации мозговой перфузии использовалась нагрузка диакарбом (ацетазоламидом). Сравнивались 22 параметра ОФЭКТ.

Результаты. Время артериального притока в передней и задней проекции в обеих группах увеличилось после нагрузки диакарбом у ЛПА на 8,37% ($p = 0,138$) и 6,62% ($p = 0,213$), в ГС на 15,38% ($p = 0,035$) и 13,63% ($p = 0,037$). Регионарный мозговой кровоток (рМК) в правом и левом полушариях у ЛПА ниже возрастной нормы ($p = 0,001$ и $p < 0,001$), а также чем рМК в лобных, височных, теменных и затылочных долях головного мозга у здоровых людей сопоставимого возраста ($p < 0,001$). Средние значения цереброваскулярного резерва (ЦВР) в обеих группах меньше нижней границы диапазона нормы – 31–75%. Соответствие этому диапазону выявлено только в ГС: у 2,94% от числа обследованных в височной и затылочной долях правого полушария и 8,82% – в затылочной доле левого полушария. ЦВР у ЛПА ниже, чем в ГС: в лобных долях обоих полушарий на 14,19 и 14,08%, в височной доле левого полушария – на 16,31%, но выше в затылочных долях на 29,07 и 12,06%. У ЛПА обнаружена отрицательная связь рМК и ЦВР с возрастом, а также ЦВР с дозой облучения ($p < 0,05$).

Заключение. ОФЭКТ является перспективным методом выявления ДЭП у ЛПА и лиц, подвергшихся воздействию радиации, предупреждения осложнений и оценки эффективности лечения. Критерием может служить снижение рМК и ЦВР в лобной и лобно-височной областях головного мозга.

Ключевые слова: ликвидаторы последствий аварии на ЧАЭС; дисциркуляторная энцефалопатия; ОФЭКТ-перфузии головного мозга; регионарный мозговой кровоток; цереброваскулярный резерв

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Куликова Т.А., Мешков Н.А., Солодкий В.А., Фомин Д.К., Борисова О.А., Нуднов Н.В. Оценка и сравнительный анализ параметров перфузионной ОФЭКТ головного мозга у ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС с дисциркуляторной энцефалопатией в отдаленном периоде после облучения. *Медицинская визуализация*. 2024; 28 (4): 11–25. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1506>

Поступила в редакцию: 03.10.2024. **Принята к печати:** 24.10.2024. **Опубликована online:** 8.11.2024.



Assessment and comparison analysis of cerebral perfusion SPECT parameters in liquidators of the Chernobyl accident suffering from dyscirculatory encephalopathy long after exposure to radiation

© Tatyana A. Kulikova*, Nikolay A. Meshkov, Vladimir A. Solodkiy, Dmitry K. Fomin, Olga A. Borisova, Nikolay V. Nudnov

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

The purpose of the study is to perform comparative analysis of cerebral perfusion SPECT parameters found in liquidators of the Chernobyl accident suffering from dyscirculatory encephalopathy (DEP) long after exposure to radiation and to identify indicators for monitoring their physical condition and assess treatment effectiveness.

Materials and methods. We used cerebral single-photon emission computed tomography (SPECT) to examine a group of liquidators of the Chernobyl accident (LCA) and a group of patients who had not been exposed to radiation, all of them suffering from dyscirculatory encephalopathy (DEP). We examined a total of 147 men, including 93 LCAs aged 69.38 (6.42) (the study group) and 54 patients aged 70.70 (7.25) (the comparison group). No differences by age were identified ($p = 0.347$). The study was performed using General Electric Healthcare Discovery NM/CT 670 Pro. Cerebral scintigraphy was performed using Russian-made Theoxym, ^{99m}Tc . Cerebral perfusion imaging was carried out with the help of diacarb (acetazolamide). We compared a total of 22 SPECT parameters.

Results. Arterial inflow time in the frontal and back views in both groups increased after taking diacarb by 8.37% ($p = 0.138$) and 6.62% ($p = 0.213$) in LCAs and by 15.38% ($p = 0.035$) and 13.63% ($p = 0.037$) in the comparison group. Regional cerebral blood flow (rCBF) in the right and left brain hemispheres of LCAs was below the age norm ($p = 0.001$ and $p < 0.001$), as well as below the rCBF in the frontal, temporal, parietal, and occipital lobes of the brain in healthy subjects of comparable age ($p < 0.001$). Average cerebrovascular reserve (CVR) in both groups was lower than the lower end of the normal range (31–75%). Only some of the patients from the comparison group fell within this range: 2.94% of those examined – in the temporal and occipital lobes of the right hemisphere and 8.82% – in the occipital lobe of the left hemisphere. CVR was lower in LCAs than in the comparison group by 14.19 and 14.08% in the frontal lobes of both hemispheres and by 16.31% in the temporal lobe of the left hemisphere; in the occipital lobes, however, it was higher by 29.07 and 12.06%. We found a negative correlation between rCBF and CVR and LCAs' age, as well as between CVR and radiation dose ($p < 0.05$).

Conclusion. SPECT is a promising method of detecting DEP in LCAs and other patients who have been exposed to radiation, as well as of preventing health complications and assessing treatment effectiveness. A decrease in rCBF and CVR in the frontal and frontotemporal areas of the brain may serve as the criterion for DEP detection.

Keywords: liquidators of the Chernobyl accident; dyscirculatory encephalopathy; cerebral perfusion SPECT; regional cerebral blood flow; cerebrovascular reserve

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., Fomin D.K., Borisova O.A., Nudnov N.V. Assessment and comparison analysis of cerebral perfusion SPECT parameters in liquidators of the chernobyl accident suffering from dyscirculatory encephalopathy long after exposure to radiation. *Medical Visualization*. 2024; 28 (4): 11–25. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1506>

Received: 03.10.2024.

Accepted for publication: 24.10.2024.

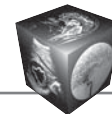
Published online: 8.11.2024.

Введение

Своевременная диагностика цереброваскулярной патологии имеет большое значение в выборе патогенетической терапии и лечебных мероприятий, что особенно важно при обследовании пациентов пожилого возраста. К числу таких пациентов относятся ликвидаторы последствий аварии (ЛПА)

на Чернобыльской АЭС, у которых сосудистые заболевания головного мозга занимают ведущее место среди отдаленных медицинских последствий.

Цереброваскулярная патология проявляется прогрессивным медленно прогрессирующим диффузным поражением мозга. Эту патологию принято обозначать как “дисциркуляторная энце-



фалопатия” (ДЭП) или “церебральная микроангиопатия” [1].

Приоритетными факторами риска ДЭП у ЛПА в отдаленном периоде являются возраст и коморбидная патология, среди которой ведущее место занимают артериальная гипертензия (АГ) и ишемическая болезнь сердца [2–7]. У людей с более высоким диастолическим давлением повышен риск развития ишемического инсульта [8]. Многолетними исследованиями установлено, что основной причиной цереброваскулярных расстройств являются нарушения микроциркуляторных процессов [9].

Перечисленные факторы риска и полиморбидный характер заболеваемости пациентов пожилого возраста существенно осложняют диагностику ДЭП. Отмечается, что более чем у половины пациентов с ДЭП диагноз является ошибочным [10].

Большое значение при диагностике цереброваскулярной патологии у ЛПА имеет определение характера, локализации и тяжести нарушения мозгового кровообращения [11]. Важная роль отводится изучению влияния возрастных изменений и АГ, как приоритетных факторов риска развития хронической прогрессирующей недостаточности мозгового кровообращения.

В диагностике АГ, возрастных изменений головного мозга и нарушений церебрального кровообращения применяется перфузионная однофотонная эмиссионная компьютерная томография (ОФЭКТ) [12, 13]. Перфузионная ОФЭКТ используется для определения состояния регионарного мозгового кровотока, цереброваскулярной реактивности и перфузионного резерва цереброваскулярного русла.

Результаты ОФЭКТ служат уникальными дескрипторами динамических изменений в функции мозга. Так, например, повышенная гетерогенность перфузии мозга связана с повышенным риском тромбоэмболических событий [14], а низкая глобальная перфузия мозга – с повышенным риском транзиторной ишемической атаки [8].

ОФЭКТ может быть использована для дифференциальной диагностики ДЭП у ЛПА с гипертонической энцефалопатией, сосудистой деменцией и болезнью Альцгеймера [15–19]. Для повышения качества диагностики данные ОФЭКТ рекомендуются сопоставлять с данными МРТ-перфузии [20]. Установлено, что параметры перфузионной КТ мозгового кровотока, объема мозговой крови и среднего времени транзита (МТТ) коррелировали с региональными соотношениями мозгового кровотока по данным ОФЭКТ ($p < 0,01$) [21].

Сопоставление данных ОФЭКТ и МРТ позволяет суммировать преимущества и возможности этих методов для оценки резервов церебральной гемодинамики [22].

Состояние кровотока в головном мозге является предметом изучения многих исследователей, но до настоящего времени не установлены критерии оценки перфузии головного мозга. Эта проблема осложняется значительным диапазоном колебаний параметров перфузии. При сосудистой патологии головного мозга определение нарушений перфузии становится ключевым для выбора дифференциальной диагностики, обоснования критериев мониторинга за состоянием пациентов с ДЭП и патогенетической терапии.

Дифференциальная диагностика ДЭП у ЛПА с гипертонической энцефалопатией, сосудистой деменцией и болезнью Альцгеймера имеет большое значение для экспертов Межведомственного экспертного совета по установлению причинной связи заболеваний, инвалидности и смерти граждан, подвергшихся воздействию радиационных факторов.

Цель исследования: сравнительный анализ параметров ОФЭКТ-перфузии головного мозга у ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС с ДЭП в отдаленном периоде и выбор показателей для мониторинга их состояния и оценки эффективности лечения.

Материал и методы

Материалом исследования послужили данные ОФЭКТ головного мозга у ЛПА на Чернобыльской АЭС и пациентов, не подвергавшихся радиационному воздействию, с диагнозом ДЭП. Всего было обследовано 147 пациентов мужского пола в возрасте от 55 до 87 лет (средний возраст 68,78 (6,42) года). Из них основную группу (ОГ) составили 93 ЛПА (средний возраст 69,38 (6,42) года в диапазоне 60–87 лет), группу сравнения (ГС) – 54 пациента (средний возраст 70,70 (7,25) года в диапазоне 57–84 лет). Возраст обследованных в обеих группах не имел статистически значимых различий ($p = 0,347$).

Исследование проводилось на комбинированной ОФЭКТ-КТ-системе General Electric, Healthcare Discovery NM/CT 670 Pro. Сцинтиграфия головного мозга выполнялась с использованием ^{99m}Tc -теоксима (Российская Федерация). Для визуализации мозговой перфузии использовалась фармакологическая нагрузка диакарбом (ацетазоламидом).

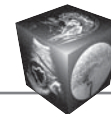
Параметры ОФЭКТ-перфузии головного мозга представлены в табл. 1.

**Таблица 1.** Параметры ОФЭКТ-исследования основных показателей мозгового кровотока**Table 1.** SPECT parameters for the study of key cerebral blood flow measures

№ п/п Item	Параметры ОФЭКТ-перфузии головного мозга Cerebral perfusion SPECT parameters	Сокращения Abbreviations
1.	Время артериального притока в передней проекции, с Arterial inflow time in the frontal views,	ВАПпп, с AIT FV, sec
2.	Время артериального притока в задней проекции, с Arterial inflow time in the back views	ВАПзп, с AIT BV, sec
3.	Захват радиофармацевтического препарата, % Electron capture of the radiopharmaceutical, %	Захват РФП, % RP capture, %
4.	Регионарный мозговой кровоток. Правое полушарие, мл/100 г/мин Regional cerebral blood flow. Right hemisphere, ml/100 g/min	рМК прав. ПШ RH rCBF
5.	Регионарный мозговой кровоток. Левое полушарие, мл/100 г/мин Regional cerebral blood flow. Left hemisphere, ml/100 g/min	рМК лев. ПШ LH rCBF
6.	Степень асимметрии регионарного мозгового кровотока Regional cerebral blood flow asymmetry	CApMK rCBFA
7.	Регионарный мозговой кровоток. Лобная доля, правое полушарие, мл/100 г/мин Regional cerebral blood flow, frontal lobe, right hemisphere, ml/100 g/min	рМК ЛД прав. ПШ RH FL rCBF
8.	Регионарный мозговой кровоток. Лобная доля, левое полушарие, мл/100 г/мин Regional cerebral blood flow, frontal lobe, left hemisphere, ml/100 g/min	рМК ЛД лев. ПШ LH FL rCBF
9.	Регионарный мозговой кровоток. Височная доля, правое полушарие, мл/100 г/мин Regional cerebral blood flow, temporal lobe, right hemisphere, ml/100 g/min	рМК ВД прав. ПШ RH TL rCBF
10.	Регионарный мозговой кровоток. Височная доля, левое полушарие, мл/100 г/мин Regional cerebral blood flow, temporal lobe, left hemisphere, ml/100 g/min	рМК ВД лев. ПШ LH TL rCBF
11.	Регионарный мозговой кровоток. Теменная доля, правое полушарие, мл/100 г/мин Regional cerebral blood flow, parietal lobe, right hemisphere, ml/100 g/min	рМК ТД прав. ПШ RH PL rCBF
12.	Регионарный мозговой кровоток. Теменная доля, левое полушарие, мл/100 г/мин Regional cerebral blood flow, parietal lobe, left hemisphere, ml/100 g/min	рМК ТД лев. ПШ LH PL rCBF
13.	Регионарный мозговой кровоток. Затылочная доля, правое полушарие, мл/100 г/мин Regional cerebral blood flow, occipital lobe, right hemisphere, ml/100 g/min	рМК ЗД прав. ПШ RH OL rCBF
14.	Регионарный мозговой кровоток. Затылочная доля, левое полушарие, мл/100 г/мин Regional cerebral blood flow, occipital lobe, left hemisphere, ml/100 g/min	рМК ЗД лев. ПШ LH OL rCBF
15.	Цереброваскулярный резерв. Лобная доля, правое полушарие, % Cerebrovascular reserve, frontal lobe, right hemisphere, %	ЦВР ЛД прав. ПШ RH FL CVR
16.	Цереброваскулярный резерв. Лобная доля, левое полушарие, % Cerebrovascular reserve, frontal lobe, left hemisphere, %	ЦВР ЛД лев. ПШ LH FL CVR
17.	Цереброваскулярный резерв. Височная доля, правое полушарие, % Cerebrovascular reserve, temporal lobe, right hemisphere, %	ЦВР ВД прав. ПШ RH TL CVR
18.	Цереброваскулярный резерв. Височная доля, левое полушарие, % Cerebrovascular reserve, temporal lobe, left hemisphere, %	ЦВР ВД лев. ПШ LH TL CVR
19.	Цереброваскулярный резерв. Теменная доля, правое полушарие, % Cerebrovascular reserve, parietal lobe, right hemisphere, %	ЦВР ТД прав. ПШ RH PL CVR
20.	Цереброваскулярный резерв. Теменная доля, левое полушарие, % Cerebrovascular reserve, parietal lobe, left hemisphere, %	ЦВР ТД лев. ПШ LH PL CVR
21.	Цереброваскулярный резерв. Затылочная доля, правое полушарие, % Cerebrovascular reserve, occipital lobe, right hemisphere, %	ЦВР ЗД прав. ПШ RH OL CVR
22.	Цереброваскулярный резерв. Затылочная доля, левое полушарие, % Cerebrovascular reserve, occipital lobe, left hemisphere, %	ЦВР ЗД лев. ПШ LH OL CVR

Примечание. Показатели без нагрузки диакарбом имели обозначение БД, с нагрузкой – СД.

Note. Parameters measured in subjects who have not taken diacarb are referred to as NDC, and those measured after taking diacarb are referred to as DC.



Систематизация исходной информации и визуализация полученных результатов выполнялась в электронных таблицах Microsoft Excel 2016, обработка полученных данных – с использованием программы Statistica version 10.0. С целью проверки однородности изучаемых показателей проводили анализ распределения полученных величин по отношению к нормальному ожидаемому распределению с использованием критерия Шапиро–Уилка.

Описание количественных данных, имеющих нормальное распределение, представлено в виде среднего арифметического (M) и стандартного отклонения (SD). Качественные данные представлены в виде частот или процентов. Для сравнения данных с нормальным распределением применялся t -критерий для независимых переменных. Различия между группами оценивали с помощью относительного риска (OR), 95% доверительных интервалов ($ДИ$) и критерия значимости различий χ^2 . Выявление взаимосвязи между переменными проводилось с применением корреляционно-регрессионного анализа. Различия считали статистически значимыми при уровне значимости $p \leq 0,05$. Показатели с уровнем значимости от $>0,05$ до $<0,10$ рассматривались в качестве тенденций.

Результаты исследования

При сравнительном анализе групп обследованных по времени постановки диагноза ДЭП установлено, что у ЛПА эта патология стала выявляться, начиная с 1988 г., а в ГС – с 1993 г. В обеих группах сопоставимого возраста обнаружена статистически значимая взаимосвязь связь между календарным возрастом и возрастом постановки диагноза цереброваскулярной болезни – соответственно $p < 0,001$ и $p = 0,007$. Достоверных различий между длительностью заболевания в изучаемых группах не установлено.

Результаты статистической обработки параметров ОФЭКТ-перфузии головного мозга у ЛПА и пациентов, не подвергавшихся воздействию радиации, представлены в табл. 2.

При сравнительном анализе приведенных в табл. 2 данных установлено, что у ЛПА время артериального притока в передней проекции ($ВАП_{пп}$), ниже, чем в задней проекции ($ВАП_{зп}$) на 3,29% ($p = 0,411$). После нагрузки диакарбом $ВАП_{пп}$ увеличилась на 8,37% ($p = 0,138$), а $ВАП_{зп}$ –

на 6,62% ($p = 0,213$). Регионарный мозговой кровоток ($рМК$) в правом полушарии на 1,17% ($p = 0,082$) выше показателя в левом, $рМК$ в лобной доле правого полушария выше показателя в лобной доле левого полушария на 1,60% ($p = 0,028$), а после нагрузки – на 2,52% ($p = 0,001$), в височной доле правого полушария по сравнению с левым полушарием – на 2,16% ($p = 0,009$).

В ГС после нагрузки диакарбом наблюдалось повышение $ВАП$ в передней и задней проекции – соответственно на 15,38% ($p = 0,035$) и на 13,63% ($p = 0,037$), $рМК$ в лобной доле правого полушария увеличился по сравнению с $рМК$ в лобной доле левого полушария на 2,24% ($p = 0,031$).

В табл. 3 представлены показатели цереброваскулярного резерва ($ЦВР$) в группах обследованных.

Статистически значимых различий между величинами $ЦВР$ в ОГ и ГС не установлено.

Результаты сравнительного анализа $ЦВР$ между ОГ и ГС представлены на рисунке.

Как показано на рисунке, в ОГ выявлено снижение $ЦВР$ ГМ, $ЦВР$ в лобных долях правого и левого полушарий, а также в височной доле левого полушария и в теменных долях обоих полушарий. Статистически значимых различий между выявленными различиями не обнаружено.

Для выбора показателей оценки мониторинга состояния и эффективности лечения пациентов исследовали причинно-следственные отношения между немодифицируемыми факторами риска развития ДЭП (возраст и доза облучения) и параметрами ОФЭКТ-перфузии у обследованных в обеих группах. Результаты оценки взаимосвязи представлены в табл. 4.

Как видно из табл. 4, у ЛПА до нагрузки диакарбом выявлена умеренная отрицательная связь между календарным возрастом и $рМК$ в левом полушарии, в лобной, теменной и затылочной долях этого полушария. После нагрузки диакарбом обнаружена умеренная положительная связь с величиной захвата, а также отрицательная связь такой же силы с $ЦВР$ в правом полушарии и в теменных долях обоих полушарий. Обнаружена высокая отрицательная связь между дозой облучения и $ЦВР$ в лобных долях правого и левого полушарий. У пациентов в ГС умеренная отрицательная связь календарного возраста установлена с $рМК$ до введения диакарба в теменных и затылочных долях обоих полушарий.

**Таблица 2.** Средние значения параметров ОФЭКТ-перфузии головного мозга у обследованных в основной группе и группе сравнения**Table 2.** Average cerebral perfusion SPECT parameters in subjects from the study group and the comparison group

Параметры ОФЭКТ SPECT parameters	Группы обследованных, М (SD) Examined groups, M (SD)			
	основная the study group		сравнения the comparison group	
	без диакарба not taken diacarb	с диакарбом after taking diacarb	без диакарба not taken diacarb	с диакарбом after taking diacarb
ВАПп, с AIT FV, sec	16.97 (3.31)	18.38 (4.94)	17.83 (5.49)*	20.57 (6.12)*
ВАПзп, с AIT BV, sec	17.54 (3.25)	18.70 (4.80)	18.37 (4.79)*	20.88 (5.92)*
Захват РФП, % RP capture, %	5.37 (1.01)	5.69 (0.91)	5.55 (1.30)	5.07 (1.99)
рМК прав. ПШ RH rCBF	30.87 (0.92)	31.07 (0.54)	31.10 (1.14)	31.07 (1.30)
рМК лев. ПШ LH rCBF	30.51 (1.02)	30.48 (0.87)	30.76 (1.08)	29.75 (5.19)
СарМК (Степень симметрии) rCBFA (asymmetry)	0.98 (0.01)	0.98 (0.91)	0.98 (0.01)	0.98 (0.02)
рМК ЛД прав. ПШ RH FL rCBF	30.72 (1.03)*	30.98 (0.87)	30.96 (1.23)	31.00 (1.34)*
рМК ЛД лев. ПШ LH FL rCBF	30.24 (1.04)*	30.22 (0.92)	30.52 (1.14)	30.32 (1.20)*
рМК ВД прав. ПШ RH TL rCBF	30.96 (0.97)	31.28 (0.93)*	31.19 (1.12)	31.23 (1.37)
рМК ВД лев. ПШ LH TL rCBF	30.66 (1.03)	30.61 (1.02)*	30.86 (1.13)	30.74 (1.19)
рМК ТД прав. ПШ RH PL rCBF	30.84 (0.92)	30.91 (0.97)	31.12 (1.18)	30.89 (1.30)
рМК ТД лев. ПШ LH PL rCBF	30.63 (1.30)	29.86 (3.76)	30.87 (1.15)	30.53 (1.10)
рМК ЗД прав. ПШ RH OL rCBF	31.63 (0.89)	31.73 (0.80)	31.74 (1.01)	31.71 (1.25)
рМК ЗД лев. ПШ LH OL rCBF	31.46 (1.02)	31.33 (1.01)	31.70 (1.01)	31.03 (2.98)

* Между значениями параметров имеются статистически значимые различия. Сокращения см. в Табл. 1.

* There are statistically significant differences between the parameter values. Abbreviations in Tabl. 1.



Таблица 3. Средние величины цереброваскулярного резерва у обследованных основной группы и группы сравнения, %
Table 3. Average cerebrovascular reserve in subjects from the study group and the comparison group, %

Области оценки ЦВР Evaluation areas of the CVR	Группы обследованных Examined groups			
	основная the study group		сравнения the comparison group	
	M (SD)	min–max	M (SD)	min–max
ЦВР ГМ CVR	11.10 (5.96)	2.1–22.00	11.01 (7.80)	2.60–35.00
ЦВР ЛД прав. ПШ RH FL CVR	7.12 (5.70)	0.18–21.57	8.23 (6.78)	0.07–29.77
ЦВР ЛД лев. ПШ LH FL CVR	7.36 (4.25)	0.32–15.84	8.52 (5.74)	0.30–22.27
ЦВР ВД прав. ПШ RH TL CVR	9.59 (9.24)	0.33–37.46	9.46 (7.70)	0.05–30.77
ЦВР ВД лев. ПШ LH TL CVR	8.86 (6.02)	0.10–24.21	10.44 (9.27)	0.08–38.01
ЦВР ТД прав. ПШ RH PL CVR	8.32 (5.78)	0.20–19.65	8.77 (6.29)	0.22–22.08
ЦВР ТД лев. ПШ LH PL CVR	8.27 (4.20)	0.92–19.97	8.25 (6.72)	0.19–26.76
ЦВР ЗД прав. ПШ RH OL CVR	10.38 (13.14)	0.14–43.43	7.94 (8.74)	0.87–47.32
ЦВР ЗД лев. ПШ LH OL CVR	11.88 (11.58)1	0.17–44.50	10.47 (12.26)	0.34–55.00

Примечание. Сокращения см. в табл. 1.
Note. Abbreviations in Tabl. 1.

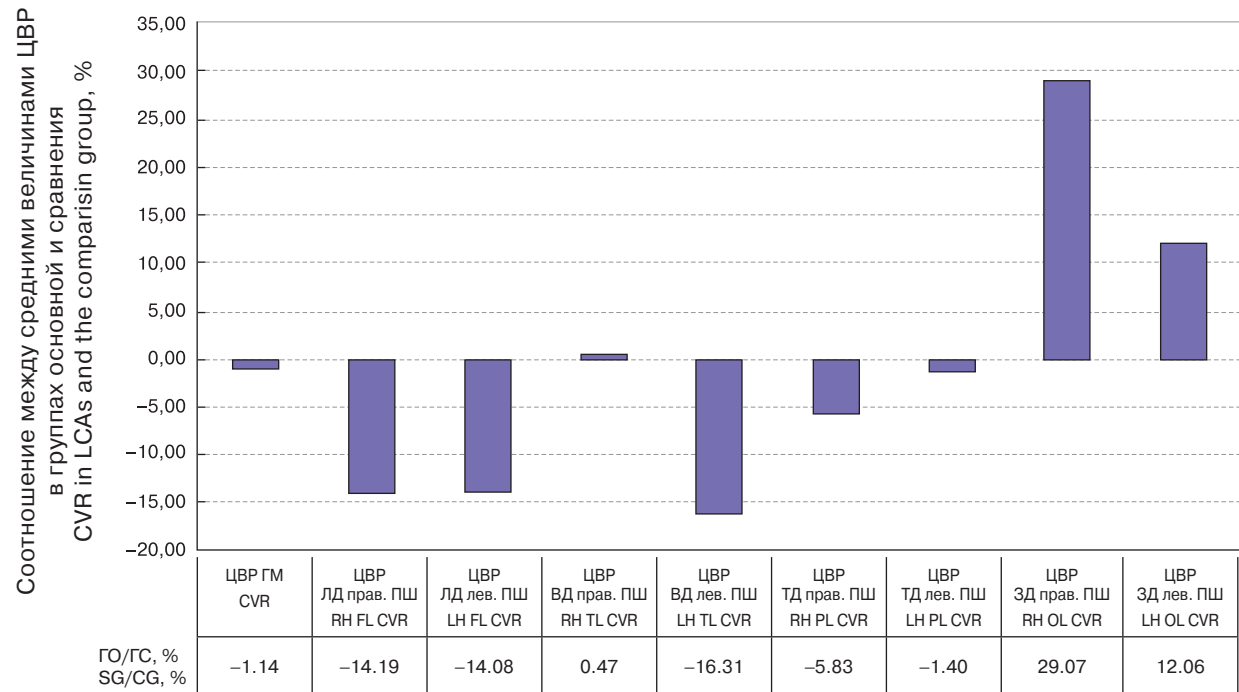


Рисунок. Соотношение между средними значениями ЦВР у ЛПА и в группе сравнения, %. Сокращения см. в табл. 1.
Figure. Correlation between average CVR in LCAs and the comparison group, %. Abbreviations in Tabl. 1.

**Таблица 4.** Модели зависимости параметров ОФЭКТ от не модифицируемых факторов риска ДЭП у ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС и пациентов в группе сравнения**Table 4.** Model of correlation between SPECT parameters and non-modifiable DEP risk factors in liquidators of the Chernobyl accident and patients from the comparison group

Факторы Factors	Уравнение регрессии* Regression equation*	Итоговые статистики Summary statistics		
		R	R ²	p
Основная группа				
Возраст, годы Age, years	БД рМК лев. ПШ: y = 35,3363 – 0,0699 NDC LH rCBF: y = 35.3363 – 0.0699	–0.439	0.1930	0.002
	БД рМК ЛД лев. ПШ: y = 35,0832 – 0,0701 NDC LH FL rCBF: y = 35.0832 – 0.0701	–0.431	0.1860	0.002
	БД рМК ТД прав. ПШ: y = 33,6006 – 0,04 NDC RH PL rCBF: y = 33.6006 – 0.04	–0.2780	0.0770	0.061
	БД рМК ТД лев. ПШ: y = 36,0828 – 0,0789 NDC LH PL rCBF: y = 36,0828 – 0,0789	–0.3894	0.1517	0.007
	БД рМК ЗД прав. ПШ: y = 33,7305 – 0,0305 NDC RH OL rCBF: y = 33.7305 – 0.0305	–0.2177	0.0474	0.146
	БД рМК ЗД лев. ПШ: y = 35,6994 – 0,0614 NDC LH OL rCBF: 35.6994 – 0.0614	–0.383	0.1480	0.008
	СД захват РФП: y = 0,6045 + 0,0736 DC RP capture: y = 0.6045 + 0.0736	0.468	0.2190	0.007
	ЦВР ЛД прав. ПШ: y = 45,0601 – 0,6649 RH FL CVR: y = 0.6045 + 0.0736	–0.425	0.1800	0.015
	ЦВР ТД прав. ПШ: y = 58,5571 – 0,8409 RH PL CVR: y = 58.5571 – 0.8409	–0.479	0.2300	0.005
	ЦВР ТД лев. ПШ: y = 52,1166 – 0,7499 LH PL CVR: y = 52.1166 – 0.7499	–0.445	0.1980	0.011
Доза, Гр Dose, Gy	ЦВР ЛД прав. ПШ: y = 25,6193 – 103,0451 RH FL CVR: y = 25.6193 – 103.0451	–0.778	0.605	0.023
	ЦВР ЛД лев. ПШ: y = 22,6592 – 100,4044 LH FL CVR: y = 22.6592 – 100.4044	–0.815	0.663	0.013
	ЦВР ТД лев. ПШ: y = 24,6743 – 89,9735 LH PL CVR: y = 24.6743 – 89.9735	–0.662	0.439	0.073
Группа сравнения				
Возраст, годы Age, years	БД рМК лев. ПШ: y = 32,8006 – 0,0295 NDC LH rCBF: y = 32.8006 – 0.0295	–0.2011	0.0404	0.170
	БД рМК ЛД лев. ПШ: y = 31,8234 – 0,0192 NDC LH FL rCBF: y = 31.8234 – 0.0192	–0.1245	0.0155	0.399
	БД рМК ТД прав. ПШ: y = 34,7013 – 0,051 NDC RH PL rCBF: y = 34.7013 – 0.051	–0.373	0.139	0.007
	БД рМК ТД лев. ПШ: y = 33,5988 – 0,0391 NDC LH PL rCBF: y = 33.5988 – 0.0391	–0.2477	0.0614	0.089
	БД рМК ЗД прав. ПШ: y = 34,9325 – 0,0458 NDC RH OL rCBF: y = 34.9325 – 0.0458	–0.386	0.149	0.006
	БД рМК ЗД лев. ПШ: y = 33,9351 – 0,0321 NDC LH OL rCBF: y = 33.9351 – 0.0321	–0.277	0.076	0.051

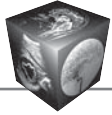


Таблица 4 (окончание).
Table 4 (end).

Факторы Factors	Уравнение регрессии* Regression equation*	Итоговые статистики Summary statistics		
		R	R²	p
Группа сравнения				
Возраст, годы Age, years	СД захват РФП: y = 5,1461 + 0,0027 DC RP capture: y = 5.1461 + 0.0027	0.0122	0.0001	0.946
	ЦВР ЛД прав. ПШ: y = 5,5007 + 0,0417 RH FL CVR: y = 5.5007 + 0.0417	0.0440	0.0019	0.807
	ЦВР ТД прав. ПШ: y = 19,9476 – 0,163 RH PL CVR: y = 19.9476 – 0.163	–0.1945	0.0378	0.278
	ЦВР ТД лев. ПШ: y = 16,2204 – 0,112 LH PL CVR: y = 16.2204 – 0.112	–0.1170	0.0137	0.516

Примечания. * Показатели без нагрузки диакарбом имели обозначение БД, с нагрузкой – СД. ** В таблицу внесены уравнения регрессии, соответствующие статистически значимому уровню или близкие к нему (от $\leq 0,05$ до $< 0,10$). Уравнения, не отвечающие этому уровню, приведены для сравнения выявленных тенденций, если в одной из групп они имели статистически значимый уровень.

Notes. *Parameters measured in subjects who have not taken diacarb are referred to as NDC, and those measured after taking diacarb are referred to as DC. ** The table includes regression equations that correspond to the statistically significant level or are close to the statistically significant level (from ≤ 0.05 up to < 0.10). The equations that do not correspond to this level are given for the purposes of comparing the identified trends when they are statistically significant in one of the groups.

Сокращения (Abbreviations):

БД рМК лев. ПШ NDC LH rCBF	Регионарный мозговой кровоток. Левое полушарие, без нагрузки диакарбом Regional cerebral blood flow, left hemisphere, not taken diacarb
БД рМК ЛД лев. ПШ NDC LH FL rCBF	Регионарный мозговой кровоток. Лобная доля, левое полушарие, без нагрузки диакарбом Regional cerebral blood flow, frontal lobe, left hemisphere, not taken diacarb
БД рМК ТД прав. ПШ NDC RH PL rCBF	Регионарный мозговой кровоток. Теменная доля, правое полушарие, без нагрузки диакарбом Regional cerebral blood flow, parietal lobe, right hemisphere, not taken diacarb
БД рМК ТД лев. ПШ NDC LH PL rCBF	Регионарный мозговой кровоток. Теменная доля, левое полушарие, без нагрузки диакарбом Regional cerebral blood flow, parietal lobe, left hemisphere, not taken diacarb
БД рМК ЗД прав. ПШ NDC RH OL rCBF	Регионарный мозговой кровоток. Затылочная доля, правое полушарие, без нагрузки диакарбом Regional cerebral blood flow, occipital lobe, right hemisphere, not taken diacarb
БД рМК ЗД лев. ПШ NDC LH OL rCBF	Регионарный мозговой кровоток. Затылочная доля, левое полушарие, без нагрузки диакарбом Regional cerebral blood flow, occipital lobe, left hemisphere, not taken diacarb
СД захват DC Capture	Захват диакарба Diacarb capture
ЦВР ЛД прав. ПШ RH FL CVR	Цереброваскулярный резерв. Лобная доля, правое полушарие Cerebrovascular reserve, frontal lobe, right hemisphere
ЦВР ЛД лев. ПШ LH FL CVR	Цереброваскулярный резерв. Лобная доля, левое полушарие Cerebrovascular reserve, frontal lobe, left hemisphere
ЦВР ТД прав. ПШ RH PL CVR	Цереброваскулярный резерв. Теменная доля, правое полушарие Cerebrovascular reserve, parietal lobe, right hemisphere
ЦВР ТД лев. ПШ LH PL CVR	Цереброваскулярный резерв. Теменная доля, левое полушарие Cerebrovascular reserve, parietal lobe, left hemisphere



Обсуждение

Рост цереброваскулярной патологии наблюдается среди населения большинства стран мира. В Российской Федерации прирост цереброваскулярной заболеваемости регистрируется начиная с 2008 г. Частота первичной и общей заболеваемости цереброваскулярными болезнями (классы I67 и I69 по МКБ-10) среди населения в возрасте от 55 до 60 лет и старше составляет соответственно 23 и 20% [23]. Ведущей патологией среди этих заболеваний является хроническая ишемия головного мозга различного генеза, в том числе ДЭП.

Среди ЛПА и населения, эвакуированного из 30-километровой зоны ЧАЭС, прирост сердечно-сосудистой заболеваемости наблюдался в период с 7 по 21 год после аварии с пиковым уровнем через 12–21 год в основном в возрасте 40–60 лет. В последующие 22–30 лет после аварии регистрировалось снижение уровня этой патологии [24].

Средний возраст выявления ДЭП у включенных в исследование ЛПА и у пациентов ГС составляет соответственно 46,41 (9,27) и 44,56 (7,97) года, достоверных различий между этими величинами не обнаружено ($p = 0,577$). При этом у ЛПА диагноз этой патологии впервые был поставлен уже в 1988 г., а у пациентов ГС – в 1993 г., то есть на 5 лет раньше, что соответствует данным Г.Г. Ефремушкина и И.В. Подсонной (2011) [25].

Нейровизуализация с применением ОФЭКТ-перфузии головного мозга у пациентов с ДЭП, особенно у подвергшихся воздействию радиации в период ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС или других радиационных инцидентов, имеет большое значение для прогнозирования возможных осложнений, обоснования патогенетической терапии, выбора тактики лечения и контроля ее эффективности [26].

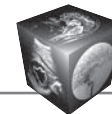
Для ЛПА, заболеваемость которых носит полиморбидный характер, ОФЭКТ является перспективным методом для своевременной и точной постановки диагноза, а также проведения дифференциальной диагностики с сосудистой патологией головного мозга у пациентов пожилого возраста, у которых часто встречаются изменения перфузии головного мозга в виде зон снижения в лобных, теменно-затылочных и височных областях [27, 28].

ОФЭКТ-перфузия с применением фармакологической нагрузки диакарбом позволяет оценить состояние мозгового кровотока и ЦВР. В областях мозга с сохранившимся ЦВР этот препарат увеличивает перфузию, а в областях с низким ЦВР перфузия снижается или же остается на прежнем уровне [29].

Установлено, что ВАП в передней и задней проекциях значительно превышает значения нормы (6–8 с). У ЛПА после нагрузки диакарбом выявлено увеличение ВАП в передней и задней проекциях – соответственно на 8,37% ($p = 0,138$) и 6,62% ($p = 0,213$). Характерное для ДЭП изначальное снижение мозгового кровотока (рМК в мл/100 г/мин) подтверждено результатами исследования: рМК в правом ($30,87 \pm 0,14$) и левом ($30,51 \pm 0,15$) полушариях значительно ниже возрастной нормы ($43,1 \pm 3,8$ и $42,2 \pm 3,3$) – соответственно $t = 3,22$ ($p = 0,001$) и $t = 3,54$ ($p < 0,001$) [17], а также чем рМК в лобных, височных, теменных и затылочных долях головного мозга у здоровых людей сопоставимого возраста [30–36] и у больных с ДЭП гипертонического генеза ($37,1 \pm 1,1$) [35] – соответственно $t = 5,62$ ($p < 0,001$) и $t = 5,94$ ($p < 0,001$). Выявлено снижение перфузии в левом полушарии у ЛПА и пациентов ГС – соответственно на 1,15% ($p = 0,082$) и 1,11% ($p = 0,128$) и регионарной перфузии в лобной доле левого полушария у ЛПА и в ГС на 1,57% ($p = 0,028$) и 1,43% ($p = 0,065$). После введения диакарба рМК в этой области увеличился соответственно на 2,46% ($p = 0,001$) и 2,19% ($p = 0,031$), в височной – на 2,11% ($p = 0,009$). Полученные данные согласуются с результатами А.И. Кугоева и соавт. (2000) [37].

Достоверных различий между ЦВР в ОГ и ГС не обнаружено, но установлено, что у ЛПА этот показатель ниже, чем в ГС, в лобных долях обоих полушарий соответственно на 14,19 и 14,08%, на 16,31% – в височной доле левого полушария, а также на 5,83 и 1,40% – в теменных долях обоих полушарий, но на 29,07 и 12,06% выше, чем у ГС, в затылочных долях. Средние значения ЦВР в группах ЛПА и сравнения – 8,97 (1,59) и 9,01 (0,99)% – значительно меньше нижней границы диапазона нормы – 31–75% [38]. Соответствующие этому диапазону значения ЦВР выявлены только у пациентов ГС в височной доле правого полушария – 38,1% (2,94% от числа обследованных), в затылочной доле правого и левого полушарий – соответственно 47,3% (2,94%) и от 35,7 до 55,0% (8,82%).

Выявлена отрицательная связь рМК и ЦВР с возрастом, а также ЦВР с дозой облучения, что совпадает с данными А.С. Engstrom и соавт. (2024) [39] и И.В. Степаненко (2002) [40]. Исследование причинно-следственных отношений между календарным возрастом и состоянием перфузии выявило, что в группе ЛПА 8 уравнений регрессии соответствуют статистически значимому уровню ($p \leq 0,05$) и одно – уровню $p < 0,10$. В ГС два уравнения статистически значимы и два – близки к этому уровню, при этом статистическая значимая связь между возрастом и ЦВР обнаружена только



в ОГ. Доля возраста в объясненной этим фактором дисперсии составляет в ОГ 16,30 (5,93)%, что в 3 раза выше ($p < 0,001$), чем в ГС, – 5,35 (5,37)%. Доля дисперсии, объясненной влиянием дозы облучения, достигает 56,90 (11,63)%.

Выявленное у ЛПА снижение скорости мозгового кровотока в лобной и лобно-височной областях может служить критерием для мониторинга за состоянием пациентов с ДЭП, подвергшихся воздействию радиации, а также оценки эффективности их лечения и проведения дифференциальной диагностики ДЭП с болезнью Альцгеймера [15, 16].

Заключение

ОФЭКТ является перспективным методом для выявления ДЭП у ЛПА и лиц, подвергшихся радиационному воздействию, и проведения дифференциальной диагностики с сосудистой патологией головного мозга у пациентов пожилого возраста. Нейровизуализация с применением ОФЭКТ-перфузии головного мозга имеет большое значение для прогнозирования возможных осложнений ДЭП, обоснования патогенетической терапии, выбора тактики лечения и контроля ее эффективности. Выявленное снижение скорости мозгового кровотока и ЦВР в лобной и лобно-височной областях в группе ЛПА может использоваться в качестве критерия для мониторинга за состоянием пациентов с ЦВБ, возникшей в отдаленном периоде после лучевой терапии, с целью предупреждения осложнений и оценки эффективности их лечения, а также проведения дифференциальной диагностики ДЭП с сосудистой деменцией и болезнью Альцгеймера.

Участие авторов

Куликова Т.А. – обзор публикаций, проведение исследования, интерпретация полученных данных, написание текста.

Мешков Н.А. – концепция и дизайн исследования, статистическая обработка и анализ данных, интерпретация результатов, написание текста статьи.

Солодкий В.А. – концепция и дизайн исследования, утверждение окончательной версии статьи.

Фомин Д.К. – анализ и интерпретация полученных данных.

Борисова О.А. – проведение исследования, обработка полученных результатов.

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

Authors' participation

Kulikova T.A. – review of publications, conducting research, interpretation of the obtained data, writing text.

Meshkov N.A. – concept and design of the study, statistical processing and analysis of data, Interpretation of results, writing the text of the article.

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

Fomin D.K. – analysis and interpretation of the obtained data.

Borisova O.A. – conducting research, processing the results obtained.

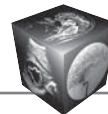
Nudnov N.B. – participation in scientific design, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Список литературы

1. Гулевская Т.С., Ануфриев П.Л., Танашян М.М. Морфология и патогенез изменений белого вещества при хронической цереброваскулярной патологии. *Анналы клинической и экспериментальной неврологии*. 2022; 16 (2): 78–88. <https://doi.org/10.54101/ACEN.2022.2.9>
2. Новикова Л.Б., Акопян А.П., Мустафин Х.М., Хабибрахманова Н.С., Каюмова И.И. Факторы риска цереброваскулярных заболеваний в нейрорегии. *Фарматека*. 2017; 9 (342): 61–65.
3. Boehme A.K., Esenwa C., Elkind M.S. Stroke Risk Factors, Genetics, and Prevention. *Circ. Res.* 2017; 120 (3): 472–495. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.116.308398>.
4. Калашникова Л.А., Гулевская Т.С., Добрынина Л.А. Актуальные проблемы патологии головного мозга при церебральной микроангиопатии. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2018; 118 (2): 90–99.
5. Полозова Э.И., Сеськина А.А., Пузанова Е.В., Домина Е.Н., Овсянникова И.С., Суркова И.А. Коморбидные состояния у больных артериальной гипертензией. *Современные проблемы науки и образования*. 2019; 4: 135.
6. Телкова И.Л., Внушинская М.А., Капилович Л.В. Особенности патологии сердечно-сосудистой системы у ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС по данным кардиологического стационара. *Бюллетень Сибирской медицины*. 2010; 9 (5): 180–185.
7. Верюгина Н.И., Амикишиев Ш.Г., Чимагомедова А.Ш., Левин О.С. Дисциркуляторная энцефалопатия как цереброваскулярный синдром: роль поражения малых артерий в патогенезе и перспективы терапии. *Современная терапия в психиатрии и неврологии*. 2021; 3–4: 35–45.
8. Fani L., Bos D., Mutlu U. et al. Global Brain Perfusion and the Risk of Transient Ischemic Attack and Ischemic Stroke: The Rotterdam Study. *J. Am. Heart Assoc.* 2019; 8 (7): e011565. <https://doi.org/10.1161/JAHA.118.011565>
9. Алексанин С.С. Результаты многолетних исследований особенностей соматической патологии в отдаленном периоде после радиационных аварий. *Радиационная гигиена*. 2009; 2 (1): 5–7.
10. Парфенов В.А. Дисциркуляторная энцефалопатия и сосудистые когнитивные расстройства. М.: ИМА-ПРЕСС, 2017. 128 с.
11. Алексанин С.С., Маматова Н.Т., Тихомирова О.В., Параничева Л.Н., Стяжкина Э.Ю. Особенности функционального состояния центральной нервной системы у участников ликвидации последствий аварии на



- Чернобыльской АЭС. *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. 2007; 52 (5): 5–11.
12. Семенов С.Е., Милиневский Н.И., Короткевич А.А., Портнов Ю.М., Семенов А.С. Исследование перфузии при нарушениях церебрального кровообращения. Часть III (Бесконтрастные способы. Целесообразность и безопасность). Обзор. *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний*. 2018; 7 (4): 101–111. <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2018-7-4-101-111>
 13. Портнов Ю.М., Семенов С.Е., Сигитов И.В., Короткевич А.А. Роль лучевой диагностики в оценке естественного старения головного мозга. *Клиническая физиология кровообращения*. 2020; 17 (1): 5–12. <https://doi.org/10.24022/1814-6910-2020-17-1-5-12>
 14. Lin T.S., Hsu P.Y., Ko C.L. et al. Increased heterogeneity of brain perfusion predicts the development of cerebrovascular accidents. *Medicine (Baltimore)*. 2021; 100 (15): e25557. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000025557>
 15. Mountz J.M., Liu H.G., Deutsch G. Neuroimaging in cerebrovascular disorders: measurement of cerebral physiology after stroke and assessment of stroke recovery. *Semin. Nucl. Med.* 2003; 33(1): 56–76. <https://doi.org/10.1053/snuc.2003.127293>
 16. Гринев Б.В., Гектин А.В., Демин А.В., Любинский В.Р., Макеев С.С. Специализированная для диагностики головного мозга томографическая гамма-камера «ОФЕКТ-3». *Наука та інновації*. 2005; 2: 75–79.
 17. Мурашко Н.К. Однофотонная эмиссионная томография при хронической гипертонической энцефалопатии. *Клиническая геронтология*. 2007; 8: 26–29.
 18. Кондаков А.К., Мосин Д.Ю., Страбыкина Д.С., Филимонова А.М., Гречко А.В., Знаменский И.А. Применимость теменно-базального индекса в целях диагностики болезни Альцгеймера. *Журнал научных статей Здоровье и образование в XXI веке*. 2018; 20 (1): 71–76.
 19. Емелин А.Ю., Бойков И.В., Лобзин В.Ю., Колмакова К.А., Наумов К.М., Дынин П.С., Лупанов И.А. Сравнительная оценка перфузии и метаболизма головного мозга у пациентов с болезнью Альцгеймера и сосудистыми когнитивными расстройствами. *Известия Российской военно-медицинской академии*. 2023; 42 (4): 391–402. <https://doi.org/10.17816/rmmar501788>
 20. Бабиянц А.Я., Хананашвили Я.А. Мозговое кровообращение: физиологические аспекты и современные методы исследования. *Журнал фундаментальной медицины и биологии*. 2018; 3: 46–54.
 21. Kim E., Sohn C.H., Na D.G. et al. Perfusion computed tomography evaluation of cerebral hemodynamic impairment in patients with unilateral chronic stenotic disease: a comparison with the acetazolamide challenge ^{99m}Tc -hexamethylpropyleneamine oxime single-photon emission computed tomography. *J. Comput. Assist. Tomogr.* 2009; 33 (4): 546–551. <https://doi.org/10.1097/RCT.0b013e318188887d>
 22. Farid K., Petras S., Ducasse V. et al. Brain perfusion SPECT imaging and acetazolamide challenge in vascular cognitive impairment. *Nucl. Med. Commun.* 2012; 33 (6): 571–580. <https://doi.org/10.1097/MNM.0b013e328351d583>
 23. Савина А.А., Фейгинова С.И. Динамика заболеваемости болезнями системы кровообращения взрослого населения Российской Федерации в 2007–2019 гг. *Социальные аспекты здоровья населения*. 2021; 67 (2): 1. <https://doi.org/10.21045/2071-5021-2021-67-2-1>
 24. Buzunov V.O., Kapustynska O.A. Epidemiological studies of cerebrovascular disease of the population evacuated from the 306km zone of the ChNPP at the age of 18–60 years. Analysis of the influence of internal ionizing radiation on the thyroid gland ^{131}I . *Probl. Radiac. Med. Radiobiol.* 2018; 23: 96–106. <https://doi.org/10.33145/2304-8336-2018-23-96-106>. (In English, Ukrainian)
 25. Ефремушкин Г.Г., Подсонная И.В. Артериальная гипертония и дисциркуляторная энцефалопатия – что первично? *CardioСоматика*. 2011; 2 (4): 28–34.
 26. Короткевич А.А., Семенов С.Е., Трубникова О.А. Однофотонная эмиссионная компьютерная томография в диагностике изменений перфузии головного мозга в хирургии сердца и сосудов. *REJR*. 2023; 13 (2): 98–108. <https://doi.org/10.21569/2222-7415-2023-13-2-98-108>
 27. Витько Н.К., Соколова Л.П., Шмырев В.И., Зайцева А.Ю. Особенности перфузии головного мозга при легких и умеренных когнитивных расстройствах (диагностика и лечение). *Кремлевская медицина. Клинический вестник*. 2010; 4: 46–50.
 28. Сергуладзе Т.Н., Бокерия А.А., Асланиди И.П., Дарвиш Н.А., Трифонов Т.А., Качеишвили М.Ю. Комплексная функциональная оценка мозгового кровотока при ишемических поражениях головного мозга. *Бюллетень НЦССХ им. А.Н. Бакулева РАМН. Сердечно-сосудистые заболевания*. 2012; 13 (S6): 130.
 29. Kuroda S., Houkin K., Kamiyama H. et al. Long-term prognosis of medically treated patients with internal carotid or middle cerebral artery occlusion: can acetazolamide test predict it? *Stroke*. 2001; 32 (9): 2110–2116. <https://doi.org/10.1161/hs0901.095692>
 30. Hauge A., Nicolaysen G., Thoresen M. Acute effects of acetazolamide on cerebral blood flow in man. *Acta. Physiol. Scand.* 1983; 117: 233–239.
 31. Lassen N.A., Andersen A.R., Friberg L., Paulson O.B. The retention of ^{99m}Tc -d,l-HM-PAO in the human brain after intracarotid bolus injection: a kinetic analysis. *J. Cereb. Blood Flow Metab.* 1988; 8 (6): S13–22. <https://doi.org/10.1038/jcbfm.1988.28>
 32. Yonas H., Pindzola R.R. Physiological determination of cerebrovascular reserves and its use in clinical management. *Cerebrovasc. Brain Metab. Rev.* 1994; 6: 325–340.
 33. Webster M.W., Makaroun M.S., Steed D.L. et al. Compromised cerebral blood flow reactivity is a predictor of stroke in patients with symptomatic carotid artery occlusive disease. *J. Vasc. Surg.* 1995; 21: 338–345.
 34. Yamashita T. Tests of cerebral blood flow reserve capacity. In: Quantitative cerebral blood flow measurements using stable Xenon/CT: clinical applications / Eds M. Tomonaga, A. Tanaka, H. Yonas. Armonk, NY: Futura Publishing Co., Inc., 1995: 125–134.
 35. Томашевский И.О., Касаткин Ю.Н., Сошин Л.Д., Лучшев А.И., Дорофеева В.Ю., Сидоров К.С. Однофотонная эмиссионная компьютерная томография с ^{99m}Tc -ГМПАО в оценке кровотока коры головного мозга при дисциркуляторной энцефалопатии. *Радиология – практика*. 2003; 4: 25–29.
 36. Лишманов Ю.Б., Ефимова Н.Ю., Чернов В.И., Ефимова И.Ю., Калашникова Т.П. Роль дисфункции эндотелия и нарушения суточного профиля артери-



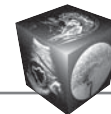
ального давления в механизме развития цереброваскулярной недостаточности у пациентов с метаболическим синдромом. *Российский кардиологический журнал*. 2013; 18 (3): 6–11.

<https://doi.org/10.15829/1560-4071-2013-3-6-11>

37. Кугоев А.И., Шарыпова Т.Н., Борисенко В.В., Коновалова Е.В., Гераскина Л.А., Фонякин А.В. Особенности изменения мозговой перфузии по данным ОФЭКТ у больных с дисциркуляторной энцефалопатией. В сб.: *Современные проблемы ядерной медицины и фармацевтики: Тезисы докладов 2-го съезда Российского общества ядерной медицины*. Обнинск, 2000: 179.
38. Радионуклидная диагностика для практических врачей / Под ред. Ю.Б. Лишманова, В.И. Чернова. Томск: СТТ, 2004. 394 с.
39. Engstrom A.C., Alitin J.P., Kapoor A. et al. Spontaneous cerebrovascular reactivity at rest in older adults with and without mild cognitive impairment and memory deficits. *medRxiv [Preprint]*. 2024: 2024.06.18.24309109. <https://doi.org/10.1101/2024.06.18.24309109>
40. 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.
1. Gulevskaya T.S., Anufriev P.L., Tanashyan M.M. Morphology and pathogenesis of white matter changes in chronic cerebrovascular disease. *Annaly klinicheskoy i eksperimental'noy neurologii = Annals of clinical and experimental neurology*. 2022; 16 (2): 78–88. <https://doi.org/10.54101/ACEN.2022.2.9> (In Russian)
2. Novikova L.B., Akopyan A.P., Mustafin Kh.M., Khabibrakhmanova N.S., Kayumova I.I. Risk factors for cerebrovascular diseases in neurogeriatrics. *Farmateka = Pharmateca*. 2017; 9 (342): 61–65. (In Russian)
3. Boehme A.K., Esenwa C., Elkind M.S. Stroke Risk Factors, Genetics, and Prevention. *Circ. Res*. 2017; 120 (3): 472–495. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.116.308398>
4. Kalashnikova L.A., Gulevskaya T.S., Dobrynina L.A. Actual problems of brain pathology in cerebral microangiopathy. *Zhurnal neurologii i psikiatrii im. S.S. Korsakova = S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry*. 2018; 118 (2): 90–99. <https://doi.org/10.17116/jnevro20181182190-99> (In Russian)
5. Polozova E.I., Ses'kina A.A., Puzanova E.V., Domina E.N., Ovsyannikova I.S., Surkova I.A. Comorbide conditions in patients with arterial hypertension. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya = Modern Problems of Science and Education*. 2019; 4: 135. (In Russian)
6. Telkova I.L., Vnushinskaya M.A., Kapilevich L.V. Peculiarities of pathology cardiovascular system in liquidators or clean-up workers at the Chernobyl nuclear power station to data of cardiology hospital. *Byulleten' Sibirskoy meditsiny = Bulletin of Siberian medicine*. 2010; 9 (5): 180–185. (In Russian)
7. Veryugina N.I., Amikishiev S.H.G., Chimagomedova A.S.H., Levin O.S. Dyscirculatory encephalopathy as a cerebrovascular syndrome: the role of lesion of small arteries in pathogenesis and prospects of therapy. *Sovremennaya terapiya v psikiatrii i neurologii = Modern therapy in psychiatry and neurology*. 2021; 3–4: 35–45. (In Russian)
8. Fani L., Bos D., Mutlu U. et al. Global Brain Perfusion and the Risk of Transient Ischemic Attack and Ischemic Stroke: The Rotterdam Study. *J. Am. Heart Assoc*. 2019; 8 (7): e011565. <https://doi.org/10.1161/JAHA.118.011565>
9. Alexanin S.S. Results of multiannual research of somatic pathology distinctive features in the long-term period after radiation accidents. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2009; 2 (1): 5–7. (In Russian)
10. Parfenov V.A. Dyscirculatory encephalopathy and vascular cognitive disorders. Moscow: IMA-PRESS, 2017. 128. (In Russian)
11. Alexanin S.S., Mamatova N.T., Tikhomirova O.V., Paranchikova L.N., Styaschikina E.Y. Functional state peculiarities of central nervous system in Chernobyl recovery workers with chronic cerebrovascular diseases. *Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost' = Medical radiology and radiation safety*. 2007; 52 (5): 5–11. (In Russian)
12. Semenov S.E., Milinevskiy N.I., Korotkevich A.A. et al. Cerebral perfusion and circulation disturbances. Part III (non-contrast methods, rationale and safety): a review. *Kompleksnye problemy serdechno-sosudistyykh zabolevaniy = Complex Issues of Cardiovascular Diseases*. 2018; 7 (4): 101–111. <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2018-7-4-101-111> (In Russian)
13. Portnov Yu.M., Semenov S.E., Sigitov I.V., Korotkevich A.A. Place of radiology in visualisation and estimation of brain aging changes. *Klinicheskaya fiziologiya krovoobra-shcheniya = Clinical Physiology of Circulation*. 2020; 17 (1): 5–12. <https://doi.org/10.24022/1814-6910-2020-17-1-5-12> (In Russian)
14. Lin T.S., Hsu P.Y., Ko C.L. et al. Increased heterogeneity of brain perfusion predicts the development of cerebrovascular accidents. *Medicine (Baltimore)*. 2021; 100 (15): e25557. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000025557>
15. Mountz J.M., Liu H.G., Deutsch G. Neuroimaging in cerebrovascular disorders: measurement of cerebral physiology after stroke and assessment of stroke recovery. *Semin. Nucl. Med*. 2003; 33 (1): 56–76. <https://doi.org/10.1053/snuc.2003.127293>
16. Grinev B.V., Gektin A.V., Demin A.V. et al. Specialized for brain diagnostics tomographic gamma camera "OFECT-3". *Nauka i innovatsii = Science and Innovations*. 2005; 2: 75–79. (In Ukrainian, Russian)
17. Murashko N.K. Single-photon emissive computer tomography at chronic hypertensive encephalopathy. *Klinicheskaya gerontologiya = Clinical Gerontology*. 2007; 8: 26–29. (In Russian)
18. Kondakov A.K., Mosin D.Yu., Strabykina D.S. et al. Application of the parietal-basal index for the diagnosis of Alzheimer's disease. *Zhurnal nauchnykh statej Zdorov'e i obrazovanie v XXI veke = The Journal of scientific articles Health and Education Millennium*. 2018; 20 (1): 71–76. (In Russian)
19. Emelin A.Yu., Boykov I.V., Lobzin V.Yu. et al. Comparative assessment of cerebral perfusion and metabolism in patients with Alzheimer's disease and vascular cognitive disorders. *Izvestiya Rossijskoj voenno-medicheskoy akademii = Izvestia of the Russian Military Medical Academy*. 2023; 42 (4): 391–402. <https://doi.org/10.17816/rmmar501788> (In Russian)
20. Babiants A.Ya., Khananashvili Ya.A. Cerebral circulation: physiological aspects and modern research methods. *Zhurnal fundamental'noj mediciny i biologii = The Journal*



- of "Fundamental medicine and Biology". 2018; 3: 46–54. (In Russian)
21. Kim E., Sohn C.H., Na D.G. et al. Perfusion computed tomography evaluation of cerebral hemodynamic impairment in patients with unilateral chronic stenocclusive disease: a comparison with the acetazolamide challenge ^{99m}Tc -hexamethylpropyleneamine oxime single-photon emission computed tomography. *J. Comput. Assist. Tomogr.* 2009; 33 (4): 546–551. <https://doi.org/10.1097/RCT.0b013e318188887d>
 22. Farid K., Petras S., Ducasse V. et al. Brain perfusion SPECT imaging and acetazolamide challenge in vascular cognitive impairment. *Nucl. Med. Commun.* 2012; 33 (6): 571–580. <https://doi.org/10.1097/MNM.0b013e328351d583>
 23. Savina A.A., Feyginova S.I. Dynamics in incidence of diseases of the circulatory system among adults in the Russian Federation in 2007–2019. *Social'nye aspekty zdorov'ja naselenija = Social Aspects of Population Health.* 2021; 67 (2): 1. <https://doi.org/10.21045/2071-5021-2021-67-2-1> (In Russian)
 24. Buzunov V.O., Kapustynska O.A. Epidemiological studies of cerebrovascular disease of the population evacuated from the 306km zone of the ChNPP at the age of 18–60 years. Analysis of the influence of internal ionizing radiation on the thyroid gland ^{131}I . *Probl. Radiac. Med. Radiobiol.* 2018; 23: 96–106. <https://doi.org/10.33145/2304-8336-2018-23-96-106>. (In English, Ukrainian)
 25. Eremushkin G.G., Podsonnaya I.V. Arterial hypertension and discirculatory encephalopathy – what is primary? *CardioSomatika = Cardiosomatics.* 2011; 2 (4): 28–34. (In Russian)
 26. Korotkevich A.A., Semenov S.E., Trubnikova O.A. Single-photon emission computed tomography in the diagnosis of cerebral perfusion changes in cardiac and vascular surgery. *Rossiiskij elektronnyj zhurnal luchevoj diagnostik = Russian Electronic Journal of Radiology (REJR).* 2023; 13 (2): 98–108. <https://doi.org/10.21569/2222-7415-2023-13-2-98-108> (In Russian)
 27. Vitko N.K., Sokolova L.P., Shmirjev V.I., Zaitzeva A.Yu. Some peculiarities of brain perfusion in mild and moderate cognitive disorders (diagnostics and treatment). *Kremlevskaja medicina. Klinicheskij vestnik = Kremlin Medicine. Clinical Bulletin.* 2010; 4: 46–50. (In Russian)
 28. Serguladze T.N., Bokerija A.A., Aslanidi I.P. et al. Complex functional assessment of cerebral blood flow in ischemic cerebral lesions. *Bjulleten' NCSSH im. A.N. Bakuleva RAMN. Serdechno-sosudistye zabolevaniya = The Bulletin of Bakoulev center. Cardiovascular diseases.* 2012; 13 (S6): 130. (In Russian)
 29. Kuroda S., Houkin K., Kamiyama H. et al. Long-term prognosis of medically treated patients with internal carotid or middle cerebral artery occlusion: can acetazolamide test predict it? *Stroke.* 2001; 32 (9): 2110–2116. <https://doi.org/10.1161/hs0901.095692>
 30. Hauge A., Nicolaysen G., Thoresen M. Acute effects of acetazolamide on cerebral blood flow in man. *Acta. Physiol. Scand.* 1983; 117: 233–239.
 31. Lassen N.A., Andersen A.R., Friberg L., Paulson O.B. The retention of [^{99m}Tc]-d,l-HM-PAO in the human brain after intracarotid bolus injection: a kinetic analysis. *J. Cereb. Blood Flow Metab.* 1988; 8(6): S13–22. <https://doi.org/10.1038/jcbfm.1988.28>
 32. Yonas H., Pindzola R.R. Physiological determination of cerebrovascular reserves and its use in clinical management. *Cerebrovasc. Brain Metab. Rev.* 1994; 6: 325–340.
 33. Webster M.W., Makaroun M.S., Steed D.L. et al. Compromised cerebral blood flow reactivity is a predictor of stroke in patients with symptomatic carotid artery occlusive disease. *J. Vase. Surg.* 1995; 21: 338–345.
 34. Yamashita T. Tests of cerebral blood flow reserve capacity. In: Quantitative cerebral blood flow measurements using stable Xenon/CT: clinical applications / Eds M. Tomonaga, A. Tanaka, H. Yonas. Armonk, NY: Futura Publishing Co., Inc., 1995: 125–134.
 35. Tomashevskij I.O., Kasatkin Ju.N., Soshin L.D. et al. Single-photon emission computed tomography with ^{99m}Tc -GMPAO in the evaluation of cortical blood flow in dyscirculatory encephalopathy. *Radiologija – praktika = Radiology-Practice.* 2003; 4: 25–29. (In Russian)
 36. Lishmanov Yu.B., Efimova N.Yu., Chernov V.I. et al. Role of endothelial dysfunction and circadian blood pressure profile disturbances in the development of cerebrovascular insufficiency among patients with metabolic syndrome. *Rossiiskij kardiologicheskij zhurnal = Russian Journal of Cardiology.* 2013; 18(3): 6–11. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2013-3-6-11> (In Russian)
 37. Kugoev A.I., Sharypova T.N., Borisenko V.V. et al. Changes in cerebral perfusion SPECT in patients with dyscirculatory encephalopathy. In: Current Issues of Nuclear Medicine and Pharmacy: Proceedings of the 2nd Convention of the Russian Society of Nuclear Medicine. Obninsk, 2000: 179.
 38. Radionuclide diagnostics for practicing physicians / Eds Y.B. Lishmanov, V.I. Chernov. Tomsk: STT, 2004. 394 p.
 39. Engstrom A.C., Alitin J.P., Kapoor A. et al. Spontaneous cerebrovascular reactivity at rest in older adults with and without mild cognitive impairment and memory deficits. *medRxiv [Preprint].* 2024: 2024.06.18.24309109. <https://doi.org/10.1101/2024.06.18.24309109>
 40. Stepanenko I.V. Assessment of the peculiarities of cerebral changes in the liquidators of the Chernobyl accident according to the results of modern neuroimaging methods of examination. *Ukrainskij nejrohirurgicheskij zhurnal = Ukrainian Neurosurgical Journal.* 2002; (3): 57–61. (In Ukrainian, Russian)



Для корреспонденции*: Куликова Татьяна Анатольевна – e-mail: tkulikova61@gmail.com

Куликова Татьяна Анатольевна – канд. мед. наук, заведующая терапевтическим отделением клиники ядерной медицины ФГБУ “Российский научный центр рентгенорадиологии” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0009-0005-1763-5031>.

Мешков Николай Алексеевич – академик РАЕН, 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 рентгенорадиологии” Минздрава России, Москва. <http://orcid.org/0000-0001-6139-5833>

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

Фомин Дмитрий Кириллович – доктор мед. наук, профессор РАН, заведующий клиникой ядерной медицины ФГБУ “Российский научный центр рентгенорадиологии” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-7316-3519>

Борисова Ольга Анатольевна – канд. мед. наук, заведующая отделением радионуклидной диагностики клиники ядерной медицины ФГБУ “Российский научный центр рентгенорадиологии” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/009-0003-7809-0130>

Нуднов Николай Васильевич – доктор мед. наук, профессор, заместитель директора по научной работе, заведующий научно-исследовательским отделом комплексной диагностики заболеваний и радиотерапии ФГБУ “Российский научный центр рентгенорадиологии” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-5994-0468>

Contact*: Tatyana A. Kulikova – e-mail: tkulikova61@gmail.com

Tatyana A. Kulikova – Cand. of Sci. (Med.), Head of the therapeutic department of the Nuclear Medicine Clinic, 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, 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>

Dmitry K. Fomin – Doct. of Sci. (Med.), Professor of the Russian Academy of Sciences, Head of the Nuclear Medicine Clinic, Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-7316-3519>

Olga A. Borisova – Cand. of Sci. (Med.), Head of the Department of Radionuclide Diagnostics of the Nuclear Medicine Clinic, Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/009-0003-7809-0130>

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