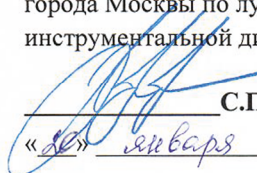


**ПРАВИТЕЛЬСТВО МОСКВЫ  
ДЕПАРТАМЕНТ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ ГОРОДА МОСКВЫ**

**СОГЛАСОВАНО**

Главный внештатный специалист  
Департамента здравоохранения  
города Москвы по лучевой и  
инструментальной диагностике

  
С.П. Морозов  
«05» января 2020 г.

**УТВЕРЖДЕНО**

Экспертным советом по науке  
Департамента здравоохранения  
города Москвы №

  
«01» января 2020 г.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО БЕЗОПАСНОСТИ  
ПРОВЕДЕНИЯ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ ДЛЯ  
РЕНТГЕНОЛАБОРАНТОВ**

Методические рекомендации № 4

Основана в 2017 году

### **Организация-разработчик:**

Государственное бюджетное учреждение здравоохранения города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы»

### **Составители:**

**Сергунова К. А.** – к.т.н., руководитель отдела инновационных технологий ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

**Семенов Д. С.** – научный сотрудник сектора стандартизации и контроля качества ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

**Васильев Ю. А.** – к.м.н., начальник кабинета МРТ-центра лучевых методов диагностики ФКУЗ «ГКГ МВД России», старший научный сотрудник отдела разработки средств контроля и технического мониторинга ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

**Ахмад Е. С.** – начальник сектора стандартизации и контроля качества ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

**Петряйкин А. В.** – к.м.н., ведущий научный сотрудник сектора стандартизации и контроля качества ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

**Кудрявцев Н. Д.** – младший научный сотрудник сектора стандартизации и контроля качества ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

**Панина Е. В.** – заведующий отделом развития лабораторного дела в лучевой диагностике ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

**Трофименко И. А.** – к.м.н., заведующий учебным Центром ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

**Владимирский А. В.** – д.м.н., заместитель директора по научной работе ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

**Морозов С. П.** – д.м.н., профессор, главный внештатный специалист по лучевой и инструментальной диагностике ДЗМ и Минздрава России по ЦФО РФ, директор ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

М 54 Методические рекомендации по безопасности проведения магнитно-резонансной томографии для рентгенолаборантов / сост. К. А. Сергунова, Д. С. Семенов, Ю. А. Васильев [и др.] // Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». – Вып. 43. – М.: ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», 2020. – 44 с.

### **Рецензенты:**

**Ремизов Николай Васильевич** – к.м.н., врач-рентгенолог высшей категории, заведующий рентгенологическим отделением ГБУЗ «ГКБ № 17 ДЗМ»

**Троян Владимир Николаевич** – д.м.н., профессор, начальник центра лучевой диагностики, главный рентгенолог ФГБУ «ГВКГ им. Н. Н. Бурденко» Минобороны России

Методические рекомендации предназначены для рентгенолаборантов отделений лучевой диагностики и содержат современные рекомендации по вопросам безопасного проведения магнитно-резонансной томографии пациентам, в том числе пациентам с металлоконструкциями; также описан порядок действий при возникновении внештатной ситуации.

*Данный документ является собственностью Департамента здравоохранения города Москвы, не подлежит тиражированию и распространению без соответствующего разрешения*

© Департамент здравоохранения города Москвы, 2020

© ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», 2020

© Коллектив авторов, 2020

## СОДЕРЖАНИЕ

Нормативные ссылки.....	4
Обозначения и сокращения.....	5
Введение.....	6
1. Обеспечение безопасности пациентов при проектировании кабинета магнитно-резонансной томографии.....	8
1.1. Карта изолиний индукции магнитного поля. Область контролируемого доступа. Предупреждающие и запрещающие знаки, ограждения.....	8
1.2. Зонирование пространства медицинской организации (МО) при размещении магнитно-резонансного томографа.....	9
2. Типы имплантируемых медицинских изделий, их маркировка, общие требования безопасности.....	12
2.1. Типы имплантируемых медицинских изделий по функционированию.....	12
2.2. Группы имплантируемых медицинских изделий по МР-совместимости.....	13
3. Порядок проведения исследований пациентов.....	15
3.1. Общий порядок проведения магнитно-резонансного исследования.....	15
3.2. Особенности проведения сканирования лицам в бессознательном состоянии.....	19
3.3. Действия при обнаружении имплантата во время исследования.....	20
3.4. Варианты уменьшения удельного коэффициента поглощения.....	21
3.5. Возможные артефакты от имплантатов и инородных тел.....	22
3.6. Возможные пути уменьшения артефактов на изображении от объектов в поле сканирования.....	25
4. Действия при возникновении внештатной ситуации.....	27
Заключение.....	30
Список использованных источников.....	31
Приложение А.....	33
Приложение Б.....	35
Приложение В.....	36
Приложение Г.....	37
Приложение Д.....	38

## НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящем документе использованы ссылки на следующие нормативные документы (стандарты):

1. 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.

2. ГОСТ Р ИСО 14630-2017. Имплантаты хирургические неактивные. Общие требования.

3. ГОСТ Р ИСО 14708-1-2012. Имплантаты хирургические. Активные имплантируемые медицинские изделия. Часть 1. Общие требования к безопасности, маркировке и информации, предоставляемой изготовителем.

4. ГОСТ Р ИСО 14708-3-2016. Имплантаты для хирургии. Активные имплантируемые медицинские изделия. Часть 3. Имплантируемые нейростимуляторы.

5. ГОСТ Р ИСО 14708-4-2016. Имплантаты для хирургии. Активные имплантируемые медицинские изделия. Часть 4. Имплантируемые инфузионные насосы.

6. ГОСТ Р ИСО 14708-7-2016. Имплантаты для хирургии. Активные имплантируемые медицинские изделия. Часть 7. Частные требования к системам кохлеарной имплантации.

7. ГОСТ Р ИСО 25539-2-2012. Имплантаты сердечно-сосудистые. Внутрисосудистые имплантаты. Часть 2. Сосудистые стенты.

8. 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».

## ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

**ИД** – имплантируемый кардиовертер-дефибриллятор

**ИМИ** – имплантируемые медицинские изделия

**МО** – медицинская организация

**МР** – магнитно-резонансный

**МРТ** – магнитно-резонансная томография

**ОКД** – область контролируемого доступа

**ПДУ** – предельно допустимый уровень

**ПНС** – периферическая нервная система

**РЧ** – радиочастотный

**УКП** – удельный коэффициент поглощения

**ЭКС** – электрокардиостимулятор

**ЭМП** – электромагнитное поле

**ACR** – Американский колледж радиологов (American College of Radiology)

## ВВЕДЕНИЕ

Магнитно-резонансная томография (МРТ) – один 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.

В основе МРТ лежит явление резонансного поглощения радиочастотной электромагнитной энергии веществом, находящимся во внешнем постоянном магнитном поле. Получение двумерных МР-изображений осуществляется путем передачи и регистрации радиочастотного (РЧ) сигнала от исследуемого объекта при включенных в тот или иной период времени градиентных магнитных полей. Каждая импульсная последовательность представляет собой различные вариации временных диаграмм градиентных магнитных и РЧ импульсов.

При нахождении в кабинете МРТ на пациента непрерывно действует постоянное магнитное поле. Во время проведения МР-исследования пациент также подвергается воздействию переменного во времени и пространстве (градиентного) магнитного поля и РЧ-импульсов. Взаимодействие тела пациента с указанными полями может привести к нежелательным биологическим эффектам.

Для исключения ситуаций, когда данные эффекты могут представлять опасность для пациента и медицинского персонала, необходимо понимание физических основ таких процессов и методов предупреждения и ограничения рисков.

Для классификации эффектов воздействия полей, создаваемых МРТ, на человека удобно рассматривать деление на прямые и косвенные [5].

Прямые биоэффекты – эффекты, связанные с непосредственным воздействием ЭМП на тело человека, находящегося в кабинете МРТ:

- температурные эффекты, такие как нагрев тканей, вызванный поглощением энергии ЭМП;
- нетемпературные эффекты, такие как стимуляция мышц, нервов, органов чувств. Например, стимуляция органов чувств может привести к таким временным симптомам, как головокружение или появление зрительных эффектов в виде вспышек света (магнитофосфенов).

Косвенные эффекты – эффекты, которые возникают при взаимодействии объектов из ферромагнитных – железо, никель, кобальт, некоторые сплавы редкоземельных металлов (как, например, в неодимовых магнитах), материалов с создаваемыми в ЭМП полями и могут стать причиной угрозы жизни или здоровью людей:

- воздействие на медицинское электронное оборудование и приборы, например, на активные ИМИ или передвижные кардиомониторы;
- притяжение объектов из ферромагнитных материалов;
- акустический шум;

– прочие (возгорание, поражение электрическим током, аварийные ситуации, связанные с нарушениями в работе охлаждающей системы и др.).

Целью данных рекомендаций является рассмотрение основных вопросов, связанных с безопасным проведением магнитно-резонансного исследования, противопоказаниями и рисками, в том числе при сканировании пациентов с имплантированными медицинскими изделиями (ИМИ), а также контролем состояния пациента до и во время исследования. Соблюдение приведенных в данных рекомендациях правил позволит обеспечить безопасность медицинского персонала, пациентов, а также других людей, которые каким-либо образом могут быть подвержены опасности при работе магнитно-резонансного томографа.

# 1. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПАЦИЕНТОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ КАБИНЕТА МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ

## 1.1. Карта изолиний индукции магнитного поля.

### Область контролируемого доступа.

### Предупреждающие и запрещающие знаки, ограждения

Величина индукции постоянного магнитного поля в кабинете магнитно-резонансной томографии (МРТ)<sup>1</sup> распределена неравномерно. Максимальное значение постоянного магнитного поля достигается в изоцентре (внутри гентри) томографа, при отдалении от этой точки величина индукции (соответственно, и сила его воздействия) уменьшается, что фиксируется на картах изолиний индукций магнитного поля, создаваемого конкретным МР-томографом. На рисунке 1 приведен пример карты изолиний для томографа с продольным полем.

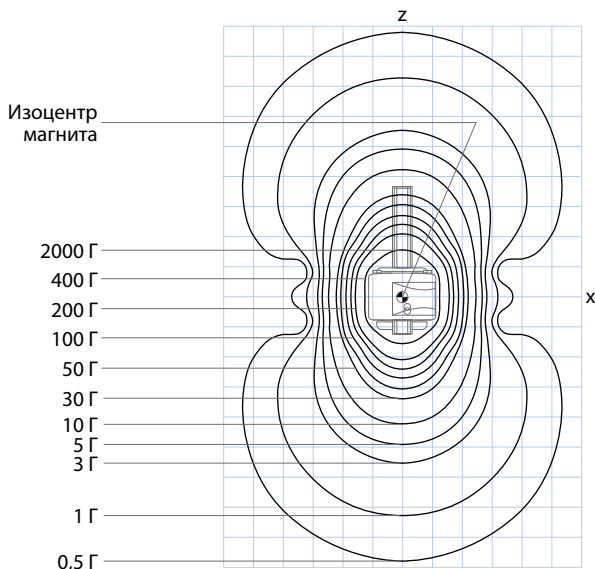


Рисунок 1 – Пример карты изолиний индукции магнитного поля МР-томографа, индукция магнитного поля выражена в Гауссах, Гс, Г. 10 000 Гаусс = 1 Тесла

<sup>1</sup> Здесь и далее под кабинетом МРТ понимается структурное подразделение, в рамках которого проводятся магнитно-резонансные исследования. Это может быть как часть отделения лучевой диагностики, так и самостоятельное подразделение.



Особый интерес представляет изолиния с индукцией магнитного поля 0,5 мТл (5 Гс). Пространство вокруг МР-томографа, ограниченное данной линией, называется областью контролируемого доступа (ОКД).

ОКД ограничивают соответствующими предупреждающими знаками [2, 5], указывающими на присутствие магнитных полей и действие сил притяжения или вращающего момента на ферромагнитные материалы (приложение А). Если ОКД (изолиния – 0,5 мТл) выходит за границу кабинета МРТ, необходимо ограничить нахождение людей внутри этой области соответствующими конструкциями (перегородками, дверьми и пр.) и предупреждающими знаками (рис. 2).

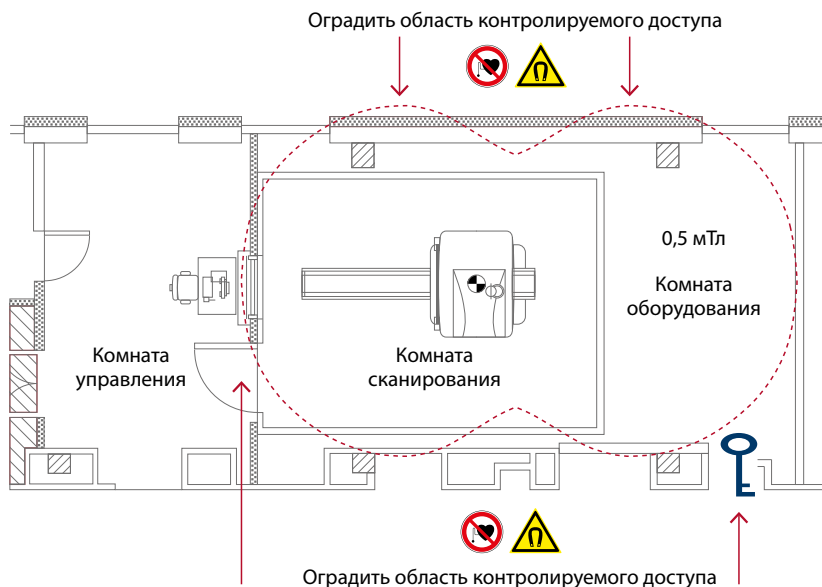


Рисунок 2 – Схема расположения области контролируемого доступа

## 1.2. Зонирование пространства медицинской организации (МО) при размещении магнитно-резонансного томографа

Помимо непосредственного ограничения входа в область с индукцией магнитного поля более 0,5 мТл, существует рекомендация использовать принцип зонирования пространства вокруг МР-томографа [1, 4]. Пространство кабинета МРТ в зависимости от степени взаимодействия магнитных полей с помещенными в них объектами (ферромагнетиками, электротехническими изделиями и т.д.), назначением помещений, входящих в его состав, а также квалификацией работающего внутри персонала следует концептуально делить на 4 зоны (рис. 3).

Зона I (область за пределами кабинета МРТ): область свободного пребывания пациентов, медицинского персонала и других сотрудников МО. Перемещение внутри этой зоны не требует контроля со стороны медицинского персонала. Относится к территории общепользовательского доступа.



Рисунок 3 – Схема зонирования пространства кабинета МРТ

Зона II (переходная область): представляет собой границу раздела области свободного пребывания (зоной I) и находящимися под строгим контролем зонами III и IV. Внутри данной области, как правило, располагаются подготовительные помещения: холл (помещение для ожидания), санузел, раздевалка и

прочее. Во время пребывания в зоне II пациентам, находящимся под наблюдением медицинского персонала, требуется заполнить анкету-опросник, представить врачу информацию о наличии имплантированных медицинских изделий и требований к ним в условиях действия электромагнитных полей, а также снять с себя все металлические предметы.

Зона III – область, попадание в которую без проведения процедуры сканирования с помощью металлоискателя может привести к серьезным повреждениям и даже смертельному исходу вследствие взаимодействия имплантированных медицинских изделий или ферромагнитных объектов с постоянным магнитным полем. В связи с этим зона III должна находиться под жестким контролем медицинского персонала. Данное пространство требуется физически оградить от зоны II, например, с помощью электронного дверного замка или любым другим надежным способом. Свободный доступ в данную область разрешается только специально обученному персоналу кабинета МРТ. Остальные сотрудники МО перед попаданием в данную зону должны пройти соответствующий инструктаж и процедуру сканирования. Зона III, как правило, включает в себя место пребывания пациента после сканирования и тестирования, наркозную, комнату управления, вестибюль с переходом в зону IV и прочее.

Зона IV представляет собой пространство, где находится МР-томограф, и, как правило, совпадает с комнатой сканирования (процедурной). Зона IV, по определению, всегда располагается внутри зоны III. Перед входом в зону IV должны размещаться предупреждающие и запрещающие знаки (допустимо также выполнение разметки красного цвета на полу, см. приложение А), так как она является потенциально опасной из-за наличия сильного магнитного поля. Пребывание пациента или персонала, не работающего в кабинете МРТ, должно контролироваться сотрудниками кабинета МРТ с помощью аудио- и видеосвязи.

## **2. ТИПЫ ИМПЛАНТИРУЕМЫХ МЕДИЦИНСКИХ ИЗДЕЛИЙ, ИХ МАРКИРОВКА, ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ**

### **2.1. Типы имплантируемых медицинских изделий по функционированию**

Все существующие на сегодняшний день имплантируемые медицинские изделия могут быть разделены на две основные группы: пассивные и активные.

#### **2.1.1. Пассивные имплантируемые медицинские изделия**

К пассивным (неактивным) имплантируемым медицинским изделиям относятся «имплантаты, работа которых не зависит от электрической энергии или любого другого источника энергии, за исключением силы тяжести или энергии, непосредственно генерируемой телом человека» [18]. В данную категорию попадают ортопедические протезы (тазобедренные, коленные стержни, винты), искусственные клапаны сердца и кардиоваскулярные протезы, нейрохирургические и сосудистые клипсы, стенты, катетеры и прочее.

Пассивные имплантаты могут представлять собой комплекс составных частей. Например, при эндопротезировании тазобедренного сустава могут имплантировать следующие компоненты: искусственная вертлужная впадина, вкладыш, головка эндопротеза, ножка эндопротеза, стержни и винты. Появление биологических эффектов при МР-исследовании – нагрева и перемещения посредством действующих на объекты сил и моментов – зависит от материалов, из которых изготовлены изделия.

#### **2.1.2. Активные имплантируемые медицинские изделия**

Активные имплантаты представляют собой «имплантаты, функционирующие за счет электрической энергии или любого другого источника энергии, за исключением сил гравитации или энергии, непосредственно генерируемой телом человека» [19]. Эта категория включает в себя кардио- и нейростимуляторы, водители ритма (пейсмейкеры), инсулиновые помпы и прочее.

Особое внимание стоит уделить электрокардиостимуляторам. ЭКС – это медицинский прибор, предназначенный для воздействия на ритм сердца. Для обеспечения полноценной работы ритма сердца в составе ЭКС предусмотрены две основных части: блок ЭКС и электрод. Блок ЭКС включает три компонента: батарею, электронную схему и соединительный блок. Электрод – изолированный провод, связанный с ЭКС, который несет электрический импульс от аппа-

рата к сердцу и передает информацию относительно естественной активности сердца обратно в ЭКС.

В настоящее время известно более 100 моделей ЭКС. Тип электрокардиостимулятора, выбираемый для имплантации, зависит от заболевания, сопутствующей патологии, физических свойств сердца и активности образа жизни пациента.

## **2.2. Группы имплантируемых медицинских изделий по МР-совместимости**

По результатам испытаний, проводимых при помощи фантомов, имплантируемое медицинское изделие относят к одной из трех групп с указанием соответствующих символов на маркировке и в сопроводительных документах (таблица 1):

- МР-безопасные (MR-safe). К ним относятся имплантаты, являющиеся безопасными при работе в пространстве с максимальным значением индукции магнитного поля, создаваемого для проведения клинических МР-исследований, или изготовленные из безопасных с точки зрения взаимодействия с магнитным полем материалов (пластик, силикон, стекло и прочее);

- МР-совместимые при определенных условиях (MR-conditional). Данные имплантаты считаются безопасными при условии непревышения максимально допустимых значений параметров сканирования (величины индукции магнитного поля (Тл), амплитуды градиентов (Тл/м), скорости нарастания градиентов (Тл/м/с), удельного коэффициента поглощения (Вт/кг), длительности сканирования (с));

- МР-небезопасные (MR-unsafe), которые могут представлять опасность при работе в МР-пространстве.

- Согласно нормативным документам, каждый имплантат должен быть снабжен инструкцией по эксплуатации (руководством пользователя), включающей в себя данные по безопасности и совместимости с МРТ [18–23]. Информация об МР-совместимости имплантата должна быть предоставлена пациенту после хирургического вмешательства в виде сопроводительной документации по форме, согласно приложению В, и/или указана в выписном эпикризе, а также в виде соответствующей записи в истории болезни. Эти документы следует запросить до принятия решения о проведении исследования и передать полную информацию врачу-рентгенологу, чтобы он принял решение о возможности проведения исследования.

Таблица 1 – Классификация ИМИ по МР-совместимости

Условное обозначение	Наименование	Примечание
	МР-безопасные	Не представляют опасности при работе в МР-пространстве
	(МР-совместимые при определенных условиях (MR-conditional))	Являются безопасными при соблюдении следующих требований: <ul style="list-style-type: none"> <li>– индукция постоянного магнитного поля не более ___ Тл;</li> <li>– максимальное значение градиента магнитного поля не более ___ Тл/м;</li> <li>– максимальный удельный коэффициент поглощения при сканировании не более ___ Вт/кг;</li> <li>– время сканирования не более ___ мин.</li> </ul>
	МР-небезопасные (MR-unsafe)	Представляют потенциальную опасность при работе в МР-пространстве

Следует обратить внимание на то, что на сегодняшний день не только пассивные имплантаты, но и часть активных имплантируемых медицинских изделий относятся к МР-совместимым при определенных условиях.

### 3. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПАЦИЕНТОВ

В целях обеспечения безопасности как пациентов, так и медицинского персонала важно руководствоваться правилами охраны труда, составление которых возможно по рекомендациям [13]. Краткий порядок проведения исследований пациентов для рентгенолаборанта представлен в приложении Д.

#### 3.1. Общий порядок проведения магнитно-резонансного исследования

1. Проверка наличия предыдущих исследований.
2. Идентификация пациента.

Необходимо запросить страховой полис для корректной идентификации пациента. Это особенно важно для пациентов со сниженным уровнем сознания разной степени выраженности и/или под действием анестезии, детей, глухих пациентов, пациентов с умственными проблемами.

3. Успокоение и объяснение.

Персонал должен описать исследование пациенту, включая последовательность действий и примерную продолжительность. Проспекты и другой информационный раздаточный материал о процедурах МРТ, в том числе копии анкет-опросников, должны быть доступны всем пациентам до МР-исследования.

4. Определение параметров пациента.

Агентство по медицине и лекарственным средствам Великобритании (Medicines and Healthcare products Regulatory Agency, MHRA) рекомендует измерять рост и определять вес пациента перед сканированием. Это необходимо для соблюдения требований производителя и увеличения точности определения УКП.

5. Информирование и опрос пациента перед исследованием.

Первое интервью пациента проходит при направлении на МР-исследование. Вопросы касаются наличия имплантатов и беременности. Во время нахождения пациента в зоне II необходимо попросить его заполнить анкету-опросник. В случае возникновения вопросов персоналу кабинета МРТ следует дать соответствующие разъяснения. После заполнения анкеты-опросника пациенту необходимо поставить свою подпись.

Должна быть установлена процедура для пациентов, которые неспособны заполнить анкету-опросник или находятся в бессознательном состоянии, например, вследствие анестезии или черепно-мозговой травмы. В данном случае необходимо учесть возможность получения рентгеновского снимка, проведения проверки наличия ИМИ или швов в области спины и груди, которые могут быть связаны с установкой имплантата. Также дополнительную информацию по наличию ИМИ можно получить от сопровождающих пациента лиц.

Приведенную выше процедуру требуется проводить при каждом посещении кабинета МРТ пациентом, даже если у пациента уже имеется предыдущее МР-исследование.

Анкета-опросник должна быть удобной для чтения и включать следующие вопросы:

- Описание состояния пациента: недавно и ранее перенесенные хирургические операции, беременность, грудное вскармливание, лечение, изменение терморегуляторной функции, повышение температуры тела более 38,0 °С, нарушение дыхания, наличие аллергии на лекарства и/или контрастные вещества и др.

- Наличие имплантируемых медицинских устройств: кардиостимуляторов, кардиовертер-дефибрилляторов, клапанов сердца, инфузионных помп, кохлеарных имплантатов, нейростимуляторов, программируемых шунтов при гидроцефалии, аневризматических клипс, глазных имплантатов, протезов суставов и др.

- Наличие металлических объектов в теле пациента: пуль, поражающих элементов, осколков или других фрагментов; пирсинга; на теле пациента: шпильки, украшений, бюстгалтеров, слуховых аппаратов, очков, макияжа, татуировок, чрескожных пластырей; на одежде пациента – металлических элементов.

- Наличие и срок беременности. На данный момент отсутствуют доказательства вредного влияния МР-исследования на здоровье женщины или плода, однако, рекомендуется проводить сканирование только при явных клинических показаниях [15, 16] и только во втором и третьем триместрах [4].

В результате анкетирования могут быть выявлены причины отказа от проведения исследования или корректировки его условий (так, грудное вскармливание накладывает ограничения на использование контрастных препаратов, а температура тела – на параметры сканирования и уровень контроля), поэтому следует сообщать врачу о любых отклонениях от нормы. Пример анкеты-опросника приведен в методических рекомендациях «Регламент работы отделений (кабинетов) компьютерной и магнитно-резонансной томографии» [12].

О наличии ИМИ следует сообщить врачу-рентгенологу. Он должен принять решение о возможности и условиях проведения исследования. Кроме того, важно до входа пациента в зону III идентифицировать наличие металлических предметов (ювелирные изделия, украшения для волос (шпильки, заколки), дентальные имплантаты (зубные протезы, вставные челюсти), слуховые аппараты, очки, часы, сотовые телефоны, одежда с металлическими крепежными деталями, застёжками) у пациента и оставить их на хранение вместе с намагнитченными банковскими и другими картами, персональными электронными устройствами.

Непосредственно перед входом в зону III персоналу кабинета МРТ рекомендуется также визуально и устно проверить пациента. В дополнение к опросу рекомендуется использовать ферромагнитные детекторные системы [4].



#### 6. Подготовка пациента.

Сканирование пациента, одетого в одежду с проводящими волокнами, может в результате привести к ожогам пациента. Пациенту рекомендуется переодеться в подходящую одежду для обеспечения безопасности и предотвращения артефактов на изображении. Материал и конструкция такой одежды не должны содержать металлических волокон, этикеток, карманов, пуговиц или застежек, препятствующих теплообмену. Не допускается сканирование пациента во влажной одежде. Рекомендуется просторная хлопчатобумажная одежда, применение одежды из синтетических материалов нежелательно (статическое электричество и возможные артефакты).

#### 7. Психологическая подготовка (клаустрофобия).

Доступное пространство в области магнита с или без радиочастотных катушек может быть ограниченным. В случае наличия страха или чувства тревоги рекомендуется провести беседу с пациентом для обеспечения его комфорта и уверенности. В исключительных случаях, сопровождающим родственникам или лицу, соответствующим образом прошедшим этап опроса (п. 5), может быть позволено остаться в комнате сканирования (процедурной) для устного и, в случае необходимости, физического контакта с пациентом.

#### 8. Укладка пациента.

Важно соблюсти три пункта: 1) безопасность, 2) комфорт пациента, 3) обеспечение требуемого качества изображения исследуемой области.

Представленные в МНРА данные свидетельствуют о том, что зачастую неправильная укладка пациента и соединительных кабелей, датчиков и проводов приводила к многочисленным ожогам. Электрические ожоги могут не вызывать боль немедленно, однако, они могут быть причиной повреждения тканей при температуре до 43°C.

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

- обеспечить 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» (рис. 4);
- обеспечить достаточную изоляцию между кабелем и пациентом, если избежать контакта нельзя. Все места возможных соприкосновений РЧ-катушек и гентри-магнита с открытыми частями кожного покрова пациента персонал должен заполнить ковриками из специального диэлектрического материала толщиной не менее 10 мм после сжатия (рис. 5):

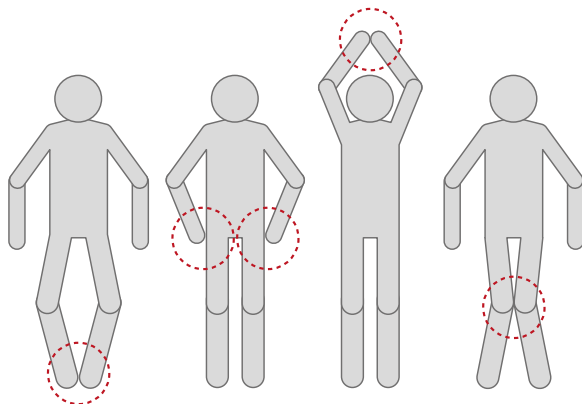


Рисунок 4 – Иллюстрация возможных контактов «кожа-кожа» [5]

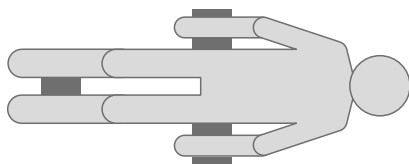


Рисунок 5 – Иллюстрация расположения подушек для изоляции контактов «кожа-кожа»

- не допускать образования петель (закручивания) соединительными кабелями РЧ-катушек, другого оборудования, размещаемого на пациенте, или проводами сигнальной кнопки;
- не класть кабель диагонально через пациента;
- обеспечить прокладку кабеля параллельно главной оси гентри и по возможности близко к изоцентру магнита так, чтобы не было соприкосновения с гентри магнита;
- не располагать датчики внешней МР-совместимой системы мониторинга витальных функций в области сканирования. Датчики следует размещать на максимально возможном расстоянии от РЧ-катушки;
- регулярно проверять все катушки, кабели и провода на наличие повреждений и не использовать их, если повреждения обнаружены;
- использовать только провода с высоким сопротивлением, предпочтительно оптоволоконные кабели;
- не допускать попадания влаги на провода, кабели и разъемы РЧ-катушки;
- при планировании исследования головы персонал кабинета МРТ должен закрыть пациенту глаза во время центрирования РЧ-катушки во избежание получения травм от лазерного луча позиционирующего проектора.

#### 9. Защита от шума.

Для защиты органов слуха пациента от шумов работающей градиентной катушки персонал должен использовать беруши, наушники или специальные прокладки, располагаемые между головой и РЧ-катушкой, в соответствии с видом используемого оборудования и рекомендациями производителя.

#### 10. Поддержание общения.

Необходимо проверить работоспособность систем связи с пациентом: отрегулировать громкость звука двусторонней голосовой связи между пациентом и комнатой управления, проверить работоспособность систем видеонаблюдения.

#### 11. Тревожная кнопка.

Пациенту необходимо объяснить правила использования специальной «груши» (сигнальной кнопки), а именно для обеспечения связи в случае возникновения боли, сильного нагрева или ухудшения общего состояния.

#### 12. Мониторинг пациента во время исследования.

Если существует риск изменения физиологического статуса пациента, при проведении исследования необходимо осуществлять мониторинг жизненно важных показателей. При необходимости обеспечения контроля жизненно важных функций во время сканирования следует использовать специальные МР-совместимые мониторы, предназначенные для этих целей. Запрещено для целей мониторинга жизненно важных функций организма использовать мониторы синхронизации МРТ, входящие в комплект томографа и применяемые для коррекции импульсных последовательностей. Должны применяться МР-совместимые электроды и провода, защищенные от прикосновения с телом пациента в течение сканирования. Следует помнить, что пациенты, находящиеся в бессознательном состоянии, не могут выразить ощущения ожога. В таком случае следует проверять правильное расположение проводов и каких-либо других элементов системы мониторинга, с которыми может контактировать пациент после каждой импульсной последовательности.

13. Применение контрастных препаратов при проведении МР-исследования рассмотрено в отдельных методических рекомендациях [9].

### **3.2. Особенности проведения сканирования лицам в бессознательном состоянии**

Если пациенту в бессознательном состоянии по клиническим показаниям назначено проведение МР-исследования, то необходимо собрать полную информацию об истории пациента относительно перенесенных им операций, травмах или имплантации инородных объектов. Если сбор информации о возможных ограничениях к исследованию является затруднительным, например, нет возможности получить быстрый доступ к истории пациента, отсутствуют результаты

рентгенографических или КТ-, МРТ-исследований, в таком случае Американский колледж радиологов (American College of Radiology, ACR) рекомендует:

1. Осмотреть тело пациента при участии врача-рентгенолога.
2. В случае наличия рубцов или повреждений, которые могут быть связаны с установкой ИМИ, например, в области груди или спины, должно быть проведено рентгенографическое сканирование (если отсутствуют недавние КТ, МР-исследования или рентгенография для данной области). Данные действия помогут избежать потенциальных негативных эффектов. Таким пациентам также рекомендуют провести рентгенографию черепа или глаз и грудной клетки для исключения наличия ферромагнитных инородных объектов.
3. При отсутствии подозрений на наличие у пациента потенциально опасных инородных объектов принимается решение о проведении МР-сканирования.
4. В случае необходимости мониторинга сердечной деятельности рекомендуется использовать МР-совместимый ЭКГ-монитор, провода которого не должны соприкасаться с кожей пациента. Это поможет избежать получения ожогов, т.к. пациенты в бессознательном состоянии не могут сообщить о чрезмерном нагреве тканей. ЭКГ можно заменить на пульсоксиметрию, которая не связана с рисками термических ожогов. Для мониторинга сердечной деятельности с помощью пульсоксиметра допустимо применение специального МР-совместимого оборудования, имеющего соответствующие сертификаты. Как правило, эти приборы оснащены системой мониторинга насыщения крови кислородом, что предоставляет важную дополнительную информацию для врача-реаниматолога, присутствующего при исследовании. Применение для этих целей датчика периферического пульса, входящего в комплект МР томографа и предназначенного для синхронизации импульсных последовательностей с сердечной деятельностью пациента, категорически запрещено. Рекомендуется проверять состояние пациента после каждой МР-последовательности и при необходимости менять положение проводов или других электропроводящих материалов [4].

### **3.3. Действия при обнаружении имплантата во время исследования**

Возможен также случай обнаружения у пациента имплантируемого медицинского изделия или инородного тела во время МР-исследования. Обычно это определяется по наличию артефактов искажения поля в режиме «спиновое эхо», которые становятся более явными при увеличении времени ТЕ и значительно усиливаются в режимах градиентного эха (gradient echo) со стандартным или большим временем ТЕ. В данном случае следует:

1. Оповестить врача-рентгенолога, чтобы он оценил ситуацию, проанализировал изображения и принял решение о наилучшем порядке действий,

который зависит от многих факторов, таких как: состояние пациента, месторасположение обнаруженного объекта, его размер и свойства и т.д.

2. Возможны варианты принятия решения о продолжении исследования, обездвиживании пациента и немедленном удалении его из гентри МР-томографа или другие. Независимо от выбранной тактики следует учитывать, что степень воздействия на имплантат будет изменяться и может увеличиться при выведении пациента из гентри. Кроме того, активные движения пациента в магнитном поле вызовут еще большую силу воздействия на ИМИ, поэтому необходимо обеспечить неподвижность имплантата и медленное, осторожное выведение пациента из гентри и пространства кабинета МРТ.

### 3.4. Варианты уменьшения удельного коэффициента поглощения

В ряде случаев требуется уменьшить удельный коэффициент поглощения (например, для соблюдения требований производителя МР-совместимого при определенных условиях ИМИ). Как известно, УКП растет с увеличением индукции магнитного поля, габаритных размеров тела пациента, количеством переданной РЧ-энергии и зависит от типа используемых катушек. При выборе параметров сканирования нет возможности изменять первые две характеристики, однако косвенными методами можно уменьшить количество переданной РЧ-энергии. Например, при уменьшении угла отклонения вектора суммарной намагниченности или при уменьшении количества заполнений в направлении фазового кодирования. Другим вариантом уменьшения УКП может служить увеличение времени повторения TR, позволяющее частично рассеивать РЧ-энергию, или использование градиентного эха вместо спинowego эха. Недостатком последних методов является изменение контраста получаемых изображений (таблица 2).

Таблица 1 – Классификация ИМИ по МР-совместимости

Варианты уменьшения УКП	Недостатки
Увеличение времени повторения (TR) – интервал между двумя радиочастотными импульсами	Влияние на контраст изображения
Уменьшение длины эхо-трейна ETL	Изменяется базовый контраст
Уменьшение количества заполнений в направлении фазового кодирования	Снижение разрешающей способности
Использование квадратурной области сканирования	Неудобство, обусловленное анатомическими особенностями
Уменьшение угла отклонения вектора суммарной намагниченности (flip angle – FA)	Уменьшение отношения «сигнал/шум», изменение контраста

## Продолжение таблицы 2

Использование поверхностных приемно-передающих катушек	
Использование градиентного эха вместо спинowego эха или турбоспинowego эха	Влияние на контраст изображения

Как указано в таблице 2, при использовании методик уменьшения УКП нужно учитывать возникающие недостатки, связанные с ухудшением качества изображения. Необходимо измерять и вносить данные пациента (рост и вес) для правильного расчета УКП и придерживаться рекомендаций производителя оборудования по конкретным для этой модели томографа методикам уменьшения УКП.

### 3.5. Возможные артефакты от имплантатов и инородных тел

Иногда при сканировании пациентов на изображении возникают артефакты, вызванные нахождением инородных металлических тел в области сканирования. Кроме того, даже если имплантат является МР-безопасным, наличие его в области сканирования может привести к неоднородности магнитного поля, которое в свою очередь вызовет ухудшение качества изображения. Металлические имплантаты не генерируют МР-сигнал, поэтому на изображении они будут темными. К артефактам от инородных тел относятся, например, артефакты потери и накопления сигнала, геометрические искажения, неправильная работа некоторых режимов жироподавления и др. (рис. 6) [3].

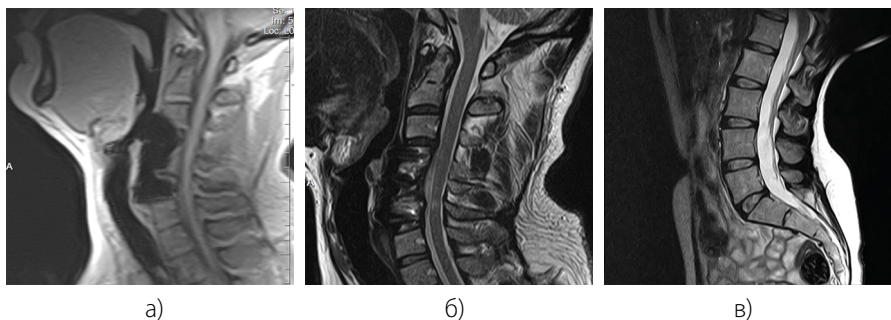


Рисунок 6 – Примеры артефактов от пассивных ИМИ на МР-изображении:  
 а–б – артефакты от металлической пластины и фиксирующих ее винтов в режиме градиентного эха GRE (а) и в режиме турбоспинowego эха TSE (б);  
 в – выраженные артефакты от металла в поле сканирования (металлическая застежка на одежде) в режиме турбоспинowego эха TSE

На рисунке 6 показано, что степень искажения изображения зависит от использованного режима сканирования. Так, если артефакты от металлической пластины сильно выражены при сканировании в режиме градиентного эхо (GRE) (рис. 6 а), то использование турбоспинового эха повышает диагностическую ценность изображения (рис. 6, б, в). Таким образом, выбрав правильный режим сканирования, можно выполнить исследование с достаточным диагностическим качеством. Исключением может только являться наличие объекта непосредственно в области интереса врача-клинициста.

Особое внимание стоит уделить металлическим конструкциям в полости рта таким, как протезы, брекетки (рис. 7), т.к. они могут привести к значительным искажениям на МР-изображениях головы пациента в различных режимах сканирования: нативное исследование, МР-ангиография, режимы с жироподавлением и др.

Так, при использовании последовательности FLAIR наблюдаются артефакты геометрических искажений, потери сигнала, наложения (усиление сигнала) (рис. 7, а), а также некорректная работа технологии подавления сигнала от ликвора (рис. 7, б).

При применении технологии селективного возбуждения сигналов от свободной жидкости (Water Excitation Technique) также наблюдается некорректное подавление сигнала от жировой ткани и ослабление сигнала от движущейся в артериях крови в режиме 3D времяпролетной ангиографии (3D Time Of Flight) (рис. 7, в, г).

В то же время использование последовательности спинового эха (Spin Echo) при наличии металлоконструкций позволяет сохранить качество изображения в сагиттальной плоскости, лишь несущественно снизив его диагностическую ценность (рис. 7, д). Однако в аксиальной плоскости могут наблюдаться выраженная неоднородность сигнала вследствие некорректной работы технологии подавления сигнала от жировой ткани за счет подачи радиочастотных импульсов (рис. 7, е) и потеря диагностической информативности. Поэтому рекомендуется использовать технологии жироподавления, которые малочувствительны к наличию металла, например, Short-T1 Inversion Recovery (STIR) (рис. 7, ж).

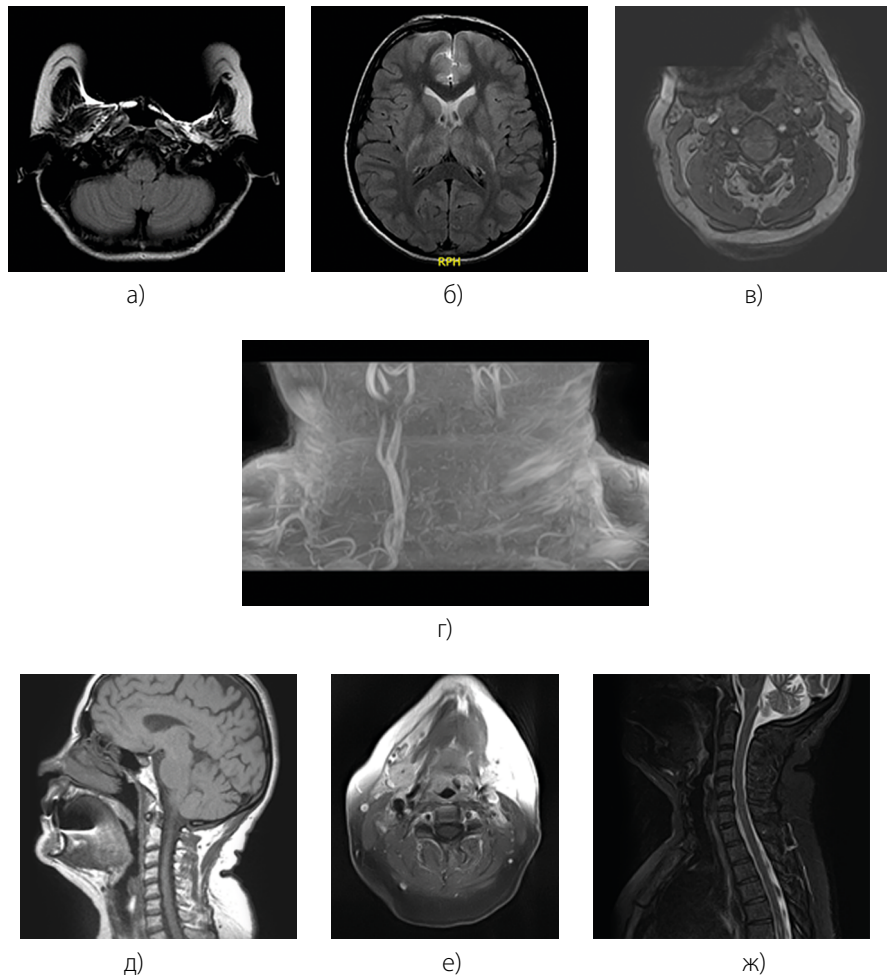


Рисунок 7 – Примеры артефактов от металлических конструкций в полости рта (протезы, брекеты и др.) на МР-изображении:  
 а–б – МР-изображения в режиме FLAIR: а – артефакты геометрических искажений, потери сигнала, наслоения (усиление сигнала), б – некорректная работа технологии подавления сигнала от воды; в–г – МР-ангиография 3D TOF (некорректная работа технологии селективного возбуждения сигналов от свободной жидкости);  
 в – аксиальный срез, г – MIP-реконструкция; д, е, ж – T1-взвешенное МР-изображение:  
 д – сагиттальный срез без жироподавления; е – аксиальный срез; ж – сагиттальный срез с использованием технологии жироподавления STIR



### 3.6. Возможные пути уменьшения артефактов на изображении от объектов в поле сканирования

При наличии артефактов от металла в поле сканирования возможно применение определенных рекомендаций, которые позволят значительно снизить их влияние на диагностическую значимость исследования [3]:

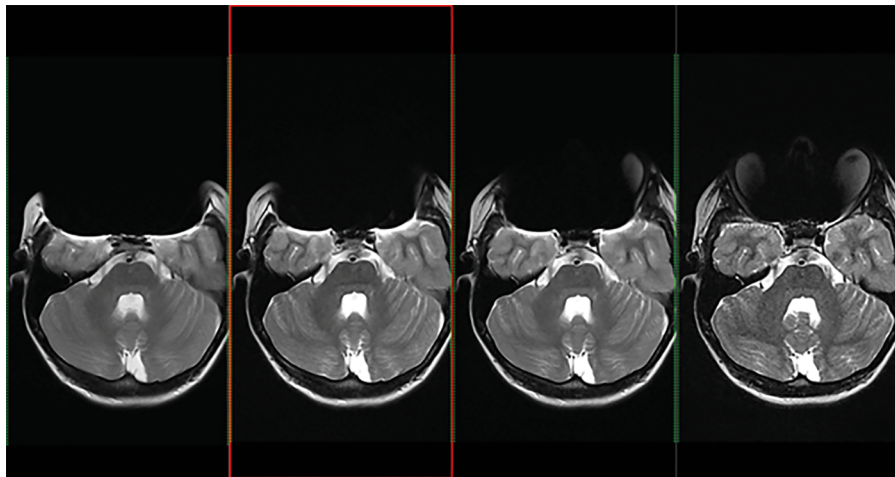
- проведение исследования на аппарате с индукцией магнитного поля 1,5 Тл – предпочтительнее, чем с индукцией 3,0 Тл;

- артефакт расфазировки сигнала. Применение последовательности «спиновое эхо» или «быстрое спиновое эхо», которые включают 180-градусные рефокусирующие импульсы с уменьшением расстояния между эхо-сигналами. Более действенным методом является использование последовательностей с ультракоротким временем TE. Применение импульсной последовательности градиентного эха увеличивает артефакт потери сигнала;

- недостаточность жироподавления. Изменение технологии получения сигнала. Стандартные последовательности жироподавления или усиления сигнала воды чувствительны к наличию металла. Также рекомендуется использовать последовательность STIR, которая основана на подаче инвертирующих импульсов [3], и Dixon, хорошо работающую только на некотором расстоянии от имплантата;

- пространственное искажение в направлении срезов. Данный артефакт возможно компенсировать, используя тонкие срезы, что может привести к увеличению времени сканирования и уменьшению отношения «сигнал-шум». Также возможно изменение матрицы в частотном направлении до 512 пикселей, что приведет к уменьшению размера пикселя. Дополнительным способом уменьшения эффектов искажения является расширение полосы пропускания приемника до определенного уровня, т.к. недостатком данного способа является увеличение УКП и снижение отношения «сигнал-шум».

В связи с тем, что некоторые из этих методик снижают отношение «сигнал-шум», необходимо увеличение частоты усреднения (NEX, NAQ, ACQ). На рисунке 8 представлен пример применения алгоритма компенсации артефактов от металлоконструкций в области рта.



*Рисунок 8 – Пример применения алгоритма компенсации артефактов от металлоконструкций в области рта*

Описанные выше методы могут быть применены на любом томографе. Существуют также комплексные технологии снижения артефактов от металлических предметов, разработанные фирмами- производителями (SEMAC, MAVRIC и др.).

## 4. ДЕЙСТВИЯ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ВНЕШТАТНОЙ СИТУАЦИИ

При возникновении угрозы жизни или здоровью пациента или персонала кабинета МРТ, равно как при некорректной работе томографа, которая может привести к такой угрозе, оператор может остановить исследование, используя штатные средства аппарата. Все сотрудники, принимающие участие в работе кабинета, должны ознакомиться с инструкцией производителя по использованию и расположению в конкретной конфигурации томографа. Как правило, существуют следующие средства: отмена задания, ручное перемещение деки стола пациента, отключение электропитания, аварийное отключение магнита.

1. Кнопка «Отмена задания» (Stop Scan / Abort) должна использоваться:
  - при ухудшении состояния пациента, которое не позволяет продолжать исследование, особенно когда требуется срочная медицинская помощь;
  - если гентри начинает издавать повышенные шумы или интервалы между включением градиентной катушки (щелчки), которые заметно и существенно сокращаются, что не характерно для сканирования в штатном режиме и может свидетельствовать о неправильной работе оборудования;
  - если обнаруживается неисправность в работе стола пациента (стопорится или двигается рывками);
  - если врач или оператор сами принимают решение о прекращении исследований пациента по каким-либо иным причинам.

После отмены задания стол пациента может быть выведен из гентри. Персонал кабинета должен эвакуировать пациента из процедурной. Исследование может быть продолжено только после устранения всех возникших проблем.

2. Ручное перемещение деки стола пациента.

В зависимости от модели томографа движение деки может быть остановлено кнопкой «Аварийная остановка стола» или рычагом разблокировки деки стола в случае, если:

- не сработала функция остановки задания (т.е. после нажатия кнопки «Отмена задания» сканирование не остановилось);
- возник риск получения пациентом травмы при перемещении стола (пациент начинает двигаться, происходит смещение установленного на столе или на пациенте оборудования и пр.).

После устранения причин движение может быть возобновлено.

При необходимости срочной эвакуации пациента может использоваться кнопка (рычаг) разблокировки деки стола. После этого дека может быть перемещена вручную.

### 3. Отключение электропитания.

Некоторые МР-системы могут быть оборудованы кнопкой выключения питания, расположенной в комнате управления. При ее нажатии отключаются все электрические системы томографа, кроме сверхпроводящей катушки, создающей постоянное магнитное поле.

При возникновении внештатной ситуации отключение электропитания должно производиться строго в соответствии с инструкциями производителя.

### 4. Аварийное отключение магнита (квенч).

При возникновении прямой угрозы жизни пациента или персонала из-за воздействия магнитного поля необходимо произвести аварийное отключение магнита нажатием соответствующей отдельно вынесенной физической кнопки. Магнит может быть отключен в следующих ситуациях:

- пациент блокирован внутри гентри ферромагнитными предметами, и возникла реальная опасность получения им травмы или гибели;
- возникла опасность, связанная со стихийными бедствиями (природные или техногенные катаклизмы);
- возник пожар или другая нештатная ситуация, требующая проникновения в процедурную кабинета МРТ аварийно-спасательной бригады с МР-несовместимым оборудованием.

При этом происходит сброс большого количества низкотемпературного гелия по аварийному газоотводному каналу. Магнитное поле томографа отключается в течение порядка 20 секунд.

В целях предупреждения опасности обморожения или развития гипоксии перед или сразу после использования кнопки «Аварийное отключение магнита» персонал кабинета МРТ и пациенты должны экстренно покинуть процедурную, плотно закрыв металлическую дверь, и проконтролировать включение системы аварийного отвода воздуха, при необходимости активировав ее выключателем.

После отключения магнитного поля необходимо оказать первую помощь пострадавшим, сообщить заведующему отделением и инженеру.

Восстановление работоспособности МРТ после отключения магнита – длительный и дорогостоящий процесс, который может проводиться только сотрудниками организации сервисного обслуживания.

5. При возникновении аварийной ситуации, которая может привести к ожогу, травмам и другим поражениям, оператор должен принять необходимые меры для ликвидации последствий (проветрить помещение, осторожно убрать пролитую жидкость и т.д.).

6. При возникновении пожара сотрудникам кабинета МРТ необходимо эвакуировать пациента из процедурной, вызвать экстренные службы МЧС и принять меры по ликвидации пожара согласно инструкции по пожарной безопасности, использовать только немагнитные огнетушители и средства пожаротушения.

7. При поражении человека электрическим током сотрудники кабинета МРТ должны:

- освободить пострадавшего от действия электрического тока, отключив электроприбор или оборудование от сети, а при невозможности отключения – оторвать пострадавшего от токоведущих частей за одежду или применив подручный материал, не проводящий электрического тока (сухие доски, палки, резину). Лучше делать это одной рукой (чтобы избежать поражения током);
- оказать ему соответствующую медицинскую помощь.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанные методические рекомендации по обеспечению безопасности в кабинете МРТ представляют собой описание факторов риска, возникающих при воздействии полей томографа и свод мер, позволяющих избежать возникновения нежелательных эффектов в процессе исследования.

В работе приведены требования к разделению помещений на зоны, в соответствии со степенью воздействия МР-среды на человека. Рассмотрен вопрос алгоритма действий, связанных с наличием металлоконструкций в теле пациента, в том числе в случае их обнаружения во время проведения исследования и при необходимости проведения исследования пациенту в бессознательном состоянии. Описаны артефакты изображений, возникающие из-за наличия ферромагнетиков в области сканирования и приведены способы их подавления.

Отдельно представлен порядок действий при проведении МРТ, который позволит обеспечить безопасность медицинского персонала, пациентов, а также других людей, которые каким-либо образом могут быть подвержены опасности при работе магнитно-резонансного томографа.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Gilk T., Kanal E. Planning an MR suite: What can be done to enhance safety? / T. Gilk, E. Kanal // Journal of Magnetic Resonance Imaging. – 2015. – Vol. 3, №42. – P. 566–571. – Текст : непосредственный.
2. Grainger. D. Safety Guidelines for Magnetic Resonance Imaging Equipment in Clinical Use / D. Grainger. – London, 2014. – Текст : непосредственный.
3. Hargreaves, B. A., Worters, P. W., Pauly, K. B. Metal-Induced Artifacts in MRI / B. A. Hargreaves, P. W. Worters, K. B. Pauly, et al. // American Journal of Roentgenology. – 2011. – Vol. 3, №197. – P. 547–555. – Текст : непосредственный.
4. Kanal, E. Barkovich, A. J., Bell, Ch. ACR guidance document on MR safe practices: 2013 / E. Kanal, A. J. Barkovich, Ch. Bell // Journal of Magnetic Resonance Imaging. – 2013. – Vol. 3, №37. – P. 501–530. – Текст : непосредственный.
5. Keevil, S. Safety in magnetic resonance imaging / S. Keevil // Medical physics int journal. – 2016. – Vol. 1, № 4. – P. 26–34. – Текст : непосредственный.
6. Mathew C.A., Maller S., Maheshwaran Interactions between magnetic resonance imaging and dental material / C. A. Mathew, S. Maller // Journal of pharmacy & bioallied sciences. – 2013. – № Suppl 1 (5). – P. S113–116. – Текст : непосредственный.
7. Руссо Р.Дж., Коста Х. С., Силва П.Д. Оценка риска, связанного с выполнением магнитно-резонансной томографии (МРТ), у больных с имплантированным электрокардиостимулятором или кардиовертером-дефибриллятором: результаты проспективного обсервационного исследования / Р. Дж. Руссо, Х. С. Коста, П.Д. Силва и др. // Доказательная кардиология. – 2017. – № 1. – С. 22–25. – Текст : непосредственный.
8. Бокерия, О. Л., Ахобеков, А. А. Безопасность проведения магнитно-резонансной томографии у пациентов с имплантированными электрокардиостимуляторами и кардиовертерами-дефибрилляторами / О. Л. Бокерия, А. А. Ахобеков // Анналы аритмологии. – 2012. – № 2. – С. 32–39. – Текст : непосредственный.
9. Гомболевский, В. А., Лайпан, А. Ш., Бадюл, М. И. Особенности применения контрастных препаратов в лучевой диагностике : методические рекомендации / В. А. Гомболевский, А. Ш. Лайпан, М. И. Бадюл [и др.] // Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». – 2018. – № 15. – С. 55. – Текст : непосредственный.
10. Лаврентьев, А.А. Первый опыт магнитно-резонансного обследования пациентов с МРТ-совместимым кардиостимулятором / А. А. Лаврентьева, И.Г. Камышанская, В.В. Приц // Лучевая диагностика и терапия. – 2017. – № 8 (2). – С. 106. – Текст : непосредственный.
11. Мандал, В. Вопросы безопасности при проведении МРТ пациентам с нейростимулятором блуждающего нерва / В. Мандал, Т. Н. Трофимова, Ж. И. Савинцева // Лучевая диагностика и терапия. – 2016. – № 7 (1). – С. 99–102. – Текст :

непосредственный.

12. Полищук, Н. С., Гомболевский, В. А., Ким, К. А. Регламент работы отделений (кабинетов) компьютерной и магнитно-резонансной томографии : методические рекомендации / Н. С. Полищук, В. А. Гомболевский, К. А. Ким [и др.] // Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». – 2018 . – №13. – С. 38. – Текст : непосредственный.

13. Сергунова, К. А. Петряйкин, А. В., Гомболевский, В. А. Методические рекомендации по разработке инструкций по охране труда для персонала кабинета (отделения) магнитно-резонансной томографии / К. А. Сергунова, А. В. Петряйкин, В. А. Гомболевский [и др.] // Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». – 2017. – Вып. 7. – 32 с. – Текст : непосредственный.

14. Сергунова, К. А., Ахмад, Е. С., Петряйкин, А. В. Основы безопасности при проведении магнитно-резонансной томографии : методические рекомендации / К. А. Сергунова, Е. С. Ахмад, А. В. Петряйкин [и др.] // 2019. – 56 с. – Текст : непосредственный.

15. Синицын, В. Е. Безопасность магнитно-резонансной томографии - современное состояние вопроса / В. Е. Синицын // Диагностическая и инверсионная радиология. – 2010.– № 3 (4). – С. 61–66. – Текст : непосредственный.

16. Терновой, С. К. Современная магнитно-резонансная томография / С. К. Терновой, В. Е. Синицын, С. П. Морозов // Кремлевская медицина. Клинический вестник. – 2007. – №3. – С. 67–70. – Текст : непосредственный.

17. Шария, М. А., Терновой, С. К. Кардиостимулятор, совместимый с МРТ (первый опыт) / М. А. Шария, С. К. Терновой // Российский электронный журнал лучевой диагностики. – 2013. – № 2 (3). – С. 92–95. – Текст : непосредственный.



## Приложение А

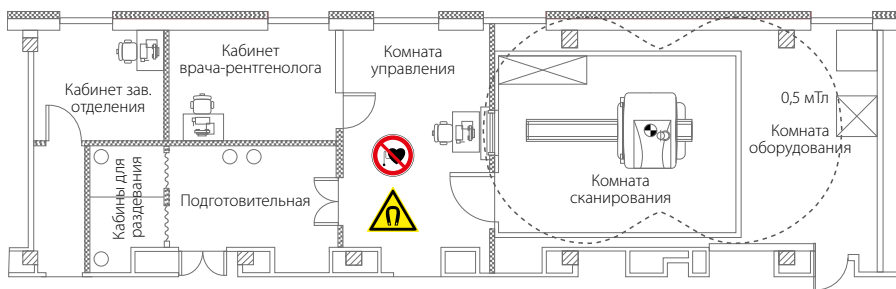
### ВНЕШНИЙ ВИД ПРЕДУПРЕЖДАЮЩИХ И ЗАПРЕЩАЮЩИХ ЗНАКОВ

	<p>Внимание! Сильное магнитное поле</p>
	<p>Внимание! Электромагнитное поле</p>
	<p>Доступ посторонним запрещен!</p>
	<p>Не входить лицам с установленными кардиостимуляторами!</p>
	<p>Не входить лицам с металлическими имплантами!</p>
	<p>Не входить с металлическими предметами или часами!</p>
	<p>Во время работы прибора должна быть надета слуховая защита</p>

<p>Доступ посторонним запрещен!</p>		<p>Знаки опасности охлаждающей смеси</p>
<p>Внимание Берегись низкой температуры</p>		
<p>Внимание, обратитесь к инструкции! Свяжитесь с ХХХХ для доступа</p>		

## Приложение Б

### СХЕМА ПЛАНИРОВКИ КАБИНЕТА МРТ



## Приложение В

### ОБРАЗЕЦ ЗАКЛЮЧЕНИЯ ОБ МР-СОВМЕСТИМОСТИ ИМПЛАНТИРОВАННОГО МЕДИЦИНСКОГО ИЗДЕЛИЯ

*(рекомендуемая форма)*

#### Заключение об МР-совместимости имплантированного медицинского изделия

*(выдается пациенту после проведения оперативного вмешательства)*

Наименование медицинской организации (МО),  
где проводилось оперативное вмешательство

Больному (й) \_\_\_\_\_, дата рождения \_\_\_\_\_,  
было выполнено оперативное вмешательство \_\_\_\_\_,  
*(указать дату и вид вмешательства)*

в ходе которого были установлены имплантируемые медицинские изделия

\_\_\_\_\_  
*(указать наименование, серийный номер, производителя)*

<input type="checkbox"/> МР-безопасный	<input type="checkbox"/> МР-совместимый при определенных условиях <i>(указать тип)</i>	<input type="checkbox"/> МР-небезопасный
----------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------

Условия проведения магнитно-резонансной томографии:

*(при условии установки МР-совместимого при определенных условиях имплантата)*

- индукция постоянного магнитного поля не более \_\_\_\_\_ Тл;
- максимальное значение градиента магнитного поля не более \_\_\_\_\_ Тл/м;
- максимальный удельный коэффициент поглощения при сканировании не более \_\_\_\_\_ Вт/кг;
- время сканирования не более \_\_\_\_\_ мин.

#### ОБЯЗАТЕЛЬНО!

Данному больному(й) МРТ-исследования проводить \_\_\_\_\_  
*(вписать один из двух вариантов: «можно», «нельзя»)*

С даты: \_\_\_\_\_  
*(указать дату)*

Лечащий врач  
Заведующий отделением

МП

## Приложение Г

### ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫЕ УРОВНИ

#### Пределно допустимый уровень (ПДУ) для удельного коэффициента поглощения, усредненного за 6 минут

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

Таблица Г.1 – ПДУ для удельного коэффициента поглощения, усредненного за 6 минут

Область воздействия ЭМП	Частота, Гц	УКП усредненный за 6 минут, Вт/кг					
		Нормальный режим		Режим контроля 1 уровня		Режим контроля 2 уровня	
		Различные объемные катушки	Локальный УКП по массе 10 г	Различные объемные катушки	Локальный УКП по массе 10 г	Различные объемные катушки	Локальный УКП по массе 10 г
Все тело	100 кГц – 6 ГГц	2	10	4	20	>4	>20
Голова, туловище		3.2	20	3.2	40	>3.2	>40
Конечности		2–10*	10	4–10	20	>4–10	>20

## Приложение Д

### ПАМЯТКА ДЛЯ РЕНТГЕНОЛАБОРАНТА, ОПЕРАТОРА МРТ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ МРТ-ИССЛЕДОВАНИЙ

1. До проведения исследования. Зона I–II (см. рис. Д.1).

1.1. Уточнить, выполнялись ли МР-исследования ранее и были ли сложности, имеются ли противопоказания.

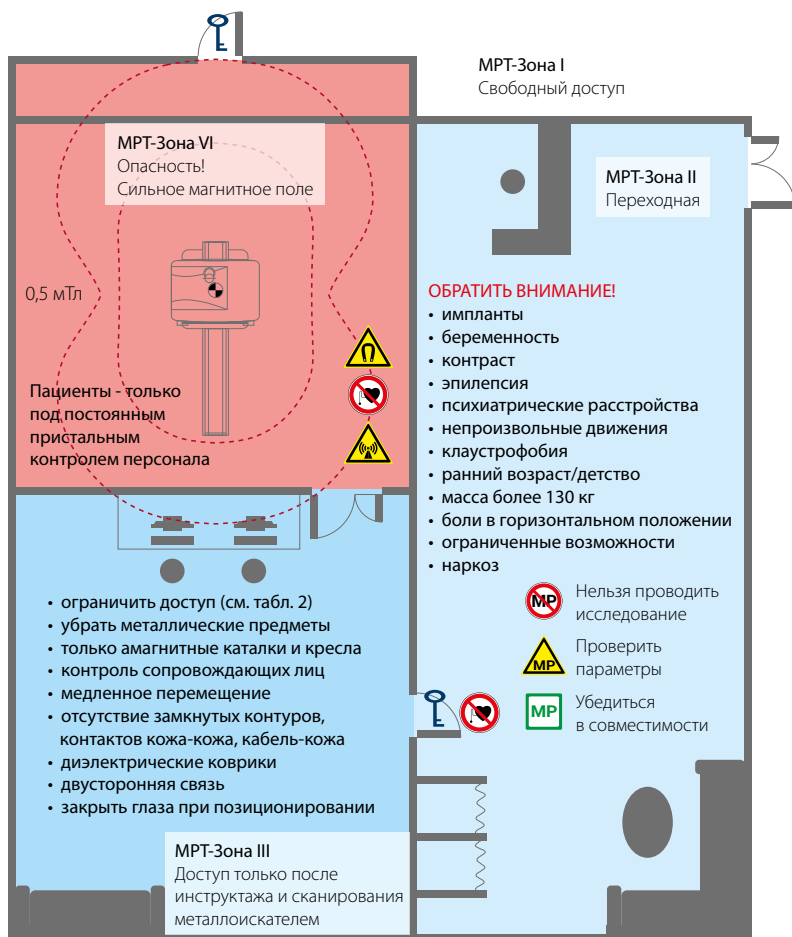


Рисунок Д.1 – Схема обеспечения безопасности при проведении МР-исследования с учетом зонирования




## 1.2. Провести анкетирование и внимательно ознакомиться с результатами.

Таблица Д.1 – Вопросы, на которые необходимо обратить особое внимание при анкетировании

Обратить внимание	Действие
Наличие имплантов	Несмотря на запись в анкете, отдельно проговорить данный вопрос и при необходимости проверить металлоискателем. В случае наличия – см. п. 1.3 данного приложения
Беременность	Уточнить срок. Проводить исследование только во втором и третьем триместрах, проинформировать врача
В случае проведения исследования с контрастом	Уточнить, выполнялись ли исследования с контрастом ранее и как пациент их перенес. Запрещается проводить МР-исследование с контрастом без установленного венозного катетера. В случае наличия аллергии проинформировать врача
Эпилепсия	Уточнить у пациента, принимает ли он препараты, оценить вероятность припадка в МРТ. Проинформировать врача
Пациенты с психическими расстройствами (установленный диагноз)	Информировать врача
Непроизвольное движение (тики, тремор)	Использовать программы, устраняющие артефакты движения (JET, Blade, Propeller, RADAR и др.)
Клаустрофобия (боязнь замкнутого пространства)	Уточнить, возникали ли трудности при предыдущих МР-исследованиях. При необходимости, подготовить сопровождающего (обязательно заполнение анкеты безопасности)
Дети раннего возраста	До 14 лет – наличие информированного согласия родителей. 14 – 18 лет – информированное согласие родителей и ребенка. МРТ-исследование без наркоза возможно, как правило, после 6 лет. Необходимо информировать врача. Оценить возможность проведения исследования пациентам младше 5-и лет без наркоза
Масса более 130 кг	Следовать ограничениям производителя аппарата и обслуживающей организации
Невозможность лежать неподвижно длительное время	По возможности, ограничить время исследования. Использовать матрасы для обеспечения удобного положения (клин под ноги и др.)
Пациенты с ограниченными возможностями, вынужденным положением тела	Возможность проведения исследования будет уточнена в ходе укладки пациента. Запланировать заранее длительное время сканирования
Пациенты под наркозом или без сознания	Обязательное сопровождение реаниматолога

1.3. При обнаружении импланта следовать порядку действий, указанных в таблице Д.2.

Таблица Д.2 – Порядок действий при наличии у пациента имплантата

Действия по обеспечению безопасности	Пояснение
1. Определение типа имплантата в зависимости от наличия источника энергии	
1.А. Активный – с источником энергии	Например, кардиостимуляторы, инсулиновые помпы и др.
1.Б. Пассивный – без источника энергии	Например, винты, пластины, стенты, зубные имплантаты и др.
2. Определение МР-совместимости импланта:  МР-безопасный  МР-совместимый при определенных условиях  МР-несовместимый 	Определение типа имплантата проводить по Заключению о МР-совместимости имплантата (информация может быть в выписке из стационара, в сопроводительной документации, либо оформлено по форме приложения В). Дополнительная информация об имплантате по: – рентгенографическим исследованиям; – предыдущим КТ или МРТ области сканирования
2.А. Неизвестный имплантат. Исследование не начинать	Проинформировать врача. Имплантат считать МР-несовместимым до получения дополнительных сведений (см. п.2), позволяющих сделать вывод о МР-совместимости имплантата
2.Б. Любой активный имплантат (кардиостимулятор, инсулиновая помпа и др.). Исследование не начинать	Проинформировать врача. Не допускать в комнату управления и комнату сканирования. Решение о возможности проведения исследования принимается врачом в соответствии с п. 4.2.2 основного текста
2.В. Пассивный МР-несовместимый имплантат. Исследование не начинать	Необходимо отказаться от проведения исследования
2.Г. Пассивный МР-совместимый при определенных условиях. Исследование может быть проведено только при строгом соблюдении требований производителя, указанных в документации на имплантат при постоянном контроле с использованием аудио- и видеосвязи	Производитель указывает величину индукции магнитного поля (Тл), амплитуду градиентов (Тл/м), скорость нарастания градиентов (Тл/м/с), удельный коэффициент поглощения (Вт/кг), длительность сканирования (с), область сканирования и тип РЧ-катушки. Режим подбирается совместно с врачом. При невозможности соблюдения одного из этих требований необходимо отказаться от проведения исследования



## Продолжение таблицы Д.2

<p>2.Д. Пассивный МР-безопасный имплантат. Проверить срок имплантации – должно пройти несколько недель после установки. Исследование может быть проведено при постоянном контроле с использованием аудио- и видеосвязи</p>	<p>Зубные протезы, как правило, являются МР-безопасными. При выраженных артефактах проинформировать врача для уточнения диагностической ценности результатов</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## 2. Подготовка и проведение исследования. Зона III–IV (см. рис. Д.1).

Таблица Д.3 – Порядок действий по обеспечению безопасности

Действия по обеспечению безопасности	Пояснение
<p>При наличии активных имплантатов (кардиостимуляторов, инсулиновых помп и других устройств с ограничениями по напряженности поля) ограничить доступ, см. табл. Д.2 данного приложения. Это же касается инородных тел, возникших вследствие травм, огнестрельных, осколочных, минно-взрывных ранений</p>	<p>Данным пациентам запрещено находиться в зонах III и IV (комната управления и комната сканирования)</p>
<p>Исключить наличие металлических предметов у пациента. При наличии имплантатов см. п. 1.3 данного приложения</p>	<p>У пациента удалить все металлические объекты (съёмные металлоконструкции во рту, украшения, элементы одежды, очки, часы, пластиковые карты и пр.)</p>
<p>Проконтролировать отсутствие металлических предметов, медицинских инструментов и пр. у сопровождающих лиц и медицинского персонала, принимающего участие в проведении исследования</p>	<p>Относится к зоне IV (комнате сканирования), допускается использование специального МР-совместимого оборудования</p>
<p>В комнате сканирования подводить к столу и укладывать пациента медленно</p>	<p>Предупредить о возможных неприятных ощущениях (головокружение, появление зрительных эффектов)</p>
<p>Пациентов, доставленных на каталке или кресле перекладывать на амагнитные каталку или кресло. Костыли и другие ортопедические приспособления не допускать в комнату сканирования</p>	
<p>Не допускать замкнутых проводящих контуров, контактов «кожа-кожа», контактов «кабель-кожа». Исключить возможность касания РЧ-катушек и гентри с кожей пациента (использовать диэлектрические коврики не тоньше 10 мм)</p>	<p>Неправильная укладка пациента, соединительных кабелей, датчиков и проводов может привести к ожогам</p>
<p>Убедиться в функционировании двусторонней связи</p>	<p>Аудио, видео, тревожная кнопка («груша»)</p>

### Продолжение таблицы Д.3

<p>При позиционировании закрыть глаза пациенту</p>	<p>Во избежание получения травм от лазерного луча позиционирующего проектора</p>
<p>В случае обнаружения неуказанного в анкете и сопроводительной документации имплантата во время исследования по выраженным артефактам от металла – остановить исследование, проконтролировать состояние пациента, проинформировать врача</p>	<p>Решение о прекращении или продолжении исследования принимает врач с учетом рисков</p>
<p>В случае выполнения экстренного МР-исследования у пациента с нарушением сознания, без заполненной анкеты и сопроводительной документации:          – осмотреть тело на наличие рубцов и повреждений, связанных с установкой имплантата;          – проверить металлодетектором;          – не начинать исследования без результатов рентгенографии черепа и грудной клетки для исключения наличия имплантатов</p>	<p>Исследование проводить только в присутствии врача.          По завершении каждой последовательности проверять состояние пациента</p>



---

## ДЛЯ ЗАМЕТОК

---

Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики»

Выпуск 43

**Составители:**

*Сергунова Кристина Анатольевна  
Семенов Дмитрий Сергеевич  
Васильев Юрий Александрович  
Ахмад Екатерина Сергеевна  
Петряйкин Алексей Владимирович  
Кудрявцев Никита Дмитриевич  
Панина Елена Вячеславовна  
Трофименко Ирина Анатольевна  
Владзимирский Антон Вячеславович  
Морозов Сергей Павлович*

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ  
ПО БЕЗОПАСНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ  
МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ  
ДЛЯ РЕНТГЕНОЛАБОРАНТОВ**

Отдел координации научной деятельности ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»  
Руководитель отдела О.В. Омелянская  
Технический редактор А.И. Овчарова  
Компьютерная верстка Е.Д. Бугаенко

ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»  
109029, г. Москва, Средняя Калитниковская улица, дом 28, стр. 1