

## О влиянии малых и средних доз радиации на структуру проводящих путей головного мозга у ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС в отдаленном периоде (по данным высокопольной рутинной и диффузионно-тензорной магнитно-резонансной томографии)

И.М. Левашкина, С.С. Алексанин, С.В. Серебрякова, Т.Г. Грибанова

Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины имени А.М. Никифорова Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Санкт-Петербург, Россия

*Цель работы – определить зависимость структурных изменений головного мозга ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС от полученной ими дозы облучения с помощью рутинной и диффузионно-тензорной магнитно-резонансной томографии; сравнить полученные данные с данными исследования лиц, не участвовавших в ликвидации аварии на Чернобыльской АЭС. Результаты: пациентам-ликвидаторам последствий аварии на Чернобыльской АЭС (49 человек) и пациентам контрольной группы (50 человек), не имеющим в анамнезе факторов профессионального облучения, выполнена высокопольная магнитно-резонансная томография с применением стандартных протоколов. Группы были равнозначными по возрасту и количеству пациентов с I и II степенями дисциркуляторной энцефалопатии. С помощью инновационной методики – диффузионно-тензорной магнитно-резонансной томографии – обследованы проводящие пути головного мозга пациентов обеих групп, всего 11 трактов, взятых билатерально (всего по 22 тракта в обоих полушариях). Заключение: в настоящей работе при использовании высокопольной рутинной магнитно-резонансной томографии впервые проведен визуальный анализ полиморфных изменений головного мозга для ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС с добавлением методики диффузионно-тензорной магнитно-резонансной томографии; изучена связь выявленных изменений с полученной дозой радиации. При сравнении пациентов-ликвидаторов подгруппы А (28 человек, получивших очень малые дозы (до 10 мЗв) и малые дозы радиации (10–100 мЗв) и пациентов подгруппы Б (21 человек, получивших средние дозы 100 мЗв – 1Зв) не отмечалось различий в степени морфологических изменений головного мозга, выявляемых при рутинной магнитно-резонансной томографии. При выполнении методики диффузионно-тензорной магнитно-резонансной томографии статистически значимого ( $p > 0,05$ ) снижения коэффициента фракционной анизотропии в основных структурах головного мозга у пациентов данных подгрупп также выявлено не было. Однако, по сравнению с контрольной группой, у ликвидаторов отмечено достоверное снижение фракционной анизотропии в лобных и височных долях, что свидетельствует о микроструктурных изменениях данных зон под воздействием различных факторов при ликвидации последствий аварии и более тяжелом течении дисциркуляторной энцефалопатии у данного контингента больных.*

**Ключевые слова:** Чернобыльская АЭС, ликвидатор последствий аварии, диффузионно-тензорная магнитно-резонансная томография, фракционная анизотропия, малые дозы облучения, средние дозы облучения.

### Введение

При ликвидации последствий катастрофы на ЧАЭС имело место комплексное воздействие на организм человека разнообразных факторов аварии, в том числе и роль радиационного компонента. Для поиска причинно-следственных связей между воздействием радиаци-

онного фактора и состоянием здоровья ликвидаторов последствий аварии (ЛПА) некоторыми авторами [1] считается целесообразным проведение сравнительного анализа изучаемого патологического процесса у лиц, подвергшихся действию облучения разной степени интенсивности.

**Левашкина Ирина Михайловна**

Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова.

**Адрес для переписки:** 194044, Санкт-Петербург, ул. Акад. Лебедева, д. 4/2; E-mail: levashkina ldc@yandex.ru

В отдаленном периоде у ЛПА наблюдается значительный рост цереброваскулярных заболеваний, в структуре которых превалирует дисциркуляторная энцефалопатия (ДЭ) [2]. При данной патологии аксоны нейронов (белое вещество мозга) более уязвимы к ишемии, чем серое вещество, что обусловлено особенностями мозгового кровоснабжения [3]. В современной литературе нет прямых указаний на то, что малые дозы ионизирующей радиации являются причиной, провоцирующей возникновение ДЭ. Нервная система обладает определенной чувствительностью к радиационному фактору, но отмечается неспецифичность ее морфологических изменений, не имеющих линейной зависимости от дозы и времени облучения [4]. В то же время ряд авторов считают роль малых доз ионизирующего излучения в развитии специфического поражения сосудов и мозга определяющей [5, 6]. Отмечено, что поражениям малыми дозами радиации наиболее подвержены филогенетически молодые структуры головного мозга – кора лобных и височных долей [7]. Противоположное мнение, опровергающее влияние малых доз на развитие сосудистой патологии мозга, также отмечено в литературе [8, 9]. Так, ультразвуковое исследование церебральных артерий, выполненное под руководством О.В. Тихомировой в 2016 г. в группах ЛПА, отличающихся по полученной дозе радиации, подтвердило отсутствие связи между дозой облучения и выраженностью атеросклеротического поражения магистральных сосудов мозга [1].

При рутинной МРТ у пациентов ЛПА диагностируются множественные очаги глиоза, перивентрикулярный лейкоареоз, заместительная внутренняя и наружная гидроцефалия, что, в целом, характерно при хронических нарушениях мозгового кровообращения при ДЭ [10]. В современной литературе отсутствуют данные о связях полученной дозы радиации со степенью разнообразных морфологических изменений, выявляемых на МРТ. Исследования подобного рода требуют внедрения в практику современных методов структурной визуализации, дополняющих рутинное МР-исследование, одним из которых является диффузионно-тензорная МРТ (ДТ-МРТ) [11–15].

ДТ-МРТ – диффузионная методика прижизненной оценки направленности движения протонов (молекул воды) в мозге человека, визуализирующая проводящие пути и позволяющая изучать их структуру. [16]. При построении двумерных цветных карт фракционной анизотропии (ФА) направление диффузии молекул воды кодируется цветом [17]. Наиболее важным количественным показателем является коэффициент фракционной анизотропии (КФА), его снижение является достоверным маркером повреждения миелиновой оболочки аксона. Скалярные значения КФА очень удобны для количественного учета степени повреждения белого вещества мозга [18]. При мануальном способе измерения КФА у каждого пациента выделяются значимые области мозга, позволяя получить конкретное значение КФА в конкретно выбранном пучке проводящих путей [19, 20].

В нашей стране и за рубежом с помощью ДТ-МРТ исследовались микроструктурные изменения вещества головного мозга пациентов с ДЭ [21–23]. Микроструктурное поражение белого вещества головного мозга у ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС с применением

диффузионно-тензорной МРТ до настоящего момента не изучалось.

**Цель исследования** – с помощью высокопольной рутинной и диффузионно-тензорной МРТ определить зависимость макро- и микроструктурных изменений головного мозга ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС от полученной ими дозы облучения в отдаленном периоде; сравнить полученные показатели с данными исследования лиц, не участвовавших в ликвидации.

### Задачи исследования

1. Сформировать контрольную группу пациентов (КГ), не участвовавших в ликвидационных работах на ЧАЭС, сопоставимую с группой ликвидаторов по возрасту, а также с тем же процентным соотношением дисциркуляторной энцефалопатии I или II степени; в группе ЛПА сформировать подгруппы согласно степени полученной дозы облучения (очень малые и малые – подгруппа А, средние – подгруппа Б).

2. Произвести рутинную (стандартную) и диффузионно-тензорную МРТ в группе ликвидаторов и в контрольной группе.

3. Оценить наличие связи между макро- и микроструктурными изменениями белого вещества головного мозга и степенью облучения в подгруппах ЛПА.

4. Произвести сравнительный анализ показателей фракционной анизотропии проводящих путей головного мозга в группе ЛПА и КГ.

### Материалы и методы

Во Всероссийском центре экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова МЧС России (Санкт-Петербург) было обследовано 49 ЛПА на ЧАЭС, у которых, по дозиметрическим данным, содержащимся в базе данных Национального радиационно-эпидемиологического регистра (НРЭР), имелись документально подтвержденные дозы облучения. Дозы, зафиксированные у участников данного исследования, находились в диапазоне от 0 до 1 Зв и были классифицированы, согласно последней классификации диапазонов доз Научного комитета по действию атомной радиации ООН (НКДАР ООН) в 2011 г. [24], как очень малые (до 10 мЗв), малые (10–100 мЗв) и средние (0,1–1 Зв). Распределение испытуемых согласно величине полученной дозы облучения было следующим (табл. 1): у 28 человек (подгруппа А) было отмечено получение очень малой и малой дозы облучения (от 0 до 10 сЗв), у 21 человека (подгруппа Б) отмечено получение средней дозы облучения (от 10 сЗв до 13з).

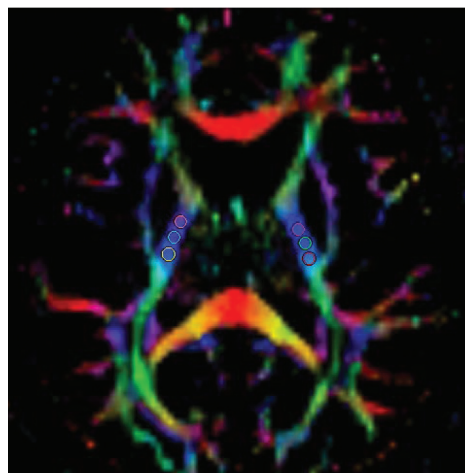
Также в исследовании участвовала контрольная группа (КГ) из 50 пациентов, у которых в анамнезе не имелось факторов облучения и ликвидации аварии на ЧАЭС. Средний возраст пациентов ЛПА – 63,3±0,9 года, КГ – 62,3±1,1 года. У пациентов обеих групп была диагностирована ДЭ I или II степени по классификации Г.А. Максудова [25]. Всем участникам исследования была проведена МРТ с применением стандартных протоколов и диффузионно-тензорная МРТ с измерением КФА в 11 различных структурах головного мозга билатерально (всего 22 зоны). Исследование проводилось на томографе «Magnetom Verio» (Германия) с напряженностью магнитного поля 3 Тл. У обследуемых в обеих группах с

помощью стандартных импульсных последовательностей (ИП) определяли наличие и измеряли количество очагов глиоза сосудистого генеза и постишемических лакунарных кист. Устанавливали наличие наружной и смешанной заместительной гидроцефалии, наличие или отсутствие перивентрикулярного лейкоареоза. При выполнении диффузионно-тензорной МРТ использовалась импульсная последовательность DTI с измерением диффузии в 12 направлениях с параметрами: TR = 4200 мс, TE = 109 мс, FOV=230x230 мм, толщина среза – 4 мм, количество срезов – 25, различные значения фактора взвешенности для каждого из 12 направлений измеряемой диффузии, длительность исследования – 3 мин 59 с. Полученные изображения обрабатывались с использованием встроенной постпроцессорной программы Neuro 3D, которая включала в себя построение карт фракционной анизотропии. Измерение КФА проводилось в основных структурах головного мозга: верхнем продольном пучке (белое вещество лобных долей в области семиовальных центров), лучистом венце (передние и центральные пучки, в основном пролегающие в лобных долях), внутренней капсуле (переднее бедро, колено, заднее бедро), мозолистом теле (клюв и валик), таламусе, ножках мозга (в области прохождения кортико-спинальных трактов), варолиевом мосту (в области прохождения проекционных волокон). Во всех анатомических структурах билатерально были получены средние показатели КФА (рис. 1). Выделение зон интереса производилось вручную, использовались, в основном, цветные карты фракционной анизотропии, на двух-трех смежных срезах выбиралось несколько точек измерений, и из них рассчитывалось среднее значение КФА.

Математическую обработку результатов проводили с использованием приложения Excel for Windows и Statistica 6.0. Проверка гипотез о влиянии фактора облучения на уровень значений КФА проводилась для трактов, в которых отклонение между средними значениями для разных групп или подгрупп превышало 5%. Выборки, для которых определялся Р-уровень достоверности гипотез, подчинялись условно нормальному распределению. Для определения Р-уровня достоверности гипотез использовался t-критерий Стьюдента.

**Результаты и обсуждение**

При выполнении рутинной МРТ с применением стандартных протоколов у всех обследованных пациентов в различной степени отмечалось наличие морфологичес-



**Рис. 1.** Цветная карта фракционной анизотропии с зонами измерения КФА в заднем бедре внутренней капсулы (билатерально)

**[Fig. 1.** Colored scheme of fraction anisotropy shows area of interest in back hip of the internal capsule (bilaterally)]

ких признаков, свойственных ДЭ. Визуализировались: нормотензивная гидроцефалия наружного и смешанного типа, зоны перивентрикулярного глиоза и лейкоареоза, очаговые изменения белого вещества головного мозга дистрофического характера, лакунарные кисты постишемического генеза. Подобные изменения фиксировали в своих наблюдениях и другие авторы, изучающие патологию головного мозга у ЛПА с помощью стандартных МР-протоколов [10]. При сравнении подгрупп А и Б в группе ЛПА не были зафиксированы различия в степени морфологических изменений головного мозга. Количество очагов, морфометрические показатели величин желудочковой системы, размеры наиболее крупного очага, наличие лейкоареоза и лакунарных кист в обеих подгруппах были сопоставимы (табл. 2).

При анализе данных ДТ-МРТ не отмечалось статистически значимой разницы в значениях КФА ни в одном из трактов для подгрупп А и Б группы ЛПА (рис. 2, 3).

При этом существенных ( $p < 0,05$ ) различий значений КФА, взятых билатерально, также выявлено не было – из исследования были исключены пациенты, перенесшие инсульт или другие заболевания, вызывающие патологические изменения в одном из полушарий. Сопоставимая

Таблица 1

**Распределение пациентов ЛПА согласно полученным дозам**

[Table 1

**Patients-liquidators allocation according radiation exposure]**

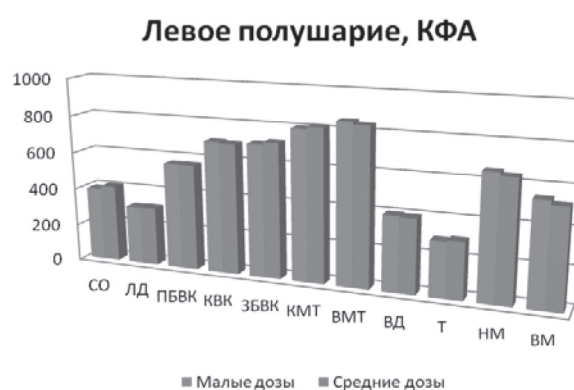
	Подгруппа А (n=28) [Sub-group A (n=28)]	Подгруппа Б (n=21) [Sub-group B (n=21)]	
Возраст, ср. знач., (M±m) [Average age]	Дозы от 0 до 10 сЗв (малые и очень малые) (M±m) [Doses 0-10 santi-sievert (low and very low)]	Возраст, ср. знач., (M±m) [Average age]	Дозы от 10 до 100 сЗв (средние), (M±m) [Doses 10-100 santi-sievert (mean)]
64,11±1,24	4,39±0,69	62,14±1,27	20,57±0,62

Таблица 2

**Виды морфологических изменений головного мозга, выявляемые при выполнении рутинной МРТ с применением стандартных ИП**

[Table 2]

Brain significatives that can be measured with routine MRI programs		
Вид морфологической характеристики или повреждения, средние значения, (M±m) [Brain morphological characteristic or damage, average]	Подгруппа А [Sub-group A] (n=28), (M±m)	Подгруппа Б [Sub-group B] (n=21), (M±m)
Количество очагов глиоза, шт. [Gliosis focus, q-ty]	9,0±1,17	9,48±1,31
Максимальный размер очага, мм [Maximum focus size, mm]	4,96±0,40	4,45±0,49
Индекс передних рогов (норма – до 26) [Anterior horn index (normal – up to 26)]	27,05±0,68	26,19±0,63
Ширина III желудочка, мм [Width of III ventricle of brain, mm]	9,14±0,50	9,05±0,64



**Рис. 2.** Сравнение средних значений показателей КФА в различных областях головного мозга у участников ЛПА на ЧАЭС, правое полушарие: СО – семиовальные центры; ЛД – белое вещество лобных долей; ПБВК – переднее бедро внутренней капсулы; КВК – колено внутренней капсулы; ЗБВК – заднее бедро внутренней капсулы; КМТ – клюв мозолистого тела; ВМТ – валик мозолистого тела; ВД – белое вещество височных долей; Т – таламус; НМ – ножки мозга; ВМ – Варолиев мост [Fig. 2. Fraction Anisotropy Coefficient Averages in different brain areas for Chernobyl Accident Liquidators, Right Hemisphere: СО – semi-oval centers; ЛД – frontal lobe white matter; ПБВК – anterior thigh of internal capsule; КВК – knee of internal capsule; ЗБВК – posterior knee of internal capsule; КМТ – rostrum of corpus callosum; ВМТ – vallum of corpus callosum; ВД – white matter of temporal lobe; Т – thalamus; НМ – crura of brain; ВМ – pons varolii]

**Рис. 3.** Сравнение средних значений показателей КФА в различных областях головного мозга у участников ЛПА на ЧАЭС, левое полушарие: СО – семиовальные центры; ЛД – белое вещество лобных долей; ПБВК – переднее бедро внутренней капсулы; КВК – колено внутренней капсулы; ЗБВК – заднее бедро внутренней капсулы; КМТ – клюв мозолистого тела; ВМТ – валик мозолистого тела; ВД – белое вещество височных долей; Т – таламус; НМ – ножки мозга; ВМ – Варолиев мост [Fig. 3. Fraction Anisotropy Coefficient Averages in different brain areas for Chernobyl Accident Liquidators, Left Hemisphere: СО – semi-oval centers; ЛД – frontal lobe white matter; ПБВК – anterior thigh of internal capsule; КВК – knee of internal capsule; ЗБВК – posterior knee of internal capsule; КМТ – rostrum of corpus callosum; ВМТ – vallum of corpus callosum; ВД – white matter of temporal lobe; Т – thalamus; НМ – crura of brain; ВМ – pons varolii]

степень морфологических изменений, отмечающаяся как на традиционных томограммах, так и при ДТ-МРТ у пациентов, получивших разную дозу облучения, позволяет судить об отсутствии статистически значимой зависимости микроструктурных изменений проводящих путей головного мозга у ЛПА в отдаленном периоде от очень малых и малых, а также средних доз радиации.

При сравнении данных ДТ-МРТ группы ЛПА с контрольной группой было выявлено микроструктур-

ное поражение лобных и височных долей (табл. 3). Маркером уже имеющегося повреждения трактов белого вещества служил КФА, который достоверно снижался в следующих зонах: семиовальных центрах по ходу верхнего продольного пучка (лобные доли), в передних отделах лучистого венца (лобные доли), в переднем бедре внутренней капсулы (по ходу лобно-таламического пути), в нижнем продольном пучке (белое вещество височных долей).



Зоны белого вещества головного мозга, отмеченные наиболее значимыми отклонениями между средними значениями КФА у групп ЛПА и КГ

Таблица 3

[Table 3]

Brain areas where CFA difference between Liquidators' and Control Group was statistically significant

Наименование тракта [Name of cerebral tract]	Группа ЛПА [Liquidators' Group] (n = 49), M±m	Контрольная группа [Control Group] (n = 49), M±m	P <
Семиовальные центры, правое полушарие [Semi-oval centers, right hemisphere]	387,63±11,95	419,85±7,49	0,05
Семиовальные центры, левое полушарие [Semi-oval centers, left hemisphere]	404,39±10,09	427,44±7,04	0,05
Белое вещество лобных долей, правое полушарие [Frontal lobe white matter, right hemisphere]	311,69±6,54	340,40±5,99	0,05
Белое вещество лобных долей, левое полушарие [Frontal lobe white matter, left hemisphere]	312,72±6,48	343,36±8,82	0,05
Белое вещество височных долей, правое полушарие [Temporal lobe, right hemisphere]	374,29±10,22	498,89±8,61	0,001
Белое вещество височных долей, левое полушарие [Temporal lobe, left hemisphere]	400,13±8,56	522,07±9,50	0,001
Переднее бедро внутренней капсулы, правое полушарие [Anterior thigh of internal capsule, right hemisphere]	557,76±11,91	637,00±9,75	0,001
Переднее бедро внутренней капсулы, левое полушарие [Anterior thigh of internal capsule, left hemisphere]	563,17±12,93	628,85±9,53	0,001

### Заключение

Использование высокопольной МРТ как современного метода структурной макро- и микровизуализации позволяет произвести оценку патологических изменений головного мозга у ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС в отдаленном периоде. В ходе использования методик рутинной и диффузионно-тензорной МРТ и сравнительном анализе полученных данных сделаны следующие выводы:

1. Данные магнитно-резонансной томографии показали одинаковую степень морфологических изменений головного мозга, свойственных дисциркуляторной энцефалопатии у ликвидаторов, получивших очень малые, малые и средние дозы облучения.

2. Применение методики ДТ-МРТ не выявило статистически значимой зависимости микроструктурного поражения белого вещества головного мозга ликвидаторов от полученной дозы радиации в отдаленном периоде (при сравнении малых и очень малых доз со средними дозами облучения).

3. В группе ликвидаторов, по сравнению с пациентами контрольной группы, отмечалось снижение КФА в трактах лобных, височных долей и переднего бедра внутренней капсулы, что может говорить о микроструктурном повреждении белого вещества данных областей, связанном не столько с радиационным, сколько с комплексным воздействием многочисленных факторов ликвидации аварии.

4. Методика ДТ-МРТ позволяет определить наличие и дать количественную оценку микроструктурным изменениям проводящих путей головного мозга, зачастую не определяемым при рутинной (стандартной) МРТ.

### Литература

- Алексанин, С.С. 30 лет после Чернобыля: патогенетические механизмы формирования соматической патологии, опыт медицинского сопровождения участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльской атомной электростанции: монография / С.С. Алексанин, О.М. Астафьев, Н.А. Бардышева [и др.]; под ред. проф. С.С. Алексанина // Политехника-принт. – СПб., 2016. – 506 с.
- Хирманов, В.Н. Метаболические и гемодинамические механизмы развития заболеваний сердца и мозга у участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС в отдаленном периоде / В.Н. Хирманов, О.В. Тихомирова; под ред. С.С. Алексанина. – СПб.: Политехника-сервис, 2010. – 358 с.
- Дамулин, И.В. Когнитивные нарушения при поражении мелких церебральных сосудов / И.В. Дамулин // Consilium medicum. – 2014. – Т. 16, № 9. – С. 10–16.
- Федоров, В.П. Радиационно-индуцированные и возрастные изменения нейронов мозжечка / В.П. Федоров, О.П. Гундарева, Н.В. Сгибнева // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2015. – Т. 60, № 4. – С. 12–18.
- Нягу, А.И. Изменения в нервной системе при хроническом воздействии ионизирующего излучения / А.И. Нягу, К.Н. Логановский // Журн. невропатологии и психиатрии. – 1997. – № 2. – С. 62–69.
- Жаворонкова, Л.А. Динамическое клинко-электроэнцефалографическое и нейропсихологическое исследова-

- ние состояния ЦНС ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС / Л.А. Жаворонкова, Н.Б. Холодова, Н.В. Гогитидзе // Международный журнал радиационной медицины. – 2001. – Т. 3, № 1–2. – С. 194–199.
7. Подсонная, И.В. Биологическая активность головного мозга у ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС, страдающих дисциркуляторной энцефалопатией и артериальной гипертензией / И.В. Подсонная, Г.Г. Ефремушкин, Е.Д. Желобецкая // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. – 2012. – № 10. – С. 33–38.
  8. Лелюк, В.Г. Ультразвуковая ангиология / В.Г. Лелюк, С.Э. Лелюк. – М.: Реальное время, 2003. – 324 с.
  9. Гуськова, А.К. Медицинские последствия аварии на Чернобыльской АЭС. Основные итоги и нерешенные проблемы / А.К. Гуськова // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2010. – Т. 55, № 3. – С. 17–28.
  10. Алексанин, С.С. Особенности функционального состояния центральной нервной системы участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС / С.С. Алексанин [и др.] // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2007. – Т. 52, № 5. – С. 5–11.
  11. Поздняков, А.В. Исследование изменений проводящих систем головного мозга детей методом диффузионно-тензорной томографии в разных возрастных группах / А.В. Поздняков, А.И. Тащилкин // Перспективы развития современной медицины. Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. – Воронеж, 2014. – 69 с.
  12. Мамедьяров, А.М. Возможности оценки моторных и сенсорных проводящих путей головного мозга с помощью диффузионно-тензорной трактографии и детей с детским церебральным параличом / А.М. Мамедьяров, Л.С. Намазова-Баранова // Вестник Российской Академии медицинских наук. – 2014. – № 9. – С. 70–76.
  13. Jia L. A diffusion tensor imaging study in essential tremor. J. Neuroimaging, 2011, Vol. 21, pp. 370–374.
  14. Труфанов, А.Г. Роль фракционной анизотропии в базальных ганглиях в патогенезе болезни Паркинсона / А.Г. Труфанов // Вестник Российской Военно-Медицинской Академии. – 2012. – № 2 (38). – С. 20–24.
  15. Ублинский, М.В. ЯМР in vivo как метод исследования биохимических и биофизических процессов головного мозга человека в норме и психопатологии (на примере шизофрении): дисс. ... канд. биол. наук / М.В. Ублинский. – М., 2016. – 130 с.
  16. Потапов, А.А. Длинные ассоциативные пути белого вещества головного мозга: современный взгляд с позиции нейронаук / А.А. Потапов, С.А. Горяйнов // Вопросы нейрохирургии им. Н.Н.Бурденко. – 2014. – Т. 78, № 5. – С. 66–77.
  17. Ермолина, Ю.В. Особенности структурных и функциональных изменений головного мозга у детей со спастическими формами церебрального паралича: дисс. ... канд. мед. наук / Ю.В. Ермолина. – М., 2016. – 126 с.
  18. Китаев, С.В. Принципы визуализации диффузионного тензора и его применение в неврологии / С.В. Китаев, Т.А. Попова // Анналы клинической и экспериментальной неврологии. – 2012. – Т. 6, № 1. – С. 48–53.
  19. Мазуренко, Е.В. Клинико-нейровизуализационные аспекты когнитивных нарушений у пациентов с болезнью Паркинсона: дисс. ... канд. мед. наук / Е.В. Мазуренко. – Минск, 2017. – 107 с.
  20. Панюшкина, Л.А. Клинико-морфологические особенности зрительного пути при глаукоме и при болезни Альцгеймера: дисс. ... канд. мед. наук / Л.А. Панюшкина. – М., 2015. – 128 с.
  21. Borroni B., Grassi M., Premi E., [et al.] Neuroanatomical correlates of behavioural phenotypes in behavioural variant of frontotemporal dementia. Behav Brain Res, 2012, 235(2), pp. 124–129.
  22. Ходжаева, Д.Т. Поражения проводящих путей при различных типах умеренно-когнитивных расстройств на фоне хронической ишемии мозга / Д.Т. Ходжаева, Д.К. Хайдарова // Евразийский союз ученых (ЕСУ): ООО «Международный Образовательный Центр». – 2015. – № 10. – С. 122–124.
  23. Ходжаева, Д.Т. Характеристика поражений проводящих путей при умеренных когнитивных расстройствах на фоне хронической ишемии мозга / Д.Т. Ходжаева, Д.К. Хайдарова, Н.К. Хайдаров // Евразийский Союз Ученых (ЕСУ): ООО «Международный Образовательный Центр». – 2015. – №7(16). – С. 97–98.
  24. Киселев, М.Ф. О работе 59-й сессии Научного Комитета по действию атомной радиации ООН (НКДАР ООН) (Вена, 21–25 мая 2012 г.) / М.Ф. Киселев, Т.В. Азизова, А.В. Аклев [и др.] // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2012. – № 5. – С. 11–19.
  25. Максудов, Г.А. Классификация сосудистых поражений головного и спинного мозга. Сосудистые заболевания нервной системы / Г.А. Максудов; под ред. Е.В. Шмидта. – М., 1975. – С. 12–17.

Поступила: 01.12.2017 г.

**Левашкина Ирина Михайловна** – врач-рентгенолог кабинета магнитно-резонансной томографии Всероссийского центра экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. **Адрес для переписки:** 194044, Санкт-Петербург, ул. Акад. Лебедева, д. 4/2; E-mail: levashkina ldc@yandex.ru

**Алексанин Сергей Сергеевич** – доктор медицинских наук, профессор, директор Всероссийского центра экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Санкт-Петербург, Россия

**Серебрякова Светлана Владимировна** – доктор медицинских наук, заведующая кабинетом магнитно-резонансной томографии Всероссийского центра экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Санкт-Петербург, Россия

**Грибанова Татьяна Георгиевна** – врач-рентгенолог кабинета магнитно-резонансной томографии Всероссийского центра экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Санкт-Петербург, Россия

Для цитирования: Левашкина И.М., Алексанин С.С., Серебрякова С.В., Грибанова Т.Г. О влиянии малых и средних доз радиации на структуру проводящих путей головного мозга у ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС в отдаленном периоде (по данным высокопольной рутинной и диффузионно-тензорной магнитно-резонансной томографии) // Радиационная гигиена. – 2017. – Т. 10, № 4. – С. 23-30. DOI: 10.21514/1998-426X-2017-10-4 -23-30

## Low and mean radiation doses impact on the cerebral tracts structure of the Chernobyl accident liquidators in the remote period (based on routine and diffusion-tensor magnetic resonance imaging data)

Irina M. Levashkina, Sergey S. Aleksanin, Svetlana V. Serebryakova, Tatyana G. Gribanova

The Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine of The Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, Saint-Petersburg, Russia

*To evaluate correlation between brain structural damages and radiation exposure level for the Chernobyl nuclear power plant accident liquidators, routine and diffusion tensor magnetic resonance imaging methods are efficient to visualize and evaluate those damages; it is also important to compare magnetic resonance imaging data of liquidators with results, received for people of the same age and the same stage of cerebral vascular disease (the discirculatory encephalopathy of I and II stage), but who did not participate in the Chernobyl accident liquidation and did not suffer from other liquidation factors and radiation catastrophe aftermaths. As a result, the Chernobyl accident liquidators group (49 subjects) and group of control (50 subjects) were examined with routine magnetic resonance imaging methods and standard protocols. In addition, the innovative method of diffusion tensor magnetic resonance imaging was applied to examine 11 cerebral tracts, bilaterally (22 tracts in both hemispheres) for every subject of the research. It was for the first time when diffusion tensor magnetic resonance imaging was applied to conduct visual analysis of polymorphic brain changes for the Chernobyl accident liquidators and special research conducted to find correlation between fractional anisotropy coefficient and radiation exposure for these patients. The results of diffusion tensor magnetic resonance imaging indicated no statistically significant ( $p > 0,05$ ) difference in the level of cerebral morphological changes and between average fraction anisotropy coefficient value in any cerebral tract for both sub-groups of liquidators with different level of irradiation: 28 subjects, who were exposed by low and very low radiation doses (0–100 micro-Sv, sub-group A) and 21 subjects, who were exposed by mean radiation doses (100–1000 micro-Sv, sub-group B). However, comparing diffusion tensor magnetic resonance imaging results of control group and liquidators group, statistically significant ( $p < 0,05$ ) reduction of average fraction anisotropy coefficient was detected in frontal and temporal lobes. It proves significant micro-structural damages of mentioned brain areas caused by different factors of the Chernobyl accident liquidation.*

**Key words:** Chernobyl nuclear power plant, accident liquidator, diffusion tensor magnetic resonance imaging, fraction anisotropy, low doses of radiation, mean doses of radiation.

### References

1. Aleksanin S.S., Astafyev, N.A. Bardysheva [et al.]. Ed. by prof. Aleksanin S.S. 30 years after Chernobyl: pathogenetic mechanisms of somatic pathologies, medical care experience for Chernobyl nuclear power plant liquidators: monograph. St.-Petersburg, Politechnica-Print, 2016, 506 p. (in Russian)
2. Hirmanov V.N, Tikhomirova O.V. Ed.: prof. Aleksanin S.S. Chernobyl nuclear power plant liquidators metabolic and hemodynamic mechanisms of cardio- and cerebral diseases in the remote period. St.-Petersburg, Politechnica-Service, 2010, 358 p. (in Russian).
3. Damulin I.V. Cognitive impairment in damage to small cerebral vessels. Consilium medicum, 2014, Vol. 16. №9, pp.10-16. (in Russian).
4. Fedorov V.P., Gundareva O.P., Sgibneva N.V. Radiation-Induced and Age-Related Changes in Cerebellar Neurons. Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost = Medical radiology and radiation safety, Vol. 60, №4, pp. 12-18. (in Russian).
5. Nyagu A.I., Loganovsky K.N. Changes in the nervous system under chronic exposure to ionizing radiation. Zhurnal nevro-patologii i psikiatrii = Journal of neuropathology and psychiatry, 1997, N 2, pp. 62–69. (in Russian).

**Irina M. Levashkina**

The Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine.

**Address for correspondence:** Academica Lebedeva Str., 4/2, St.-Petersburg, 194044, Russia; E-mail: levashkina ldc@yandex.ru

6. Zhavoronkova L.A., Kholodova N.B., Gogitidze N.V. Dynamic clinical-electroencephalographic and neuropsychological study of the condition of the central nervous system of the liquidators of the Chernobyl accident. *Mezhdunarodnyy zhurnal radiatsionnoy meditsiny = International Journal of Radiation Medicine*, 2001, Vol. 3, № 1–2, pp. 194–199. (in Russian).
7. Podsonnaya I.V., Efremushkin G.G., Zhelobetskaya E.D. The bioelectric activity of the brain in discirculatory encephalopathy and arterial hypertension developed in the Chernobyl nuclear disaster liquidators. *Zhurnal nevrologii i psikiatrii im. S.S. Korsakova = S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry*, 2012, N 10, pp. 33–38. (in Russian).
8. Lelyuk V.G., Lelyuk S.E. *The Ultrasonic angiology. Realnoye vremya = Real Time*, 2003, Moscow, 324 p. (in Russian).
9. Guskova A.K. Medical Effects of the Chernobyl Nuclear Power Plant Accident: Major summaries and unsolved challenges. *Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost = Medical radiology and radiation safety*, 2010, Vol. 55, № 3, pp. 17–28. (in Russian).
10. Aleksanin S.S., Mamatova N.T., Tikhomirova O.V. [et al.]. 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, Vol. 52, N 5, pp. 5–11. (in Russian).
11. A.V. Pozdnyakov, A.I. Tazhilkin. Study of changes in children's brain pathways using Diffusion-Tensor Tomography for different age groups. In: *Sbornik nauchnykh trudov po itogam mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii = Modern Medicine Perspectives*, Voronezh, 2014, p. 69. (in Russian).
12. Mamedyarov A.M., Namazova-Baranova L.S. Assessment of Motor and Sensory Pathways of the Brain Using Diffusion-Tensor Tractography in Children with Cerebral Palsy. *Vestnik Rossiyskoy Akademii meditsinskikh nauk = Annals of the Russian academy of medical sciences*, 2014, № 9, pp.70-76. (in Russian).
13. Jia L. A diffusion tensor imaging study in essential tremor. *J. Neuroimaging*, 2011, Vol. 21, pp. 370-374.
14. Trufanov A.G. Role of fractional anisotropy in basal ganglia in Parkinson disease pathogenesis. *Vestnik Rossiyskoy Voenno-Meditsinskoy Akademii = Vestnik of Russian military medical Academy*, 2012, № 2(38), pp.20-24. (in Russian).
15. Ublinsky M.V. Nuclear magnetic resonance as a research method for human brain biochemical and biophysical processes within the norm and in case of psychopathology, Thesis abstract Cand. Biol. Sciences, Moscow, 2016, 130 p. (in Russian).
16. Potapov A.A., Goryaynov S.A. The Long-associative pathways of the white matter: modern view from the perspective of neuroscience. *Voprosy neyrokhirurgii im. N.N. Burdenko = Problems of Neurosurgery named after N.N. Burdenko*, 2014, Vol. 78, pp. 66-77. (in Russian)
17. Ermolina Yu.V. Particularities of brain structural and functional changes for children with spastic form of cerebral palsy, Thesis abstract Cand. Med. Sciences, Moscow, 2016, 126 p. (in Russian).
18. Kitayev S.V., Popova T.A. Principles of diffusion tensor imaging and its application to neuroscience. *Annaly klinicheskoy i eksperimentalnoy nevrologii = Annals of Clinical and Experimental Neurology*, 2012, Vol.6, №1, pp.48–53. (in Russian).
19. Mazurenko E.V. Clinical and neuro-vizualisational aspects of cognitive disorders for Parkinson disease patients, Thesis abstract Cand. Med. Sciences, Minsk, 2017, 107 p. (in Russian).
20. Panyushkina L.A. Clinical and morphological aspects of visual paths for glaucoma and Alzheimer disease, Thesis abstract Dr. Med. Sci., Moscow, 2015, 128 p. (in Russian).
21. Borroni B., Grassi M., Premi E., Gazzina S., Alberici A., Cosseddu M. [et al.] Neuroanatomical correlates of behavioural phenotypes in behavioural variant of frontotemporal dementia. *Behav Brain Res.*, 2012, 235(2), pp. 124–129.
22. Khodzhaeva D.T., Khaydarova D.K. Lesions of pathways in different types of moderate cognitive disorders on the background of chronic ischemia of the brain. *Zhurnal Evraziyskogo Soyuzha uchenykh = Eurasian Union of Scientists*, 2015, №10, pp.122–124. (in Russian).
23. Hodzhayeva D.T., Khaydarova D.K., Khaidarov N.K. Characteristic of lesions of conduction pathways with moderate cognitive impairment against a background of chronic cerebral ischemia *Zhurnal Evraziyskogo Soyuzha uchenykh = Eurasian Union of Scientists*, 2015, №7(16), pp. 97-98. (in Russian).
24. Kiselev M.F., Azizova T.V., Akleev T.V. [et al.]. On the 59th Session of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) (Vienna, 21-25 May 2012). *Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost = Medical radiology and radiation safety*, 2012, N 5, pp.11–19. (in Russian).
25. Maksudov G.A. Vascular involvements of brain and spinal cord classification. Ed. Shmidt E.V., Moskva, 1975, pp. 12–17. (in Russian).

Received: December 01, 2017

**For correspondence: Irina M. Levashkina** – MRI rentgenologist, The Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine of The Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters (Academica Lebedeva Str., 4/2, St. Petersburg, 194044, Russia), e-mail: levashkina ldc@yandex.ru

**Sergey S. Aleksanin** – Dr. Med. Sci., Professor, Director of The Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine of The Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, Saint-Petersburg, Russia

**Svetlana V. Serebryakova** – Dr. Med. Sci., Head of the MRI Department, The Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine of The Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, Saint-Petersburg, Russia

**Tatyana G. Griбанova** – MRI rentgenologist, The Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine of The Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, Saint-Petersburg, Russia

**For citation: Levashkina I.M., Aleksanin S.S., Serebryakova S.V., Griбанova T.G. Low and mean radiation doses impact on the cerebral tracts structure of the Chernobyl accident liquidators in the remote period (based on routine and diffusion-tensor magnetic resonance imaging data). Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene**, 2017, Vol. 10, No. 4, pp.23-30. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2017-10-4-23-30