

DOI: <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2020-60-9-575-582>

УДК 613.644.648.2

© Коллектив авторов, 2020

Походзей Л.В.^{1,2}, Руднева Е.А.¹, Пальцев Ю.П.¹, Курьеров Н.Н.¹**Особенности электромагнитной и шумовой обстановки на рабочих местах персонала отделений МРТ: проблемы гигиенического нормирования и контроля**¹ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда им. академика Н.Ф. Измерова», пр-т Буденного, 31, Москва, Россия, 105275;²ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России, 2-4, Большая Пироговская ул., Москва, Россия, 119991

Введение. Магнитно-резонансная томография (МРТ-графия) является одним из высокотехнологичных методов диагностики. Вместе с тем, специфические особенности электромагнитной обстановки и шумовых экспозиций на рабочих местах медицинского и технического персонала, осуществляющего эксплуатацию и обслуживание МРТ, изучены недостаточно и в настоящее время в РФ не учитываются при проведении гигиенической оценки условий труда.

Цель исследования — научное обоснование необходимости совершенствования гигиенической оценки электромагнитной и шумовой обстановки на рабочих местах персонала отделений МРТ.

Материалы и методы. Использован аналитический метод оценки действующих отечественных и зарубежных нормативно-методических документов, определяющих требования к гигиенической оценке электромагнитной обстановки и шума в отделениях МРТ. Выполнены более 4 тысяч измерений интенсивности электромагнитных полей и шума в 88 кабинетах г. Москвы, оборудованных разными типами МРТ (от 0,1 мТл до 3 Тл), и хронометражные исследования продолжительности их воздействия на персонал при выполнении различных видов работ. Проведены углубленные исследования амплитудно-временных и частотных параметров переменных ЭМП и звукового давления.

Результаты. Критический анализ отечественных и зарубежных гигиенических нормативно-методических документов выявил существенные различия в контролируемых показателях, допустимых уровнях воздействия, методах контроля.

Проведенные исследования показали, что медицинский и технический персонал отделений МРТ подвергается воздействию постоянных магнитных полей с высокими пространственными и временными градиентами и шума экстремальных уровней при проведении работ в непосредственной близости от магнита томографа. Особенностью электромагнитной обстановки является наличие переменных магнитных полей в широком диапазоне низких и радиочастот, имеющих сложную (импульсную) форму сигналов. Предложены новые ПДУ и нормируемые параметры МП низкочастотных диапазонов для их адекватной гигиенической оценки.

Заключение. Проведенные исследования позволили обосновать предложения к совершенствованию гигиенической оценки ЭМП и шума на рабочих местах персонала отделений МРТ.

Ключевые слова: магнитно-резонансная томография; постоянные магнитные поля; электромагнитные поля; градиентные катушки; шум; спектральные характеристики; профессиональный риск; гигиенические регламенты

Для цитирования: Походзей Л.В., Руднева Е.А., Пальцев Ю.П., Курьеров Н.Н. Особенности электромагнитной и шумовой обстановки на рабочих местах персонала отделений МРТ: проблемы гигиенического нормирования и контроля. *Мед. труда и пром. экол.* 2020; 60(9). <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2020-60-9-575-582>

Для корреспонденции: Походзей Лариса Васильевна, вед. науч. сотр. ФГБНУ «НИИ МТ», а-р мед. наук. E-mail: Larokhodzey@yandex.ru

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Дата поступления: 15.06.2020 / Дата принятия к печати: 12.08.2020 / Дата публикации: 07.10.2020

Larisa V. Pokhodzey^{1,2}, Elena A. Rudneva¹, Yuriy P. Paltsev¹, Nikolay N. Courierov¹**Features of electromagnetic and noise environment in the workplace of the staff of MRI departments: problems of hygienic regulation and control**¹Izmerov Research Institute of Occupational Health, 31, Budyonnogo Ave., Moscow, Russia, 105275²I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, 2-4, Bolshaya Pirogovskaya st., Moscow, 119991

Introduction. Magnetic resonance imaging (MRI) is one of the most dynamically developing, high-tech diagnostic methods. At the same time, the specific features of the electromagnetic environment and noise exposures at the medical and technical personnel operating and maintaining MRI workplaces are not well understood and are currently not taken into account when conducting a hygienic assessment of working condition in the Russian Federation.

The aim of study is scientific substantiation of the need to improve the hygienic assessment of electromagnetic and noise conditions in the workplace of the staff of MRI departments.

Materials and methods. An analytical method to evaluate the current domestic and foreign regulatory and methodological documents that determine the hygienic assessment requirements for electromagnetic environment and noise in MRI departments was used.

More than 4 thousand measurements of the intensity of electromagnetic fields and noise in 88 rooms in Moscow equipped with different types of MRI (from 0,1 mT to 3 T) and studies of the performing duration various types of work and electromagnetic field and noise exposure on personnel was done.

The amplitude-time and frequency parameters of the variables of the electromagnetic field (EMF) and sound pressure detailed studies have been carried out.

Results. Significant differences in controlled indicators, acceptable exposure levels, and control methods has revealed by critical analysis of domestic and foreign hygienic regulatory and methodological documents.

The studies showed that the medical and technical personnel of MRI departments are exposed with high spatial and temporal gradients static magnetic fields and extreme levels of noise during diagnostic work in the immediate vicinity of the tomograph magnet. The presence of time-varying magnetic fields in a wide range of low frequencies and radio frequencies having a complicated (pulsed) waveform is a feature of the electromagnetic environment in MRI.

New standardized control parameters and limit levels for low-frequency ranges magnetic fields for their adequate hygienic assessment are proposed.

Conclusion. The studies made it possible to substantiate the proposals the improving of electromagnetic field and noise hygienic assessment at the MRI staff workplaces.

Keywords: magnetic resonance imaging; static magnetic fields; electromagnetic fields; gradient coils; noise; spectral characteristics; occupational risk; hygiene regulations

For citation: Pokhodzey L.V., Rudneva E.A., Paltsev Yu.P., Courierov N.N. Features of electromagnetic and noise environment in the workplace of the staff of MRI departments: problems of hygienic regulation and control. *Med. truda i prom. ekol.* 2020; 60(9).

<https://doi.org/10.31089/1026-9428-2020-60-9-575-582>

For correspondence: Larisa V. Pokhodzey, leading researcher of the Izmerov Research Institute of Occupational Health, MD, Ph.D., DSci. E-mail: Lapokhodzey@yandex.ru

Funding. The study had no funding.

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

Information about authors:

Pokhodzey L.V. <https://orcid.org/0000-0003-3561-1605> Paltsev Yu.P. <https://orcid.org/0000-0002-3999-0457>

Courierov N.N. <https://orcid.org/0000-0001-7064-5849>

Received: 15.06.2020 / Accepted: 12.08.2020 / Published: 07.10.2020

Введение. Магнитно-резонансная томография получила широкое применение в различных областях медицины: неврологии, кардиологии, онкологии, травматологии, нейрохирургии, занимая первое место в выявлении заболеваний головного и спинного мозга, а также внутренних органов и костно-суставной системы.

В условиях модернизации здравоохранения РФ магниторезонансные томографы (МРТ) активно устанавливаются в больницах и поликлиниках государственного подчинения, коммерческих клиниках и центрах, научно-исследовательских институтах медицинского профиля.

Все это приводит к стремительному росту числа медицинского и технического персонала, осуществляющего эксплуатацию и обслуживание современных МРТ, подвергающегося новым рискам для здоровья.

В последнее время участились ситуации, когда персонал при проведении обследования вынужден находиться в диагностической рядом с пациентом. Такая необходимость возникает, если МРТ-графия назначается тяжелобольным, маленьким детям, лицам с нарушенной психикой, а также при интраоперационном использовании МРТ для проведения динамического контроля правильности локализации области оперативного вмешательства на головном мозге¹. В отличие от традиционного алгоритма работы, в этих случаях на медицинский персонал (врачей-рентгенологов, рентген-лаборантов, медсестер отделения МРТ, анестезиологов, хирургов и др.) могут оказывать воздействие,

¹ <http://www.rak-mozga.ru/operazii-pri-opuholyah-mozga/intraoperacionnaya-mrt/>

помимо ПМП, дополнительные электромагнитные факторы и шум [1–6].

В исследованиях состояния здоровья работников, подвергающихся воздействию факторов, связанных непосредственно с технологией МРТ, отмечается влияние перемещения сотрудников в неоднородном постоянном магнитном поле рассеяния (дБ/дх), а также изменения магнитного поля во времени (дБ/дт) на появление физиологических эффектов, вызываемых возникновением электрических токов в тканях тела человека [7]. Показано, что можно выделить группу основных наиболее специфических субъективных симптомов, вызываемых воздействием ЭМП у операторов МРТ сканеров, таких как головокружение, тошнота, шум в голове. Выявлено статистически значимое увеличение жалоб на повышенную утомляемость и нервозность, головную боль, сердцебиение, проблемы со сном, боль в спине и миалгии, а также проблемы с концентрацией внимания [8, 9].

Научные исследования, посвященные изучению условий труда персонала отделений МРТ и их влияния на здоровье, проведенные в РФ и странах СНГ, немногочисленны, но при этом носят комплексный характер [10–13]. В них показано, что врачи, средний медицинский и технический персонал в разной степени подвергаются воздействию комплекса факторов рабочей среды и трудового процесса, в первую очередь постоянного магнитного поля (ПМП) и шума, а также повышенной напряженности труда. Работа в таких условиях приводит к развитию астенического синдрома и изменению показателей гемодинамики, что свидетельствует о напряжении адаптационных процессов в организме работников.

Вместе с тем, выполненные к настоящему моменту в РФ гигиенические исследования, не позволяют в полной мере представить и оценить всю сложность электромагнитной и шумовой обстановки, которая складывается в современных отделениях МРТ: не исследовались пространственные и временные градиенты постоянных магнитных полей (ПМП), остаются неизученными амплитудно-частотные характеристики переменных ЭМП и шума и временные зависимости их изменения при различных режимах работы МРТ [14].

В настоящее время в РФ отсутствуют нормативно-методические документы, определяющие требования к проведению инструментального контроля и гигиенической оценки экспозиций электромагнитных полей различных частотных диапазонов, включая ПМП, и шума в отделениях МРТ, что затрудняет практическую работу организаций, аккредитованных на проведение таких видов измерений и оценок, и органов Роспотребнадзора по выдаче санитарно-эпидемиологического заключения на данный

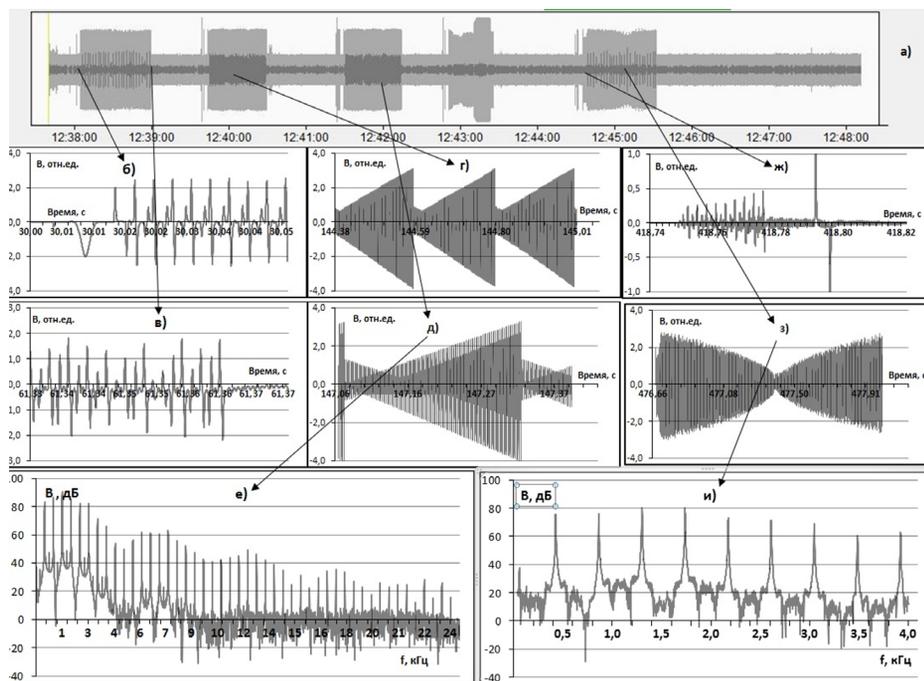


Рис. 1. Амплитудно-временные зависимости изменения индукции МП при разных режимах сканирования: а) осциллограмма индукции МП фрагмента МРТ-исследования; б), в), г), д), ж), з) формы импульсов в различные временные интервалы исследования; е), и) БПФ-спектры фрагментов исследования д), з).

Fig. 1. Amplitude-time dependences of MP induction changes in different scanning modes: а) MF induction waveform of MRI study fragment; б), в), г), д), ж), з) pulse shapes at different time intervals of the study; е), и) – д), з) fragments of the study FFT-spectra

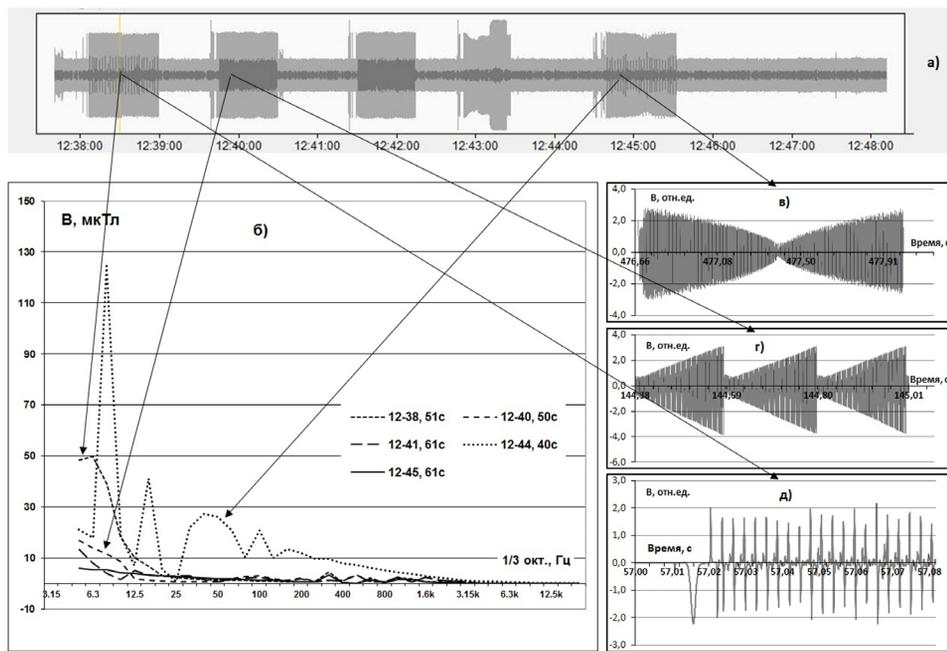


Рис. 2. Спектральные характеристики индукции МП при разных режимах сканирования: а) осциллограмма индукции МП фрагмента МРТ-исследования; б) третьооктавные спектры индукции МП пяти фрагментов исследования; в), г), а) — формы импульсов в различных интервалах исследования
Fig. 2. The spectral characteristics of the magnetic fields induction at different scanning modes: а) MF induction waveform of MRI study fragment; б) MF induction one-third octave spectra of five fragments; в), г), а) — pulses waveform at a different intervals of the study

вид медицинской деятельности.

Цель исследования — научное обоснование необходимости совершенствования гигиенической оценки электромагнитной и шумовой обстановки на рабочих местах персонала отделений МРТ.

Материалы и методы. Исследования включали:

- определение источников ЭМП и шума в конструкции томографов и вспомогательного оборудования на рабочих местах персонала отделений МРТ;
- сравнительный анализ действующих в настоящее время в РФ и за рубежом гигиенических нормативно-методических документов, регламентирующих ЭМП и шум на рабочих местах персонала отделений МРТ;
- определение и анализ реальных экспозиций ЭМП и шума, их распределения на рабочих местах персонала в зависимости от модели и мощности МРТ, функциональных обязанностей персонала, характера выполняемого диагностического исследования и технологических операций по эксплуатации оборудования;
- изучение особенностей амплитудно-частотных (спектральных) характеристик переменных магнитных полей и шума, а также временных зависимостей их изменения при различных режимах работы МРТ;
- разработку предложений по совершенствованию гигиенической оценки ЭМП и шума на рабочих местах персонала отделений МРТ в целях снижения риска здоровью.

Выполнено комплексное исследование электромагнитной

и шумовой обстановки в 88 кабинетах и отделениях МРТ лечебно-профилактических учреждений г. Москвы с государственной и частной формой собственности в период 2017–2020 гг. Обследовано более 250 рабочих мест, оснащенных МРТ 25 различных моделей с магнитной индукцией в тоннеле от 0,1 Тл до 3 Тл.

На первом этапе осуществлялась традиционная гигиеническая оценка электромагнитных факторов: ПМП (более 3800 измерений), электрических (ЭП) и магнитных (МП) полей 50 Гц (более 200 измерений), в диапазонах частот 5 Гц–2 кГц и 2–400 кГц, ЭМИ более 300 МГц и электростатических полей (более 300 измерений) и шума (более 320 измерений уровней звука А) на соответствие требованиям СанПиН 2.2.4.3359-16².

Измерения проводились в точках возможного пребывания персонала (при установке приемно-передающей РЧ-катушки, опускании стола,

укладывании пациента, перемещении стола с пациентом в тоннель магнита и пр.), а также в пультовой — на рабочих местах за персональными компьютерами, в технических помещениях с помощью средств, включенных в Госреестр РФ, имеющих свидетельства о поверке (ТПУ-03, ТП2-2У, ПЗ-50, ВЕ-метр АТ-003, СТ-01, EMR-200, Экофизика 110А).

Осуществлялся хронометраж пребывания персонала за рабочую смену в условиях воздействия ПМП (общего — на тело и локального — на кисти рук и предплечья), а также шума при выполнении различных производственных манипуляций.

На втором этапе были проведены измерения индукции переменных магнитных полей, создаваемых градиентными катушками во время проведения обследований на МРТ, а также уровней звукового давления (УЗД) с анализом временных зависимостей их изменения, амплитудно-частотных характеристик в виде спектров быстрого преобразования Фурье (БПФ) и третьооктавных (октавных) спектров при различных режимах работы МРТ.

Индукция переменных МП и уровни звукового давления (УЗД) регистрировалась у пультов управления МРТ в контрольных точках на расстоянии 1 м от оси магнита и 0,5 м от его корпуса на высоте 1 м. Цифровая запись МП и УЗД осуществлялась регистраторами «Экофизика» с измерительной антенной типа Пб-70 и измерительным микрофоном М-201 при моделировании различных режимов сканирования. Построение графиков изменения мгновенных значений магнитной индукции и звукового давления, третьооктавный и БПФ спектральный анализ проводились с помощью специального программного обеспечения «Signal+3G».

Статистическая обработка результатов измерений осуществлялась с использованием табличного процессора «MS Excel».

Результаты и обсуждение. В основе МРТ-графии лежит явление ядерно-магнитного резонанса (ЯМР), возникающее в тканях организма при воздействии на них специфического комплекса электромагнитных факторов, которые генерируются отдельными структурными элементами томографа.

Первый элемент — это главная магнитная система, кото-

² СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах» (далее — СанПиН 2.2.4.3359-16).

Таблица 1 / Table 1
Характеристика магнитных полей МРТ при сканировании
Characteristics of MRI magnetic fields during scanning

Источник МП	Диапазон частот, f	Магнитная индукция, В
Постоянный магнит	0 Гц	B ₀ = 0.2–7 Тл
Градиентные катушки	1Гц–10 кГц и более	ВНЧ = 0–5 мТл
Радиочастотные катушки	8–300 МГц	ВРЧ = 0–50 мкТл

Таблица 2 / Table 2

Гигиенические регламенты ПМП и шума на рабочих местах в РФ и за рубежом
SMF and noise hygienic limits at workplaces in Russia and abroad

Документ	Постоянное магнитное поле, мТл		Уровни звука		
	Общее воздействие	Локальное воздействие	8 ч	Мах	Пик
СанПиН 2.2.4.3359-16 ²	10 — 10 мин. 20 — до 1 ч. 30 — до 8 ч.	15 — 10 мин. 30 — до 1 ч. 50 — до 8 ч.	50–60 дБА	110 дБА	137 дБС
СанПиН 2.1.3.2630-10 ⁴	10		60 дБА	80 дБА	
ГОСТ Р МЭК 60601-2-33-2013 ³	3000 4000*				
ICNIRP, 2009 [15]	2000	8000			
ICNIRP, 2004 [16]	4000 8000*		80 дБА	99 дБА	
Директива 2013/35/ЕС ⁶	2000 8000* 0,5**	8000			
Директива 2003/10/ЕС ⁷			80 дБА	85 дБА	137 дБС

Примечание: * в контролируемых условиях; ** для людей с водителями ритма и другим медицинским оборудованием

Note: * under controlled conditions; ** for people with pacemakers and other medical equipment

Таблица 3 / Table 3

Величины магнитной индукции в диагностической, $X \pm S_x$, (min-max)
Magnetic induction values in the diagnostic room, $X \pm S_x$, (min-max)

Точки измерения	Индукция постоянного магнита томографа				
	3Тл	1,5Тл	1Тл	0,3Тл	0,2-0,1Тл
на пульте управления	491±58,5 (200-1426)	424±16,4 (200-665)	273±27,6 (230-340)	91±24 (12-137)	34±5 (23-45)
0,3 м от магнита вдоль стола	327±51,1 (150-540)	193±12,9 (70-390)	89±4,6 (77-98)	24±8,6 (9-53)	16±3,3 (9-23)
0,5 м от магнита вдоль стола	240±47,5 (178-450)	190±14,5 (110-260)	85±12 45-108	17±1 (15-20)	10±1,6 (6-15)
0,5 м от магнита в зоне подключения катушек	409±80,4 (250-598)	391±70,5 (155-820)	-	≤47	-
внутри магнита в зоне подключения катушек	1146±358 (540-1999)	850±39,8 (528-1500)	-	215±54 (55-450)	208±12 (160-245)
зона хранения катушек	-	112±44,4 (25-212)	68±4,5 (60-78)	13±0,7 (11-14)	-
проход 0,5 м от магнита	29,5±6,4 (13-49)	31±5,7 (12-58)	34±7,9 (21-60)	-	-
проход 0,5-0,6 м, сзади от магнита	58±22 (13-107)	191±49,3 (110-405)	62	-	-
за магнитом у отверстия	-	577±24,2 (520-620)	-	-	-
у аппарата введения контрастного вещества	43±7,9 (25-58)	22±3,4 (15-33)	-	-	-
при проведении центровки	-	1050±25 (1000-1100)	-	-	-
на передней/задней поверхности	-	343±25,6 (240-437)	-	110±17 (70-140)	-

³ <https://medvestnik.ru/content/articles/Nazad-v-budushee.html>

⁴ СанПиН 2.1.3.2630-10 «Санитарно-эпидемиологические требования к организациям, осуществляющим медицинскую деятельность», утвержденные постановлением главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 18 мая 2010 г. N 58, зарегистрированы в Минюсте РФ 9 августа 2010 г. N 18094

⁵ ГОСТ Р МЭК 60601-2-33-2013 Изделия медицинские электрические. Часть 2-33. Частные требования безопасности с учетом основных функциональных характеристик к медицинскому диагностическому оборудованию, работающему на основе магнитного резонанса

⁶ Директива Европейского парламента и Совета Европейского Союза 2013/35/ЕС от 26 июня 2013 г. о минимальных требованиях безопасности для работников в отношении рисков, связанных с физическим воздействием (электромагнитные поля)

⁷ Директива Европейского парламента и Совета Европейского Союза 2003/10/ЕС от 6 февраля 2003 г. О минимальных требованиях к здоровью и безопасности работников в отношении рисков, связанных с физическим воздействием (шум).

рая представляет собой постоянный, резистивный или сверхпроводящий (криогенный) магнит, являющийся источником ПМП. В зависимости от величины генерируемого ПМП МРТ подразделяются на низкопольные (0,1–0,5 Тл), среднепольные (>0,5–1,0 Тл), высокопольные (>1,0–2,0 Тл) и сверхвысокопольные (>2,0Тл). В настоящее время подавляющее большинство используемых томографов — 80% имеют магнитную индукцию 1,5 Тл, 12% — 3 Тл, томографов 0,3 Тл — 6,7%³.

Второй элемент МРТ — градиентные катушки, расположенные внутри магнита, создающие переменные низкочастотные магнитные поля, которые накладываются на ПМП и обеспечивают локализацию ЯМР-сигнала.

Третий элемент — радиочастотные катушки, являющиеся частью радиочастотной цепи, которая генерирует импульсные радиочастотные (РЧ) магнитные поля на специфической для протона атома водорода при данной интенсивности ПМП резонансной (Ларморовой) частоте, зондирующие ткани пациента, и принимает РЧ сигналы от исследуемого объекта. Эти сигналы с помощью программного обеспечения преобразуются в послонные изображения исследуемой анатомической области на экране монитора.

В таблице 1 приведены частотные и интенсивностные параметры магнитных полей в тоннеле томографа в соответствии с технической документацией на МРТ, которые обуславливают наличие соответствующих факторов на рабочих местах персонала отделений МРТ.

Системы электропитания и градиентные усилители могут явиться источником ЭП и МП 50 Гц на рабочих местах в отделениях МРТ, а система визуализации результатов обследования — персональные компьютеры — ЭП и МП в диапазоне 5 Гц–400 кГц, ЭМП более 300 МГц и ЭСП.

Основными источниками шума в отделениях МРТ являются постоянно работающие системы климат-контроля, а при проведении обследования — включающиеся градиентные катушки. Высокая скорость изменения тока, проходящего по обмотке градиентных катушек, находящихся в постоянном магнитном поле, вызывает вибрацию конструкции томографа в слышимом диапазоне частот, которая передается по воздуху в виде акустической волны и воспринимается

Таблица 4 / Table 4

ется как громкий звук.

В таблице 2 приведен сравнительный анализ гигиенических регламентов ПМП и шума, принятых в РФ и за рубежом.

Как видно из таблицы 2, гигиенические нормативы ПМП, установленные в РФ СанПиН 2.2.4.3359-16 и СанПиН 2.1.3.2630-10 на два порядка более жесткие, чем за рубежом [15, 16], поскольку в их основу положены результаты изучения хронического действия фактора (установление порога вредного действия) с учетом отдаленных последствий. Вместе с тем Директива 2013/35/ЕС принимает во внимание, что установленные величины могут быть несовместимы со специальными условиями в определенных видах деятельности, например, при использовании МРТ.

Приведенные в утвержденном Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии ГОСТ Р МЭК 60601-2-33-2013 требования к постоянному магнитному полю (не более 4 Тл) в 400 раз мягче установленных в упомянутых выше СанПиН-ах, но при этом стандарт указывает, что персонал отделений МРТ должен проходить соответствующее обучение с целью минимизации возможных побочных эффектов при работе с сильным ПМП. Кроме того, за состоянием его здоровья должен быть предусмотрен медицинский контроль.

Следует отметить, что Директива 2013/35/ЕС и рекомендации Международной комиссии по защите от неионизирующих излучений ICNIRP [17] регламентируют ряд параметров электромагнитных воздействий, не имеющих аналогов в гигиеническом нормировании РФ, а именно, электрических полей, индуцированных в организме человека в результате его перемещения в неоднородном ПМП.

Что касается переменных магнитных полей, создаваемых градиентными и РЧ катушками при сканировании, воздействию которых может подвергаться персонал, находясь рядом с пациентом во время обследования, то за рубежом контролируемые уровни определены для всех диапазонов частот, которые могут встречаться на таких рабочих местах [18–20].

В РФ законодательно установлены ПДУ переменных МП только для незначительной части чрезвычайно важных при гигиенической оценке ЭМО в отделениях МРТ диапазонов частот, тогда как для диапазонов 1 Гц – 10 кГц и 50–300 МГц они отсутствуют.

В основу нормирования уровня звука А за рубежом положены специфические эффекты действия шума (потеря слуха). В отечественной практике гигиеническое нормирование шума осуществляется с учётом характера труда. Этим объясняются различия нормируемых величин уровня звука А для рабочих мест с повышенной напряжённостью и тяжестью труда в отечественных и зарубежных документах (табл. 2). Так, в соответствии с СанПиН 2.2.4.3359-16 для врачей отделений МРТ установлен ПДУ 50 дБА, для среднего медперсонала на уровне 60 дБ. Максимальные уровни звука А ограничены уровнем 110 дБ, пиковые уровни звука С — 137 дБ.

Результаты измерений величин магнитной индукции ПМП в помещениях диагностических с МРТ 0,1–3 Тл, в точках, где может находиться медицинский и технический персонал при выполнении своих функциональных обязанностей по подготов-

Уровни звука А в диагностической и пультовой, ($X \pm S_x$)
Sound levels A in the diagnostic room and console room, ($X \pm S_x$)

Точки и условия измерения	Измеряемый параметр	Индукция постоянного магнита томографа					
		3Тл	1,5Тл	1Тл	0,3Тл	0,2Тл	0,1Тл
Пультовая	$L_A(\text{eq})$	46±1,1 (42–50)	51±0,8 (41–59)	48±1,6 (44–50)	45±1,8 (38–50)	48±0,9 (44–50)	50±2,6 (45–58)
Диагностическая, при укладке пациента	$L_A(\text{eq})$	56±1,4 (52–59)	54±0,7 (49–65)	54±0,5 (53–55)	43±1,4 (40–53)	49±2,8 (44–54)	57±0,7 (55–58)
Диагностическая, при сканировании	$L_A(\text{eq})$	90±3 (80–97)	77±2,3 (65–95)	83±0,3 (83–84)	57±3 (43–70)	55±2,7 (47–71)	58±1,9 (55–63)
	$L_{A,S}(\text{max})$	107	101	85	76	83	66

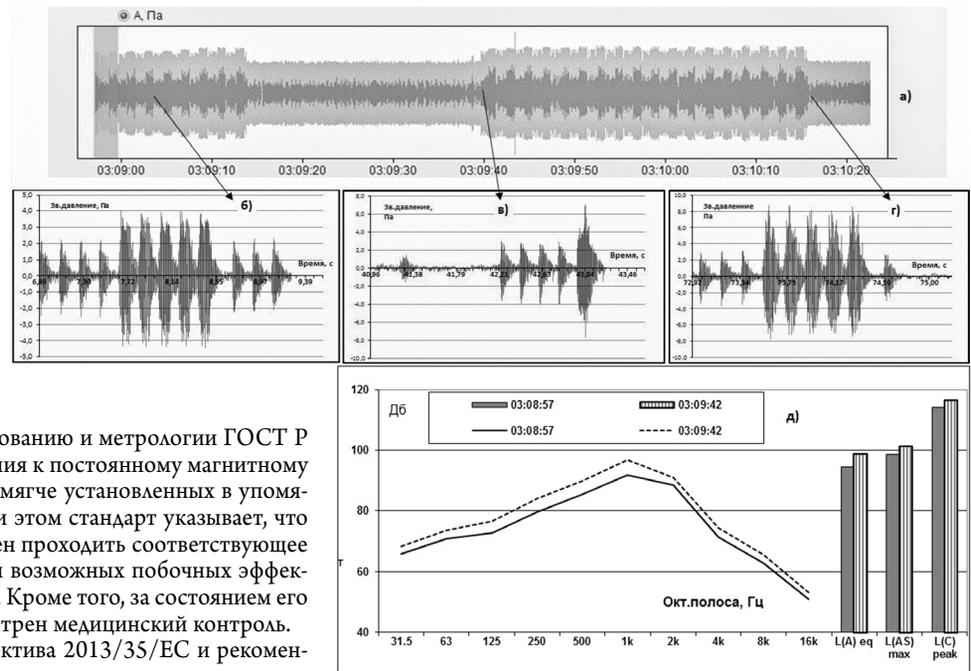


Рис. 3. Временные зависимости, октавные спектры звукового давления и уровни звука А и С при различных режимах сканирования: а) осциллограмма звукового давления фрагмента МРТ-исследования; б), в), г) формы импульсов звукового давления в различные временные интервалы исследования; д) эквивалентные уровни звукового давления в октавных полосах частот, эквивалентные, максимальные уровни звука А и пиковые уровни звука С

Fig. 3. Sound pressure time dependences, noise octavespectrums and sound levels A and C at various scanning modes: а) sound pressure waveform of MRI study fragment; б), в), г) sound pressure pulses waveform at different time intervals of the study; д) octave bands equivalent sound pressure levels, equivalent and maximum sound levels A and peak sound levels C

Таблица 5 / Table 5

Величина индукции магнитного поля низкочастотных диапазонов в диагностическом помещении при проведении сканирования Low-frequency magnetic field induction values in the diagnostic room (scanning)

Диапазон частот	Магнитная индукция, В, мкТл ($X \pm S_x$), min-max	ПДУ В, мкТл для > 0,2ч (проект ГН)
КНЧ*, 3–30 Гц	109±46 (34–237)	250
СНЧ*, 30–300 Гц	46±35 (11–172)	69
ИНЧ*, 0,3–3 кГц	21±8,5 (10–51)	12,5
ОНЧ*, 3–30 кГц	1,6±0,8 0,5–4,4	12,5

Примечание: * КН — крайне низкие, СН — сверхнизкие, ИН — инфранизкие и ОН — очень низкие частоты.

Note: * КН — extremely low, СН — ultra-low, ИН — infra-low and ОН — very low frequencies.

ке пациентов к проведению сканирования и его завершению, обслуживанию оборудования, представлены в таблице 3.

Практически во всех рабочих зонах выявлено многократное превышение ПДУ ПМП как для условий общего воздействия (в 7–40 и более раз), так и локального (в 5–70 раз), с учетом того, что продолжительность выполнения работ за смену составляет, как правило, не менее 1–1,5 часов. При этом наиболее высокие значения магнитной индукции отмечались в зоне подключения РЧ катушек внутри магнита, на пульте управления, рядом с передней панелью магнита у стола пациента. С уменьшением магнитной индукции томографов до 0,2 Тл ее величина на рабочих местах существенно снижалась, но все равно оставалась выше ПДУ ПМП как для общего, так и локального воздействия [21].

В пультовых величина магнитной индукции всегда была ниже ПДУ и не превышала 0,01–0,3 мТл.

Уровни ПМП, регистрируемые при проведении измерений на рабочих местах медицинского персонала в диагностической и пультовой, зависели от конструкции аппаратов, их мощности, расстояния от точки проведения измерения до магнитной катушки, от вида диагностической процедуры.

Гигиеническая оценка ЭП и МП промышленной частоты 50 Гц в различных помещениях отделений МРТ и ЭМП на компьютеризированных рабочих местах в пультовой не выявила превышений ПДУ.

Результаты измерений уровней звука А показали, что шум является существенным фактором риска для персонала, если он находится в диагностической при проведении процедуры. Показано, что величины эквивалентного и максимального уровней возрастают с увеличением индукции постоянного магнита томографа (табл. 4).

При необходимости присутствия персонала рядом с пациентом при проведении сканирования он может подвергаться воздействию не только ПМП от постоянно работающего магнита, но и переменных МП от градиентных и РЧ катушек, включающихся только во время сканирования пациента.

Проведено изучение особенностей амплитудно-частотных (спектральных) характеристик переменных низкочастотных МП и шума, создаваемых градиентными катушками при сканировании, и временных зависимостей их изменения при различных режимах работы МРТ [22].

Показано, что изменения индукции МП носят импульсный характер как в виде одиночных, так и пачек импульсов различной (часто трапециевидной) формы, полярности и длительности. Применение быстрого преобразования Фурье (БПФ-спектр) позволило выявить богатый гармонический состав МП вплоть до 24 кГц, хотя основная энергия МП сосредоточена в диапазоне до 3 кГц (рис. 1).

Третьоктавный спектральный анализ МП, позволивший получить более подробную картину в диапазоне ниже 100 Гц, чем БПФ-спектр, показал также наличие составляющих МП от 5 до 25 Гц (рис. 2).

Проведенные исследования позволили выявить на рабочем месте персонала, находящегося рядом с МРТ при проведении обследования, наличие переменных магнитных полей в широком диапазоне низких частот, имеющих сложную (импульсную) форму сигналов. Для их гигиенической оценки адекватными нормируемыми (контролируемыми) параметрами могут являться как корректированные среднеквадратические величины магнитной индукции, измеренные с различными постоянными времени, так и пиковые значения.

В настоящее время в РФ научно обоснованы ПДУ корректированных среднеквадратических значений (СКЗ) магнитной индукции (напряженности) МП в диапазоне частот 3 Гц до 30 кГц [23, 24], получившие одобрение научного экспертного сообщества и Комиссии по государственному санитарно-эпидемиологическому нормированию, в соответствии с которыми может производиться гигиеническая оценка такого рода сложных электромагнитных сигналов.

Результаты измерений СКЗ магнитной индукции в декадных полосах частот от 3 Гц до 30 кГц от градиентных катушек МРТ

3 Тл в сравнении с ПДУ (проект ГН) представлены в таблице 5. Как видно, усредненные величины магнитной индукции снижаются с увеличением частоты, и в ряде случаев могут превышать предлагаемые ПДУ.

Углубленный амплитудно-временной анализ шума, создаваемого во время сканирования градиентными катушками, позволил выявить его сложную структуру, сходную с изменениями индукции низкочастотных магнитных полей, в виде одиночных импульсов звукового давления и пачек импульсов различной формы, длительности и амплитуды. Поскольку в разных программах сканирования применяются различные градиенты МП, то спектральный состав и уровни звукового давления зависят от выполняемой диагностической процедуры (рис. 3). Так, например, программа сканирования головного мозга на томографе 3Тл в зависимости от используемого режима создает максимальные уровни звука А от 96 до 107 дБ, пиковые уровни звука С при этом составляли 114–117 дБ, эквивалентные уровни звука А — 94–99 дБ. Спектральный анализ показал, что основная звуковая энергия сосредоточена в диапазоне частот 500–2000 Гц. В ряде режимов сканирования шум имел импульсный и тональный характер.

Если предположить, что такой шум будет действовать на работника только 15 минут в смену, эквивалентный уровень звука за рабочую смену с учетом импульсности и тональности составит около 85 дБ, то это может расцениваться как фактор риска потерь слуха [25, 26].

Заключение. Проведенные исследования позволили выявить основные особенности электромагнитной и шумовой обстановки на рабочих местах медицинского и технического персонала отделений МРТ.

Фактические уровни профессиональных экспозиций ЭМП и шума зависят от нескольких факторов, связанных как с характеристиками рабочих мест, такими как тип сканера и схема установки МРТ, так и с конкретными рабочими задачами, выполняемыми отдельным работником.

МРТ представляет собой уникальный набор рисков здоровью персонала, который может подвергаться систематическому воздействию различных типов электромагнитных полей:

- ПМП высокой интенсивности, практически всегда присутствующих внутри и вокруг МРТ,
- электрических полей, индуцированных в теле человека вследствие его перемещения в ПМП,
- сложных по форме, импульсных магнитных полей от градиентных катушек в широком диапазоне низких частот (КНЧ, СНЧ, ИНЧ, ОНЧ) и ЭМП в мегагерцовом диапазоне от РЧ-катушек при нахождении рядом с пациентом при проведении МРТ-обследования.

Отличительными особенностями шума являются его разнообразный спектральный состав с наличием гармоник, высокие уровни, импульсность и тональность.

Для адекватной гигиенической оценки электромагнитной и шумовой обстановки контроль указанных выше факторов необходимо осуществлять с учетом выявленных особенностей.

Первоочередной задачей является разработка ПДУ отдельных неотнормированных диапазонов частот МП, характерных для МРТ. Разработанный проект гигиенических нормативов МП в диапазоне 3 Гц–30 кГц позволил оценить низкочастотные МП. Что касается радиочастотных ЭМП, то пока в РФ не разработаны гигиенические нормативы для МП в диапазонах 3–30 МГц и 50–300 МГц, ориентировочная оценка результатов измерений может осуществляться в соответствии с Международными рекомендациями ICNIRP [18, 20], особенно, принимая во внимание, что в диапазоне 30–300 МГц для тех частот, которые у нас отнормированы, различия не столь существенны, как для ПМП, а в ряде случаев, зарубежные регламенты даже более строгие.

Наиболее адекватная оценка индивидуальных ЭМ-экспозиций работников возможна при использовании персональных дозиметров.

Таким образом, нерешенных проблем в данной области медицины труда еще достаточно много. Вместе с тем, проведенный

углубленный анализ электромагнитной обстановки и шумовых экспозиций в зависимости от технических характеристик МРТ, вида диагностического исследования и операции по эксплуатации и обслуживанию оборудования, позволил сформировать пополняемую базу данных, которая может быть положена в основу совершенствования методики измерений и гигиенической оценки ЭМП и шума на рабочих местах персонала отделений МРТ-графии и обоснования практически реализуемых профилактических мероприятий, направленных на снижение профессионального риска здоровью работников.

и шума на рабочих местах персонала отделений МРТ-графии и обоснования практически реализуемых профилактических мероприятий, направленных на снижение профессионального риска здоровью работников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- McRobbie D.W. Occupational exposure in MRI. *Br. J. Radiol.* 2012 Apr; 85(1012): 293–312. <https://doi.org/10.1259/bjr/30146162>
- Stikova E. Magnetic resonance imaging safety: principles and guidelines. *Maced. Acad. Sci. Arts Sect. Biol. Med. Sci.* 2012; 33: 441–72.
- Karpowicz J., Gryz K. Health Risk Assessment of Occupational Exposure to a Magnetic Field From Magnetic Resonance Imaging Devices. *Int. J. of Occ. Saf. and Ergon.* 2006; 12(2): 155–67. <https://doi.org/10.1080/10803548.2006.11076679>
- Kim SJ, Kim KA. Safety issues and updates under MR environments. *Eur. J. Radiol.* 2017; 89: 7–13. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2017.01.010>
- Hartwig V, Virgili G, Ferrante Vero L.F., et al. Towards a personalised and interactive assessment of occupational exposure to magnetic field during daily routine in magnetic resonance. *Radiat. Prot. Dosimetry.* 2018; 182: 546–54. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncy114>
- Hartwig V, Biagini C., Marchi D. et al. Analysis, comparison and representation of occupational exposure to a static magnetic field in a 3-T MRI site, *Int. J. of Occup. Saf. and Ergon.* <https://doi.org/10.1080/10803548.2020.1738114>
- Stuart Crozier, Hua Wang, Adnan Trakic, et al. Exposure of workers to pulsed gradients in MRI. *J. Magn. Reson. Imaging* 2007; 26: 1236–54. DOI: 10.1002/jmri.21162
- Zanotti G., Modenese A., Bravo G., et al. Subjective symptoms in magnetic resonance imaging operators: preliminary results of an Italian study. *J. of Occup. Environ. Med.* 2018; 75 (2): 422–423.
- Ghadimi-Moghadam A., Mortazavi S. M. J., Hosseini-Moghadam A. et al. Does Exposure to Static Magnetic Fields Generated by Magnetic Resonance Imaging Scanners Raise Safety Problems for Personnel? *J. Biomed. Phys. Eng.* 2018; 8(3): 333–6.
- Мокоян Б.О. Гигиенические особенности труда медицинского персонала, работающего с магнитно-резонансными томографами. *Мед. труда и пром. экол.* 2012; 3: 34–6.
- Казей Э.К. Комплексная гигиеническая оценка условий труда медицинских работников, занятых в кабинетах магнитно-резонансной томографии. *Здоровье и окружающая среда.* 2013; 23: 29–33.
- Мамчик Н.П., Мокоян Б.О., Каменева О.В. и др. Состояние здоровья медицинских работников в кабинетах магнитно-резонансной томографии. *Мед. труда и пром. экол.* 2016; 7:9–13.
- Егорова А.М., Мокоян Б.О., Луценко Л.А. Некоторые аспекты выявления факторов риска здоровью медицинского персонала при работе с магнитно-резонансными томографами. *Мед. труда и пром. экол.* 2017; 2: 34–7.
- Походзей Л.В., Руднева Е.А., Курьеров Н.Н. Актуальные проблемы гигиенической оценки ЭМП и шума в отделениях магнитно-резонансной томографии. *Мед. труда и пром. экол.* 2019; 9: 726–7.
- ICNIRP. Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields. *Health Phys.* 2009; 96: 504–514. <https://doi.org/10.1097/01.HP.0000343164.27920.4a>
- ICNIRP. Medical magnetic resonance (MR) procedures: protection of patients. *Health. Phys.* 2004; 87: 197–216.
- ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (Up to 300 GHz). *Health Phys.* 1998;74(4): 494–522.
- ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Phys.* 2009; 97(3): 257–58.
- ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz). *Health Phys.* 2010; 99: 818–36.
- ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz). *Health Phys.* 2020; 118(5): 483–524. <https://doi.org/10.1097/HP.0000000000001210>
- Походзей Л.В., Руднева Е.А., Пальцев Ю.П. Современное состояние гигиенической оценки электромагнитных полей в отделениях магнитно-резонансной томографии в РФ и за рубежом. Доклад на Всероссийской конференции «Актуальные проблемы радиобиологии и гигиены неионизирующих излучений». 12-13.11.2019. http://www.bioemf.ru/conf/conf2/POKHODZEY_LV.pdf
- Походзей Л.В., Руднева Е.А., Пальцев Ю.П. Исследование спектральных характеристик низкочастотных магнитных полей при различных режимах работы магнитно-резонансной томографии. *Мед. труда и пром. экол.* 2019; 59(9): 727.
- Пальцев Ю.П., Походзей Л.В., Рубцова Н.Б. и др. Совершенствование и гармонизация гигиенических нормативов электрических и магнитных полей. *Мед. труда и пром. экол.* 2013; 2: 5–8.
- Пальцев Ю.П., Походзей Л.В., Рубцова Н.Б., Куриленко Ю.В. и др. Способ прогнозирования биологического воздействия магнитного поля на человека. Патент на изобретение RUS 2551918 26.11.2013.
- Batistatou E., Mölter A., Kromhout H. et al. Personal exposure to static and time-varying magnetic fields during MRI procedures in clinical practice in the UK. *Occup. Environ. Med.* 2016; 73 (11): 779–786. <https://doi.org/10.1136/oemed-2015-103194>
- Sannino A., Romeo S., Scarfi M.R. et al. Exposure Assessment and Biomonitoring of Workers in Magnetic Resonance Environment: An Exploratory Study. *Frontiers in Public Health.* 2017;5: Art. 344: 1–11. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00344>

REFERENCES

- McRobbie D.W. Occupational exposure in MRI. *Br. J. Radiol.* 2012; 85(1012): 293–312. <https://doi.org/10.1259/bjr/30146162>
- Stikova E. Magnetic resonance imaging safety: principles and guidelines. *Maced. Acad. Sci. Arts Sect. Biol. Med. Sci.* 2012; 33: 441–72.
- Karpowicz J., Gryz K. Health Risk Assessment of Occupational Exposure to a Magnetic Field From Magnetic Resonance Imaging Devices. *Int. J. of Occ. Saf. and Ergon.* 2006; 12(2): 155–67. <https://doi.org/10.1080/10803548.2006.11076679>
- Kim S.J., Kim K.A. Safety issues and updates under MR environments. *Eur. J. Radiol.* 2017; 89: 7–13. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2017.01.010>
- Hartwig V, Virgili G, Ferrante Vero LF, et al. Towards a personalised and interactive assessment of occupational exposure to magnetic field during daily routine in magnetic resonance. *Radiat. Prot. Dosimetry.* 2018; 182: 546–54. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncy114>
- Hartwig V, Biagini C., Marchi D. et al. (2020): Analysis, comparison and representation of occupational exposure to a static magnetic field in a 3-T MRI site, *Int. J. of Occup. Saf. and Ergon.* <https://doi.org/10.1080/10803548.2020.1738114>
- Stuart Crozier, Hua Wang, Adnan Trakic, Feng Liu Exposure of workers to pulsed gradients in MRI. *J. Magn. Reson. Imaging* 2007; 26: 1236–54. <https://doi.org/10.1002/jmri.21162>
- Zanotti G., Modenese A., Bravo G., Arcangeli G. et c. Subjective symptoms in magnetic resonance imaging operators: preliminary results of an Italian study. *J. of Occup. Environ. Med.* 2018; 75 (2): 422-3.
- Ghadimi-Moghadam A., Mortazavi S. M. J., Hosseini-Moghadam A., Haghani M. et al. Does Exposure to Static Magnetic Fields Generated by Magnetic Resonance Imaging Scanners Raise Safety Problems for Personnel? *J. Biomed. Phys. Eng.* 2018; 8(3): 333–6.
- Mokoyan B.O. Hygienic features of the labor of medical personnel working with magnetic resonance imaging. *Med. truda i prom. ekol.* 2012; 3: 34–6 (in Russian).
- Kazey E.K. Comprehensive hygienic assessment of the working conditions of medical workers employed in magnetic resonance imaging cabinets. *Zdorov'ye i okruzhayushchaya sreda.* 2013; 23: 29–33 (in Russian).
- Mamchik N.P., Mokoyan B.O., Kameneva O.V. et al. The health status of medical workers in magnetic resonance imaging cabinets. *Med. truda i prom. ekol.* 2016; 7: 9–13 (in Russian).
- Egorova A.M., Mokoyan B.O., Lutsenko L.A. Some aspects of identifying health risk factors for medical personnel when working with magnetic resonance imaging. *Med. truda i prom. ekol.* 2017; 2: 34–7 (in Russian).
- Pokhodzey L.V., Rudneva E.A., Courierov N.N. Actual problems of hygienic assessment of electromagnetic fields and noise in the magnetic resonance imaging departments. *Med. truda i prom. ekol.* 2019; 9: 726–7

- (in Russian).
15. ICNIRP. Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields. *Health Phys.* 2009; 96: 504–514. <https://doi.org/10.1097/01.HP.0000343164.27920.4a>
 16. ICNIRP. Medical magnetic resonance (MR) procedures: protection of patients. *Health Phys.* 2004; 87: 197–216.
 17. ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to electric fields induced by movement of the human body in a static magnetic field and by time-varying magnetic fields below 1 Hz. *Health Phys.* 2014; 106: 418–425. <https://doi.org/10.1097/HP.0b013e31829e5580>
 18. ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Phys.* 2009; 97(3): 257–8.
 19. ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz). *Health Phys.* 2010; 99: 818–36.
 20. ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz). *Health Phys.* 2020; 118(5): 483–524. <https://doi.org/10.1097/HP.0000000000001210>
 21. Pokhodzey L.V., Rudneva E.A., Paltsev Yu.P. Electromagnetic fields hygienic assessment current state in magnetic resonance imaging departments in Russia and abroad. *Report at the All-Russian Conference "Actual problems of radiobiology and hygiene of non-ionizing radiation."* 12-13.11.2019 (in Russian). http://www.bioemf.ru/conf/conf2/POKHODZEY_LV.pdf
 22. Pokhodzey L.V., Rudneva E.A., Paltsev Yu.P. Investigation of the spectral characteristics of low-frequency magnetic fields under various modes of magnetic resonance imaging. *Med. truda i prom. ekol.* 2019 59 (9): 727 (in Russian).
 23. Paltsev Yu.P., Pokhodzey L.V., Rubtsova N.B. et al. Improvement and harmonization of hygienic standards for electric and magnetic fields. *Med. truda i prom. ekol.* 2013; 2: 5–8 (in Russian).
 24. Paltsev Yu.P., Pokhodzey L.V., Rubtsova N.B. et al. A method for predicting the biological effects of magnetic fields on humans. Patent for invention RUS 2551918 11/26/2013 (in Russian).
 25. Batistatou E., Mólter A., Kromhout H. et al. Personal exposure to static and time-varying magnetic fields during MRI procedures in clinical practice in the UK. *Occup. Environ. Med.* 2016; 73 (11): 779–786. <https://doi.org/10.1136/oemed-2015-103194>
 26. Sannino A., Romeo S., Scarfi M.R. et al. Exposure Assessment and Biomonitoring of Workers in Magnetic Resonance Environment: An Exploratory Study. *Frontiers in Public Health.* 2017; 5: Art.344: 1–11. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00344>