



ЦЕНТР ДИАГНОСТИКИ
И ТЕЛЕМЕДИЦИНЫ

Научно-практический клинический центр
диагностики и телемедицинских технологий
Департамента здравоохранения города Москвы

Ю. А. Васильев, И. А. Блохин, А. В. Петряйкин

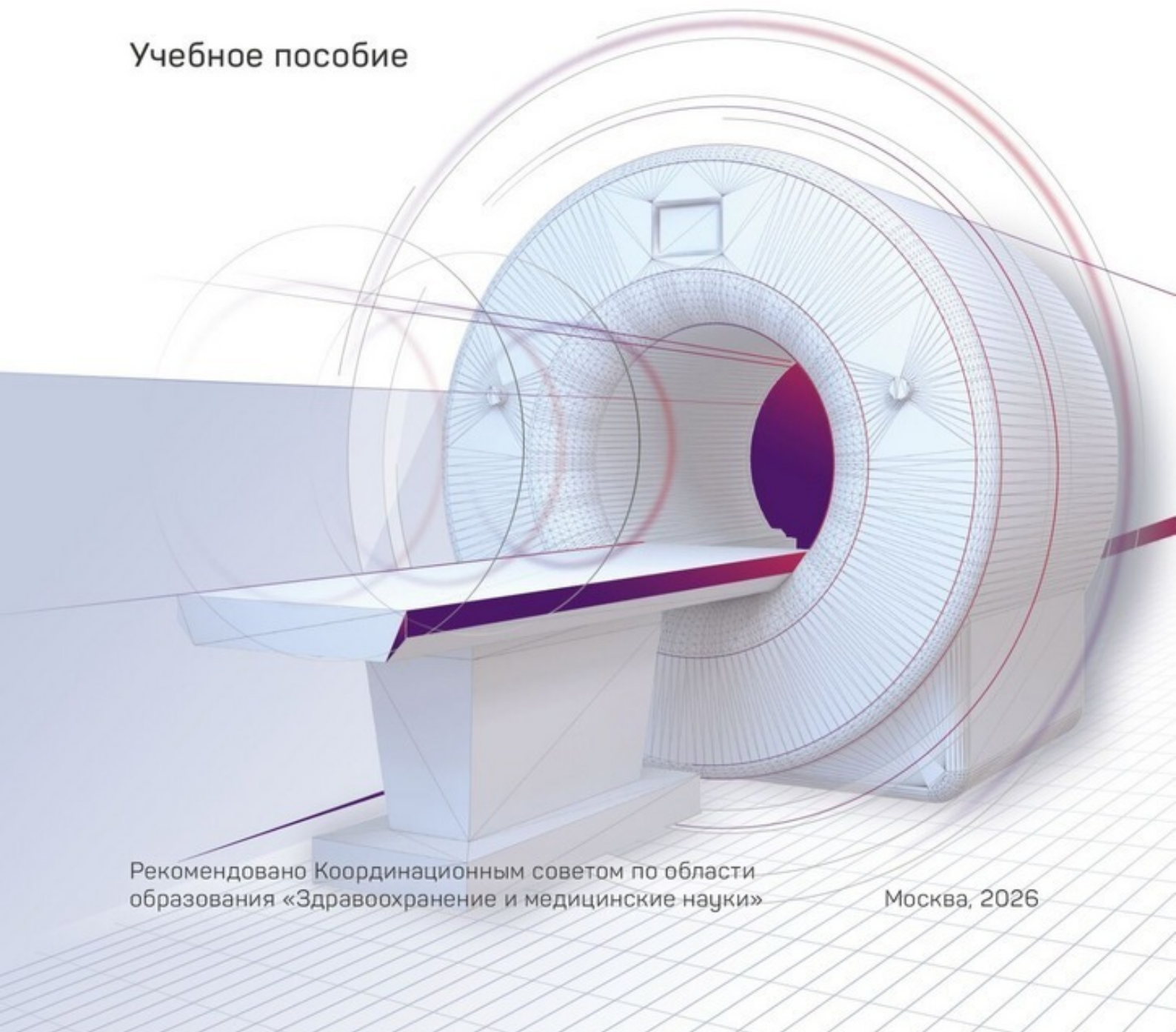
ЛУЧЕВАЯ ДИАГНОСТИКА. МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНАЯ ТОМОГРАФИЯ

Безопасность, контроль эксплуатации, артефакты от металлов

Учебное пособие

Рекомендовано Координационным советом по области
образования «Здравоохранение и медицинские науки»

Москва, 2026



Юрий Васильев

**Лучевая диагностика. Магнитно-
резонансная томография.
Безопасность, контроль
эксплуатации, артефакты
от металлов. Учебное пособие**

Васильев Ю. А.

Лучевая диагностика. Магнитно-резонансная томография.
Безопасность, контроль эксплуатации, артефакты от металлов.
Учебное пособие / Ю. А. Васильев —

Рекомендовано Координационным советом по области образования «Здравоохранение и медицинские науки» в качестве учебного пособия для использования в образовательных учреждениях, реализующих основные профессиональные программы высшего образования подготовки кадров высшей квалификации по программам ординатуры по специальности 31.08.09 «Рентгенология» (протокол №094 от 20.11.2025, рег. №3411 ЭКУ от 20.11.2025).

© Васильев Ю. А.

Содержание

Информация об издании	6
Нормативные ссылки	7
Список сокращений	9
Введение	11
Общие положения	13
Глава 1. Безопасность	14
1.1. Факторы риска в магнитно-резонансной томографии	14
1.2. Биологические эффекты от магнитного поля	15
1.2.1. Прямые биоэффекты	16
1.2.2. Косвенные биоэффекты	18
1.2.3. Методы профилактики биологических эффектов магнитного поля	20
1.3. Риск для персонала	24
1.4. Обеспечение безопасности в кабинете магнитно-резонансной томографии	25
1.4.1. Проектирование кабинета магнитно-резонансной томографии	26
Конец ознакомительного фрагмента.	40

**Лучевая диагностика. Магнитно-
резонансная томография
Безопасность, контроль эксплуатации,
артефакты от металлов. Учебное пособие**

**Юрий Александрович Васильев
Иван Андреевич Блохин
Алексей Владимирович Петряйкин**

Редактор Анжелика Ивановна Овчарова

Верстка Екатерина Дмитриевна Бугаенко

Дизайнер обложки Екатерина Дмитриевна Бугаенко

© Юрий Александрович Васильев, 2026

© Иван Андреевич Блохин, 2026

© Алексей Владимирович Петряйкин, 2026

© Екатерина Дмитриевна Бугаенко, дизайн обложки, 2026

ISBN 978-5-0069-8032-7

Создано в интеллектуальной издательской системе Ridero

Информация об издании

Учебное пособие подготовлено в рамках выполнения НИР «Научное обеспечение стандартизации, безопасности и качества магнитно-резонансной томографии» (№ ЕГИСУ: 123031500007—6) в соответствии с приказом Департамента здравоохранения города Москвы от 17.12.2024 №1184 «Об утверждении государственных заданий, финансовое обеспечение которых осуществляется за счет средств бюджета города Москвы, государственным бюджетным (автономным) учреждениям, подведомственным Департаменту здравоохранения города Москвы, на 2025 год и плановый период 2026 и 2027 годов»

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Синицын Валентин Евгеньевич – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой лучевой диагностики и терапии факультета фундаментальной медицины МГУ им. М. В. Ломоносова, заведующий отделом лучевой диагностики МНОЦ МГУ им. М. В. Ломоносова

Нуднов Николай Васильевич – доктор медицинских наук, профессор, заместитель директора по научной работе, заведующий НИО комплексной диагностики заболеваний и радиотерапии ФГБУ «РНЦРР» Минздрава России

Нормативные ссылки

1. ГОСТ 12.1.004—91 «Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования».
2. ГОСТ 30373—95 (ГОСТ Р 50414—92) «Совместимость технических средств электромагнитная. Оборудование для испытаний. Камеры экранированные. Классы, основные параметры, технические требования и методы испытаний».
3. ГОСТ Р 8.568—2017 «Государственная система обеспечения единства измерений. Аттестация испытательного оборудования. Основные положения».
4. ГОСТ Р ИСО 14630—2017 «Имплантаты хирургические неактивные. Общие требования».
5. ГОСТ Р ИСО 14708-3-2016 «Имплантаты для хирургии. Активные имплантируемые медицинские изделия. Часть 3. Имплантируемые нейростимуляторы».
6. ГОСТ Р ИСО 14708-4-2016 «Имплантаты для хирургии. Активные имплантируемые медицинские изделия. Часть 4. Имплантируемые инфузионные насосы».
7. ГОСТ Р ИСО 14708-7-2016 «Имплантаты для хирургии. Активные имплантируемые медицинские изделия. Часть 7. Частные требования к системам кохлеарной имплантации».
8. ГОСТ Р ИСО 25539-2-2012 «Имплантаты сердечно-сосудистые. Внутрисосудистые имплантаты. Часть 2. Сосудистые стенты».
9. ГОСТ Р 50571.7.710—2023 (МЭК 60364-7-710:2021) «Электроустановки низковольтные. Часть 7—710. Требования к специальным электроустановкам. Электроустановки медицинских помещений».
10. ГОСТ Р 56606—2015 «Контроль технического состояния и функционирования медицинских изделий. Основные положения».
11. ГОСТ Р 58450—2019 «Изделия медицинские с измерительными функциями. Контроль состояния».
12. ГОСТ Р 59092—2020 «Оборудование магнитно-резонансное для медицинской визуализации. Контроль качества изображений. Методы испытаний».
13. ГОСТ Р 59093—2020 «Изделия медицинские имплантируемые. Общие требования безопасности при проведении магнитно-резонансной томографии. Методы испытаний».
14. 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».
15. ГОСТ Р МЭК/ТО 60788—2009 «Изделия медицинские электрические. Словарь».
16. Информационно-методическое письмо Управления Роспотребнадзора по г. Москве от 01.08.2007 №9—05/122—486 «Санитарно-гигиенические требования к магнитно-резонансным томографам и организации работы».
17. Клинические рекомендации Министерства здравоохранения Российской Федерации 2024 г. «Рак ротоглотки».
18. Клинические рекомендации Министерства здравоохранения Российской Федерации 2021 г. «Рак предстательной железы».
19. Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 09.06.2020 №560н «Об утверждении Правил проведения рентгенологических исследований».
20. СанПиН 1.2.3685—21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».
21. СанПиН 2.1.3684—21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению населения, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуата-

ции производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий».

22. СанПиН 2.6.1.1192—03 «Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований».

23. СП 2.1.3678—20 «Санитарно-эпидемиологические требования к эксплуатации помещений, зданий, сооружений, оборудования и транспорта, а также условиям деятельности хозяйствующих субъектов, осуществляющих продажу товаров, выполнение работ или оказание услуг».

24. СП 29.13330.2011 «Полы. Актуализированная редакция СНиП 2.03.13—88».

25. СП 118.13330.2022 «Общественные здания и сооружения. СНиП 31-06-2009».

26. СП 158.13330.2014 «Здания и помещения медицинских организаций. Правила проектирования».

27. ТСН 31-313-98 г. Москвы (МГСН 4.12—97) «Лечебно-профилактические учреждения».

28. Федеральный закон от 30.03.1999 №52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения».

Список сокращений

- АВФ** – аппарат внешней фиксации
АНФ – аппарат наружной фиксации
ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ» – государственное бюджетное учреждение здравоохранения города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы»
ГОСТ – государственный стандарт
ДВИ – диффузно-взвешенное изображение (DWI)
ДЗМ – Департамент здравоохранения города Москвы
ИБП – источник бесперебойного питания
ИВЛ – искусственная вентиляция легких
ИД – имплантируемый кардиовертер-дефибриллятор
ИКД – измеряемый коэффициент диффузии (ADC)
ИМИ – имплантируемое медицинское изделие
ИП – импульсная последовательность
КП – контрастный препарат
КТ – компьютерная томография
МГСН – московские городские строительные нормы
МО – медицинская организация
МПП – малоподвижный пациент
МР – магнитно-резонансный
МРТ – магнитно-резонансная томография
МЧС – Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий
ОКД – область контролируемого доступа
ОЛД – отделение лучевой диагностики
ОПК – общепрофессиональные компетенции
ОРИТ – отделение реанимации и интенсивной терапии
ОСШ – отношение «сигнал/шум» (SNR)
ПДУ – предельно допустимый уровень
ПК – профессиональные компетенции
ПНС – периферическая нервная система
ПО – программное обеспечение
РГ – рентгенографическое исследование (рентгенография)
РЧ – радиочастотный
СанПиН – санитарные правила и нормы
СКО – среднеквадратическое отклонение
СЛР – сердечно-легочная реанимация
СНиП – строительные нормы и правила
СП – свод правил
T1 ВИ – T1-взвешенное изображение
T2 ВИ – T2-взвешенное изображение
ТП – технологический проект
ТСН – территориальные строительные нормы
УЗИ – ультразвуковое исследование
УК – универсальные компетенции
УКП – удельный коэффициент поглощения (SAR)

- ЧЛО** – челюстно-лицевая область
ЭДС – электродвижущая сила
ЭКГ – электрокардиограмма
ЭКС – электрокардиостимулятор
ЭМП – электромагнитное поле
ЭЭГ – электроэнцефалография
AAPM – American Association of Physicists in Medicine (Американское общество медицинских физиков)
ACR – American College of Radiology (Американская коллегия радиологов)
B₀ – постоянное (статическое) магнитное поле
B₁ – радиочастотное магнитное поле
B_G – переменное (градиентное) магнитное поле
ICNIRP – International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (Международная комиссия по защите от неионизирующего излучения)
EPI – Echo-planar imaging (эхо-планарные импульсные последовательности)
ETL – Echo train length (длина эхо трейна)
FA – Flip angle (угол отклонения)
FatSat – Fat Saturation (подавление сигнала от жировой ткани)
FDA – Food and Drug Administration (Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов США)
FLAIR – Fluid-Attenuated Inversion Recovery (последовательность инверсии-восстановления с удлиненным временем инверсии)
FSE – Fast Spin Echo (быстрое спиновое эхо)
FWHM – Full width half maximum (полуширина)
GRE – Gradient Echo (градиентное эхо)
MHRA – Medicines and Healthcare Products Regulatory Agency (Агентство по медицине и лекарственным средствам Великобритании)
NFC – Near Field Communication (связь на ближнем расстоянии)
PRESS – Point resolved spectroscopy (магнитно-резонансная спектроскопия)
RARE – Rapid Acquisition with Relaxation Enhancement (быстрый сбор данных с улучшенной релаксацией)
RFID – Radio Frequency Identification (радиочастотная идентификация)
ROI – Region of interest (область интереса)
rFOV – Reduced Field-of-View (снижение поля обзора)
SAR – Specific Absorption Ratio (удельный коэффициент поглощения электромагнитной энергии)
SE – Spin Echo (спиновое эхо)
SMPTE – Society of Motion Picture and Television Engineers (Общество инженеров кино и телевидения)
STEAM – Stimulated echo acquisition mode (режим получения стимулируемого эхосигнала)
STIR – Short Tau Inversion Recovery (импульсная последовательность, инверсия-восстановление с коротким временем релаксации)
TE – Echo Time (время появления эхосигнала)
TR – Repetition Time (время повторения импульса)
TSE – Turbo spin echo (турбоспиновое эхо)
TZ – Transition zone (транзиторная зона)
VOI – Volume of interest (объемная область интереса)
VNS – Vagus nerve stimulator (стимулятор блуждающего нерва)

Введение

Цель – приобретение и повышение обучаемыми лицами необходимых компетенций, знаний, умений и навыков в области одного из методов лучевой диагностики – магнитно-резонансной томографии (МРТ).

Задачи:

- углубленное освоение знаний в области физических основ МРТ, в том числе:
- изучение рекомендаций по обеспечению безопасности в кабинете МРТ для пациентов и персонала;
- изучение рекомендаций по проектированию кабинета МРТ;
- изучение параметров и характеристик магнитно-резонансных (МР) томографов, контролируемых в условиях эксплуатации;
- изучение видов, причин появления и способов снижения влияния артефактов от металлоконструкций на качество изображений при МРТ, особенностей выполнения исследований в нестандартных ситуациях;
- формирование новых подходов к организации преподавания и повышению индивидуализации обучения с использованием полученных углубленных знаний;
- обеспечение уровня компетенций и навыков в соответствии с требованиями профессионального стандарта «Специалист в области организации здравоохранения и общественного здоровья»¹.

Требования к входным знаниям, компетенциям и умениям для проведения занятий: теоретические знания и практические навыки в соответствии с федеральными государственными образовательными стандартами высшего образования по специальностям «Лечебное дело» и «Педиатрия», а также интернатуры и ординатуры.

Изучение пособия направлено на дальнейшее формирование у обучающихся следующих компетенций:

1. Универсальных (УК):

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);
- способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития (УК-6).

2. Общепрофессиональных (ОПК):

- готовность к внедрению разработанных методов и методик, направленных на охрану здоровья граждан (ОПК-4);
- готовность к преподавательской деятельности по образовательным программам высшего образования (ОПК-6).

3. Профессиональных (ПК):

- способность и готовность к внедрению результатов научной деятельности в практическое здравоохранение с целью улучшения качества и увеличения продолжительности жизни пациентов (ПК-2);
- способность и готовность к самостоятельной преподавательской деятельности по программам высшей школы и дополнительного профессионального образования в соответствии с направленностью подготовки (ПК-3).

В результате изучения материала обучаемый должен:

¹ Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 07.11.2017 г. №768н «Об утверждении профессионального стандарта „Специалист в области организации здравоохранения и общественного здоровья“».

· **знать:**

- фундаментальные и прикладные исследования в области лучевой диагностики (метод МРТ);
- методы научно-исследовательской деятельности, проектирования и комплексного анализа;
- методы лучевой диагностики патологических состояний органов и систем человека;
- области применения методов лучевой диагностики у пациентов с различными заболеваниями, в том числе с целью организации и проведения профилактических (скрининговых) исследований;

· **уметь:**

- систематизировать, обобщать методический опыт научных исследований в профессиональной медицинской области (лучевая диагностика и смежные области);
- разрабатывать и совершенствовать методы лучевой диагностики патологических состояний органов и систем человека путем формирования и изучения изображений в различных физических полях (электромагнитных, корпускулярных, ультразвуковых и др.);
- решать исследовательские и практические задачи, генерировать новые идеи в области лучевой диагностики;
- анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач;
- организовывать, проводить и внедрять самостоятельную научно-исследовательскую работу в области лучевой диагностики оптимальных методов исследования;
- использовать имеющиеся и полученные знания в экспериментальных и клинических научных исследованиях в лучевой диагностике;
- проводить экспериментальные и клинические диагностические лучевые исследования;

· **владеть:**

- навыками проведения самостоятельной научно-исследовательской работы в области клинической медицины с выбором оптимальных методов исследования, соблюдением принципов доказательной медицины, с целью получения научных данных, значимых для медицинской отрасли наук;
- информацией о лабораторных и инструментальных исследованиях при получении научных данных;
- методами анализа и интерпретирования полученных результатов лучевых исследований.

Изучение материала пособия рассчитано на 12 академических часов самостоятельной работы. В целях проверки усвоения информации предусмотрены вопросы для самоконтроля. Для повышения уровня эрудированности и вовлеченности обучаемых в изучение учебного курса опционально рекомендуется подготовка рефератов и докладов-презентаций.

Общие положения

МРТ – современный метод медицинской визуализации, основанный на явлении ядерного магнитного резонанса.

МРТ является одним из наиболее эффективных методов современной лучевой диагностики, позволяющий неинвазивно получать изображения внутренних структур тела человека без использования ионизирующего излучения или введения каких-либо радиоактивных веществ.

По конструкции МР-томографы разделяют на аппараты открытого и закрытого типа.

В зависимости от значения магнитной индукции статического магнитного поля МР-томографы принято классифицировать на:

- сверхнизкопольные (менее 0,1 Тл);
- низкопольные (0,1—0,3 Тл);
- среднепольные (0,3—0,5 Тл);
- высокопольные (0,5—3 Тл);
- сверхвысокопольные (свыше 3 Тл).

По типу основного источника магнитного поля МР-томографы разделяют:

- постоянные;
- резистивные;
- сверхпроводящие;
- гибридные системы.

В сверхнизкопольных и низкопольных МР-томографах, как правило, используются постоянные магниты, которые при эксплуатации не требуют охлаждения или постоянного электропитания.

В резистивных МР-томографах поле создается за счет пропускания электрического тока через катушку. Такой способ позволяет создать постоянное магнитное поле с индукцией до 0,6 Тл, однако при этом требуется охлаждение и постоянное электропитание для поддержания однородности поля.

Наиболее распространенными в России на сегодняшний день являются МР-томографы со сверхпроводящими магнитами, генерирующими магнитное поле с индукцией 1,5 и 3 Тл. Такие магниты обеспечивают высокую однородность и стабильность магнитного поля. Сверхпроводимость при этом обеспечивается помещением проводящей катушки в сосуд Дьюара и охлаждением криогеном (чаще всего гелием) до температуры порядка 4 К ($-269\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Краткий алгоритм действий персонала кабинета МРТ при проведении МРТ-исследования приведен в приложении А.

Актуальным является углубленное изучение вопросов выполнения требований безопасности при проектировании и эксплуатации МР-томографов, процедур контроля их параметров и характеристик, специфики выполнения МРТ в нестандартных ситуациях, включая наличие артефактов.

Настоящее учебное пособие составлено на основании методических рекомендаций [1—4], разработанных в Государственном бюджетном учреждении здравоохранения города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы» (ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»).

Глава 1. Безопасность в магнитно-резонансной томографии

1.1. Факторы риска в магнитно-резонансной томографии

Вопрос обеспечения безопасности актуален на всех этапах эксплуатации МР-томографов: при проектировании, при подготовке, в процессе исследования и после его завершения. Нарушение правил МРТ-безопасности может привести к снижению качества оказания медицинской помощи, травматизации персонала и пациентов, повреждению и выводу из строя медицинского оборудования [5].

Обеспечение высокого уровня МР-безопасности в отделении может быть осуществлено только при полноценном понимании принципа работы МР-сканера и соблюдении правил проектирования кабинетов МРТ [2].

К основным факторам риска, возникающим в кабинете МРТ, которые следует учитывать уже на этапе проектирования, относятся:

- воздействие полей МР-томографа на изделия из ферромагнитных материалов (возможные последствия: втягивание, поворот, нагрев);
 - опасность выброса хладагента сверхпроводящего магнита (т.н. квенч);
 - воздействие полей, возникающих при работе МР-томографа, на несовместимое оборудование (кардиостимуляторы и водители ритма, рентгеновские трубки, средства связи и пр.).
- При проведении МРТ-исследования на пациента действуют три типа магнитных полей:
- постоянное (статическое) высокой индукции B_0 ;
 - переменное (градиентное) B_G ;
 - радиочастотное (РЧ) B_1 .

Взаимодействие тела пациента с указанными полями может привести к нежелательным биологическим эффектам (биоэффектам).

1.2. Биологические эффекты от магнитного поля

Биологические эффекты можно разделить на прямые и косвенные.

Прямые биоэффекты возникают в теле человека непосредственно под воздействием электромагнитного поля (ЭМП). Это, например, повышение температуры тканей, либо нетемпературные эффекты в виде стимуляции мышц, нервов, органов чувств.

Косвенные биоэффекты возникают из-за реакции инородных объектов, расположенных внутри организма и обладающих ферромагнитными свойствами (имплантируемые медицинские изделия (ИМИ), стенты, шунты и пр.), а также акустического шума и других внезапно возникших обстоятельств (возгорание, аварийные ситуации и пр.).

1.2.1. Прямые биоэффекты

Постоянное магнитное поле. Основное магнитное поле МР-томографа B_0 (чаще всего 1,5 или 3 Тл) включено всегда, но распределено неравномерно. Максимальное значение индукции, как правило, достигается в радиусе 15—20 см от изоцентра магнита, а за пределами комнаты управления это значение обычно не превышает 1 мТл.

Большая часть биологических тканей является электропроводными. Так, нервные волокна хорошо проводят электрический ток, а крупные кровеносные сосуды, по сути, являются потоком движущихся ионов. Движение таких тканей в магнитном поле высокой индукции, имеющем значительный пространственный градиент, приводит к возникновению электродвижущей силы. В результате быстрое движение головой в области пространства со значительным градиентом индукции (в первую очередь – вблизи МР-томографа) может привести к головокружению или тошноте из-за возбуждения нервной системы дополнительными электрическими импульсами.

Движение крови в аорте при нахождении пациента в поле 0,3 Тл и выше может привести к некорректной регистрации ЭКГ-сигнала (ЭКГ – электрокардиограмма), проявляющейся в увеличении амплитуды Т-зубца (рисунок 1). При этом никаких побочных эффектов для организма не наблюдается, а возникшие в результате действия поля явления завершаются сразу после прекращения его воздействия.



Рисунок 1 – ЭКГ-сигнал пациента, зарегистрированный: а – в отсутствие воздействия B_0 ; б – при воздействии B_0 [6]

Для предотвращения таких биоэффектов Международная комиссия по защите от неионизирующих излучений (ICNIRP) рекомендует не подходить непосредственно к МР-томографу и не отходить от него слишком быстро [7].

Градиентное магнитное поле. При переключении градиентных катушек появляется переменное магнитное поле, которое, согласно закону Фарадея, создает в теле пациента электрическое поле, а следовательно, также генерирует в тканях токи. В результате индуцированные в процессе сканирования электрические поля могут генерировать потенциалы действия

и приводить к возбуждению периферической нервной системы (ПНС). Этот эффект может влиять на пороговые значения возбудимости тканей, стимулировать нервы и мышцы, вызывать зрительные эффекты – магнитофосфены (слабые мерцающие визуальные эффекты), а на высоких уровнях приводить к кардиостимуляции и фибрилляции желудочков.

РЧ-магнитное поле. Воздействие РЧ-полей в первую очередь приводит к нагреву тканей. Для оценки степени поглощения энергии РЧ-излучения используется удельный коэффициент поглощения – УКП (SAR), который определяется количеством энергии, поглощенной за единицу времени единицей массы тела. Безопасным (нормальный режим контроля) является значение 2 Вт/кг.

Для наиболее точного определения УКП (как правило, расчетное значение приводится на консоли оператора) при регистрации пациента в системе необходимо корректно указывать его дату рождения, вес и рост. Проблемы могут возникать при обследовании детей на ранних сроках жизни, когда их рост сопоставим с зоной сканирования (40—50 см). Как правило, трудности связаны с запуском импульсной последовательности (ИП) и требуют изменения параметров сканирования.

Важно отметить еще один фактор риска, связанный с РЧ-магнитным полем: его воздействие может привести к ожогу при контакте «кожа-кожа» или «кожа-проводник», поэтому следует с максимальной ответственностью подходить к соблюдению правил укладки пациента (см. п.1.2.3).

1.2.2. Косвенные биоэффекты

Постоянное магнитное поле. Опасность для здоровья пациента и персонала при нахождении в постоянном магнитном поле связана с наличием ферромагнитных материалов в теле, в одежде или в комнате сканирования (процедурной).

Ферромагнетики – это вещества, обладающие спонтанной намагниченностью, которая способна усиливать внешнее магнитное поле. В результате изделия из ферромагнитных материалов под действием магнитного поля притягиваются к его источнику. К ферромагнетикам относятся железо, кобальт, никель и их сплавы, также сплавы хрома и марганца. Из них могут быть сделаны некоторые ИМИ, зажимы, осколки и металлическая стружка в теле пациента; ключи, заколки, пуговицы, металлические нити в одежде, либо крупногабаритные предметы: инвалидные коляски, кровати-каталки, кушетки, баллоны со сжатым газом, огнетушители и пр.

Постоянные магнитные поля могут привести к нарушению функций активных ИМИ. Например, если в электрокардиостимуляторе (ЭКС) имеется магнитоуправляемый контакт – геркон, который замыкается магнитными импульсами. Высокое постоянное магнитное поле может активировать геркон и вернуть устройство к режиму асинхронной стимуляции, что может привести к выраженным нарушениям ритма и даже гибели пациента.

Градиентное магнитное поле. В градиентных магнитных полях разные изделия могут нагреваться в результате индуцирования электрического тока, о котором мы уже говорили в разделе прямых эффектов, а также начать вибрировать за счет изменения величины магнитного поля, а следовательно, воздействовать на окружающие ткани.

Еще одним фактором воздействия здесь будет шум, источником которого становятся колебания градиентных катушек, связанные с быстрым изменением знака подаваемого на них напряжения. Уровень акустического шума зависит от типа выбранной последовательности. Так, например, при эхо-планарной последовательности он может составлять порядка 110—120 дБ. Высокий уровень шума может понизить чувствительность органов слуха и стать причиной тревоги и дискомфорта. Для минимизации воздействия акустического шума применяются наушники и беруши.

РЧ-магнитное поле. Аналогично переменным градиентным переменные РЧ-поля являются источником передаваемой пациенту энергии. УКП РЧ-энергии применяется и в оценке косвенных биоэффектов, а именно нагрева ферромагнитных материалов, который может стать причиной ожогов. Кроме того, электроды и провода активных имплантов могут действовать как антенна, концентрируя РЧ-энергию, производимое тепло и электрические токи, которые могут вызвать некроз ткани, стимулировать жизнеугрожающие аритмии. Также может произойти сброс параметров активных имплантов (ЭКС) или истощение батареи.

Криогенная жидкость у МР-томографов со сверхпроводящей катушкой. Основная опасность, связанная с криогенными жидкостями (сжиженный гелий) МР-томографа, заключается в вероятности их быстрого вскипания (квенч). За счет резкого повышения температуры жидкость почти мгновенно переходит в газообразное состояние, резко увеличиваясь в объеме. При этом часть газа попадает в процедурную и другие помещения кабинета МРТ, вытесняя воздух и приводя к риску обморожения и гипоксии.

Квенч сопровождается выбросом на улицу низкотемпературного газообразного гелия по аварийному газоотводному каналу. Он может произойти не только при нажатии кнопки аварийного отключения магнита, но также при снижении гелия в системе приблизительно до 30%. При этом сверхпроводимость обмотки магнита теряется, а индукция магнитного поля резко уменьшается за время порядка 20 с.

Восстанавливать работоспособность оборудования после этого затратно не только по времени, но и финансово, поэтому при эксплуатации требуется следить за изменением процентного содержания уровня гелия и наработки компрессора. Также в кабинете МРТ должны быть предусмотрены соответствующие инструкции для персонала [5].

1.2.3. Методы профилактики биологических эффектов магнитного поля

Смещение металлических объектов. Пациента необходимо заранее проверить на наличие любых металлоконструкций с использованием металлодетектора и/или ферромагнитного детектора и убедиться в том, что ни один из присутствующих в теле объектов не будет подвержен критичному смещению за счет взаимодействия с магнитным полем. В исключительных случаях для контроля и оценки положения инородных объектов может быть выполнена рентгенография (РГ).

Все современные ИМИ на этапе проектирования или после производства подвергаются серии экспериментов и маркируются как МР-безопасные, МР-совместимые при определенных условиях или МР-небезопасные (подробнее см. п. 1.5.4).

Следует помнить, что практически не подвержены воздействию поступательной силы в магнитном поле объекты из стекла, большинства пластиков и дерева (не содержащие каких-либо металлических частей в конструкции). Во всех остальных случаях для того, чтобы принять решение о безопасности проведения исследования, следует обратиться к документации на ИМИ и провести комплексный анализ рисков с учетом анатомической области, сроков установки (или травмы в случае инородных тел).

Неидентифицированные объекты требуют особого внимания вне зависимости от габаритов. В качестве примера можно привести значения для объектов сопоставимого размера: сила, действующая в МР-томографе на стент, может составлять порядка 0,2 мН (эквивалент весу ~20 г), а на пулю или дробь – порядка 4,4 Н (~440 г).

Нагрев. Неправильная укладка пациента и соединительных кабелей, датчиков и проводов нередко приводит к многочисленным ожогам. Электрические ожоги могут не вызывать боль немедленно, но и стать причиной повреждения тканей, особенно при температуре свыше 42 °С.

Для предотвращения ожогов, связанных с РЧ-нагревом, при укладке необходимо:

– обеспечивать отсутствие контактов «кожа-кожа», способных сформировать проводящий замкнутый контур через часть тела, например, «внутреннее бедро-бедро», «икра ноги-икра ноги», «рука-рука», «рука-тело», «лодыжка-лодыжка» (рисунок 2а);

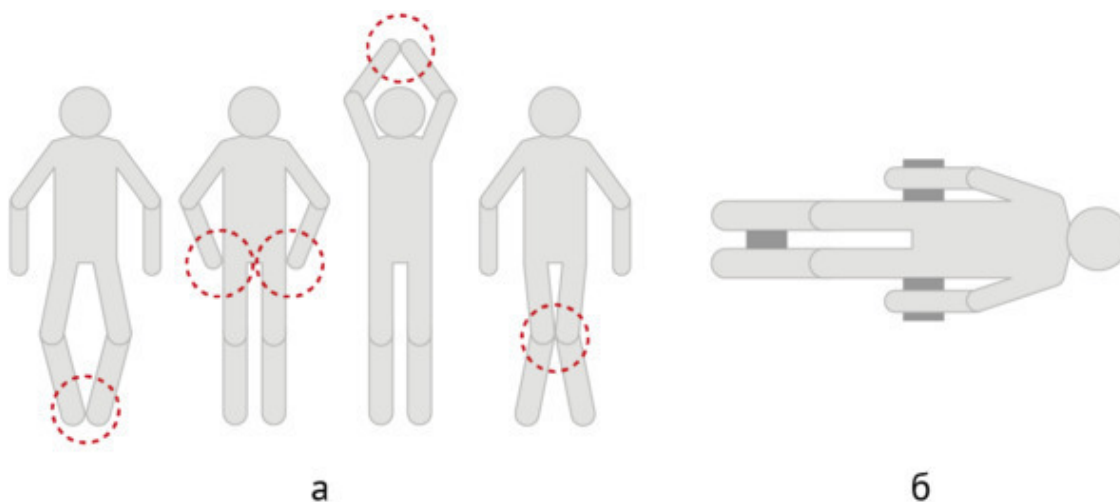


Рисунок 2 – Иллюстрация возможных контактов «кожа-кожа» (а) и расположения подушек для их изоляции (б)

– обеспечивать достаточную изоляцию между кабелем и пациентом, если избежать контакта нельзя. Все места возможных соприкосновений РЧ-катушек и тоннеля магнита с открытыми частями кожного покрова пациента должны быть заполнены ковриками из специального диэлектрического материала толщиной не менее 10 мм после сжатия (рисунок 2б);

– не допускать образования петель (перекручивания) соединительными кабелями РЧ-катушек, другого оборудования, размещаемого на пациенте;

– не располагать кабель диагонально через пациента;

– обеспечивать укладку кабеля параллельно главной оси МР-томографа и по возможности близко к изоцентру магнита так, чтобы не было соприкосновения с тоннелем магнита;

– размещать датчики системы мониторинга (электроды ЭКГ-синхронизации, пульсоксиметр) на максимально возможном расстоянии от РЧ-катушки;

– регулярно проверять все катушки, кабели и провода на наличие повреждений и не использовать их, если повреждения обнаружены;

– не допускать попадания влаги на провода, кабели и разъемы РЧ-катушки.

Риск нагрева возникает и в отношении инородных объектов в организме пациента. Если идет речь об имплантах, необходимо строго соблюдать ограничения производителя ИМИ на УКП, по возможности – минимизировать это значение. Важно помнить, что пациент может не почувствовать нагрев из-за снижения чувствительности при ряде заболеваний.

В случае, если нет необходимости сканирования в режиме контроля первого или второго уровня, значение УКП можно снизить настройкой параметров ИП. Наиболее доступные варианты снижения УКП представлены в таблице 1. Но следует учитывать, что это может привести и к снижению качества визуализации.

Таблица 1 – Варианты снижения УКП и соответствующие недостатки [8]

Варианты уменьшения УКП	Недостатки
Увеличение времени повторения импульса (TR) – интервала между двумя РЧ-импульсами	Влияние на контрастность изображения
Уменьшение длины эхо-трейна (ETL)	Изменяется базовая контрастность
Уменьшение количества заполнений в направлении фазового кодирования	Снижение разрешающей способности
Использование квадратурной области сканирования	Неудобство, обусловленное анатомическими особенностями

Продолжение таблицы 1

Варианты уменьшения УКП	Недостатки
Уменьшение угла отклонения вектора суммарной намагниченности (FA)	Уменьшение отношения «сигнал/шум» (ОСШ, SNR), изменение контрастности
Использование поверхностных приемно-передающих катушек	В зависимости от оборудования возможно снижение ОСШ и увеличение длительности сканирования
Использование градиентного эха вместо спинового эха или турбоспин-эха	Влияние на контрастность изображения

Ранее считалось, что причиной нагрева имплантов в МР-томографе становится поле B_1 (так называемый РЧ-индуцированный нагрев). Однако переменные во времени и пространстве градиентные магнитные поля B_G также могут оказывать значимое влияние на температуру металлических объектов. В таблице 2 представлено сравнение разных типов нагрева в зависимости от формы и размеров инородного тела и особо критичные факторы.

Таблица 2 – Качественное сравнение РЧ и градиент-индуцированного нагрева в зависимости от импланта и параметров ИП [8]

Параметр	РЧ-нагрев	Градиент-индуцированный нагрев
Размер импланта	Наиболее критично: длина порядка четверти – половины длины РЧ-волны в ткани	Наиболее критично: массивный имплант
Форма импланта	Наиболее критично: вытянутый, с заостренными концами и несколько близкорасположенных имплантов	Наиболее критично: большое поперечное сечение
Материал импланта	Наиболее критично: низкая теплоотдача в окружающие ткани	Более высокая электропроводность приводит к возникновению больших вихревых токов. Например, сплав CoCrMo нагревается на 60 % больше по сравнению с Ti-6Al-4V

Продолжение таблицы 2

Параметр	РЧ-нагрев	Градиент-индуцированный нагрев
Положение импланта в пространстве	Наиболее критично: области с наибольшей амплитудой В1. В обычной многоканальной катушке для тела (body) это поле увеличивается радиально по мере удаления от оси катушки. В осевом направлении поле равномерно распределено в пределах зоны покрытия катушки; также поле может в значительной степени выходить за пределы катушки	Не критично: в изоцентре Критично: зоны с максимальным значением поля ВG – на концах градиентных катушек, т.е. за пределами области визуализации. В радиальном направлении ВG монотонно увеличивается с удалением от оси магнита; в осевом направлении максимум достигается на расстоянии 30–50 см от изоцентра, в зависимости от градиентной катушки
Ориентация импланта	Наиболее критично: имплант вытянут вдоль оси Z	Наиболее критично: большое поперечное сечение импланта перпендикулярно вектору поля ВG с максимальной амплитудой
Параметры ИП	Наиболее критично: быстрые ИП с высокой плотностью РЧ-импульсов с высоким значением FA: например, турбоспиновое эхо (TSE). Большие значения SAR (локальные или для всего тела) соответствуют более критическим ИП, однако не учитывают параметры импланта и условия воздействия (МР-томограф, РЧ-катушка, имплант, его положение и т.д.). Значение SAR в данном случае не может быть использовано для оценки нагрева	Наиболее критично: быстрые ИП с высокой скоростью и амплитудой нарастания градиентов: например, echo-planar imaging (EPI). Индикация критического состояния не предусмотрена

Следовательно, минимальный нагрев металлических объектов можно ожидать за пределами тоннеля МР-томографа или в изоцентре, а максимальный – у внутренней поверхности тоннеля.

1.3. Риск для персонала

Длительный негативный эффект магнитного поля на сотрудников кабинетов МРТ не зарегистрирован.

С точки зрения наличия на теле или внутри него различных металлоконструкций к группе потенциального риска (все внимание, как правило, сконцентрировано на пациентах) можно отнести сотрудников кабинета МРТ, других сотрудников МО и сопровождающих пациента, а также персонал сторонних обслуживающих организаций.

Факторы риска для персонала не отличаются от таковых для пациента, за исключением двух моментов:

– во-первых, сотрудники могут подвергаться длительному воздействию ЭМП и, хотя их негативное влияние не доказано, время этого воздействия, согласно СанПиН 1.2.3685, должно быть минимизировано;

– во-вторых, в отличие от пациентов, сотрудники и сопровождающие с большей вероятностью могут передвигаться по кабинету с высокой скоростью, попадая тем самым под действие быстро меняющегося магнитного поля. Рекомендации ICNIRP формализуют требования к скорости движения с учетом параметров поля, но, с практической точки зрения, под безопасной скоростью подразумевается значение порядка 0,25 м/с – медленный шаг.

Чтобы оценить воздействие постоянного и изменяющихся во времени (например, B_G) магнитных полей, проводились экспериментальные и модельные исследования. Их результаты показали, что у медицинских работников действительно бывают жалобы на временное возникновение некоторых неприятных симптомов при нахождении в постоянном магнитном поле. В большинстве случаев отмечались головокружения и металлический привкус во рту, которые напрямую были связаны с величиной индукции магнитного поля.

В другом исследовании удалось обнаружить статистически значимую разницу между числом сообщений о головных болях у работников кабинета МРТ и контрольной группы. То же относится к проблемам со сном в этих группах: достоверно чаще они возникают у персонала кабинетов МРТ. Кроме того, значительно чаще у работающих с МРТ (по сравнению с контрольной группой) отмечались миалгии, тахикардия, чрезмерная усталость, проблемы с концентрацией внимания, нервозность и боли в спине.

Примерами косвенных инцидентов, связанных с персоналом, стали случаи в кабинете МРТ, внесенные в базу FDA (Food and Drug Administration – Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов США). Так, в 2016 г. инженер обслуживающей организации получил тяжелое обморожение при заполнении системы гелием. Также описаны несколько случаев, связанных с ремонтными работами или монтажом оборудования, в результате которых инженеры получали средние и тяжелые повреждения из-за притягивания металлических деталей к магниту.

Заслуживает внимания и случай, произошедший в 2015 г. во время пожара в одном из медицинских центров США. Несмотря на многочисленные предупреждения, один из сотрудников, тушивших пожар и проверявших помещения, зашел в процедурную кабинета МРТ с огнетушителем и был травмирован из-за примагничивания оборудования. Все эти факты подтверждают необходимость ознакомления с правилами безопасности как непосредственно сотрудников кабинета МРТ, так и персонала других подразделений.

1.4. Обеспечение безопасности в кабинете магнитно-резонансной томографии

Кабинет МРТ должен соответствовать общим требованиям действующего законодательства и нормативной документации.

Так, контроль параметров электромагнитных полей и шумовых характеристик на рабочих местах проводится с целью обеспечения требуемых условий труда медицинского персонала и безопасности пациентов в соответствии требованиями санитарных норм и правил [5, 8, 9, 10].

В связи с этим при вводе МР-оборудования в эксплуатацию и в рамках технической паспортизации кабинетов МРТ проводится проверка наличия документации на кабинет МРТ, включая действующие протоколы испытаний параметров:

- акт ввода в эксплуатацию;
- технологический проект (ТП) кабинета МРТ;
- действующий договор на техническое обслуживание МР-оборудования;
- протокол проверки эффективности воздухообмена во всех помещениях кабинета МРТ;
- протокол проверки электробезопасности, состоящий из протокола проверки заземлителя, протокола проверки наличия цепей заземления и протокола проверки сопротивления изоляции проводов и кабелей;
- протокол проведения измерений уровней шума (измерения следует проводить во время МРТ-сканирования на рабочих местах персонала кабинета МРТ, во всех смежных помещениях);
- протокол исследований ЭМП во всех смежных помещениях и на рабочих местах персонала;
- протокол проверки (установления) *области контролируемого доступа* (ОКД) – определение границы зоны 0,5 мТл (может быть в составе протокола «Контроль эксплуатационных параметров аппаратов МРТ»).

Протоколы испытаний на соответствие перечисленным требованиям должны быть подготовлены аккредитованной организацией.

1.4.1. Проектирование кабинета магнитно-резонансной томографии

1.4.1.1. Технологический проект

ТП регламентирует размещение оборудования в структуре здания (строящемся или действующем). Размещение оборудования должно обеспечивать его функционирование (последовательность выполнения технологических процессов) при минимальной протяженности функциональных связей и максимальном уклонении от пересечения технологических и транспортных потоков.

Основу ТП составляет план производственных процессов – последовательность действий и операций, которые осуществляет персонал отделения лучевой диагностики (ОЛД) и через которые должен пройти пациент в процессе проведения МРТ-исследования.

ТП должен включать следующую информацию:

1. Планировочные и технологические решения:

- описание технологического процесса, включая планируемый штат и сменность персонала, а также максимальный поток пациентов;
- зонирование помещений и прилегающий территорий с обязательным выделением области контролируемого доступа;
- размещение оборудования;
- требования к отделке помещений;
- требования к микроклимату и вентиляции;
- требования к освещенности;
- требования по электроснабжению и электробезопасности;
- требования к пожарной безопасности;
- перечень проектных аварий и действий по их предотвращению;
- график обслуживания и ремонтных работ, включая требования к исполнителям;
- требования к допустимым уровням шума и вибраций на рабочих местах;
- требования к обеспечению доступа лиц с ограниченными возможностями и транспортировке малоподвижных пациентов (МПП);
- план вывода кабинета из эксплуатации.

2. Требования к системам:

- водоснабжение и водоотведение;
- отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха, тепловые сети;
- сети связи и передачи данных;
- медицинское газоснабжение.

Для подтверждения соответствия проектируемого кабинета к ТП следует приложить:

- чертежи с компоновкой помещений и технологического оборудования (план размещения оборудования) и спецификацию оборудования;
- том с описаниями (материалы, площади помещений, транспортные потоки, штатное расписание и т. д. с обоснованием);
- технические характеристики МР-томографа с указанием всех комплектующих элементов, включая их характеристики;
- перечень материалов по конструктивным и технологическим решениям (подтвержденные соответствующими расчетами или указанием данных производителя, например, эффективности экранирования, звукоизоляции), обеспечивающим безопасность медицинского персонала на рабочих местах и пациентов: в процедурной (комнате сканирования), ком-

нате управления и других смежных помещениях (по уровням постоянного магнитного поля и шума);

– документы по внутренней отделке помещений, которые подтверждают соответствие используемых материалов санитарно-эпидемиологическим требованиям и дают право на использование в МО;

– документы, подтверждающие обеспечение системой вентиляции нормативных параметров микроклимата и воздухообмена;

– документы, подтверждающие обеспечение нормативных уровней искусственной освещенности и коэффициента пульсации;

– требования к обеспечению электробезопасности.

При проектировании кабинета МРТ в строящемся здании МО данные требования передаются для разработки проектной документации здания.

1.4.1.2. Зонирование кабинета магнитно-резонансной томографии

Пространство кабинета МРТ условно разделяют на четыре зоны (рисунок 3):

– **зона I: за пределами кабинета МРТ** – не подвержена воздействию магнитных полей и не требует дополнительных действий, как при проектировании, так и в процессе эксплуатации кабинета;

– **зона II: переходная область**, в которой, как правило, располагаются подготовительные помещения, зона ожидания, раздевалки. В этой зоне должен проводиться контроль наличия ИМИ и других ферромагнитных объектов;

– **зона III: область**, нахождение в которой пациентов и персонала, не относящегося к кабинету МРТ, допустимо только после контроля, инструктажа и в сопровождении сотрудника кабинета. К этой зоне относятся: **комната управления, наркозная, место пребывания пациентов после сканирования**;

– **зона IV: процедурная** – помещение, в котором располагается МР-томограф. Эта зона должна быть ограничена предупреждающими знаками и оборудована средствами аудио- и видеосвязи*.

**Аудиосвязь осуществляется через переговорное устройство «оператор – пациент», которое может быть встроенным в МР-томограф или поставляться отдельно (должно быть МР-совместимым). Визуальный контакт с пациентом может осуществляться через смотровое окно. Дополнительная МР-совместимая система видеонаблюдения требуется только в случае, если расположение МР-томографа не обеспечивает визуального контроля за пациентом на протяжении всего исследования, либо если ее наличие оговорено в медико-техническом задании.*

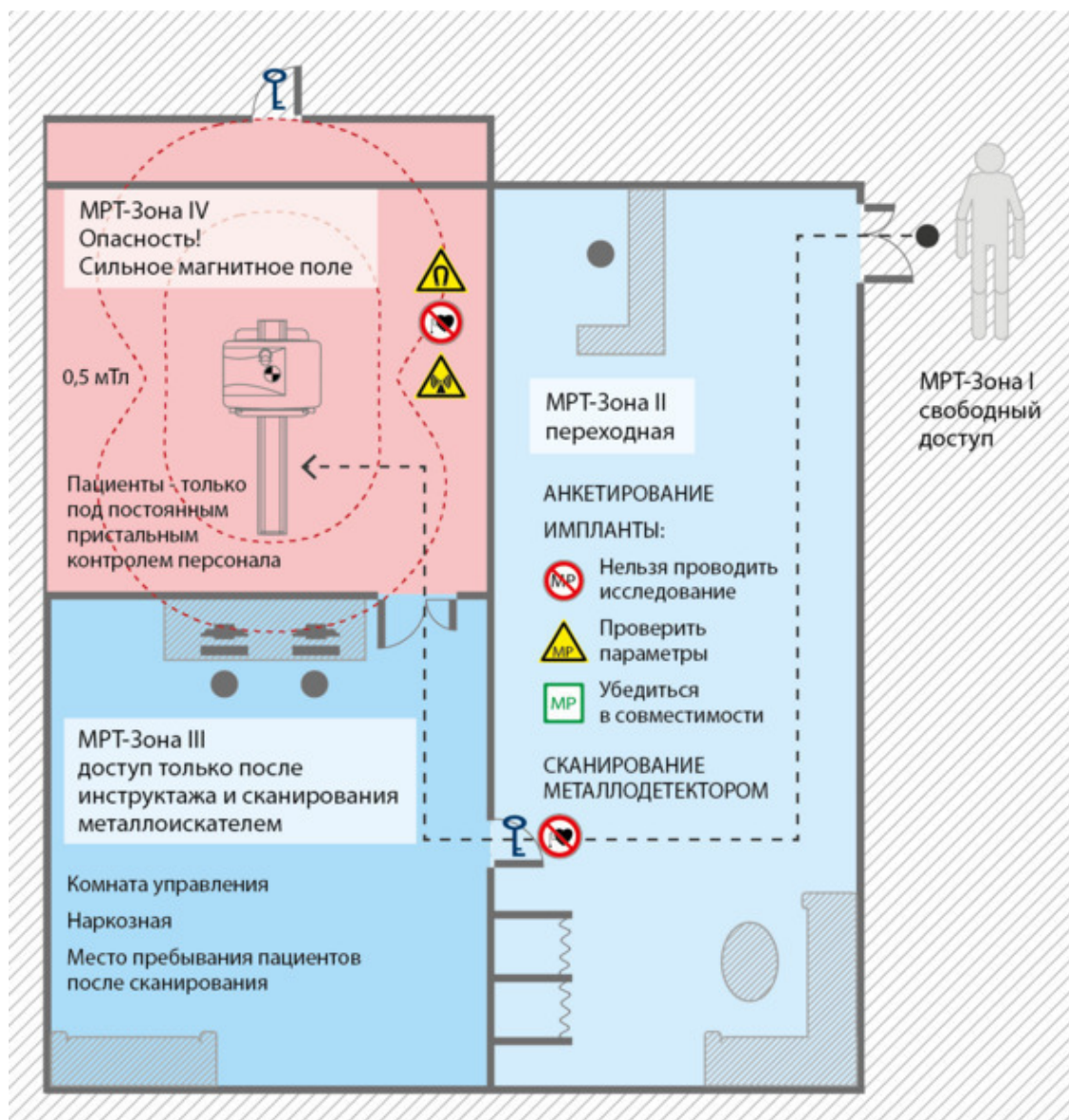


Рисунок 3 – Схема зонирования кабинета МРТ

Информация об ОКД должна быть предоставлена производителем оборудования в виде карты изолиний (рисунок 4). Доступ пациентов и персонала в ОКД, за исключением сотрудников кабинета МРТ, должен быть ограничен.



Рисунок 4 – ОКД

Таким образом, уровень риска как для пациентов, так и для персонала возрастает по мере приближения к процедурной кабинета МРТ и дополняется новыми факторами риска уже во время исследования.

Зонирование пространства должно выполняться на этапе проектирования помещений и корректироваться после монтажа МР-томографа и поднятия магнитного поля таким образом, чтобы не знакомый с техникой безопасности сотрудник или пациент не смог его нарушить (заблаговременно предупреждающие знаки и двери с автоматическими замками). Отдельные проверки и контроль доступа в каждую следующую зону – обязательное условие обеспечения безопасности в кабинете МРТ.

1.4.1.3. Выбор помещения

Кабинет МРТ, как правило, располагается на первом этаже изолированного отсека корпуса МО, в пристройке к нему или в подвальном помещении. При размещении на других этажах следует учитывать значительную массу МР-томографа (от 4 000 кг) и РЧ-кабины (клетки Фарадея), сопоставимой по массе, а также чувствительность оборудования к вибрациям, передаваемым на корпус системы. Это важно учитывать в расчете несущей способности межэтажных перекрытий с заданным запасом прочности и устойчивости самого здания. Для соблюдения требований производителя могут потребоваться дополнительные работы по укреплению конструкций.

Помещение для установки МР-томографа должно допускать возможность установки РЧ-кабины прямоугольной формы и необходимых размеров. Доставка и монтаж МР-оборудования могут потребовать дополнительных организационных мероприятий (таких как обеспечение подъезда трейлера, подъемного крана) и площадей, в том числе для временного хранения оборудования и материалов. Требования к данной части проекта следует уточнить у производителя, однако, как правило, необходимо помещение, которое имеет хотя бы одну внешнюю стену (для организации монтажного проема и заноса оборудования с улицы) или помещения, рядом с которым расположен широкий коридор (не менее 2,6 м) с достаточной несущей способностью пола на всем маршруте транспортировки МР-томографа внутри здания. При заносе МР-томографа через стену здания, как правило, необходимо сооружение ровной транспортной площадки достаточных размеров до уровня пола этажа, на котором устанавливается оборудование.

ОЛД не должно быть проходным для посетителей МО. Кабинеты МРТ не допускается размещать в жилых зданиях, а также в зданиях немедицинского назначения. Запрещается размещение кабинета МРТ под помещениями, из которых возможно протекание воды через перекрытие (бассейны, душевые, уборные и др.). Процедурную кабинетов МРТ не допускается размещать смежно (по горизонтали и вертикали) с палатами для беременных, детей и кардиологических больных.

При проектировании следует учитывать воздействие магнитных полей на иное оборудование (расположенное в смежных помещениях) в МО, что может привести к помехам при работе этого оборудования. Так, при монтаже МР-оборудования в местах, где магнитное поле с индукцией более 0,1—5,0 мТл может воздействовать на рентгеновские трубки, сцинтилляционные камеры, фотоумножители, усилители рентгеновского изображения (оговаривается в технической документации производителя), потребуется установка защитных экранов (согласно ГОСТ Р МЭК 60601-2-33). Кроме того, могут существовать ограничения величины индукции магнитного поля для гамма-камеры, компьютерного томографа, циклотрона, электронного микроскопа, ультразвукового сканера, масс-спектрометра [11]. Современные электроэнцефалографы и электрокардиографы достаточно помехоустойчивы и могут быть использованы вблизи МР-оборудования, однако пороговое значение индукции магнитного поля должно быть оговорено изготовителем данных приборов. При невозможности соблюдения требований по дистанцированию чувствительного к воздействию магнитных полей оборудования следует согласовать его перенос или выбрать другое помещение для кабинета МРТ.

При планировании пациентопотока необходимо учитывать возможность применения каталок/кресел для транспортировки МПП. С этой целью на пути движения МПП следует исключить значительные перепады уровня пола, такие как лестницы, ступени, порожки (возможна установка пандусов), использовать скосы углов, предусмотреть пространство для маневрирования и обеспечения беспрепятственного перемещения МПП, при необходимости обеспечить доступ к лифту.

Состав и требования к помещениям. Архитектурно-планировочные и конструктивные решения зданий и помещений для медицинской деятельности должны обеспечивать оптимальные условия для осуществления лечебно-диагностического процесса, соблюдения санитарно-эпидемического режима и условий труда медицинского персонала.

При проектировании помещений следует учесть, что МР-томограф устанавливается не в самом помещении процедурной, а в РЧ-кабине – замкнутой экранирующей камере, выполненной по принципу «комната в комнате».

РЧ-кабина, как правило, не учитывается в архитектурно-строительной части проекта, она либо поставляется в комплекте с МР-томографом, либо проектируется и выполняется специализированной организацией. Конструктивная высота помещения процедурной (от перекрытия до перекрытия) должна обеспечивать возможность установки РЧ-кабины (конкретное минимальное значение зависит от модели МР-томографа и производителя РЧ-кабины). Внутренняя высота РЧ-кабины (от чистого пола до подвесного потолка внутри нее) должна составлять не менее 2,6 м (для реконструируемых помещений некоторые производители допускают высоту не менее 2,4 м). Высота остальных помещений кабинета МРТ допускается также не менее 2,6 м. Ширина дверного проема в процедурной должна быть не менее 1,2 м в свету при высоте 2,0 м, ширина дверных проемов, через которые предполагается транспортировка МПП на каталках / функциональных кроватях – не менее 1,2 м, размер остальных дверных проемов – не менее 0,9 x 1,8 м.

Площадь процедурной определяется внутренними размерами РЧ-кабины для конкретного МР-томографа. При определении необходимых размеров помещения, в котором устанавливается РЧ-кабина, т.е. размеров между ограждающими конструкциями – между стенами с учетом выступающих колон, между перекрытиями с учетом ригелей – следует руководствоваться требованиями производителя, которые в свою очередь определяются размерами собственно оборудования, размерами сервисных зон, технологическими проходами между оборудованием, толщиной стен РЧ-кабины (как правило, 100 мм) и технологическим отступом стен РЧ-кабины от ограждающих конструкций (как правило, от 80 до 100 мм).

Комната управления должна быть отдельным помещением с естественным освещением.

С учетом специфики работы кабинета МРТ рекомендуется организация отдельного помещения/тамбура для перекладывания МПП на МР-совместимую каталку или кресло и сканирования на наличие металлических объектов. В случае использования ручного или рамочного ферромагнитного детектора (рисунок 5а) рекомендованная площадь такого помещения составляет не менее 6 м², а при использовании детектора стоечного типа (рисунок 5б) – 12 м².

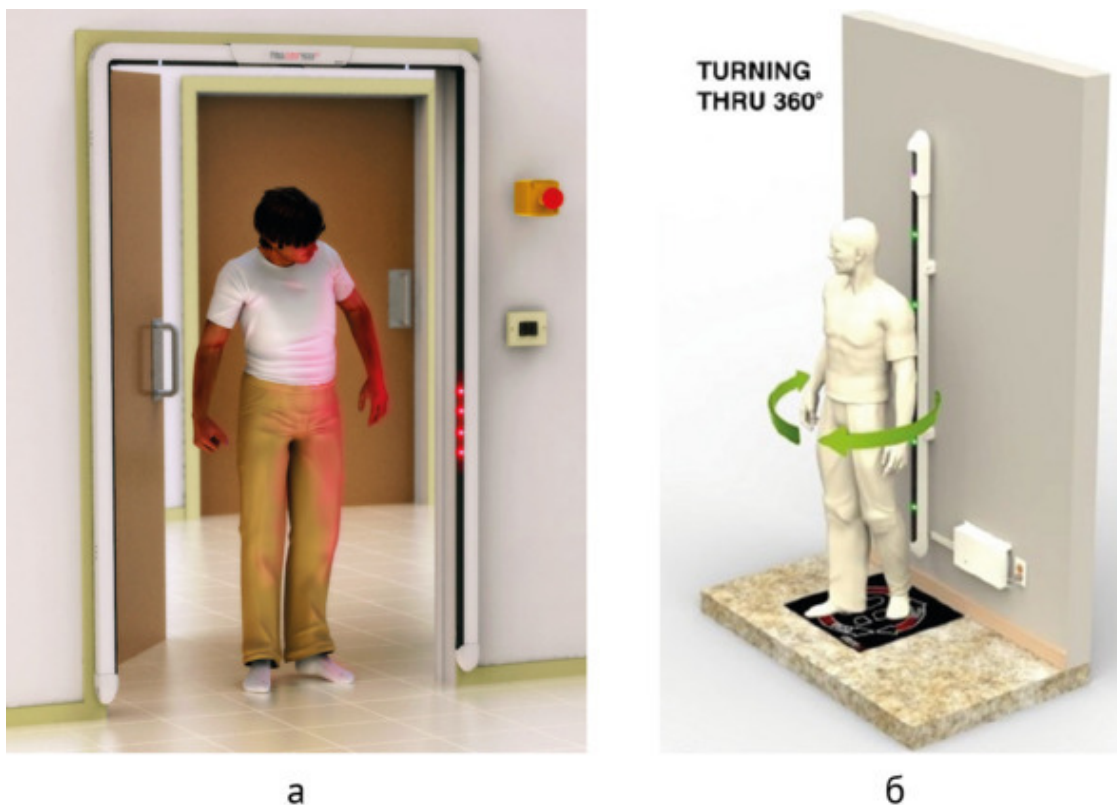


Рисунок 5 – Ферромагнитные детекторы: а – рамочного типа; б – стоечного типа

Число кабин для раздевания, по возможности, следует предусмотреть до 2—4, так как при большом пациентопотоке нехватка кабин может привести к задержкам в работе кабинета МРТ.

Для удобной транспортировки МПП пол во всех помещениях кабинета должен быть выровнен. Максимальная высота порогов составляет 5 мм, максимальный уклон – 6° или 10%.

В случае ограниченности пространства для выделения отдельной комнаты управления кабинета МРТ (например, при необходимости проектирования кабинета в функционирующей МО) допустима организация общей комнаты управления для МР-томографа и другого диагностического оборудования (МРТ + диагностическое рентгеновское оборудование, МРТ + КТ и т.д.). При этом стоит учитывать расположение ОКД кабинета МРТ в следующих случаях: при планировании потоков персонала, пациентов и оборудования смежного кабинета должен быть ограничен доступ в ОКД; при организации зонирования кабинета МРТ; при оценке требований по взаимному расположению МР-томографа и оборудования смежного кабинета; при организации технического обслуживания и пр.

В случае общей комнаты управления (смежной с рентгеновской процедурной) персонал кабинета МРТ должен быть отнесен к группе Б.

Смежное размещение двух МР-томографов допустимо только при соблюдении требований производителя, которые регламентируют, в том числе, минимальное расстояние и ориентацию МР-томографов, а также могут содержать запрет на смежное размещение МР-томографов.

Помимо требований нормативной документации, производители оборудования накладывают свои ограничения на габариты помещений. Однако существуют некоторые допущения (которые, тем не менее, не должны противоречить действующим нормативным документам):

– При недостаточной длине процедурной (вдоль предполагаемой оси Z* МР-томографа) возможно ограничение движения стола пациента. Для некоторых моделей это не является пре-

пятствием для работы МР-томографа, но делает невозможным проведение части исследований – например, МРТ-исследований всего тела. Кроме того, при этом могут быть ограничены проходы, что снизит удобство эксплуатации и обслуживания оборудования, поэтому требуется согласование с руководством МО и производителем.

**Принято использовать систему координат с нулем в изоцентре, осью X, направленной вертикально, оси Y и Z – взаимно перпендикулярны в горизонтальной плоскости, причем ось Z совпадает с главной осью гентри МР-томографа и направлена вдоль стола пациента при конфигурации МР-томографа закрытого типа.*

– При недостаточной ширине процедурной в некоторых случаях возможна установка МР-томографа по согласованию с производителем, однако может потребоваться монтаж второй двери в процедурную для обеспечения сервисных работ.

– Недостаточная высота потолка (в том числе местное понижение, например, из-за ригеля) также, в общем случае, не является препятствием для функционирования МР-томографа, если конфигурация не препятствует проведению сервисных работ. Следует отметить, что их трудоемкость в данных обстоятельствах может возрасти, поэтому требуется согласование с производителем.

– Процедурную и техническую комнату рекомендуется размещать смежно (оптимальный вариант, когда оба помещения не отделены друг от друга перегородкой и составляют единый строительный объем). Но в некоторых случаях возможно дистанцирование помещений (технической комнаты и процедурной). Однако это может привести к увеличению ресурсоемкости монтажных и пуско-наладочных работ. Максимальное возможное расстояние между помещениями, в случае расположения их не смежно, и требования на размеры проемов для прокладки коммуникаций необходимо запросить у производителя МР-томографа.

Электробезопасность. Электропитание МР-томографа должно быть осуществлено по отдельному фидеру (вводу), не связанному электрически с сетью МО и бытовыми сетями. Для предотвращения возникновения наводок все отдельные металлические части кабинета (например, подвесной потолок, монтажные приспособления) и другие не ферромагнитные металлические изделия в процедурной должны быть соединены с очагом заземления. Также необходимо изолировать движущиеся металлические компоненты друг от друга.

При этом любое оборудование, расположенное в помещениях, где установлены блоки МР-томографа, но не относящиеся к нему, должно быть согласовано с производителем и отражено в соответствующем разделе ТП (спецификация оборудования).

Любые портативные устройства должны быть непосредственно подключены к близрасположенному контактному разъему. В процедурной запрещено использование протяженных силовых кабелей.

Сопrotивление растекания заземлителя не должно превышать 2 Ом (если в описании на аппаратуру не оговорены меньшие значения, технический формуляр к ГОСТ Р 50571.28 в некоторых случаях допускает сопротивление заземлителя 2,5 Ом).

Кроме того, рекомендуется предусмотреть источник бесперебойного питания (ИБП) на всю МР-систему. В ряде случаев такой ИБП входит в комплект поставки МР-томографа (наличие ИБП следует уточнять для каждого конкретного проекта).

Вибрация. Вибрации здания могут оказывать влияние на стабильность магнитного поля и, как следствие, на качество получаемых изображений.

По спектру проявления вибрации могут быть разделены на когерентные и некогерентные.

К источникам *когерентных вибраций* зачастую относятся электродвигатели, системы вентиляции и др. Такие воздействия проявляются в виде артефактов изображений и могут быть легко устранены на стороне их источника (балансировка подвижных элементов или применение демпфирующих опор).

Некогерентные вибрации – импульсные и фоновые – обусловлены реакцией конструктивных элементов здания на внешнее воздействие (движение людей или автомобилей). В таком случае может потребоваться внесение изменений в конструкцию здания.

Требования по вибрации могут варьироваться в зависимости от модели МР-томографа и предоставляются его производителем. Поэтому в первую очередь при разработке проектной документации следует обратиться к спецификации на конкретное оборудование и выявить возможные несоответствия условий. В случае превышения допустимого уровня вибраций следует использовать другое помещение, также возможно внесение изменений в конструкцию здания по согласованию с соответствующими службами.

Требования к воздухообмену, освещенности, звукоизоляции, температуре и влажности в помещениях МРТ изложены в действующих санитарных правилах и нормах.

Влияние металлических объектов. Наличие металлических объектов в зоне действия ЭМП к нарушению однородности последних. Применительно к МРТ это означает снижение качества получаемых изображений и рост нагрузки на системы компенсации неоднородности поля. В некоторых случаях близость массивных ферромагнетиков может привести к невозможности компенсации неоднородности поля (шиммирования) и значительному снижению качества получаемых изображений.

В связи с вышесказанным при проектировании необходимо учитывать требования производителя к расстоянию до крупных подвижных и статических ферромагнитных объектов. Данные требования могут быть представлены в виде зависимости расстояния до подвижного объекта от его массы (рисунок 6) или максимальных допустимых значений концентрации ферромагнетика ($\text{кг}/\text{м}^3$, $\text{кг}/\text{м}^2$) и расстояний до изоцентра магнита вдоль осей.

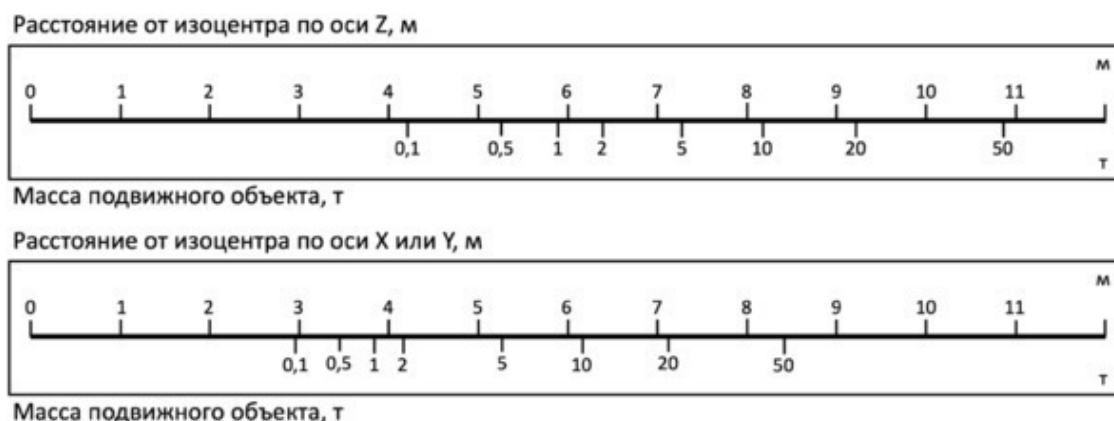


Рисунок 6 – Пример требований производителя МР-томографа с индукцией магнитного поля 3 Тл к минимальному расстоянию до подвижных ферромагнитных объектов

Соблюдение требований по наличию металлических объектов может потребовать применения дополнительных конструкций (например, для удаления МР-томографа от перекрытий) или демонтаж/перенос элементов здания. Поэтому в проектной документации обязательно должны быть указаны сведения не только о здании МО, но и о близлежащей территории (до 8 м от изоцентра МР-томографа) для подтверждения соответствия выбранных помещений заявленным производителем ограничениям, а также указания по ограничению проезда при наличии дорог.

Отметим также, что дополнительные металлические каркасы могут быть использованы при усилении несущей конструкции здания. В данном вопросе необходимо удовлетворение всех требований производителя, иначе нормальное функционирование МР-томографа будет невозможно.

Влияние трансформаторов, генераторов, силовых линий

Электрический ток, протекающий в трансформаторах, генераторах (электромоторах) и силовых линиях, является источником ЭМП и может оказывать влияние на однородность и стабильность магнитного поля МР-томографа. В результате качество получаемых изображений в значительной степени снизится. В связи с этим производители оборудования накладывают ограничения на минимальное расстояние от изоцентра магнита до таких объектов. В таблице 3 приведен пример подобных ограничений.

Таблица 3 – Пример ограничений на минимальное расстояние до источников ЭМП

Объект	Минимальное расстояние от изоцентра, м
Силовая линия 500 А	5
Трансформатор 650 кВА	10
Генератор (электродвигатель) 30 кВА	5

Источниками магнитных помех могут быть также другие МР-томографы и хирургические системы магнитной навигации.

Допустимые значения и возможность применения экранирования для конкретного МР-томографа следует выяснить у производителя.

Требования к внутренней отделке помещений. Поскольку РЧ-кабина устанавливается внутри процедурной по принципу «комната в комнате», постольку это накладывает специфические требования к отделке в таком помещении. В процедурной не укладываются шумоизолирующая стяжка пола и напольное покрытие. Вместо этого пол заливается бетоном, способным выдержать вес МР-томографа и РЧ-кабины, до необходимой отметки. Эта отметка, как правило, определяется относительно уровня чистого пола соседних с процедурной помещений и задается производителем РЧ-кабины. Требования к ровности и шероховатости бетонного покрытия также следует уточнять у поставщика РЧ-кабины. Конструктивная высота от верхнего края бетонного основания до низа верхнего перекрытия должна быть достаточной для монтажа РЧ-кабины. В помещении процедурной, как правило, не монтируется подвесной потолок. В пространстве над РЧ-кабиной не должно быть коммуникаций, не относящихся к МР-томографу (например, радиаторы отопления) из-за опасности протечек, возможности создания помех работе оборудования и сложности доступа для сервисного обслуживания.

Требования к материалам отделки общие для всех производителей МР-томографов и включают защиту от электростатики. Покрытие пола и внутренняя отделка должны быть антистатическими либо электрорассеивающими (в соответствии с СП 29.13330.2011). Все покрытия (включая стены и потолок) должны быть гладкими, легко очищаемыми и допускающими частое мытье и дезинфекцию. Применение искусственных покрытий и конструкций пола возможно при наличии на них заключения об их электробезопасности.

Возникновение электростатического разряда возможно в случаях:

- если два металлических объекта, находящихся в ЭМП, соприкасаются вследствие вибраций;
- при накоплении электростатического заряда проводником под действием потоков воздуха;
- при индуктивном или емкостном соединении двух проводников.

Для предотвращения электростатических разрядов необходимо:

- электрическое соединение всех проводящих частей РЧ-кабины и подключение их к общему заземлителю;
- изоляция всех подвижных металлических объектов.

Отдельные проводящие элементы могут не подвергаться указанным модификациям только в случае, если их крепление гарантированно не создаст участков с низким электрическим сопротивлением за время эксплуатации.

Требования к водоснабжению и канализации. В кабинете МРТ за пределами области контролируемого доступа предусматривается установка раковины с подводом холодной и горячей воды с обязательным «фартуком» из водоотталкивающего материала на стене за раковиной.

Для системы охлаждения МР-томографа, как правило, требуется подключение к водоснабжению и канализации. Задание на точки подключения дает производитель оборудования.

Не допускается прокладка трубопроводов водоснабжения и канализации таким образом, чтобы при их негерметичности жидкость попадала на РЧ-кабину.

Требования к сетям передачи данных. Как правило, современные МР-томографы позволяют осуществлять дистанционное сервисное обслуживание. Для этого требуется наличие высокоскоростного подключения к сети Интернет. Требования к характеристикам подключения к сети Интернет должны быть установлены производителем.

Вопросы интеграции МР-томографа в информационную систему медицинской организации должны решаться совместно профильными специалистами МО и производителя и не являются предметом ТП.

1.4.1.4. Монтажные работы

Подготовка к установке. На момент начала монтажных работ электроснабжение кабинета МРТ должно быть организовано по постоянной, а не по временной схеме.

При планировании монтажных работ следует согласовать обеспечение подъезда транспорта, подъемных устройств и организацию транспортной площадки до уровня пола этажа, на котором устанавливается оборудование. Как правило, на время работ требуется отдельное помещение для хранения элементов системы и вспомогательного оборудования.

Перед началом монтажных работ выполняется подготовка технических проемов, необходимых для размещения оборудования.

Остальные требования по организации заноса оборудования в здание и доставке его к месту установки следует уточнить у производителя.

РЧ-кабина. Для экранирования МР-томографа от внешних РЧ-помех и обеспечения нормального функционирования оборудования процедурная должна быть оснащена РЧ-кабиной.

Последовательность выполнения работ по монтажу оборудования может меняться, однако типовой порядок установки РЧ-кабины выглядит следующим образом:

- Подготовка помещения для установки РЧ-кабины:
 - демонтаж (при наличии) труб и радиаторов системы отопления, водопроводных и канализационных стояков, силовых и сигнальных кабелей;
 - внутренняя отделка других помещений (комнаты управления, технической);
 - перенос (при наличии) высоковольтных кабелей, идущих вдоль/над РЧ-кабиной;
 - подготовка монтажного проема в помещении.
- Монтаж пола и стен, а также монтажного проема в РЧ-кабине.
- Установка МР-томографа.
- Завершение работ по монтажу РЧ-кабины.

- Отделочные работы в процедурной.

Порядок работ следует согласовать со всеми исполнителями на этапе проектирования, так как проведение большинства из них невозможно при включенном магнитном поле.

Смотровое окно. РЧ-экранированное смотровое окно в процедурной должно обеспечивать беспрепятственный обзор пациента. В случае установки МР- томографа под углом к смотровому окну, требуется предусмотреть в проекте МР-совместимую видеокамеру, для наблюдения за пациентом.

Двери. Дверь в процедурную, по сути, является дверью в РЧ-кабину. Отдельная дверь в РЧ-кабину не устанавливается.

Рекомендуется планировать помещения таким образом, чтобы дверь в процедурную была одна. Данная дверь является самым «слабым» элементом РЧ-экранирования и, как правило проблемы с качеством экранирования связаны с износом ламелей двери. Дополнительная дверь в процедурной снижает качество экранирования, с течением времени данный эффект может усиливаться, приводя к ухудшению качества изображения.

Вход в процедурную должен располагаться так, чтобы исключить столкновение каталки, в случае переноса МПП, со столом пациента МР-томографа. Оптимальное расположение входа – когда каталка завозится параллельно или под острым углом к столу пациента. При перпендикулярном направлении движения каталки от входа в процедурную до стола пациента расстояние от двери до стола должно составлять не менее 2 м.

Дверь в процедурную должна открываться наружу для обеспечения возможности ее открытия при квенче. Это является обязательным требованием для вновь проектируемых объектов. В случае невозможности обеспечения открытия двери наружу для реконструируемых/перепрофилируемых помещений необходимо предусмотреть открывающийся наружу аварийный клапан (лючок) для выравнивания давления. Размещение данного клапана должно быть обозначено в ТП.

При размещении двери в процедурную вне комнаты управления необходимо обеспечить контроль доступа (в том числе визуальный) из комнаты управления.

В связи с необходимостью контроля доступа в кабинете МРТ зону III необходимо оборудовать дверью с замком. При этом должны быть выполнены следующие требования:

- возможность автоматического (по сигналу пожарной автоматики), дистанционного (из помещения пожарного поста) и ручного открывания дверей;
- переключение на ручное управление с возможностью блокировки в открытом состоянии для беспрепятственного выхода на путь эвакуации;
- способ открывания дверей должен быть легкодоступен и четко обозначен.

Подвод медицинских газов. Использование медицинских газов в кабинете МРТ может включать, но не ограничиваться подводом кислорода, азота и других газов в процедурную, и определяется медико-техническим заданием. Также следует учитывать необходимость подвода вакуума для некоторых типов МР-совместимого дополнительного оборудования (например, аппарата искусственной вентиляции легких).

Газопроводы медицинских газов должны быть гальванически изолированы от РЧ-кабины. Место прохождения и способ подключения газовых линий необходимо согласовать с производителем РЧ-кабины.

Подвод газов внутри РЧ-кабины должен осуществляться трубопроводами или шлангами из немагнитных материалов. Допускается использование только МР-совместимого оборудования, в том числе газовых розеток.

В связи с тем, что отключение сверхпроводящего магнита – длительный и ресурсоемкий процесс, подвод медицинских газов следует предусмотреть еще на этапе проектирования кабинета МРТ. При этом предусматривается модификация РЧ-кабины, установка дополнительных фильтров и разводка газовых линий в процедурной.

Вывод квенч-трубы. Квенч – процесс выброса низкотемпературного газообразного гелия из системы охлаждения сверхпроводникового магнита. Он может произойти из-за неисправности или при аварийном отключении магнита нажатием соответствующей кнопки – «квенч-кнопки».

При этом происходит быстрое (порядка 20 с) повышение температуры гелия, преобразование его из жидкого состояния в газообразное и, как следствие, – резкое увеличение его объема и выброс из «бочки магнита» в трубу выброса гелия (рисунок 7). Длина факела газообразного гелия при выбросе зависит от модели МР-томографа и может достигать 11 м. При этом часть газообразного гелия может заполнять процедурную, что приводит к охлаждению предметов вблизи магнита, образованию дымки, вытеснению воздуха из процедурной.



Рисунок 7 – Выброс гелия при квенче

Для обеспечения безопасности при квенче кабинет МРТ оснащается аварийным газоотводным каналом с его удалением за пределы здания МО (рисунок 8). Ошибки при проектировании данного канала могут привести к следующим последствиям:

- причинению вреда здоровью в результате выброса гелия (асфиксия вследствие снижения парциального давления кислорода и переохлаждение) – при отсутствии необходимых ограждений и предупреждающих знаков вблизи вывода;

- повреждению оборудования (вплоть до критических, таких как разрыв бочки и повреждение здания) – при неправильном монтаже канала.

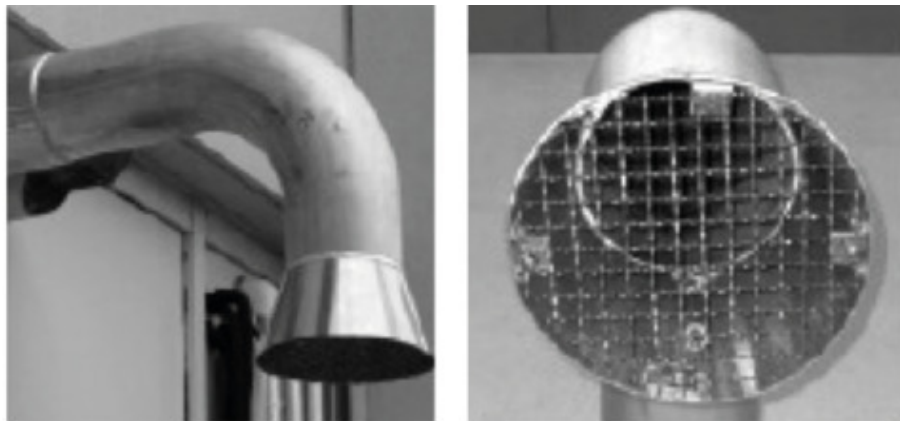


Рисунок 8 – Аварийный газоотводный канал

Требования к выполнению аварийного газоотводного канала в значительной степени варьируются в зависимости от модели МР-томографа и его расположения включают, но не ограничиваются следующим перечнем:

- материал, диаметр и толщина стенки трубы (как правило, могут применяться алюминиевые трубы или трубы из нержавеющей стали с диаметром до 400 мм, в зависимости от конфигурации);

- максимальное давление, которое выдерживает труба;

- исполнение швов (гофрированные и спиральные трубы не допускаются) и точек крепления;

- исполнение шахты для прокладки трубы (совместная прокладка квенч-трубы в одной шахте с другими коммуникациями недопустима);

- теплоизоляция при прокладке внутри здания;

- исполнение вывода (длина, угол наклона, защита от попадания посторонних предметов, осадков, защита окружающих поверхностей и пр.);

- расстояния до открывающихся окон, дверей, входов приточной вентиляции;

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «Литрес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на Литрес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.