

УДК: 613.6:621.317.7

КОМПЛЕКСНАЯ ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ТРУДА И ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ПЕРСОНАЛА ОТДЕЛЕНИЙ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ

Бушманов А.Ю., Титова Н.А., Каримова Д.Ю.

ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации - Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И.Бурназяна» ФМБА России, Москва, Россия

Персонал отделений магнитно-резонансной томографии (МРТ) подвергается сочетанному воздействию физических факторов производственной среды, что определяет необходимость комплексной гигиенической оценки условий труда и изучения функционального состояния работников.

Цель. Провести комплексную гигиеническую оценку условий труда и изучить функциональное состояние персонала, работающего с аппаратами МРТ.

Материалы и методы. На рабочих местах врачей-рентгенологов и рентгенолаборантов отделений МРТ трёх клинических больниц проведены инструментальные измерения уровней постоянного магнитного поля, эквивалентного уровня звука и освещённости. Основную группу составили 25 работников отделений МРТ, контрольную – 25 медицинских работников, профессионально не контактировавших с физическими факторами МРТ. Функциональное состояние оценивали с помощью методики САН, цветового теста Люшера, индекса функциональных изменений сердечно-сосудистой системы и критической частоты слияния световых мельканий.

Результаты. Основным неблагоприятным фактором производственной среды при эксплуатации МРТ являлось постоянное магнитное поле с напряжённостью до 450 мТл в зоне обслуживания томографа, что соответствовало вредным условиям труда классов 3.1–3.2. По сравнению с контрольной группой у работников МРТ отмечались более низкие показатели самочувствия ($3,8 \pm 0,4$ балла) и активности ($3,5 \pm 0,5$ балла), повышение индекса функциональных изменений до $2,45 \pm 0,30$, отражавшее напряжение адаптационных механизмов, а также снижение критической частоты слияния световых мельканий на 12%. Усиление воздействия постоянного магнитного поля сопровождалось увеличением индекса функциональных изменений ($r = 0,52$; $p < 0,05$) и снижением критической частоты слияния световых мельканий ($r = -0,49$; $p < 0,05$) и показателя активности по методике САН ($r = -0,46$; $p < 0,05$).

Ограничения исследования. Одномоментный дизайн исследования не позволяет установить причинно-следственные связи. В анализе не учитывались индивидуальные особенности продолжительности профессионального стажа работников.

Выводы. Условия труда персонала отделений МРТ соответствуют вредному классу 3.1–3.2. У работников выявлены признаки напряжения механизмов адаптации сердечно-сосудистой системы, снижения субъективной активности и функциональной лабильности зрительного анализатора. Расчётный профессиональный риск составил 8,75 и был отнесён к неприемлемой категории. Профилактические мероприятия должны предусматривать ограничение продолжительности непрерывного пребывания в зонах повышенного постоянного магнитного поля и рациональную регламентацию режима труда и отдыха.

Ключевые слова: магнитно-резонансная томография; постоянное магнитное поле; гигиена труда; условия труда; функциональное состояние; профессиональный риск; медицинский персонал

Соблюдение этических стандартов: исследование одобрено локальным этическим комитетом Медико-биологического университета инноваций и непрерывного образования ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России (протокол № 127 от 17.10.2025). Все участники подписали информированное согласие.

Использование инструментов искусственного интеллекта: авторы заявляют, что при подготовке настоящей рукописи системы искусственного интеллекта не применялись.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование не имело финансовой поддержки.

Для цитирования: Бушманов А.Ю., Титова Н.А., Каримова Д.Ю. Комплексная гигиеническая оценка условий труда и функциональное состояние персонала отделений магнитно-резонансной томографии. Медицина труда и экология человека. 2026; 3:148-168.

doi: <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2026-10308>

Для корреспонденции: Дания Юсуфовна Каримова, e-mail: danika_karimova@mail.ru

COMPREHENSIVE HYGIENIC ASSESSMENT OF WORKING CONDITIONS AND FUNCTIONAL STATE OF MAGNETIC RESONANCE IMAGING DEPARTMENT PERSONNEL

Bushmanov A.Yu., Titova N.A., Karimova D.Yu.

State Research Cnter – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency (SRC – FMBC), Moscow, Russia

Magnetic resonance imaging (MRI) department personnel are occupationally exposed to a combination of physical workplace factors, which necessitates a comprehensive occupational hygiene assessment and an evaluation of workers' functional status.

The purpose of the study. To conduct a comprehensive occupational hygiene assessment and evaluate the functional status of personnel working with MRI systems.

Materials and methods. Instrumental measurements of static magnetic field exposure, equivalent continuous sound level, and illuminance were performed at the workplaces of radiologists and radiographers in MRI departments of three clinical hospitals. The exposed group comprised 25 MRI department employees, whereas the control group included 25 healthcare workers without occupational exposure to MRI-related physical factors. Functional status was assessed using the Well-Being, Activity, and Mood questionnaire, the Lüscher color test, the functional change index of the cardiovascular system, and critical flicker fusion frequency.

Results. The principal occupational hazard was the static magnetic field, reaching 450 mT in the scanner service area, corresponding to working conditions class 3.2. Compared with the control group, MRI personnel demonstrated significantly lower well-being (3.8 ± 0.4) and activity (3.5 ± 0.5) scores, an increase in the Index of Functional Changes to 2.45 ± 0.30 , indicating strain of adaptation mechanisms, and a 12% reduction in the critical flicker fusion frequency. Static magnetic field exposure was positively correlated with the Index of Functional Changes ($r = 0.52$; $p < 0.05$) and negatively correlated with the critical flicker fusion frequency ($r = -0.49$; $p < 0.05$) and the activity score of the SAM questionnaire ($r = -0.46$; $p < 0.05$).

Study limitations. The cross-sectional study design precludes establishing causal relationships. Individual differences in duration of occupational employment were not included in the analysis.

Conclusion. The occupational conditions of MRI department personnel were classified as harmful, corresponding to classes 3.1–3.2. The employees demonstrated strain of cardiovascular adaptation mechanisms, reduced self-reported activity, and decreased functional lability of the visual analyzer. The calculated occupational risk score was 8.75

and was classified as unacceptable. Preventive measures should include limiting the duration of continuous exposure in areas with elevated static magnetic field levels and establishing an appropriate work–rest schedule.

Keywords: magnetic resonance imaging; static magnetic field; occupational hygiene; occupational conditions; functional status; occupational risk; healthcare personnel

Compliance with ethical standards: the study was approved by the local ethics committee of the Medical and Biological University of Innovation and Continuing Education of the Federal State Budgetary Institution A.I. Burnazyan Federal Medical and Biological Agency of Russia (protocol No. 127 dated 17.10.2025). All participants signed an informed consent form.

Use of artificial intelligence tools: The authors declare that no artificial intelligence systems were used in the preparation of this manuscript.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interest.

Funding. This study was not supported by any external funding.

For citation: Bushmanov A.Yu., Titova N.A., Karimova D.Yu. Comprehensive hygienic assessment of working conditions and functional state of magnetic resonance imaging department personnel. *Occupational Health and Human Ecology*. 2026; 3:148-168.

doi: <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2026-10308>

For correspondence: Daniia Y. Karimova, e-mail: danika_karimova@mail.ru

Широкое внедрение магнитно-резонансной томографии (МРТ) в клиническую диагностику создаёт новые вызовы в области охраны здоровья медицинского персонала, осуществляющего эксплуатацию и обслуживание данной аппаратуры [1]. Персонал отделений МРТ относится к категории работников, подверженных хроническому профессиональному воздействию уникального комплекса физических факторов. Ведущим компонентом этой производственной среды является статическое магнитное поле высокой напряжённости. Сопутствующими вредными факторами выступают шум от систем охлаждения и вентиляции, достигающий уровней 65–100 дБА, а также специфическая визуальная среда, связанная с работой за мониторами в условиях затемнённого помещения [2]. Несмотря на признанную безопасность диагностической процедуры для пациентов, вопрос о гигиенической оценке условий труда для операторов остаётся

недостаточно изученным. Хотя потенциальное биологическое действие сильных магнитных полей исследуется, данные носят фрагментарный характер [3, 4].

Современные исследования показывают, что электромагнитная обстановка в помещениях МРТ не ограничивается воздействием постоянного магнитного поля. При перемещении работников в неоднородном рассеянном поле, особенно вблизи портала томографа, формируется изменяющееся во времени магнитное воздействие, величина которого зависит от напряжённости поля, пространственного градиента и скорости движения персонала. Инструментальные и расчётные исследования подтверждают, что наиболее высокие уровни профессионального воздействия возникают при укладке и извлечении пациента, установке оборудования и выполнении манипуляций непосредственно у входа в тоннель томографа; при использовании систем 3,0 и 7,0 Тл эти значения существенно возрастают [5, 6]. Дополнительными компонентами электромагнитной среды являются быстро переключаемые градиентные магнитные поля и радиочастотные электромагнитные поля, генерируемые во время сканирования. Хотя при стандартной диагностической работе персонал преимущественно находится вне активной зоны радиочастотной катушки, возможность его воздействия сохраняется при интервенционных исследованиях, сопровождении пациентов и других процедурах, требующих присутствия сотрудника в помещении во время получения изображения [7]. По данным эпидемиологических исследований, работа вблизи высокопольных МРТ-систем ассоциируется с более частым возникновением головокружения, ощущения движения, тошноты, металлического вкуса, головной боли и нарушений концентрации внимания; вероятность подобных симптомов увеличивается при работе с томографами напряжённостью 3,0 Тл и выше [8, 9]. Вместе с тем современные обзоры подчёркивают, что сведения о последствиях длительного сочетанного воздействия постоянного, градиентного и радиочастотного полей остаются ограниченными, а оценка профессионального риска должна учитывать не только номинальную напряжённость томографа, но также пространственное распределение поля, характер рабочих операций, продолжительность пребывания у портала и скорость перемещения персонала [10].

Ряд работ указывает на возможное влияние на нейровегетативный статус и сердечно-сосудистую систему [11, 12]. Однако эти исследования, как правило, не проводят комплексной оценки всех значимых факторов среды и их интегрального эффекта. В отечественной гигиене труда данная проблема требует внимания в свете действующей системы специальной оценки условий труда (СОУТ).

Существующие нормативные документы содержат критерии оценки постоянного магнитного поля и шума, однако их практическое применение к специфическим условиям работы в МРТ-отделениях нуждается в научном обосновании [13, 14]. Отсутствие комплексных исследований, объединяющих инструментальную оценку факторов с многомерным анализом функционального состояния персонала, создаёт существенный пробел [15]. Этот пробел затрудняет объективную классификацию условий труда, расчёт профессионального риска и разработку профилактических мероприятий [9, 16, 17].

Цель исследования – провести комплексную гигиеническую оценку условий труда и изучить особенности функционального состояния персонала, работающего на аппаратах МРТ, для разработки мер профилактики.

Материалы и методы

Дизайн и база исследования. Настоящее одномоментное гигиеническое и клинико-физиологическое исследование проведено в 2023–2024 гг. на базе трёх многопрофильных стационаров г. Москвы, оснащённых закрытыми томографами с напряжённостью магнитного поля 1,5 Тл ($n=2$) и 3,0 Тл ($n=1$).

Исследуемые группы. Основную группу (ОГ) составили 25 сотрудников отделений МРТ: врачи-рентгенологи ($n=12$) и рентгенолаборанты ($n=13$). Средний возраст – $38,5 \pm 7,2$ года, средний стаж – $8,3 \pm 4,1$ года. Контрольную группу (КГ) сформировали из 25 медицинских работников терапевтических отделений, сопоставимых по возрасту ($37,8 \pm 6,9$ лет) и полу, не контактирующих с факторами МРТ. Все участники подписали информированное согласие.

Методы гигиенической оценки условий труда. Инструментальные измерения проводились в течение рабочей смены.

1. Оценка постоянного магнитного поля (ПМП): измерение тесламетром ТЕСЛА-МЕТР ТМ-1-М (ООО «Приборы», Россия). Оценка класса условий труда по Руководству Р 2.2.2006-05 [12].
2. Оценка шума: измерение эквивалентного уровня звука шумомером-анализатором ОКТАВА-110А (ООО «Октава-ЭлектронДизайн», Россия). Классификация по СанПиН 1.2.3685-21 [4].
3. Оценка освещённости: измерения люксметром-яркомером ТКА-Люкс/Ярк (ООО «ТКА-ПКП», Россия).

Методы оценки функционального состояния.

1. Самооценка состояния: стандартизированная методика оперативной оценки самочувствия, активности и настроения (САН).
2. Оценка психоэмоционального напряжения: восьмицветовой тест Люшера (вегетативный коэффициент).
3. Функциональное состояние сердечно-сосудистой системы оценивали с использованием индекса функциональных изменений (ИФИ), рассчитанного по методике Р.М. Баевского [18].
4. Оценка функционального состояния центральной нервной системы (ЦНС): определение критической частоты слияния световых мельканий (КЧСМ).
5. Расчёт профессионального риска: интегральная оценка с использованием вероятностного подхода (методика Р 2.2.1766-03) [3, 14].

Статистические методы. Обработка данных выполнена в IBM SPSS Statistics 26.0. Использованы критерии Шапиро-Уилка, Стьюдента, Манна-Уитни, корреляционный анализ (Пирсон, Спирмен). Уровень значимости $p < 0,05$.

Результаты. Обязанности персонала МРТ различались по характеру выполняемой работы и месту её выполнения. Врачи-рентгенологи в основном работали в пультной за диагностическими мониторами, тогда как рентгенолаборанты проводили подготовку и укладку пациентов, замену радиочастотных катушек и обслуживание томографа в процедурном помещении. Поэтому интенсивность воздействия производственных факторов определялась как особенностями выполняемых операций, так и расстоянием до основного магнита.

В отличие от других производственных факторов, постоянное магнитное поле сохранялось независимо от проведения сканирования. Его напряжённость определялась расстоянием до томографа: максимальные значения регистрировались у портала, а по мере удаления быстро уменьшались. Поэтому наиболее интенсивное воздействие отмечалось при укладке пациентов, замене радиочастотных катушек и работе у входа в тоннель.

Гигиеническая оценка производственной среды

Результаты инструментальной оценки факторов производственной среды представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты инструментальной оценки факторов производственной среды на рабочих местах персонала МРТ

Table 1. Results of instrumental assessment of occupational environment factors at MRI staff workstations

Фактор	Точка измерения	Измеренный диапазон	Среднее значение или Me [Q1; Q3]	Гигиенический норматив	Класс условий труда
Постоянное магнитное поле	Пультовая	0,8–1,5 мТл	1,1±0,2 мТл	80 мТл*	2
Постоянное магнитное поле	Зона подготовки пациента, 0,5 м от аппарата	85–215 мТл	145 [110; 180] мТл	80 мТл*	3.1
Постоянное магнитное поле	Вход в тоннель, плоскость портала	320–450 мТл	385 [350; 410] мТл	80 мТл*	3.2
Эквивалентный уровень звука	Пультовая	62–68 дБА	65,2±1,8 дБА	80 дБА	2
Эквивалентный уровень звука	Помещение с томографом	68–73 дБА	70,5 [68; 72] дБА	80 дБА	2
Искусственная освещённость	Рабочая поверхность в пультовой	280–350 лк	310±25 лк	300–500 лк	2
Искусственная освещённость	Рабочая зона диагностического монитора	180–250 лк	210 [190; 230] лк	200–300 лк	2

Примечание: ПМП — постоянное магнитное поле; Me — медиана; Q1 и Q3 — первый и третий квартили. * Оценка выполнена согласно Руководству Р 2.2.2006-05 [6].

Note: CMP – constant magnetic field; Me – median; Q1 and Q3 – first and third quartiles. * Assessment performed in accordance with Guideline R 2.2.2006-05 [6].

В пультовой уровень постоянного магнитного поля находился в пределах 0,8–1,5 мТл, составляя в среднем $1,1 \pm 0,2$ мТл. Полученные значения не превышали действующих гигиенических нормативов. Поэтому работа в пультовой не определяла класс условий труда по фактору воздействия постоянного магнитного поля.

В зоне подготовки пациента на расстоянии 0,5 м от томографа магнитная индукция изменялась от 85 до 215 мТл, а медиана составляла 145 [110; 180] мТл. Превышение норматива достигало 2,7 раза, что соответствовало вредным условиям труда класса 3.1. Наиболее высокие показатели зарегистрированы в плоскости портала: от 320 до 450 мТл при медиане 385 [350; 410] мТл. Максимальное значение превышало норматив в 5,6 раза, поэтому условия труда в этой рабочей зоне были отнесены к классу 3.2.

Зарегистрированная неоднородность поля согласуется с физическими особенностями МРТ-системы: интенсивность рассеянного магнитного поля закономерно возрастает по мере приближения к изоцентру магнита. В исследованиях профессиональной экспозиции также показано, что наиболее высокие уровни воздействия регистрируются при укладке и извлечении пациента, установке оборудования и выполнении манипуляций непосредственно около портала томографа [5, 10]. При этом оценка условий труда не должна ограничиваться измерением на постоянном рабочем месте, поскольку кратковременные операции вблизи магнита многократно повторяются в течение смены.

Наибольшему воздействию подвергаются рентгенолаборанты, которые чаще врачей входят в процедурное помещение, осуществляют позиционирование пациентов и работают с приёмными катушками. В расширенной выборке диссертационного исследования вредные классы условий труда по уровню ПМП были установлены у 74,5% работников отделений МРТ, в том числе у 90,0% рентгенолаборантов и 52,4% врачей-рентгенологов. Это подтверждает, что профессиональная экспозиция определяется не только напряжённостью томографа, но и содержанием трудовых операций.

Дополнительное значение имеет движение работника в пространственно неоднородном постоянном магнитном поле. При изменении положения тела относительно магнита возникает переменное во времени воздействие, величина

которого зависит от пространственного градиента поля и скорости перемещения. Поэтому быстрые движения непосредственно у портала могут сопровождаться транзиторными ощущениями головокружения, неустойчивости, тошноты или металлического вкуса, описанными у персонала высокопольных МРТ-систем [5, 10, 18]. В настоящем исследовании индивидуальная дозиметрия изменяющегося во времени магнитного воздействия не проводилась, поэтому его самостоятельный вклад в функциональные изменения не оценивали.

Эквивалентный уровень звука в пультовой составлял 62–68 дБА, в среднем $65,2 \pm 1,8$ дБА. В помещении с томографом он повышался до 68–73 дБА, медиана – 70,5 [68; 72] дБА. Различия между рабочими зонами были связаны с работой градиентных катушек, систем охлаждения и вентиляции. Вместе с тем полученные значения не превышали указанного в таблице гигиенического норматива 80 дБА и соответствовали допустимому классу условий труда. Измерения проводились в рабочих зонах персонала и не характеризовали акустическую нагрузку внутри тоннеля томографа. При выполнении отдельных импульсных последовательностей уровень шума в этой зоне может значительно возрастать.

Освещённость рабочей поверхности в пультовой составляла 280–350 лк (в среднем 310 ± 25 лк), в зоне диагностического монитора – 180–250 лк, медиана 210 [190; 230] лк. В целом показатели соответствовали допустимым значениям и классу условий труда 2, хотя на отдельных рабочих местах освещённость была ниже рекомендуемой. При длительной работе с диагностическими изображениями такие локальные отклонения могут дополнительно повышать зрительную нагрузку.

Несмотря на низкие уровни ПМП в пультовой, общая оценка условий труда определялась работой у томографа. Наибольшее воздействие отмечалось во время подготовки пациента и выполнения манипуляций у портала, поэтому именно эти операции формировали вредные условия труда класса 3.2.

Функциональное состояние персонала

Результаты оценки функционального состояния персонала МРТ и контрольной группы представлены в таблице 2.

Таблица 2. Показатели функционального состояния персонала МРТ и контрольной группы

Table 2. Indicators of the functional state of MRI personnel and the control group

Показатель	Основная группа, n=25	Контрольная группа, n=25	p
Самочувствие по методике САН, баллы	3,8±0,4	5,1±0,3	<0,001
Активность по методике САН, баллы	3,5±0,5	4,9±0,4	<0,001
Настроение по методике САН, баллы	4,1±0,6	5,0±0,5	<0,01
Вегетативный коэффициент теста Люшера	1,05 [0,98; 1,15]	0,92 [0,85; 0,97]	<0,01*
Индекс функциональных изменений, баллы	2,45±0,30	1,85±0,20	<0,001
Критическая частота слияния световых мельканий, Гц	35,2±2,1	40,0±1,8	<0,001

Примечание: данные представлены как $M \pm SD$ или $Me [Q1; Q3]$. САН – самочувствие, активность, настроение. * Для сравнения применён U-критерий Манна–Уитни; для остальных показателей – t-критерий Стьюдента.

Note: data are presented as $M \pm SD$ or $Me [Q1; Q3]$. SAN – well-being, activity, mood.

* The Mann–Whitney U test was used for comparison; Student's t-test was used for the other indicators.

По методике САН у персонала МРТ выявлено статистически значимое снижение всех трёх компонентов субъективного функционального состояния. Средний показатель самочувствия составлял 3,8±0,4 балла против 5,1±0,3 балла в контрольной группе, активность – 3,5±0,5 против 4,9±0,4 балла, настроение – 4,1±0,6 против 5,0±0,5 балла. Наиболее выраженные межгрупповые различия установлены по самочувствию и активности. Полученные результаты отражают снижение текущей работоспособности и субъективного функционального тонуса персонала МРТ.

У персонала МРТ вегетативный коэффициент по тесту Люшера был выше, чем в контроле: 1,05 [0,98; 1,15] против 0,92 [0,85; 0,97] ($p < 0,01$). Различие отражало более выраженное психовегетативное напряжение, однако не могло быть однозначно

связано с магнитным полем, поскольку на показатель влияют и другие особенности профессиональной нагрузки.

У работников МРТ индекс функциональных изменений достигал $2,45 \pm 0,30$ балла, тогда как в контрольной группе он составлял $1,85 \pm 0,20$ балла ($p < 0,001$). В основной группе показатель соответствовал напряжению механизмов адаптации, в контрольной – удовлетворительному адаптационному состоянию. Это свидетельствует о большей нагрузке на регуляторные механизмы сердечно-сосудистой системы у персонала МРТ.

Критическая частота слияния световых мельканий (КЧССМ) у персонала МРТ составляла $35,2 \pm 2,1$ Гц, в контрольной группе – $40,0 \pm 1,8$ Гц, $p < 0,001$. Снижение показателя в основной группе достигало 12,0%. КЧССМ характеризует функциональную подвижность зрительного анализатора и состояние центральных механизмов переработки зрительной информации. Поэтому выявленное различие корректнее интерпретировать как снижение функциональной лабильности зрительного анализатора и центральных регуляторных процессов, а не как неспецифический «показатель утомления ЦНС».

Полученные изменения могли формироваться под влиянием комплекса факторов. Помимо пребывания в неоднородном постоянном магнитном поле, работа персонала МРТ связана с длительной зрительной нагрузкой, высокой ответственностью, необходимостью оперативного взаимодействия с пациентами и повторяющимися перемещениями между пультным и процедурным помещением. По этой причине результаты функциональных проб характеризуют общее напряжение регуляторных систем, но не позволяют при одномоментном дизайне однозначно связать все выявленные изменения исключительно с ПМП.

Взаимосвязь уровней ПМП и функциональных показателей

Корреляционный анализ выявил статистически значимую прямую связь между уровнем постоянного магнитного поля и индексом функциональных изменений: $r = 0,52$; $p < 0,05$. Следовательно, более высокая экспозиция ПМП сопровождалась увеличением ИФИ, то есть более выраженным напряжением механизмов адаптации сердечно-сосудистой системы.

Критическая частота слияния световых мельканий умеренно снижалась по мере увеличения уровня постоянного магнитного поля ($r = -0,49$; $p < 0,05$). Такая зависимость может свидетельствовать о снижении функциональной лабильности

зрительного анализатора и процессов центральной обработки зрительной информации.

Между уровнем постоянного магнитного поля и показателем активности по методике САН также выявлена умеренная обратная связь ($r = -0,46$; $p < 0,05$): с увеличением профессиональной экспозиции субъективная активность работников снижалась. Выявленные корреляции отражают статистически значимую связь между уровнем воздействия ПМП и функциональными показателями, однако их умеренная сила и одномоментный дизайн исследования не позволяют делать выводы о причинно-следственной зависимости. Для подтверждения этих результатов необходимы проспективные исследования с персональной дозиметрией, учётом стажа и повторной оценкой показателей до и после рабочей смены.

Оценка профессионального риска

Согласно расчётам, интегральный показатель профессионального риска достиг 8,75, что соответствовало высокой (неприемлемой) категории риска [1, 14]. На итоговую оценку повлияли превышение допустимых уровней ПМП в отдельных рабочих зонах, класс условий труда и зарегистрированные функциональные изменения у персонала.

Полученные данные обосновывают необходимость организационных мер, направленных на снижение профессиональной экспозиции. К ним относятся подготовка пациента и оборудования до входа в зону магнита, сокращение времени работы у портала томографа, рациональное распределение операций между сотрудниками и ограничение непрерывного пребывания в процедурном помещении.

Дополнительное значение имеют рациональная организация рабочих мест в пультной, поддержание нормативной освещённости, регламентированные перерывы при длительной работе с диагностическими мониторами и динамическое наблюдение за функциональным состоянием персонала. Поскольку выявленные изменения не являются специфичными для одного производственного фактора, профилактическая программа должна учитывать сочетанное воздействие ПМП, зрительной, сенсорной и психоэмоциональной нагрузки.

Обсуждение. Проведённое исследование показало, что гигиеническая характеристика условий труда персонала МРТ определяется выраженной пространственной неоднородностью постоянного магнитного поля. На постоянном рабочем месте в пультовой уровень ПМП соответствовал допустимым значениям, однако при выполнении операций вблизи портала превышал норматив до 5,6 раза и формировал вредные условия труда класса 3.2. Следовательно, оценка только пультовой не отражает реальную экспозицию персонала и должна дополняться измерениями во всех зонах фактического пребывания работников.

Полученные результаты согласуются с данными исследований, в которых максимальная профессиональная экспозиция регистрировалась во время укладки пациента, установки катушек и других манипуляций около портала МРТ-системы [5, 10]. При этом интенсивность воздействия зависит от напряжённости томографа, пространственного градиента поля, траектории и скорости движения работника. Это особенно важно для рентгенолаборантов, которые чаще и дольше находятся в процедурном помещении.

У персонала МРТ выявлено одновременное снижение показателей самочувствия, активности и настроения, повышение вегетативного коэффициента, увеличение ИФИ и уменьшение КЧССМ. Такая совокупность изменений свидетельствует о напряжении механизмов адаптации, снижении функционального состояния и функциональной лабильности зрительного анализатора. Аналогичные жалобы и изменения самочувствия описывались у работников МРТ в исследованиях, посвящённых воздействию статических магнитных полей и акустической нагрузки [5, 11, 17, 18].

Вместе с тем выявленные различия следует трактовать с учётом многофакторности производственной среды. Функциональное состояние персонала определяется не только воздействием ПМП, но и организацией труда, продолжительностью работы за монитором, акустической нагрузкой, необходимостью постоянной концентрации внимания и эмоциональным взаимодействием с пациентами. Корреляции между ПМП и ИФИ, КЧССМ и активностью подтверждают наличие статистической связи, однако не позволяют полностью исключить влияние сопутствующих факторов.

Интерпретацию полученных данных следует проводить с учётом ограничений исследования. К ним относятся относительно небольшой объём выборки, одномоментный дизайн и отсутствие персональной дозиметрии магнитных полей.

Кроме того, анализ не учитывал стаж работы, напряжённость томографов и влияние градиентных и радиочастотных полей. Поэтому выявленные изменения отражают совокупное действие профессиональных факторов, а не вклад каждого из них по отдельности.

Выявленные особенности условий труда и функционального состояния персонала свидетельствуют о необходимости усиления профилактических мероприятий. В первую очередь это касается зонирования процедурного помещения по уровням магнитной индукции, ограничения времени пребывания у портала томографа, обучения безопасным алгоритмам работы и рациональной организации режима труда и отдыха. Дополнительно целесообразен регулярный контроль функционального состояния сердечно-сосудистой системы, зрительного анализатора и психофизиологических показателей работников.

Выводы:

1. Гигиеническая оценка условий труда персонала МРТ определялась преимущественно воздействием постоянного магнитного поля. В зоне подготовки пациентов установлен класс условий труда 3.1, тогда как при выполнении манипуляций у портала томографа, где магнитная индукция достигала 450 мТл и превышала допустимый уровень до 5,6 раза, – класс 3.2.
2. У работников МРТ по сравнению с контролем зарегистрированы более низкие показатели самочувствия, активности и настроения, повышение вегетативного коэффициента, увеличение индекса функциональных изменений до $2,45 \pm 0,30$ балла и снижение критической частоты слияния световых мельканий на 12%. Уровень постоянного магнитного поля был связан с увеличением индекса функциональных изменений ($r=0,52$; $p<0,05$) и уменьшением критической частоты слияния световых мельканий ($r=-0,49$; $p<0,05$) и активности по методике САН ($r=-0,46$; $p<0,05$).
3. Интегральный показатель профессионального риска достиг 8,75, что соответствовало неприемлемой категории. Для снижения профессиональной нагрузки целесообразно ограничить продолжительность работы в зонах повышенной магнитной индукции, рационально распределять операции у портала томографа, оптимизировать режим труда и отдыха и проводить регулярный контроль функционального состояния работников.

Вклад авторов:

Концепция и дизайн исследования – Бушманов А.Ю., Каримова Д.Ю.

Сбор и обработка материала – Титова Н.А.

Анализ данных – Титова Н.А.

Написание текста и оформление статьи – Титова Н.А., Каримова Д.Ю.

Редактирование – Бушманов А.Ю., Каримова Д.Ю.

Contribution of the authors:

Research concept and design – Bushmanov A.Yu., Karimova D.Yu.

Collection and processing of material – Titova N.A.

Data analysis – Titova N.A.

Text writing and article design – Titova N.A., Karimova D.Yu.

Editing – Bushmanov A.Yu., Karimova D.Yu.

Список литературы:

1. Алексеев В.Б., Шур П.З., Лир Д.Н. и др. Количественная оценка риска здоровью, обусловленного напряжённостью трудового процесса. *Гигиена и санитария*. 2021; 100(10): 1171-1178. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-10-1171-1178>
2. ГОСТ Р 59093-2020. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ. ОКС 11.040.55: НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ; 2021. <https://docs.cntd.ru/document/566284552> (дата доступа 18.12.2025)
3. Жеглова А.В. Методология оценки профессионального риска работающих при воздействии физических факторов. *Гигиена и санитария*. 2021;100 (9): 975–979. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-9-975-979>
4. Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»: Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации № 2 от 28 января 2021 г. [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал правовой информации. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202102030022> (дата обращения 18.12.2025)
5. Hartwig V., Virgili G., Ederica F.M. et al. Occupational exposure to electromagnetic fields in magnetic resonance environment: an update on regulation, exposure

- assessment techniques, health risk evaluation, and surveillance. *Medical & Biological Engineering & Computing*. 2022, Feb;60(2):297-320. DOI: 10.1007/s11517-021-02435-6
6. Sklinda K, Karpowicz J, Stępniewski A. Electromagnetic Exposure of Personnel Involved in Cardiac MRI Examinations in 1.5T, 3T and 7T Scanners. *Int J Environ Res Public Health*. 2021 Dec 22;19(1):76. doi: 10.3390/ijerph19010076. PMID: 35010336; PMCID: PMC8751149.
7. Acri G, Anfuso C, Vermiglio G, Hartwig V. Assessment of Exposure to Time-Varying Magnetic Fields in Magnetic Resonance Environments Using Pocket Dosimeters. *Electronics*. 2022; 11(17):2796. <https://doi.org/10.3390/electronics11172796>
8. Glans A., Wilén J., Lindgren L. et al. Health effects related to exposure of static magnetic fields and acoustic noise—comparison between MR and CT radiographers. *European Radiology*. 2022. Volume 32, pages 7896–7909. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00330-022-08843-y>
9. König A. M., Pöschke A., Mahnken A. H. Health risks for medical personnel due to magnetic fields in magnetic resonance imaging. *Rofo*. 2025 Feb;197(2):135-144. DOI: 10.1055/a-2296-3860
10. Girardello F., Antonietta M. D'A., Mattozzi M. et al. 3D mapping of static magnetic field magnitude and axial-components around a total body 3T MRI clinical scanner. *Frontiers in Public Health*. 2025 Oct 7;13:1625728. DOI: 10.3389/fpubh.2025.1625728
11. Онищенко Г.Г. Актуальные проблемы и перспективы развития методологии анализа риска в условиях современных вызовов безопасности для здоровья населения Российской Федерации. *Анализ риска здоровью*. – 2023. – № 4. –С. 4–18. DOI: 10.21668/health.risk/2023.4.01
12. Руководство Р 2.2.2006-05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. Утверждено Главным государственным санитарным врачом РФ 29.07.2005. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора; 2005.
13. Походзей Л.В., Пальцев Ю.П., Федин И.А. Гигиеническое нормирование электромагнитных полей в РФ: история и современное состояние. *Медицина труда и промышленная экология*. 2023;63(10):673-681. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-10-673-681>
14. Походзей Л.В., Руднева Е.А., Пальцев Ю.П. и др. Особенности электромагнитной и шумовой обстановки на рабочих местах персонала отделений МРТ: проблемы гигиенического нормирования и контроля. *Медицина труда и промышленная экология*. 2020. 60(9). <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2020-60-9-575-582>

15. Сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Профилактическая медицина-2024» под ред. А. В. Мельцера, И. Ш. Якубовой. 2024.
16. Смирнов А. В., Семенов Д. С., Ахмад Е. С. и др. Обзор российской нормативной документации по организации и функционированию кабинетов и отделений магнитно-резонансной томографии. *Digital Diagnostics*. – 2021. – Т. 2, № 4. – С. 453–464. – <https://doi.org/10.17816/DD8090121>
17. Chakeres D.W., Vocht de F. Static magnetic field effects on human subjects related to magnetic resonance imaging systems. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*. 2005 Feb-Apr;87(2-3):255-65. DOI: 10.1016/j.pbiomolbio.2004.08.012
18. Баевский Р.М., Кукушкин Ю.А., Марасанов А.В., Романов Е.А. Метод оценки функционального состояния организма человека // *Медицина труда и промышленная экология*. 1995. № 3. С. 30–34. PMID: 7620801.

References:

1. Alekseev V.B., Shur P.Z., Lir D.N., et al. Quantitative health risk assessment due to the intensity of the work process. *Hygiene and Sanitation*. 2021; 100(10): 1171-1178. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-10-1171-1178> (In Russ.).
2. GOST R 59093-2020. General Safety Requirements for Performing Magnetic Resonance Imaging. OKS 11.040.55: National Standard of the Russian Federation; 2021. <https://docs.cntd.ru/document/566284552> (Accessed: 18.12.2025) (In Russ.).
3. Zheglova A.V. [Methodology for occupational risk assessment of workers exposed to physical factors]. *Hygiene and Sanitation*. 2021;100 (9): 975–979. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-9-975-979> (In Russ.).
4. On approval of Sanitary Rules and Norms SanPiN 1.2.3685-21 "Hygienic standards and requirements for ensuring safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans": Decree of the Chief State Sanitary Physician of the Russian Federation No. 2 of January 28, 2021 [Electronic resource]. Official Internet portal of legal information. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202102030022> (Accessed: 18.12.2025) (In Russ.).
5. Hartwig V., Virgili G., Ederica F.M. et al. Occupational exposure to electromagnetic fields in magnetic resonance environment: an update on regulation, exposure assessment techniques, health risk evaluation, and surveillance. *Medical & Biological Engineering & Computing*. 2022, Feb;60(2):297-320. DOI: 10.1007/s11517-021-02435-6
6. Sklinda K, Karpowicz J, Stępniewski A. Electromagnetic Exposure of Personnel Involved in Cardiac MRI Examinations in 1.5T, 3T and 7T Scanners. *Int J Environ Res*

Public Health. 2021 Dec 22;19(1):76. doi: 10.3390/ijerph19010076. PMID: 35010336; PMCID: PMC8751149.

7. Aciri G, Anfuso C, Vermiglio G, Hartwig V. Assessment of Exposure to Time-Varying Magnetic Fields in Magnetic Resonance Environments Using Pocket Dosimeters. *Electronics*. 2022; 11(17):2796.

<https://doi.org/10.3390/electronics11172796>

8. Glans A., Wilén J., Lindgren L. et al. Health effects related to exposure of static magnetic fields and acoustic noise—comparison between MR and CT radiographers. *European Radiology*. 2022. Volume 32, pages 7896–7909. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00330-022-08843-y>

9. König A. M., Pöschke A., Mahnken A. H. Health risks for medical personnel due to magnetic fields in magnetic resonance imaging. *Rofo*. 2025 Feb;197(2):135-144. DOI: 10.1055/a-2296-3860

10. Girardello F., Antonietta M. D'A., Mattozzi M. et al. 3D mapping of static magnetic field magnitude and axial-components around a total body 3T MRI clinical scanner. *Frontiers in Public Health*. 2025 Oct 7;13:1625728. DOI: 10.3389/fpubh.2025.1625728

11. Onishchenko G.G. Current problems and prospects for the development of risk analysis methodology in the context of modern challenges to the health security of the population of the Russian Federation. *Health Risk Analysis*. 2023; (4): 4–18. DOI: 10.21668/health.risk/2023.4.01 (In Russ.).

12. Guideline R 2.2.2006-05. Guidelines for the hygienic assessment of factors in the working environment and the labor process. Criteria and classification of working conditions. Approved by the Chief State Sanitary Physician of the Russian Federation on July 29, 2005. Moscow: Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor; 2005 (In Russ.).

13. Pokhodzei L.V., Pal'tsev Yu.P., Fedin I.A. Hygienic regulation of electromagnetic fields in the Russian Federation: history and current status. *Medicine and Industrial Ecology*. 2023;63(10):673-681. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-10-673-681> (In Russ.).

14. Pokhodzei L.V., Rudneva E.A., Pal'tsev Yu.P., et al. Features of the electromagnetic and noise environment at workplaces of MRI department staff: problems of hygienic regulation and control. *Medicine and Industrial Ecology* 2020; 60(9): 575-582. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2020-60-9-575-582> (In Russ.).

15. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation "Preventive Medicine-2024". Ed. by A.V. Mel'tser, I.Sh. Yakubova. 2024 (In Russ.).

16. Smirnov A.V., Semenov D.S., Akhmad E.S., et al. Review of Russian regulatory documents on the organization and functioning of magnetic resonance imaging rooms and departments. *Digital Diagnostics*. 2021; 2(4): 453–464. <https://doi.org/10.17816/DD80901> (In Russ.).
17. Chakeres D.W., de Vocht F. Static magnetic field effects on human subjects related to magnetic resonance imaging systems. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*. 2005; 87(2-3):255-65. DOI: 10.1016/j.pbiomolbio.2004.08.012.
18. Baevskii RM, Kukushkin IuA, Marasanov AV, Romanov EA. Metodika otsenki funktsional'nogo sostoianiia organizma cheloveka [Method of assessing the functional state of the human body]. *Med Tr Prom Ekol*. 1995;(3):30-4. Russian. PMID: 7620801.

Сведения об авторах

Бушманов Андрей Юрьевич – д-р мед. наук, профессор, зам. генерального директора по науке – начальник управления радиационной медицины, зав. кафедрой медицины труда, гигиены и профпатологии Медико-биологического университета инноваций и непрерывного образования ФГБУ Государственный научный центр – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 123098, г. Москва, ул. Живописная, 46. E-mail: abushmanov@fmbcfmba.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1565-4560>, SPIN 6518-0861

Титова Наталья Георгиевна – соискатель кафедры общественного здоровья и здравоохранения Медико-биологического университета инноваций и непрерывного образования ФГБУ Государственный научный центр – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 123098, г. Москва, ул. Живописная, 46. E-mail: n3223228@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0003-1496-6893>, SPIN 3156-5537

Каримова Дания Юсуфовна – д-р мед. наук, профессор, профессор кафедры общественного здоровья и здравоохранения Медико-биологического университета инноваций и непрерывного образования ФГБУ Государственный научный центр – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 123098, г. Москва, ул. Живописная, 46. E-mail: danika_karimova@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9971-8156>, SPIN 6518-0847

Information about the authors

Bushmanov Andrey Yurievich – Deputy General Director for Science – Head of the Department of Radiation Medicine of the Federal State Budgetary Institution of the State Scientific Center – Federal Medical Biophysical Center named after A.I. Burnazyan of the

Federal Medical and Biological Agency of Russia, Head of the Department of Occupational Medicine, Hygiene and Occupational Pathology of the Federal State Budgetary Healthcare Institution "Federal Medical Biophysical Center named after A.I. Burnazyan". Burnazyan Federal Medical and Biological Agency of Russia" Medical and Biological University of Innovation and Continuing Education of the Federal State Budgetary Institution of the State Scientific Center – Federal Medical Biophysical Center named after A.I. Burnazyan Federal Medical and Biological Agency of Russia, Doctor of Medical Sciences, Professor E-mail: abushmanov@fmbcfmba.ru ; <https://orcid.org/0000-0003-1565-4560>, SPIN 6518-0861

Titova Natalia Georgievna – Applicant of the Department of Public Health and Healthcare of the Medical and Biological University of Innovations and Continuing Education of the Federal State Budgetary Institution State Research Center – Federal Medical Biophysical Center named after A.I. Burnazyan of the Federal Medical and Biological Agency of Russia, 123098, Moscow, Zhivopisnaya str., 46 E-mail: n3223228@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0003-1496-6893>, SPIN 3156-5537

Karimova Dania Yusufovna – Professor of the Department of Public Health and Healthcare of the Medical and Biological University of Innovations and Continuing Education of the Federal State Budgetary Institution of the Federal State Budgetary Institution of the State Research Center - Federal Medical Biophysical Center named after A.I. Burnazyan of the Federal Medical and Biological Agency of Russia, 123098, Moscow, Zhivopisnaya Street, 46 E-mail: danialkarimova@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9971-8156>, SPIN 6518-0847

Поступила/Received: 29.06.2026

Принята в печать/Accepted: 24.07.2026