

БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕЙ РАДИАЦИИ  
В МАЛЫХ ДОЗАХ

УДК 599.323.45:591.481.1:612.014.482.4

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОСУДИСТОГО СПЛЕТЕНИЯ  
БОКОВЫХ ЖЕЛУДОЧКОВ ГОЛОВНОГО МОЗГА КРЫС  
ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ  
НИЗКОИНТЕНСИВНОГО Г-ИЗЛУЧЕНИЯ

© 2025 г. О. А. Фоканова<sup>1</sup>, Т. В. Кораблева<sup>1</sup>, О. В. Ермакова<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>Ярославский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации, Ярославль, Россия

<sup>2</sup>Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, Сыктывкар, Россия

\*E-mail: ermakova@ib.komisc.ru

Поступила в редакцию 20.08.2023 г.

После доработки 9.09.2024 г.

Принята к публикации 14.05.2025 г.

Эксперименты по изучению морфологических особенностей сосудистого сплетения желудочков головного мозга были выполнены на крысах линии Вистар репродуктивного возраста, которые были разделены на три группы по семь животных: 1 – контроль и 2 и 3 – длительное низкоинтенсивное  $\gamma$ -излучение (поглощенные дозы – 5 и 50 сГр). Облучение осуществляли с помощью установки “Фотон-1” от источника  $^{137}\text{Cs}$ . Эксперименты производили на наркотизированных животных. Для анализа использовали гистологические препараты серийных срезов боковых желудочков головного мозга. Зафиксированы следующие морфофункциональные перестройки: уменьшение относительного объема сосудистых сплетений, а также фракции клеток в сплетениях, снижение высоты эпителиоцитов, набухание клеток, стертость их контуров, вакуолизация цитоплазмы. Наблюдалось увеличение объемной фракции сосудов и относительно плотное прилегание отдельных петель кровеносных сосудов между собой с явлениями дезорганизации. Зарегистрированы зоны дистрофических изменений не только сосудистого сплетения, но и вещества мозга. Проведенные исследования свидетельствуют о том, что длительное  $\gamma$ -излучение оказывает влияние на морфологические характеристики сосудистого сплетения желудочков головного мозга и расширяют представления о действии на головной мозг низкоинтенсивного ионизирующего излучения, которое может являться потенциальным фактором риска, приводящим к дисфункции сплетений и нарушению ликвородинамики и кровоснабжения.

**Ключевые слова:** головной мозг крысы, сосудистое сплетение, низкоинтенсивное  $\gamma$ -излучение, ликвор, гематоликворный барьер

DOI: 10.31857/S0869803125020077, EDN: LPERAG

Центральная нервная система (ЦНС) — одна из самых сложных систем, поскольку именно она контролирует функционирование организма и его взаимодействие с окружающей средой. Сосудистое сплетение выполняет ряд функций: поддержание постоянства уровня внутричерепного давления, механическую и иммунобиологическую защиту мозга, его метаболизм и доставку к мозгу биологически активных веществ [1–3], а также регулирует водно-солевой баланс, отвечает за продукцию и резорбцию ликвора (спинномозговой жидкости). Хориоидные сплетения желудочков головного мозга млекопитающих функционально представляют собой единую

систему, которая анатомически подразделяется на три отдела: сосудистое сплетение боковых желудочков, сосудистое сплетение третьего желудочка и сосудистое сплетение четвертого желудочка головного мозга [3, 4]. Сосудистое сплетение бокового желудочка находится в особых гемодинамических условиях, являясь основным источником образования ликвора [4, 5]. Оно состоит из эпителиальных клеток, лежащих на базальной мемbrane и имеющих хорошо развитые микроворсинки, которые выступают в просвете желудочка. Капилляры сосудистого сплетения отделены от эпителиальных клеток тонким слоем базальной мембранны и имеют фенестрацию.

Морфофункциональное состояние хориоидных сплетений боковых желудочков несомненно будет отражаться на изменении ликвородинамики, что характерно для патологических состояний [5, 6].

Исследование биологических эффектов малых доз радиации находится в центре внимания научных исследований из-за неизбежности воздействия на клетки человека ионизирующего излучения (ИИ). Любой организм подвергается фоновым источникам излучения (радиоизотопы земной коры, космические лучи и т.д.) и источникам, образующимся в результате техногенной деятельности человека (атомная энергетика, радиоактивные отходы, аварии, облучение в клинической и диагностической практике и т.д.). В современном мире применение новых технологий, особенно в медицине, связано с увеличением использования источников ИИ, что, как следствие, повышает риск облучения персонала и населения. Анализ большого количества работ по морфологии нервной системы показал, что исследований по влиянию хронического облучения в малых дозах на сосудистые сплетения головного мозга единичны. Для поддержания стабильности функционирования мозга необходимо регулирование состава внутренней среды мозга, которое обеспечивает гематоликворный барьер. Было обнаружено, что клетки вещества мозга становятся подвержены дегенеративным изменениям, а именно: появляются пикноморфные клетки, характеризующиеся набухшей и ветеренообразной формой, интенсивно окрашенной цитоплазмой с нечеткими контурами границ ядра [7]. Данная перестройка может сопровождаться нарушением барьерной функции гематоликворного барьера. В связи с этим изучение влияния низкоинтенсивного излучения на сосудистое сплетение боковых желудочков головного мозга крыс является актуальным.

Цель исследования – изучить морфологическую организацию сосудистых сплетений боковых желудочков головного мозга крыс линии Вистар, подвергшихся длительному воздействию  $\gamma$ -излучения (поглощенные дозы 5 и 50 сГр) в эксперименте.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

Эксперименты по изучению морфологических особенностей сосудистого сплетения желудочков головного мозга были выполнены на крысах линии Вистар репродуктивного возраста, массой 200–220 г в возрасте 4 месяцев

(<http://www.ckp-rf.ru/usu/471933/>), которые были разделены на три группы по семь животных в каждой группе: 1 – контроль и 2 и 3 – опыт (поглощенные дозы – 5 и 50 сГр соответственно). Облучение осуществляли с помощью установки хронического облучения “Фотон-1” от источника  $^{137}\text{Cs}$ . Мощность дозы задавалась расстоянием от центра клетки до источника и составляла  $0.9 \pm 0.2$  мГр/ч в одной группе и  $0.1 \pm 0.01$  мГр/ч во второй (длительность экспозиции 21 сут). Измерения проводили дозиметром ДКГ – 02У “Арбитр” (Россия, НПП “Доза”). Учитывались сроки функциональных преобразований и время, необходимое для развития видимых морфологических изменений. Содержание животных соответствовало правилам лабораторной практики при проведении доклинических исследований в РФ (ГОСТ 351000.3-96 и 51000.4-96) и Приказу МЗ РФ №267 от 19.06.2003 г “Об утверждении правил лабораторной практики” с соблюдением Международных рекомендаций Европейской конвенции по защите позвоночных животных. Все эксперименты проведены в соответствии с отечественными нормативами и современными международными биоэтическими стандартами по работе с лабораторными животными; на эксперименты получено заключение локального этического комитета ЯГМУ, протокол № 4 от 18.10.2016.

Эксперименты проводили на наркотизированных животных (уретановый наркоз, 1000/кг, внутрибрюшинно). Животное помещали на живот, после чего производились послойные разрезы черепной коробки, с помощью ранорасширителя обеспечивался доступ к головному мозгу, который извлекали и переносили в фиксатор – 10%-ный нейтральный формалин и заливали в гистомикс. Горизонтальные серийные срезы толщиной 4–5 мкм окрашивали гематоксилином и эозином с последующим заключением в бальзам. Для анализа использовали не менее 50 срезов от каждого животного, в которых находились боковые желудочки головного мозга (БЖГМ). Для оценки объема БЖГМ выбирали срезы, где площадь сечения желудочков была максимальной. Показатель определяли на оцифрованных микрофотографиях ( $\times 4$ ) путем обведения границ БЖГМ и с последующим расчетом в морфометрической компьютерной программе ImageJ. Определение объемных фракций сосудистых сплетений в БЖГМ: расчет относительного объема и общей фракции сосудов, фракции клеток проводили стереологически на 50 серийных срезах с помощью окулярной сетки с 60 равнодальными узлами пересечения на микроскопе

**Таблица 1.** Количественные показатели боковых желудочков головного мозга крыс, подвергавшихся длительно-му низкоинтенсивному  $\gamma$ -излучению в дозах 5 и 50 сГр ( $M \pm m$ )

**Table 1.** Quantitative parameters of the lateral ventricles of the brain of rats exposed long-term exposure to low-intensity  $\gamma$ -radiation in doses of 5 and 50 cGy ( $M \pm m$ )

Исследуемые показатели	Контроль (n = 7)	Серия экспериментов (суммарная поглощенная доза)	
		облучение 5 сГр (n = 7)	облучение 50 сГр (n = 7)
Максимальная площадь сечения, $\text{мм}^2$	2.18 ± 0.7	2.91 ± 0.7*	2.86 ± 0.3*
Относительный объем сосудистых сплетений, %	81 ± 0.4	56 ± 0.2*	59 ± 0.3*
Объемная фракция сосудов в сплетениях, %	32 ± 0.5	68 ± 0.3*	61 ± 0.1*
Объемная фракция клеток в сплетениях, %	68 ± 0.2	32 ± 0.6*	39 ± 0.7*
Высота эпителиоцитов, $\mu\text{м}$	2.8 ± 0.4	1.6 ± 0.2*	1.55 ± 0.3*

\*Различия значимы при  $p < 0.05$  по отношению к контролю.

Микромед (объектив 40, окуляр 10). Статистическую обработку проводили с помощью пакетов прикладных программ Microsoft Office Excel (2010) и Statistica 8.0. Для проверки однородности дисперсий использовали критерий Фишера. В сравниваемых выборках условие гомоскедастичности выполнено. Распределение значения переменных в вариационных рядах первичных данных оценивали с помощью критерия Колмогорова–Смирнова. Распределение переменных было нормальным, поэтому проверку статистических гипотез проводили с помощью параметрических методов ( $t$ -критерия Стьюдента). Данные представлены как среднеарифметическое значение и стандартная ошибка средней ( $M \pm m$ ). Различия считали статистически значимыми при уровне значимости  $p < 0.05$ .

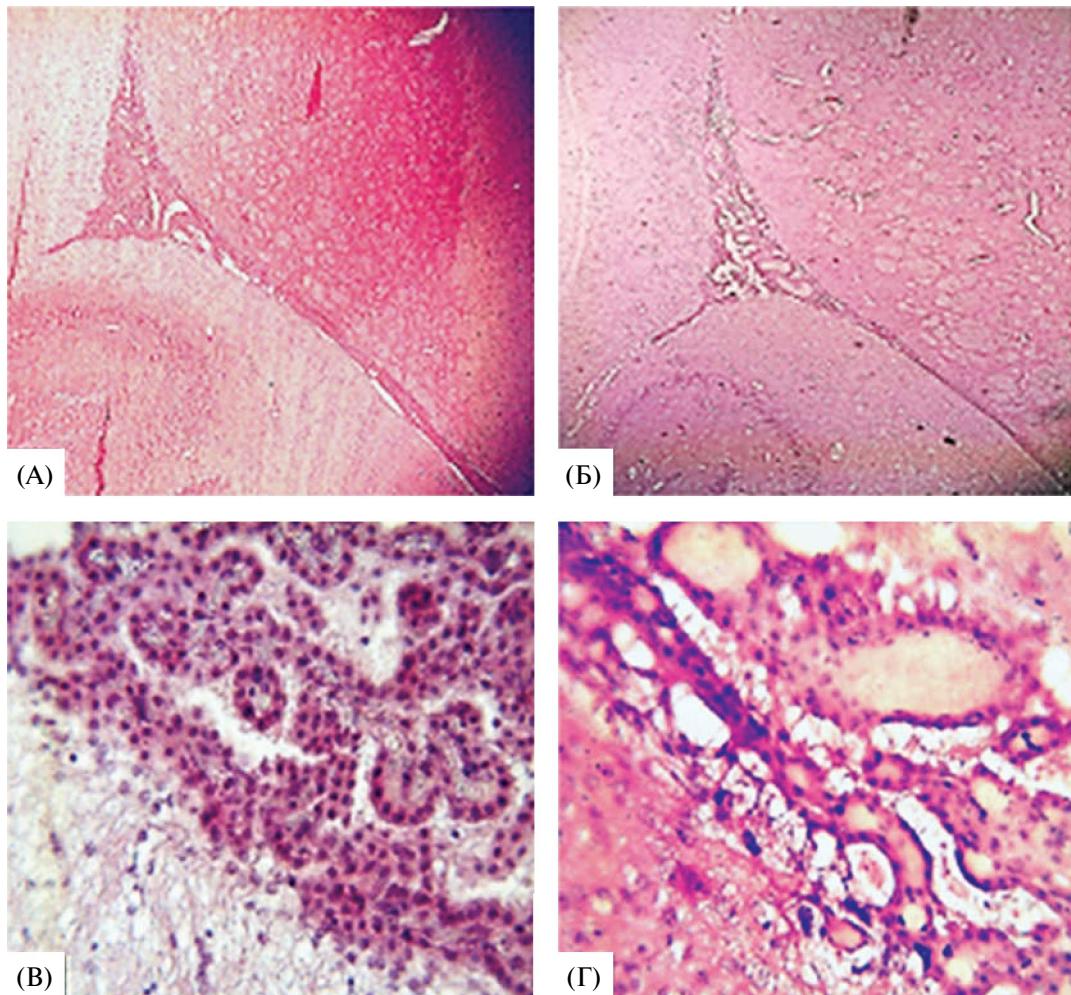
## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На гистологических препаратах сосудистое сплетение боковых желудочков головного мозга в контрольной группе представлено ворсинчатым органом, состоящим из нескольких компонентов, которые отражают его секреторную роль: монослоем кубических эпителиальных клеток, расположенный на базальной мемbrane; рыхлая соединительная ткань сосудистого сплетения с сетью кровеносных сосудов. В структурах сосудистого сплетения боковых желудочков опытных групп животных выявлены признаки нарушения цито- и ангиоархитектоники. Результаты морфометрического и стереологического анализа показателей БЖГМ крыс, после воздействия хронического никоинтенсивного  $\gamma$ -излучения (суммарные поглощенные дозы – 5 и 50 сГр) демонстрируют статистически значимые изменения в экспериментальных группах по сравнению с контролем. Максимальная площадь бокового желудочка в контрольной группе равна  $2.18 \pm 0.7 \text{ mm}^2$ ,

после  $\gamma$ -облучения зарегистрирован значительный рост этого показателя в обеих опытных группах как при дозе 50 сГр, так и при дозе 5 сГр (табл. 1). Относительный объем сосудистых сплетений боковых желудочков у крыс группы контроля составляет 81%. После воздействия ИИ в дозе 5 сГр данный показатель уменьшается на 25%, а после воздействия в дозе 50 сГр – на 22%.

Объемная фракция сосудов, приходящаяся на объем сосудистого сплетения бокового желудочка у животных группы контроля, составляет 32%. После облучения этот показатель увеличивается практически в 2 раза в обеих опытных группах. Объемная фракция клеток, приходящаяся на объем сосудистого сплетения бокового желудочка у контрольных животных, составляет 68%. После длительного воздействия ИИ данный показатель сокращается в 2.1 раза (при дозе 5 сГр) и в 1.7 (при дозе 50 сГр). Высота эпителиоцитов сосудистого сплетения боковых желудочков у облученных животных второй и третьей групп снижается на 43 и 45% соответственно.

Зафиксированы следующие морфологические перестройки: уменьшение относительного объема сосудистых сплетений, а также фракции клеток в сплетениях, при этом отмечается снижение высоты эпителиоцитов, происходит набухание клеток, стертость их контуров, вакуолизация цитоплазмы, а также невозможность дифференцировать структуры внутри клетки. На некоторых препаратах регистрируются клетки – “тени”, где цитоплазма гомогенна, бледно окрашена; слабо контурируются ядерная и клеточная мембранны. Наблюдаются увеличение объемной фракции сосудов и относительно плотное прилегание отдельных петель кровеносных сосудов между собой с явлениями дезорганизации. Стенка хориоидного сплетения имеет утолщенную,



**Рис. 1.** Структура боковых желудочков головного мозга крыс контрольной группы и после длительного воздействия низкоинтенсивного  $\gamma$ -излучения (поглощенная доза 5 сГр).

Боковой желудочек: А – контрольная группа; Б –  $\gamma$ -излучение. Об. 10, ув.:  $\times 4$ .

Сосудистое сплетение: В – контрольная группа; Г –  $\gamma$ -излучение. Об. 10, ув.:  $\times 40$ . Окраска гематоксилином и эозином

**Fig. 1.** Structure of the lateral ventricles of the brain of rats after long-term exposure to low-intensity  $\gamma$ -radiation (total absorbed dose 5 cGy).

Lateral ventricle: A – control group; B –  $\gamma$ -radiation Lens 10, level:  $\times 4$ .

Choroid plexus: C – control group; D –  $\gamma$ -radiation (total absorbed dose 5 cGy). Lens 10, lv.:  $\times 40$ . Coloring hematoxylin and eosin.

отечную базальную мембрану. Регистрируются зоны дистрофических изменений не только сосудистого сплетения, но и вещества мозга.

Результаты проведенных экспериментов свидетельствуют, что низкоинтенсивное длительное  $\gamma$ -излучение как в дозе 5 сГр, так и в дозе 50 сГр оказывает значительное влияние на размерные характеристики всех изученных показателей сосудистого сплетения головного мозга, что свидетельствует о высокой радиочувствительности сосудистого сплетения БЖМ. Облучение в дозе 5 сГр уже способно вызывать появление признаков дегенеративных изменений, сопровождае-

мых перестройкой эпителия, ядерным и клеточным полиморфизмом, прослеживается нечеткое папиллярное строение сосудистого сплетения, с последующим нарушением секреции и оттоком ликвора по системе сосудистых сплетений желудочков головного мозга.

В настоящее время появляются все новые и новые доказательства радиочувствительности головного мозга при воздействии ИИ даже в малых дозах. Анализ данных литературы дает основания предполагать, что малые дозы ИИ оказывают множественные эффекты на все структуры головного мозга, о чем свидетельствуют дис-

функция клеток и когнитивные нарушения [8, 9]. Установлено, что ионизирующая радиация влияет на функции ЦНС и поведение, как в результате прямого действия на нервную систему, так и косвенно, вследствие реактивности ЦНС на радиационное поражение других систем [10–12]. В основе описанных изменений может лежать инициация апоптоза за счет экспрессии ключевых апоптотических белков, включая цитохром-С, каспазу-3, снижение экспрессии антиапоптотических белков семейства Bcl-2, а также увеличение уровня провоспалительных цитокинов и маркеров перекисного окисления липидов [7]. Таким образом, воздействие низкоинтенсивного ИИ на ткани мозга может привести к пагубным изменениям, регистрируемых с помощью биологических маркеров, опосредованного окислительным стрессом и повреждением ДНК, что ведет к ухудшению когнитивных функций.

Полученные результаты согласуются с данными о влиянии длительного низкоинтенсивного  $\gamma$ -излучения на эпителиальную выстилку трахеи, маточных труб [13, 14], легких [15], эпендимоцитов желудочков головного мозга [16] и могут проявляться на уровне физиологических реакций клеток. В настоящее время имеется все увеличивающееся количество данных о том, что реакция ЦНС на облучение является непрерывным и интерактивным процессом. Особенное внимание уделяют апоптотической клеточной гибели, а также гибели и повреждениям клеток, опосредованным вторичными поражениями [17]. Установлено, что ЦНС является радиочувствительной системой, а степень ее дисфункции может быть квантифицирована электрофизиологическими, биохимическими или поведенческими параметрами. Отклонения функций ЦНС, которые описываются вышеуказанными параметрами, могут наблюдаться при облучении всего тела в малых дозах [18]. В современных исследованиях показано, что субхроническое воздействие  $^{137}\text{Cs}$  в дозах, соизмеримых с дозами в результате аварии на Чернобыльской АЭС, приводит к молекулярным модификациям про- и антивоспалительных цитокинов в головном мозгу. Нейровоспалительные реакции могут объяснять электрофизиологические и биохимические отклонения, наблюдавшиеся при хроническом воздействии  $^{137}\text{Cs}$  [19].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Результаты настоящего исследования свидетельствуют о том, что сосудистые сплетения

боковых желудочков головного мозга обладают высокой радиочувствительностью и подвержены значительным изменениям при воздействии длительного ионизирующего излучения даже при поглощенной дозе 5 сГр. Проведенные исследования позволяют рассматривать длительное ИИ как потенциальный фактор риска, приводящий к дисфункции сплетений и нарушению ликвородинамики и кровоснабжения.

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией статьи.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках государственного задания Института биологии Коми НЦ УрО РАН (№ ГР 125020501526-3) и плановых научных исследований ФГБОУ ВО ЯГМУ Минздрава России.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гасанова И.Х. Морфофункциональные особенности сосудистых сплетений желудочков головного мозга. *Укр. морфол. альманах*. 2011;(3). [Gasanova I.H. Morpho-functional features of the vascular plexuses of the ventricles of the brain. *Ukrainian Morphological Almanac*. 2011;(3). (In Russ.)].
2. Добровольский Г.Ф. Функциональная морфология системы ликворообращения. М.: Компания Спутник+, 2006. 116 с. [Dobrovolsky G.F. Functional morphology of the liquor circulation system. M.: Sputnik+ Company, 2006. 116 p. (In Russ.)].
3. Коржевский Д.Э. Структурные основы становления гемато-ликворного барьера у человека. *Успехи физiol. наук*. 2002;33(4):43–52. [Korzhevskiy D.E. Strukturnye osnovy stanovleniya gemato-likvornogo barera u cheloveka. *Uspekhi fiziol. nauk*. 2002;33(4): 43–52. (In Russ.)].
4. Redzic Z.B., Redzic Z.B., Preston et al. The choroid plexus cerebrospinal fluid system: from development to aging. *Curr. Top. Development. Biol.* 2005;71: 1–52.  
[https://doi.org/10.1016/S0070-2153\(05\)71001-2](https://doi.org/10.1016/S0070-2153(05)71001-2)
5. Fame R.M., Cortés-Campos C., Sive H.L. Brain ventricular system and cerebrospinal fluid development and function: Light at the end of the tube: A primer with latest insights. *Bioessays*. 2020;42.  
<https://doi.org/10.1002/bies.201900186>
6. Автандилов Г.Г. Сосудистые сплетения головного мозга. Нальчик: Кабардино-Балкарское книжное изд-во, 1962. [Avtandilov G.G. Vascular plexuses of the brain. Nalchik: Kabardino-Balkarian Book Publishing House, 1962 (In Russ.)].

7. Kim C.S., Kim J.M. et al. Low-dose of ionizing radiation enhances cell proliferation via transient ERK1/2 and p38 activation in normal human lung fibroblasts. *Radiat. Res.* 2007;48:407–415.  
<https://doi.org/10.1269/jrr.07032>
8. Воробьев Е.И., Степанов Р.П. Ионизирующее излучение и кровеносные сосуды. М.: Энергоиздат, 1985. 269 с. [Vorobyev E.I., Stepanov R.P. Ionizing radiation and blood vessels. M.: Energoizdat, 1985. 269 p. (In Russ.)].
9. Silasi G., Diaz-Heijtz R., Besplug J. et al. Selective brain responses to acute and chronic low-dose X-ray irradiation in males and females. *Biochem. Biophys. Res. Comm.* 2004;325:1223–1235.
10. Kaliyanov A.A., Konkova M.S., Kameneva L.V. et al. Small doses of radiation activate a signaling pathway aimed at apoptosis inhibition in mesenchymal stem cells. *Sechenov Medical Journal.* 2019;10(3): 4–12 (In Russ.).  
<https://doi.org/10.47093/22187332.2019.3.4-12>
11. Kimeldorf D.J., Hunt E.L. Ionizing radiation : neural function and behavior. New York (NY): Academic Press, 1965. 331 p.
12. Mickley G.A. Psychological effects of nuclear warfare. In: Military Radiobiology. Eds. J. Conklin and R. Walker). NY: Academic Press, 1987. P. 303–319.
13. Ермакова О.В., Павлов А.В., Есев І.І. Кораблева Т.В. Двигательная активность цилиарного аппарата ресниччатого эпителия трахеи и маточных труб при воздействии хронического низкоинтенсивного  $\gamma$ -излучения. *Морфология (архив анатомии, гистологии и эмбриологии).* 2014;146(6): 77–79. [Ermakova O.V., Pavlov A.V., Esev I.I., Korableva T.V. Dvigatel'naya aktivnost tsiliarnogo apparata trakhei i matochnykh trub pri vozdeystvii khronicheskogo nizkointensivnogo  $\gamma$ -izlucheniya. *Morfologiya.* 2014;146(6):77–79. (In Russ.)].
14. Павлов А.В., Ермакова О.В., Кораблева Т.В., Фоканова О.А. Функциональная морфология эпителия маточных труб крыс при воздействии хронического низкоинтенсивного  $\gamma$ -излучения. *Журн. анатомии и гистопатологии.* 2022;11(4): 27–32. [Pavlov A.V., Ermakova O.V., Korableva T.V., Fokanova O.A. Morphology of the epithelium of the fallopian tubes of rats under the influence of chronic low-intensity  $\gamma$ -radiation. *Journal of Anatomy and Histopathology.* 2022. 2022;11(4):27–32. (In Russ.)].  
<https://doi.org/10.18499/2225-7357-2022-11-4-27-32>
15. Dr. Helen B. Stone, Norman Coleman C., Mitchell S. Anscher, William H. McBride Effects of radiation on normal tissue: consequences and mechanisms. *The LANCET. Oncology.* 2003;4:529–536.  
[https://doi.org/10.1016/s1470-2045\(03\)01191-4](https://doi.org/10.1016/s1470-2045(03)01191-4)
16. Павлов А.В., Фоканова О.А., Ермакова О.В., Кораблева Т.В. Двигательная активность цилиарного аппарата эпендимы желудочков головного мозга крыс в условиях хронического низкоинтенсивного гамма-облучения. Современные проблемы нейробиологии: Мат. IV междунар. Науч. конф. Ярославль: Аверс плюс, 2023. С. 79–80 с. [Pavlov A.V., Fokanova O.A., Ermakova O.V., Korableva T.V. Dvigatel'naya aktivnost tsiliarnogo apparata ependimy zheludochkov golovnogo mozga krys v usloviyah khronicheskogo nizkointensivnogo gamma-oblucheniya. Sovremennye problemy neyrobiologii: Materialy IV mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii. Yaroslavl: Avers plus, 2023. S. 79–80 (In Russ.)].
17. Wong C.S., Vander Kogel A.J. Mechanisms of radiation injury to the central nervous system: implications for neuroprotection. *Mol. Interv.* 2004;4:273–284.  
<https://doi.org/10.1124/mi.4.5.7>
18. Gourmelon P., Marquette C., Agay D. et al. Involvement of the central nervous system in radiation-induced multi-organ dysfunction and/or failure. *Br. J. Radiol.* 2005;27:62–68.
19. Lestaevel P., Grandcolas L., Paquet F. et al. Neuroinflammatory response in rats chronically exposed to  $^{137}\text{Cesium}$ . *Neurotoxicol.* 2008;29(2):343–348.

## Morphological Changes in the Vaculous Plexus of the Lateral Ventriles of the Brain of Rats after Prolonged Exposure to Low-Intense $\gamma$ -Radiation

O. A. Fokanova<sup>1</sup>, T. V. Korableva<sup>1</sup>, O. V. Ermakova<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>Yaroslavl State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Yaroslavl, Russia

<sup>2</sup>Institute of Biology, Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia

\*E-mail: ermakova@ib.komisc.ru

Experiments to study the morphological features of the choroid plexus of the ventricles of the brain were performed on Wistar rats of reproductive age, which were divided into 3 groups of 7 animals: 1 – control and 2 and 3 – chronic irradiation (absorbed doses – 5 and 50 cGy). Irradiation was carried out using a Foton-1 installation from a  $^{137}\text{Cs}$  source. The experiments were carried out on anesthetized animals. For analysis, histological preparations of serial sections of the lateral ventricles of the brain were used. To assess the volume of the lateral ventricles, sections were selected where the cross-sectional area was maximum. The following morphofunctional rearrangements were recorded: a decrease in the relative volume of the choroid plexuses, as well as the fraction of cells in the plexuses, a decrease in the height of epithelial cells, swelling of cells, erasure of their contours, vacuolization of the cytoplasm. An increase in the volume fraction of blood vessels and a relatively tight fit of individual loops of blood vessels with each other with phenomena of disorganization were observed. Areas of dystrophic changes not only in the choroid plexus, but also in the brain substance have been recorded. The conducted studies indicate that chronic  $\gamma$ -radiation affects the morphological characteristics of the choroid plexus of the ventricles of the brain and expands the understanding of the effect of low-intensity ionizing radiation on the brain, which can be a potential risk factor leading to plexus dysfunction and disruption of liquor dynamics and blood supply.

**Keywords:** rat brain, choroid plexus, low doses of ionizing radiation, cerebrospinal fluid, blood-cerebrospinal fluid barrier

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Фоканова Ольга Анатольевна, ORCID 0000-0001-5387-4287, SPIN 3695-9930. к.м.н., доцент кафедры гистологии, цитологии и эмбриологии ФГБОУ ВО ЯГМУ Минздрава России, Ярославль, 150000, ул. Революционная, 5, Россия; +79806582795, e-mail: oafokanova-76@mail.ru

Olga A. Fokanova, ORCID 0000-0001-5387-4287, SPIN 3695-9930. MD

5 Revolutionary street, 150000 Yaroslavl, Russia  
e-mail: oafokanova-76@mail.ru

Кораблева Татьяна Владимировна, ORCID 0000-0002-2479-2036, SPIN 4007-3400. к.м.н., доцент кафедры гистологии, цитологии и эмбриологии ФГБОУ ВО ЯГМУ Минздрава России, Ярославль, 150000, ул. Революционная, 5, Россия; +79023316151, e-mail: korablevat@mail.ru

Tatiana V. Korableva, ORCID 0000-0002-2479-2036, SPIN 4007-3400. MD

5 Revolutionary street, 150000 Yaroslavl, Russia  
e-mail: korablevat@mail.ru

Ермакова Ольга Владимировна, ORCID 0000-0002-0186-0569, SPIN 2002-7451. д.б.н., вед. науч. сотр. отдела радиоэкологии Института биологии Коми Научного центра Уральского отделения РАН (ФИЦ ИБ Коми НЦ УрО РАН) г. Сыктывкар, 167982, ул. Коммунистическая, 28, Россия +79129663114,

e-mail: ermakova@ib.komisc.ru

Olga V. Ermakova, ORCID 0000-0002-0186-0569, SPIN 2002-7451. BD

28 Kommunisticheskaya street, 167982 Syktyvkar, Russia

### ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.