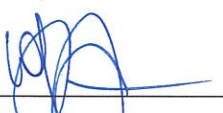


ПРАВИТЕЛЬСТВО МОСКВЫ
ДЕПАРТАМЕНТ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ ГОРОДА МОСКВЫ

СОГЛАСОВАНО

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


Ю. А. Васильев
«11» декабря 2024 г.

РЕКОМЕНДОВАНО

Экспертным советом по науке
Департамента здравоохранения
города Москвы № 19




«10» декабря 2024 г.

БЕЗОПАСНОСТЬ В МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ

Методические рекомендации № 81

Москва
2024

УДК 615.84+616-073.75

ББК 53.6

Б 40

Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики»
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:

Васильев Ю. А. – канд. мед. наук, главный внештатный специалист по лучевой и инструментальной диагностике ДЗМ, директор ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

Семенов Д. С. – канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник отдела стандартизации и контроля качества ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

Бажин А.В. – канд. мед. наук, заместитель директора ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ» по образовательной деятельности

Петряйкин А. В. – д-р мед. наук, главный научный сотрудник отдела стандартизации и контроля качества ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

Ахмад Е. С. – научный сотрудник отдела медицинской информатики, радиомики и радиогеномики ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

Дарий О. Ю. – канд. мед. наук, врач-рентгенолог ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

Сыркашев Е. М. – канд. мед. наук, старший научный сотрудник отдела стандартизации и контроля качества ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

Кремнева Е. И. – канд. мед. наук, ведущий научный сотрудник отдела стандартизации и контроля качества ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

Хоружая А. Н. – младший научный сотрудник отдела стандартизации и контроля качества ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

Абуладзе Л. Р. – младший научный сотрудник отдела стандартизации и контроля качества ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

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

Сморчкова А. К. – младший научный сотрудник отдела стандартизации и контроля качества ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

Б 40 Безопасность в магнитно-резонансной томографии: методические рекомендации / сост. Васильев Ю. А., Семенов Д. С., Бажин А. В. [и др.] // Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». – Вып. 147. – 2 изд., перераб. и доп. – М.: ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», 2024. – 54 с.

Рецензенты:

Синицын Валентин Евгеньевич – д-р мед. наук, профессор, заведующий кафедрой лучевой диагностики и терапии факультета фундаментальной медицины МГУ имени М. В. Ломоносова, заведующий отделом лучевой диагностики МНОЦ МГУ имени М. В. Ломоносова

Буренчев Дмитрий Владимирович – д-р мед. наук, профессор, заведующий отделением лучевой диагностики ГБУЗ «ГКБ им. А. К. Ерамишанцева ДЗМ»

В работе представлены рекомендации по обеспечению безопасности в кабинете магнитно-резонансной томографии для врачей-рентгенологов, рентгенолаборантов и заведующих отделениями лучевой диагностики.

Данные методические рекомендации разработаны в ходе выполнения НИР «Научное обеспечение стандартизации, безопасности и качества магнитно-резонансной томографии» (№ ЕГИСУ: № 123031500007-6) в соответствии с приказом Департамента здравоохранения города Москвы от 21.12.2022 № 1196 «Об утверждении государственных заданий, финансовое обеспечение которых осуществляется за счет средств бюджета города Москвы, государственным бюджетным (автономным) учреждениям, подведомственным Департаменту здравоохранения города Москвы, на 2023 год и плановый период 2024 и 2025 годов»

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

ISSN

© Департамент здравоохранения города Москвы, 2024

© ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», 2024

© Коллектив авторов, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ	3
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	0
ВВЕДЕНИЕ.....	1
1. ФАКТОРЫ РИСКА В МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ..	2
1.1. Прямые биоэффекты.....	2
1.2. Косвенные биоэффекты.....	4
1.3. Методы профилактики биологических эффектов магнитного поля .	5
1.4. Риск для персонала	10
2. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ В КАБИНЕТЕ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ.....	12
2.1. Зонирование кабинета магнитно-резонансной томографии.....	12
2.2. Роль заведующего рентгенологическим отделением в обеспечении безопасности	14
2.3. Действия при возникновении внештатной ситуации.....	15
3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ	18
3.1. Пациенты без сознания.....	18
3.2. Особенности применения оборудования для мониторинга состояния пациента	19
3.3. Пациенты с имплантами.....	20
3.4. Магнитно-резонансная томография плода.....	22
4. АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ ЧАСТЫХ ВОПРОСОВ БЕЗОПАСНОСТИ	24
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	40
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	41
ПРИЛОЖЕНИЕ А	48

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. 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»

3. Санитарные правила 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».

4. Приказ от 09.06.2020 № 560н «Об утверждении Правил проведения рентгенологических исследований (с изменениями на 18 февраля 2021 года)»

5. ГОСТ Р 59092-2020. Оборудование магнитно-резонансное для медицинской визуализации. Контроль качества изображений. Методы испытаний

6. ГОСТ Р 59093-2020. Изделия медицинские имплантируемые. Общие требования безопасности при проведении магнитно-резонансной томографии. Методы испытаний. М.: Стандартиформ, 2020.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

АВФ	– аппарат внешней фиксации
АНФ	– аппарат наружной фиксации
ГБУЗ	– государственное бюджетное учреждение здравоохранения
«НПКЦ ДиТ ДЗМ»	– города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы»
ГОСТ	– государственный стандарт
ИД	– имплантируемый кардиовертер-дефибриллятор
ИМИ	– имплантируемые медицинские изделия
ИСО	– импульсные последовательности
ИП	– импульсные последовательности
КТ	– компьютерная томография
МО	– медицинская организация
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
ПДУ	– предельно допустимый уровень
ПНС	– периферическая нервная система
РЧ	– радиочастотный
УЗИ	– ультразвуковое исследование
УКП	– удельный коэффициент поглощения
ЭДС	– электродвижущая сила
ЭКГ	– электрокардиограмма
ЭКС	– электрокардиостимулятор
ЭМП	– электромагнитное поле
ACR	– American College of Radiology (Американская коллегия радиологов)
ICNIRP	– International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (Международная комиссия по защите от неионизирующего излучения)
FDA	– Food and Drug Administration (Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов США)
MHRA	– Medicines and Healthcare Products Regulatory Agency (Агентство по медицине и лекарственным средствам Великобритании)
NFC	– Near Field Communication (связь на ближнем расстоянии)
RFID	– Radio Frequency Identification (радиочастотная идентификация)

ВВЕДЕНИЕ

Магнитно-резонансная томография (МРТ), несмотря на отсутствие ионизирующего излучения, не является абсолютно безопасным методом медицинской визуализации. При этом, регулирование использования МРТ в значительной степени отстает от иных модальностей, таких как рентгенография или компьютерная томография, что несомненно приводит к недостаточной информированности персонала медицинских организаций и возникновению неоправданных рисков [1].

Профильные медицинские организации непрерывно работают над формированием системы обеспечения безопасности как пациентов, так и персонала [2–5]. Специалистами ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ» ранее уже были предложены методические рекомендации по безопасности МРТ [6,7]. Однако развитие применяемых в МРТ технологий и опыт выполнения аудитов функционирующих кабинетов показал необходимость их актуализации. Данная версия рекомендаций является переработанной и дополненной. В этом издании авторы постарались учесть все актуальные вопросы, возникающие у персонала медицинских организаций, и сформировать практическое руководство по обеспечению безопасности при эксплуатации данного типа диагностического оборудования.

В методических рекомендациях рассмотрены общие вопросы обеспечения безопасности и подробно описаны наиболее часто встречающиеся ситуации, связанные с риском причинения вреда здоровью или жизни человека в кабинете МРТ. Последний раздел имеет более практическую направленность и представляет собой алфавитный указатель включающий наиболее распространенные вопросы и объекты, связанные с безопасностью, а также типичные ситуации, с которыми неизбежно сталкиваются сотрудники кабинета МРТ в своей практике.

Рекомендации могут использоваться в качестве единого документа, целью которого является формирование у читателя общей картины проблемы, или же как состоящий из кратких инструкций справочник.

1. ФАКТОРЫ РИСКА В МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ

1. Биологические эффекты от магнитного поля

Прежде чем приступить к практическим вопросам, кратко рассмотрим, какие биологические эффекты могут возникать под воздействием магнитных полей в кабинете МРТ. При проведении МР-исследования на пациента действуют три типа полей: постоянное B_0 высокой индукции и переменные градиентные B_G и радиочастотные B_1 .

Их биологические эффекты можно разделить на прямые и косвенные. Под прямыми подразумеваются эффекты, возникающие в теле человека непосредственно под воздействием электромагнитного поля. Это, например, повышение температуры тканей, либо нетемпературные эффекты в виде стимуляции мышц, нервов, органов чувств. Косвенными эффектами считаются те, которые возникают из-за реакции инородных объектов, расположенных внутри организма и обладающих ферромагнитными свойствами (имплантируемые медицинские изделия, стенты, шунты и пр.), а также акустического шума и других внезапно возникших обстоятельств (возгорание, аварийные ситуации и пр.).

Рассмотрим обе группы эффектов подробнее.

1.1. Прямые биоэффекты

Постоянное магнитное поле. Основное магнитное поле 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 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, 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 в отсутствие воздействия постоянного магнитного поля МР-томографа (а) и при воздействии постоянного магнитного поля МР-томографа (б) [8]

Для предотвращения таких биоэффектов Международная комиссия по защите от неионизирующих излучений рекомендует не подходить непосредственно к МРТ и не отходить от него слишком быстро [9].

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.

Радиочастотное магнитное поле. Воздействие радиочастотных полей в первую очередь приводит к нагреву тканей. Для оценки степени поглощения энергии РЧ-излучения используется удельный коэффициент поглощения – УКП (specific absorption rate, 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 и требуют изменения параметров сканирования.

Важно отметить еще один фактор риска, связанный с радиочастотным 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.1.3).

1.2. 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 имплантируемые медицинские изделия, 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 имплантируемых медицинских изделий. 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.

Радиочастотное магнитное поле. Аналогично переменным градиентным переменные радиочастотные поля являются источником передаваемой пациенту энергии. Коэффициент удельного поглощения 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 радиочастотную 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) 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 [10].

1.3. 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.

Все современные имплантируемые медицинские изделия (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.3.3).

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 МРТ 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°C.

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 2).

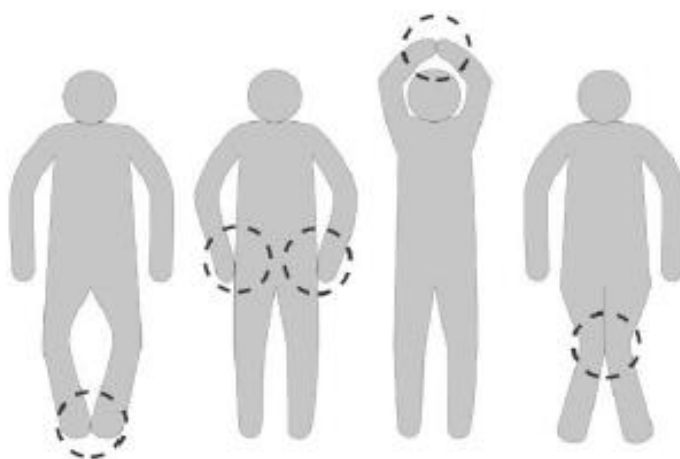


Рисунок 2 – Иллюстрация возможных контактов «кожа-кожа»

- 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 3).

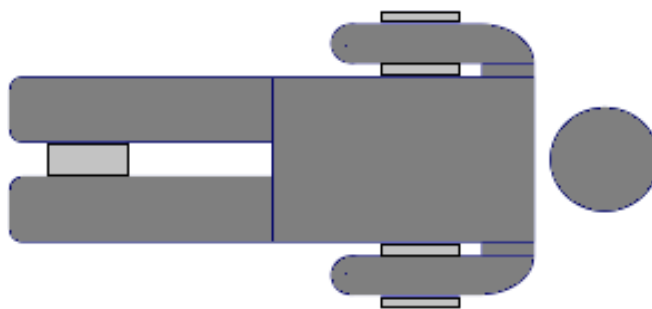


Рисунок 3 – Иллюстрация расположения подушек для изоляции контактов «кожа-кожа»

- Не допускать образования петель (перекручивания) соединительными кабелями РЧ-катушек, другого оборудования, размещаемого на пациенте.
- Не располагать кабель диагонально через пациента.
- Обеспечить укладку кабеля параллельно главной оси томографа и по возможности близко к изоцентру магнита так, чтобы не было соприкосновения с тоннелем магнита.
- Датчики системы мониторинга (электроды ЭКГ-синхронизации, пульсоксиметр) 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.
- 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 импульсных последовательностей. 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 [6]

Варианты уменьшения УКП	Недостатки
Увеличение времени повторения (TR) – интервала между двумя радиочастотными 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
Уменьшение угла отклонения вектора суммарной намагниченности (flip angle – FA)	Уменьшение отношения «сигнал/шум», изменение контрастности
Использование поверхностных приемно-передающих катушек	В зависимости от оборудования возможно снижение отношения «сигнал/шум» и увеличение длительности сканирования
Использование градиентного эха вместо спинового эха или турбоспин-эха	Влияние на контрастность изображения

Ранее считалось, что причиной нагрева имплантов в МРТ 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 импульсных последовательностей [6]

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.
Положение импланта в пространстве	Наиболее критично: области с наибольшей амплитудой B_1 . В обычной body-катушке 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 B_G – на концах градиентных катушек, т.е. за пределами области визуализации. В радиальном направлении B_G 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 B_G с максимальной амплитудой
Параметры ИП	Наиболее критично: быстрые последовательности с высокой плотностью РЧ-импульсов с высоким значением flip angle: например, turbo spin echo. Большие значения SAR (локальные или для всего тела) соответствуют более критическим ИП, однако не учитывают параметры импланта и условия воздействия (томограф, РЧ-катушка, имплант, его положение и т.д.). Значение SAR в данном случае не может быть использовано для оценки нагрева	Наиболее критично: быстрые импульсные последовательности с высокой скоростью и амплитудой нарастания градиентов: например, echo-planar imaging. Индикация критического состояния не предусмотрена

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

1.4. 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 медицинской организации и сопровождающих пациента, а также персонал сторонних обслуживающих организаций.

Иные же факторы риска для них не отличаются от таковых для пациента, за исключением двух моментов. Во-первых, сотрудники могут подвергаться длительному воздействию электромагнитных полей 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 (Международная комиссия по защите от неионизирующего излучения) 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, градиентного) 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 году инженер обсуживающей 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 году 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.

2. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ В КАБИНЕТЕ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ

2.1. Зонирование кабинета магнитно-резонансной томографии

Как видно из описания факторов риска, вопрос обеспечения безопасности актуален на всех этапах эксплуатации МРТ: и при подготовке, и непосредственно в процессе и после завершения исследования. Читателю уже сейчас становится очевидно, что уровень риска на данных этапах различается. В связи с этим критически важно определить случаи, в которых этот риск возрастает или уменьшается.

В контексте обеспечения безопасности принято оперировать понятием «зоны кабинета МРТ» – пространство кабинета МРТ условно разделяют на четыре зоны (рисунок 5).

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 имплантируемых медицинских изделий 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 томограф. Эта зона должна быть ограничена предупреждающими знаками и оборудована средствами аудио- и видеосвязи.

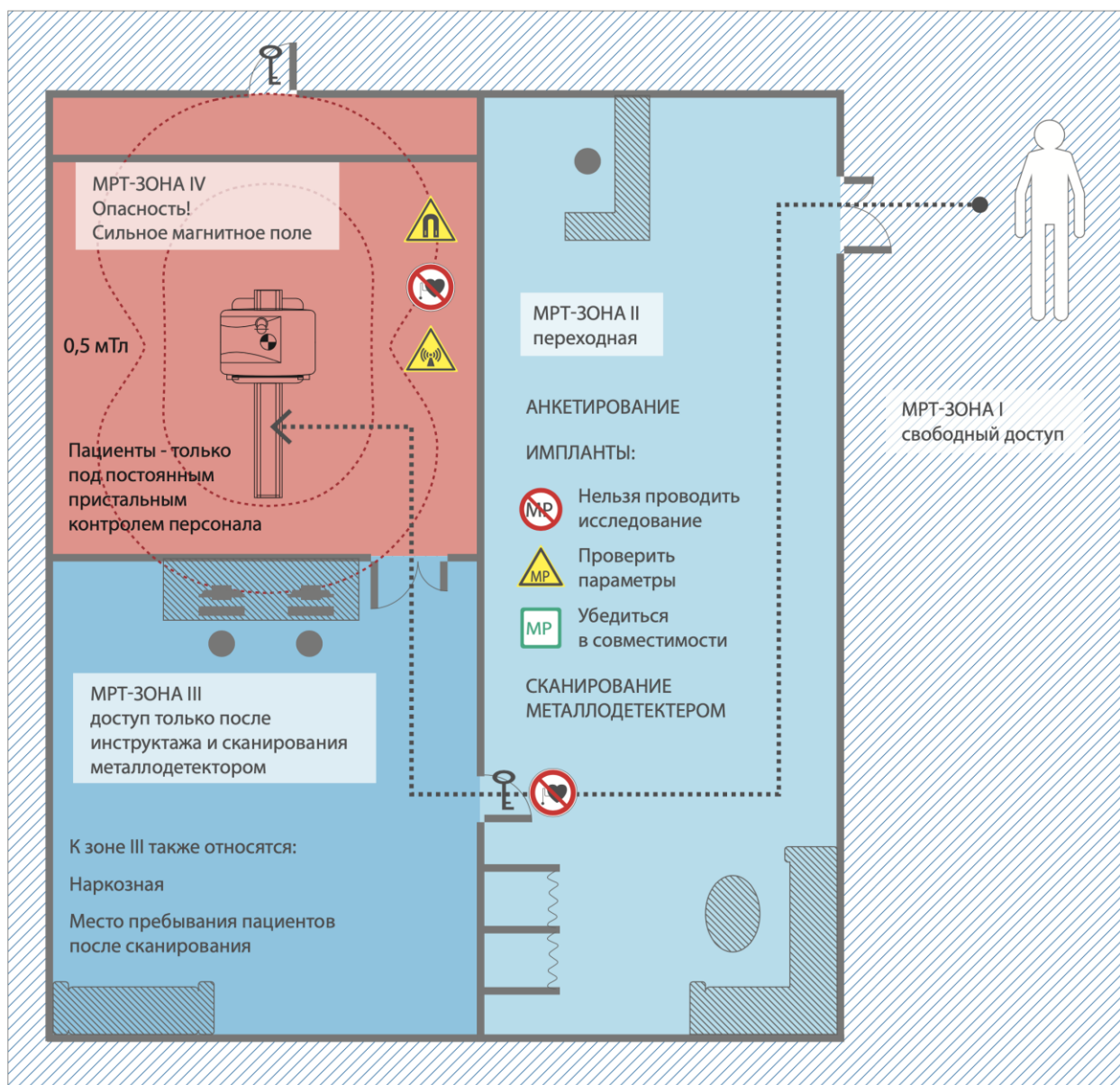


Рисунок 5 – Схема зонирования кабинета МРТ

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

Зонирование пространства должно выполняться на этапе проектирования помещений и корректироваться после монтажа 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.

2.2. Роль заведующего рентгенологическим отделением в обеспечении безопасности

При организации работы МРТ-кабинета, который обычно входит в состав рентгенологического отделения, одной из ключевых задач заведующего становится обеспечение безопасности проведения диагностических исследований в условиях постоянного сильного магнитного поля. Нарушение правил МРТ-безопасности может привести к снижению качества оказания медицинской помощи, травматизации персонала и пациентов, повреждению и выводу из строя медицинского оборудования. Таким образом, заведующий рентгенологическим отделением отвечает за разработку и применение политик и процедур, направленных как на обеспечение безопасного проведения МРТ-исследований для пациентов, так и создания безопасной среды для сотрудников медицинского учреждения в целом [10].

Обеспечение высокого уровня МР-безопасности в отделении может быть осуществлено только при полноценном понимании принципа работы МР-сканнера и правилах проектирования кабинетов МРТ [11].

Можно сформулировать следующие обязанности заведующего рентгенологическим отделением, направленные на обеспечение МР-безопасности:

1. Обучение врачей-рентгенологов, рентгенолаборантов и вспомогательного персонала отделения правилам безопасного проведения МР-исследований.

2. Обеспечение информирования пациентов о правилах безопасного проведения МРТ-исследований.

3. Регулярный контроль за исполнением и обеспечением сотрудниками отделения правил безопасности проведения МР-исследований.

4. Обеспечение информирования стороннего персонала медицинского учреждения.

5. Своевременное информирование медицинских техников о поломках диагностического оборудования и необходимости проведения планового технического обслуживания.

6. Проведение регулярных аудитов безопасности помещений МРТ-кабинета и оборудования для выполнения МРТ-исследований с целью выявления и устранения потенциальных опасностей и рисков;

7. Разработка протоколов и чек-листов для управления инцидентами, связанными с МР-безопасностью.

8. Определение причин возникновения инцидентов и осуществление корректирующих действий.

Для оптимизации кадровых ресурсов, ежедневный контроль за исполнением правил МРТ-безопасности может быть возложен на ответственного врача-рентгенолога в смене. При этом каждый сотрудник,

прикрепленный к МРТ-кабинету, должен знать свою зону ответственности в обеспечении безопасного проведения МРТ-исследования.

Целесообразно применение многоуровневого контроля, например, администратор кабинета МРТ незадолго до исследования информирует пациента о необходимости удаления металлических предметов с тела, повторное информирование проводит рентгенолаборант непосредственно перед исследованием, при этом осуществляется дополнительная проверка с помощью металлодетектора.

Преимуществом применения многоуровневого контроля является повышение эффективности МР-безопасности в отделении, своевременное обнаружение и предотвращение угроз возникновения инцидентов.

2.3. Действия при возникновении внештатной ситуации

Все применяемые в здравоохранении МР-томографы оснащаются системами безопасности нескольких уровней. В случае возникновения любой внештатной ситуации персоналу кабинета следует обеспечить собственную безопасность и безопасность пациентов и сообщить соответствующим службам о происшествии. Важно, что для каждого конкретного аппарата алгоритм работы систем безопасности может в некоторой степени отличаться, поэтому обязательным является изучение руководства пользователя всеми сотрудниками отделения.

1. Остановка исследования. Первым шагом (необязательным) является остановка сканирования соответствующей кнопкой на консоли оператора или на панели томографа.

2. Ручное перемещение стола. В случае необходимости выведения пациента из процедурной МРТ при технических сбоях стол пациента оснащен кнопкой или рычагом разблокировки.

3. Аварийное отключение питания (кроме поля B_0) распространяется на большинство систем, включая электроснабжение в процедурной и комнате управления, консоли и рабочие станции, вентиляцию, НО не сверхпроводящий магнит. Эту функцию следует использовать при возникновении серьезных технических неисправностей, пожара или разлива воды.

4. Аварийное отключение магнита должно использоваться при возникновении риска причинения вреда здоровью или жизни вследствие втягивания металлических объектов в томограф. В общем случае после активации данной системы происходит быстрый (порядка 20 с) сброс гелия и отключение магнитного поля. Сразу после нажатия кнопки «аварийное отключение магнита» и выполнения всех действий, обеспечивающих безопасность персонала и пациентов, необходимо сообщить о данном инциденте в обслуживающую организацию с целью контроля корректного срабатывания всех аварийных устройств МРТ и предотвращения попадания воздуха в криокамеру МРТ.

Восстановление работоспособности МРТ после нажатия кнопки «аварийное отключение магнита» разрешается проводить только специалистам организации, осуществляющей сервисное обслуживание.

При возникновении аварийной ситуации, которая может привести к ожогу, травматизации и другим поражениям, сотрудники кабинета МРТ должны принять необходимые меры для ликвидации последствий (проветрить помещение, осторожно убрать пролитую жидкость и т.д.). При возникновении пожара сотрудникам кабинета необходимо эвакуировать всех людей из процедурной, вызвать экстренные службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС) и принять меры по ликвидации пожара согласно инструкции по пожарной безопасности, использовать только немагнитные огнетушители и средства пожаротушения.

Важно отметить, что все чаще для выполнения рутинных исследований (например, в условиях амбулаторного звена в ночную смену) в кабинете МРТ работает один рентгенолаборант. В связи с этим авторы считают актуальным отдельное написание инструкции для такого случая.

В работе рентгенолаборанта одна из главных задач – это обеспечение безопасности проведения диагностических исследований. В соответствии с профессиональным стандартом «Рентгенолаборант», утвержденным приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 31 июля 2020 г. № 480н, рентгенолаборант обязан не только уметь оказывать экстренную медицинскую помощь, но и:

- проводить первичный осмотр пациента и оценку безопасности окружающей среды;
- оценивать состояние пациента, требующего оказания медицинской помощи в экстренной форме;
- распознавать состояния, представляющие угрозу жизни, включая остановку кровообращения и/или дыхания (клиническую смерть), требующие экстренной медицинской помощи;
- выполнять мероприятия базовой сердечно-легочной реанимации;
- применять лекарственные препараты и медицинские изделия при оказании экстренной помощи;
- проводить мероприятия по поддержанию жизнедеятельности пациента до прибытия врача или бригады скорой помощи.

Ниже приводится пример алгоритма действий рентгенолаборанта при возникновении экстренной ситуации.

1. Обеспечить безопасность пациента и персонала.
2. Прекратить проведение диагностического исследования.
3. Вывести пациента из зоны проведения исследования (при необходимости).
4. Сообщить врачу-рентгенологу об экстренной ситуации.
5. При необходимости оказать первую помощь пострадавшим согласно инструкциям и в пределах своей компетенции.

6. Сообщить о происшествии руководству медицинской организации.

7. Вызвать при необходимости соответствующие аварийные службы (пожарную, медицинскую и т. д.).

8. Принять меры по локализации и ликвидации последствий экстренной ситуации в соответствии с инструкциями.

9. Зафиксировать происшествие в установленном порядке, составить акт о случившемся.

10. Провести разбор причин возникновения экстренной ситуации и принять меры по недопущению подобных ситуаций в дальнейшем.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ

3.1. Пациенты без сознания

Если пациенту в бессознательном состоянии по клиническим показаниям назначено проведение МР-исследования, необходимо тщательно собрать сведения о его медицинской истории, включая перенесенные операции, травмы или наличие имплантированных объектов.

Выделяют несколько вариантов порядка действий в зависимости от доступности информации о пациенте:

1. При отсутствии возможности собрать информацию о наличии ограничений. Например, пациент в бессознательном состоянии доставлен бригадой скорой медицинской помощи с улицы, нет возможности получить быстрый доступ к его истории болезни, отсутствуют результаты рентгенографических или КТ-, МР-исследований, – в таком случае рекомендуют [2]:

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 или КТ-сканирование (если отсутствуют недавние КТ, МР-исследования или рентгенография данной области). Этим пациентам также рекомендуют провести рентгенографию черепа или глаз и грудной клетки для исключения наличия ферромагнитных инородных объектов. Важно, что эти исследования должны быть документально обоснованы соответствующим образом.

3. При отсутствии подозрений на наличие у пациента потенциально опасных инородных объектов принимается решение о проведении МР-сканирования.

2. При возможности собрать информацию об ограничениях. Врач-рентгенолог должен ознакомиться с историей болезни на предмет возможных противопоказаний, уточнить информацию у родственников, лечащего врача. В отсутствие противопоказаний проводится МР-исследование.

1. Персоналу кабинета МРТ и/или сопровождающим медицинским работникам необходимо следить за состоянием пациента во время проведения исследования (системы видеомониторинга, через смотровое окно). В случае ухудшения самочувствия пациента во время сканирования/развития эпилептического приступа необходимо немедленно остановить исследование, выкатить стол из тоннеля томографа, убедившись в безопасности движения стола для пациента, снять катушки и иные приспособления для проведения исследования (подушки, наушники

и проч.). При возможности – вывести или выкатить пациента из процедурной для оказания ему помощи без ограничений, связанных с оборудованием МРТ. При невозможности – например, при эпилептическом приступе, убедиться в отсутствии опасности падения пациента и в проходимости дыхательных путей – при необходимости положить голову на бок, постараться избежать аспирации рвотными массами/прикусывания языка, при первой возможности – вывести из процедурной для оказания дальнейшей помощи.

2. Персонал, оказывающий помощь пациенту непосредственно в процедурной (например, анестезиолог), должен пройти инструктаж и знать ограничения, связанные с воздействием магнитного поля.

3.2. Особенности применения оборудования для мониторинга состояния пациента

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, особенно в случае пациентов в бессознательном состоянии, которые не могут сообщить о чрезмерном нагреве тканей. Обычные ЭКГ- или ЭЭГ-электроды должны быть сняты с пациента перед сканированием и заменены на МР-совместимые. ЭКГ-оборудование в его отсутствие можно заменить на оптоволоконные пульсоксиметры, которые не связаны 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. Такие датчики предназначены только для синхронизации импульсных последовательностей и не могут обеспечить адекватный мониторинг состояния пациента. Рекомендуется проверять состояние пациента после окончания сбора данных для каждой МР-последовательности и при необходимости менять положение проводов или других электропроводящих материалов [12].

При необходимости использования неинвазивного мониторинга артериального давления рекомендуется применять МР-совместимые соединения (например, выполненные из пластика, а не ферромагнитные или токопроводящие коннекторы, которые могут привести к ожогу или притягиванию к МРТ).

Длина линии для инвазивного мониторинга артериального давления, для капнографии должна быть минимизирована с целью снижения демпфирования и временной задержки показаний на мониторе [13]. Следует иметь в виду, что при сканировании в МР-томографах с высокой индукцией магнитного поля (1,5 и 3,0 Тл) закрытого типа доступ к пациенту для проведения манипуляций или проверки установки/крепления систем контроля может быть ограничен длиной туннеля томографа, в котором расположен пациент – в отдельных случаях возможно пересмотреть укладку или выбрать томограф открытого типа.

При седации пациентов также должно применяться МР-совместимое оборудование. Анестезиолог должен обязательно присутствовать в пультовой (комнате управления) во время исследования, по его требованию МР-исследование может быть приостановлено для оценки дыхательной деятельности пациента.

3.3. Пациенты с имплантами

Классификация имплантов по МР-совместимости

По результатам теоретических расчетов и испытаний ИМИ относят к одной из трех групп с указанием соответствующих символов на маркировке и в сопроводительных документах (таблица 3):

- МР-безопасные (MR-safe). К ним относятся импланты, 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 импланты считаются безопасными при условии отсутствия превышения 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.

Таблица 3 – Классификация ИМИ по МР-совместимости

Условное обозначение	Наименование	Примечание
	МР-безопасные (MR-safe)	Не представляют опасности при работе в МР-пространстве
	МР-совместимые при определенных условиях (MR-conditional)	Являются безопасными при соблюдении условий (индукция постоянного магнитного поля, максимальное значение градиента магнитного поля, максимальный удельный коэффициент поглощения, время сканирования)
	МР-небезопасные (MR-unsafe)	Выполнение МРТ пациентам с такими имплантами может привести к травме и необратимым изменениям свойств изделия

Согласно нормативным документам (ГОСТ Р ИСО 14630-2017, ГОСТ Р ИСО 14708-3-2016, ГОСТ Р ИСО 14708-4-2016, ГОСТ Р ИСО 14708-7-2016, ГОСТ Р ИСО 25539-2-2012), каждый имплант должен быть снабжен инструкцией по эксплуатации (руководством пользователя), включающей в себя данные о безопасности и совместимости с МРТ. Принятие решения о классе импланта по МР-совместимости необходимо выполнять согласно:

- паспорту (или руководство пользователя) изделия, представленного пациентом;
- выписному эпикризу пациента, содержащему заключение об МР-совместимости;
- при наличии точных сведений о модели импланта информацию об МР-совместимости часто можно получить на сайте производителя или в базе данных портала mrisafety.com.

Для проверки наличия металлических объектов рентгенолаборанту рекомендуется дополнительно провести сканирование пациента металлодетектором, а в оптимальном случае и ферромагнитным детектором, чтобы убедиться в том, что сведения верные (пациент может забыть выложить что-то из карманов). При этом следует строго выполнять инструкцию по применению детектора (например, некоторые ручные металлодетекторы срабатывают лишь в движении).

С точки зрения обеспечения безопасности критически важно соблюдать условия сканирования для МР-совместимых при определенных условиях ИМИ, а все неизвестные изделия считать МР-несовместимыми. Более подробная информация о способах выполнения и интерпретации исследований пациентам с металлоконструкциями представлена в коллективной монографии [12].

3.4. Магнитно-резонансная томография плода

Стандартные противопоказания и факторы риска при проведении МРТ у беременных существенно не отличаются от таковых у взрослых пациентов [14] и описаны в данных рекомендациях выше. Дополнительные меры предосторожности существуют для обеспечения безопасности плода и комфорта беременной.

Основные риски (или побочные эффекты) при проведении МРТ связаны прежде всего с потенциальным тератогенным воздействием (I триместр беременности), нагревом тканей и акустическим шумом (независимо от срока гестации) [14]. При этом на сегодняшний день не существует литературных данных о специфических последствиях при проведении бесконтрастной МРТ в любом триместре беременности (ACR–SPR Practice parameter for the safe and optimal performance of fetal magnetic resonance imaging (MRI), 2020), ISUOG Practice Guidelines (updated): performance of fetal magnetic resonance imaging, 2023). При наличии томографов с индукцией магнитного поля 1,5Т и 3Т, в I триместре беременности предпочтительнее выполнение исследования с использованием 1,5 Т [15].

Считается, что повышение температуры плода более чем на 2 °С имеет тератогенный эффект [16], поэтому МРТ плода следует выполнять в обычном режиме с УКП ≤ 2 Вт/кг (удельный коэффициент поглощения), что не приводит к изменению температуры более, чем на 0,5 °С. Для этого перед исследованием рекомендуется точно измерять рост и вес беременной.

Доказательная база о наличии долгосрочных последствий влияния МРТ с индукцией магнитного поля менее 3Т на органы слуха плода в течение II и III триместра беременности в настоящее время отсутствует. При этом, если исследование необходимо выполнить в I триместре беременности, как указывалось выше, рекомендуется использование томографа с индукцией магнитного поля 1,5Т [15].

Основные правила безопасности при выполнении МРТ беременной по поводу экстрагенитальной патологии не отличаются от вышеописанных.

Потенциальные нежелательные эффекты, связанные с магнитным полем и акустическим шумом, применимы не только к беременным пациенткам, но и к беременным женщинам из числа персонала, работающим как внутри магнитного поля, так и рядом с ним. В качестве мер предосторожности им не рекомендуется находиться в зоне IV (помещение,

где расположен томограф) во время сканирования (за исключением случаев необходимости). При этом работа сотрудника в любой зоне томографа (I–IV) с индукцией магнитного поля 1,5 Тл и 3 Тл считается безопасной [15].

Перед проведением МРТ врач-рентгенолог и/или направляющий врач должны ответить на следующие вопросы [12]:

1) возможно ли отложить исследование до родоразрешения пациентки?

2) повлияет ли информация, полученная в ходе исследования, на тактику ведения пациентки (беременная/плод)?

3) возможна ли постановка диагноза с использованием альтернативных неионизирующих методов диагностики?

Таким образом, решение о проведении МРТ должно быть согласовано между рентгенологом и направляющим врачом на основании клинических данных и потенциальной пользы от выполненного исследования. Перед выполнением исследования необходимо иметь документацию, включающую цель исследования, срок беременности и анамнез заболевания (включая данные УЗИ, семейный анамнез, данные иных методов диагностики).

Общий порядок проведения МР-исследования значительно не отличается от вышеописанного. В зависимости от цели и области исследования катушка располагается на уровне зоны сканирования с централизацией на уровне зоны интереса. Положение беременной – на спине (под колени подкладывается валик) или на левом боку (при наличии симптомов сдавления нижней полой вены). Для минимизации явлений клаустрофобии желательна позиция ногами вперед. Если объектом сканирования является плод, исследование желательно проводить в утренние часы, т.к. его двигательная активность в данное время, как правило, ниже. Седация беременных в настоящее время не рекомендуется, в исключительных случаях выполняется под контролем специализированного персонала [17,18].

Не рекомендуется прием пищи за 3–4 часа до сканирования для элиминации артефактов от перистальтики кишечника и «ассоциированных» движений плода. Если беременность выявлена в ходе проведения МРТ органов брюшной полости и малого таза (например, при острой боли в животе), исследование следует продолжать с учетом вышеописанных рекомендаций [19].

4. АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ ЧАСТЫХ ВОПРОСОВ БЕЗОПАСНОСТИ

Аппарат наружной фиксации (АНФ)/Аппарат внешней фиксации (АВФ)

Медицинские изделия данной категории зачастую являются МР-несовместимыми. Без документального подтверждения статуса МР-совместимости конкретного изделия исследование не начинать – высокий риск втягивания в туннель томографа.

Аптечка противошоковая

Необходимо обеспечить условия хранения в комнате управления или подготовительной. Провести инструктаж персонала о ее использовании, расположить телефоны реаниматолога на видном месте.

В отделении должен быть разработан алгоритм действий при оказании экстренной медицинской помощи:

- 1) обезопасить пациента (вывести из зоны воздействия магнитного поля и возможного поражения электрическим током);
- 2) оценить жизненные функции пациента;
- 3) позвать на помощь коллег;
- 4) при необходимости начать СЛР и параллельно вызвать дежурного врача/реаниматолога/скорую медицинскую помощь (номера телефонов должны быть указаны в алгоритме действий);
- 5) оказывать первую медицинскую помощь до получения помощи квалифицированных специалистов.

Артефакты:

– **движения:** успокоить пациента, уложить удобно, зафиксировать. Использовать быстрые импульсные последовательности (ИП), а также ИП с коррекцией движения (типа BLADE, PROPELLER). В случае произвольных движений (тремор, гиперкинезы) – рассмотреть возможность МРТ-сканирования при использовании седации/наркоза;

– **пульсация сосудов/жидкостей:** применить синхронизацию с пульсом или ЭКГ-синхронизацию, подбор оптимальных параметров ИП (артефакты от ликвора при сканировании спинного мозга в T2-ВИ, инфратенториально в задней черепной ямке в режиме FLAIR);

– **артефакты иные:** убедиться, что оборудование исправно: нет оголенных проводов, посторонних звуков, ошибок, уровень гелия в норме.

– **металл:** остановить исследование, проконтролировать состояние пациента, проинформировать врача-рентгенолога и принять решение о продолжении МР-исследования;

– **одежда:** удалить все объекты с одежды, которые могут вызывать артефакты, если это невозможно – сменить одежду на одноразовую.

Беременность

МРТ рекомендуется проводить сканирование только при явных клинических показаниях и только во втором и третьем триместрах. Основные риски (или побочные эффекты) при проведении МРТ связаны прежде всего с потенциальным тератогенным воздействием (I триместр беременности), нагревом тканей и акустическим шумом (независимо от срока гестации). МРТ плода следует выполнять в обычном режиме с УКП не более 2 Вт/кг. Если исследование необходимо выполнить по жизненным показаниям в I триместре беременности, рекомендуется использование томографа с индукцией магнитного поля не более 1,5 Тл.

Беременным женщинам из числа персонала не рекомендуется находиться в комнате сканирования во время проведения исследования (за исключением случаев, когда это необходимо). При этом работа сотрудника в любой зоне кабинета МРТ (I–IV) с индукцией магнитного поля 1,5 Тл и 3 Тл считается безопасной.

Брекеты

В зависимости от материала: керамические или пластмассовые брекетки не вызывают артефактов и безопасны для пациента при проведении МРТ. Брекетки и ортодонтическая дуга из нержавеющей стали могут приводить к артефактам в орофациальной области, лобных долях головного мозга, орбитах и гипофизе [20]. Таким образом, без применения техник подавления артефактов исследование может не иметь диагностической ценности. Подробнее техники подавления артефактов от брекетов приведены в работе «Артефакты от металлоконструкций в магнитно-резонансной томографии: методические рекомендации» [21].

Вибрации

В штатном режиме МРТ-томограф вибрировать не должен. Если это происходит, следует обратиться в обслуживающую организацию.

Под действием градиентных магнитных полей (во время сканирования) могут вибрировать токопроводящие металлические объекты – особенно с большими поверхностями (пластины, кардиостимуляторы и пр.).

Если выявлено, что объект МР-безопасный (совместимый) – успокоить пациента. Если по вибрации выяснилось, что у пациента есть инородный объект – приостановить МР-сканирование и решить, возможно ли продолжение исследования.

С целью исключения вибрации – рекомендовать пациентам снять даже немагнитные предметы – в первую очередь, серебряные и золотые украшения (цепи, кольца, серьги), поскольку, как правило, в материалах могут содержаться примеси, приводящие к вибрации украшений и дискомфорту пациентов.

Внутриматочная спираль

Данные изделия выполнены обычно из пластика с активными элементами меди и соответствуют группе МР-безопасных имплантов. Однако необходимо убедиться в этом, изучив документацию на изделие.

Втягивание металлических объектов

При втягивании небольших предметов (ключи, телефоны и пр.) при отсутствии рисков для пациентов и персонала необходимо приостановить исследование и сообщить в инженерную службу.

В случае блокирования человека в томографе в результате втягивания крупного металлического объекта (каталка, газовый баллон и пр.) и наличия реального риска причинения вреда здоровью или жизни необходимо отключить магнитное поле (квенч) нажатием на соответствующую кнопку. При этом происходит сброс большого количества низкотемпературного гелия по аварийному газоотводному каналу. Индукция магнитного поля снижается до нуля 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.

Газы медицинские (кислород)/Неправильная работа системы подачи кислорода (и иных медицинских газов)

Прервать исследование, проверить работу системы и устранить неисправности – в случае невозможности их немедленного устранения отложить МР-исследование или продолжить с помощью подручных средств подачи кислорода (мешок Амбу) или рассмотреть возможность выполнения альтернативных диагностических исследований (например, КТ).

Гелий – низкий уровень

Уменьшение гелия до уровня 30 % и менее может привести к кваенчу. При эксплуатации МР-томографа необходим периодический мониторинг содержания уровня гелия. В случае низкого уровня – сообщить заведующему отделением и вызвать обслуживающую службу.

Головокружение в процедурной

В случае головокружения у находящегося рядом с МР-томографом сотрудника/сопровождающего – вывести из процедурной, усадить, объяснить алгоритм поведения в непосредственной близости от томографа из-за воздействия высокого магнитного поля: не двигаться быстро, не совершать резких наклонов.

В случае головокружения у пациента – посадить его, при необходимости вывести из процедурной, успокоить, объяснить, что это неопасно и, по возможности, продолжить исследование.

Дверь в процедурную неплотно закрывается

Дверь в процедурную является частью клетки Фарадея, защищающей аппарат МРТ от электромагнитных полей. Сканирование с открытой (приоткрытой) дверью повлечет за собой возникновение артефактов на изображениях.

Некорректная работа механизма двери (требует больших усилий или до конца не закрывается) может привести к снижению качества визуализации и возникновению дополнительных рисков при внештатных ситуациях.

Необходимо обратиться в инженерную службу.

Зубные импланты металлические

Как правило, являются МР-безопасными. При выраженных артефактах проинформировать врача-рентгенолога для уточнения диагностической ценности результатов.

Импланты

В МРТ-кабинете импланты могут притягиваться, поворачиваться, вибрировать и нагреваться. Активные импланты (например, электрокардиостимулятор) в случае их неправильной подготовки к МР-исследованию – некорректно работают или выходят из строя.

Безопасность выполнения исследования в каждом случае должна рассматриваться отдельно (см. раздел «Пациенты с имплантами»)

Инжекторная система для введения контрастного препарата

При неисправности – не использовать, вызвать сервисную службу. Если качество исследования не пострадает, ввести контраст вручную.

Инородные объекты, МР-совместимость которых не установлена

МР-сканирование не начинать до тех пор, пока МР-совместимость не будет установлена. См. раздел «МР-несовместимые имплантируемые медицинские изделия».

Инсулиновая помпа

Изучить документацию пациента и импланта. Определить группу импланта по МР-совместимости. В случае, если имплант является МР-совместимым, определить возможность настройки протокола сканирования согласно условиям проведения МРТ из документации импланта. В процессе выполнения сканирования – осуществлять мониторинг состояния пациента. Подробнее можно прочитать в работе:

«Особенности проведения магнитно-резонансной томографии у пациентов с имплантатами и металлоконструкциями» [22].

Кардиостимулятор/электрокардиостимулятор/кардиовертер-дефибриллятор

Изучить документацию пациента и импланта. Определить группу импланта по МР-совместимости. В случае, если имплант является МР-совместимым, определить возможность настройки протокола сканирования согласно условиям проведения МРТ из документации импланта. Для проверки МР-совместимости всех компонентов (в т.ч. установленных ранее) может быть выполнена рентгенография или КТ.

Аритмолог (или другой профильный специалист) выполняет настройки импланта в режим, безопасный для МР-сканирования. В процессе выполнения сканирования необходимо обеспечить мониторинг гемодинамики с совместным использованием ЭКГ-монитора и пульсоксиметра. Подробнее можно прочитать в работе «Особенности проведения магнитно-резонансной томографии у пациентов с имплантатами и металлоконструкциями» [22].

Квенч

Характерен для МРТ-томографов со сверхпроводящими магнитными катушками (за исключением «безгелиевых» аппаратов).

В результате аварии или после нажатия кнопки аварийного сброса гелия происходит выброс порядка 1000 л хладагента температурой около -270 °С. Большая часть гелия (но не весь) при этом должна быть выведена по системе аварийного сброса за пределы здания в окружающую среду. В результате этого в процедурной значительно снизится температура, за счет вытеснения воздуха газообразным гелием может критично снизиться уровень кислорода (вплоть до гипоксии).

Обеспечить наличие и работоспособность телефона экстренной службы в данной ситуации на видном месте, провести инструктаж персонала.

Если произошел квенч – срочно сообщить руководителю, инженерным службам организации, вызвать службы спасения (в соответствии с разработанным и утвержденным алгоритмом), уведомить обслуживающую организацию [7].

Клапан сердца

Опросить пациента, изучить документацию на имплант, при необходимости выполнить МР-исследование согласно рекомендациям [23]:

1) пациенты с клапанами сердца и кольцами для аннулопластики могут пройти МР-сканирование на МР-томографе с величиной магнитной индукции не более 3,0 Тл, независимо от величины пространственного

градиента магнитного поля и давности установки имплантатов (МР-сканирование возможно сразу после установки);

3) МР-сканирование должно быть проведено с использованием следующих параметров:

- индукция магнитного поля 3,0 Тл или меньше;
- среднее значение УКП всего тела 2 Вт/кг (работа в нормальном режиме МР-томографа);
- максимальное время визуализации: 15 минут на одну импульсную последовательность (разрешено выполнение нескольких импульсных последовательностей одному пациенту).

Клаустрофобия/панические атаки у пациента

Успокоить, объяснить порядок проведения исследования, пригласить сопровождающего (при соблюдении правил безопасности). Рассмотреть возможность использования томографа открытого типа или выполнения исследования под седацией/наркозом.

Клипсы аневризматические

Опросить пациента на наличие аневризматических клипс. Проверить документацию на имплант, убедиться в том, что класс по МР-совместимости – МР-безопасные. В обратном случае – не допускать пациента в комнату сканирования, где присутствует высокое магнитное поле, т.к. это может быть опасно для жизни. Также не допускать в комнату сканирования лиц, сопровождающих пациента, если у них имеются клипсы аневризматические [4].

Контакт поверхности тела пациента с корпусом томографа при сканировании

Обеспечить отсутствие соприкосновения, если возможно (например, сканирование в другом положении, использование специальных подушек из диэлектрического материала). Если части тела пациента будут находиться слишком близко к поверхности тоннеля магнита или даже касаться его – вероятен ожог.

В случае необходимости выполнения сканирования пациентам с чрезмерной массой тела и наличии риска соприкосновения с корпусом томографа – не проводить исследование на данном томографе, быть информированным, какие модели томографов допускают высокий вес или имеют более широкую апертуру (например, 70 см, а не стандартные 60 см), рекомендовать другие методы исследования (КТ, УЗИ).

Контрастные препараты

Контрастные препараты на основе гадолиния практически полностью безопасны при использовании в соответствующих клинических дозах. Аллергические реакции встречаются с частотой 0,004–0,17 %. При возникновении аллергоподобной или физиологической реакции

необходимо оценить ее тяжесть и действовать согласно наблюдаемым симптомам (см. соответствующий раздел данных методических рекомендаций и работу [24]).

Пациентам с сахарным диабетом, принимающим метформин, в случае если вводимая доза контрастного препарата на основе гадолиния составляет диапазон 0,1–0,3 ммоль/кг массы тела, прекращать прием метформина или проводить оценку функции почек перед введением солей гадолиния не требуется.

Если у пациента имеется почечная недостаточность, необходимость использования контрастных препаратов 2-й группы должна быть согласована с рентгенологом. При необходимости применения КП 2-й группы у пациентов с терминальной стадией почечной недостаточности (или на гемодиализе) для минимизации времени системной циркуляции препарата рекомендуется введение КП до проведения гемодиализа.

Кормление грудью/грудное вскармливание

Грудное вскармливание после введения контрастного препарата считается безопасным, а сцеживание молока в течение суток после инъекции необязательным, учитывая крайне низкие риски возникновения побочных реакций [25].

Если кормящая женщина обеспокоена возможными побочными эффектами для ребенка, она может воздержаться от грудного вскармливания с момента введения контраста на 12–24 часа, а перед запланированной процедурой может быть рекомендовано сцеживание молока для кормления ребенка в следующие сутки [26].

Кохлеарные импланты/слуховые аппараты

Опросить пациента на наличие кохлеарного импланта. В случае наличия – проверить документацию на имплант. Если он относится к группе МР-совместимых при определенных условиях, удостовериться в возможности обеспечения данных условий сканирования, а также в возможности выполнения настройки импланта согласно документации производителя [4].

Лазерная система для позиционирования

Возможна травма глаза от воздействия системы позиционирования. Попросить пациента закрыть глаза при разметке.

Магнитофосфены/вспышки света перед глазами

Восприятие световых вспышек у пациента из-за магнитного поля, что может вызвать дискомфорт или беспокойство. Объяснить, что это пройдет после выхода из магнитного поля.

Маска медицинская

Должна быть без металлических элементов во избежание нагрева или смещения.

Масса пациента превышает допустимый производителем предел/ожирение/избыточная масса тела

Не проводить исследование на данном приборе, быть информированным, какие модели томографов допускают более высокий вес или имеют более широкий туннель (например, 70 см, а не стандартные 60 см) или рекомендовать другие методы исследования (КТ, УЗИ). Может сломаться механизм передвижения стола, встроенная в стол катушка. Если части тела пациента будут находиться слишком близко к корпусу томографа или касаться его – вероятен ожог кожи.

МР-совместимость имплантов

Определить класс МР-совместимости на основе медицинских документов (выписной эпикриз), паспорта изделия, баз данных производителей имплантов или mrisafety.com. МР-безопасные – нет ограничений; МР-совместимые при определенных условиях – только при возможности соблюсти условия; МР-несовместимые – исследование не выполнять. Условия должны быть проверены для всех объектов, в том числе составных частей изделия [4,12].

Нагрев импланта

В процессе МР-сканирования необходимо обеспечивать условия минимизации нагрева, для этого необходимо контролировать уровень УКП (например, для всего тела усредненный УКП не должен превышать 2 Вт/кг).

Если пациент сообщил об ощущении от нагрева импланта – остановить МР-сканирование. При необходимости – направить к профильному специалисту. По назначению может быть выполнена рентгенография или КТ для оценки окружающих тканей.

Нарушение работы активных (имплантируемых) медицинских изделий

Остановить МР-сканирование, медленно выкатить стол пациента из тоннеля МР-томографа и медленно вывести пациента из комнаты сканирования. Сообщить врачу-рентгенологу и профильному специалисту.

Неидентифицированный пациент/личность пациента не установлена

Пациент без сознания – провести осмотр на предмет наличия шрамов от установки имплантируемых медицинских изделий или ранений. При наличии – выполнить рентгенографию или КТ с целью исключения наличия металлоконструкций.

Неизвестные импланты

Все неизвестные импланты должны считаться МР-несовместимыми, пока не будет установлено обратное или не будет показано, что связанные с выполнением исследования риски оправданы диагностической ценностью исследования [22]. При этом выполнение исследования ранее чем через 6 недель после имплантации, равно как при расположении импланта вблизи кровеносных сосудов или жизненно важных органов, связано с высоким риском критического поворота, смещения или нагрева.

В случае обнаружения имплантируемого медицинского изделия в процессе исследования (по артефактам на изображениях), следует прекратить сканирование и медленно вывести пациента из процедурной МРТ.

Ножницы и другие металлические объекты

Велика вероятность притягивания к томографу с возможным травмированием пациента или персонала, поломкой оборудования.

Ожог кожи

Из-за неправильного использования или контакта с электродами или кабелями – остановить МР-исследование. Вывести пациента из процедурной МРТ. Сообщить врачу-рентгенологу. Оказать первую помощь. Провести инструктаж персонала.

Очистка оборудования

Текущая, влажная и генеральная уборка выполняется в соответствии с действующей нормативной документацией с обязательным учетом требований производителя (в т.ч. в части чистящих средств).

Ошибка системы

При возникновении ошибок на консоли оператора следует руководствоваться инструкцией по эксплуатации.

Если ошибка системы не позволяет завершить или остановить исследование, оператор должен воспользоваться функцией ручного перемещения стола пациента и после вывода пациента из процедурной сообщить в инженерную службу.

Патчи/трансдермальные системы доставки лекарственных средств

На настоящий момент существуют МР-совместимые и МР-несовместимые патчи. Следует считать их МР-несовместимыми, пока не доказано обратное: еще на этапе анкетирования пациента настоятельно рекомендуется уточнять, не использует ли он трансдермальные патчи. Необходимо связаться с врачом пациента и выяснить, можно ли временно снять пластырь на время проведения МРТ. Если зона сканирования не находится в пределах РЧ-катушки (например, при проведении

МР-исследования головного мозга с использованием головной катушки у пациента с трансдермальным лекарственным патчем в области туловища), то риск для пациента низкий [27]. Для получения более полной информации по применению трансдермальных патчей следует обратиться к инструкции по применению лекарственного препарата в разделе «Описание», например, на сайте Государственного реестра лекарственных средств [28].

Перегрев пациента при сканировании

Включить вентилятор в тоннеле томографа, убедиться, что правильно работает климат-контроль комнаты сканирования, оценить УКП – изменить параметры импульсных последовательности для уменьшения нагрева пациента.

Переохлаждение пациента при сканировании/тремор

Накрыть пациента одеялом, убедиться, что правильно работает климат-контроль в комнате сканирования.

Пирсинг и ювелирные изделия

Политика МР-безопасности в отношении пациента с наличием пирсинга не зависит от материала, из которого изготовлено украшение. Украшения, изготовленные из ферромагнетиков, могут представлять опасность для пациента. Взаимодействие с магнитным полем сканера может привести к искажению изображения в зоне установленного пирсинга, а сами украшения могут смещаться и нагреваться (до ожога). Поэтому в целях обеспечения МР-безопасности все украшения, вне зависимости от материала изготовления, должны быть сняты перед проведением сканирования. В случае, если украшение снять невозможно, пациент должен быть предупрежден о возможности возникновения неприятных ощущений в зоне установки пирсинга. При возникновении такой ситуации, пациент должен незамедлительно сообщить об этом рентгенолаборанту путем подачи сигнала с помощью сигнальной груши.

Подготовка пациента

Провести опрос пациента и выполнить сканирование с использованием металлодетектора или ферромагнитного детектора, убедиться в отсутствии противопоказаний, оценить вес и рост пациента. Проверить соответствие подготовки пациента (прием пищи, лекарств) требованиям планируемого МР-исследования.

Подкожные косметические импланты

Большинство субдермальных косметических имплантатов изготавливаются из силикона, в некоторых случаях – из тефлона. Поэтому их наличие не влияет на безопасность проведения МР-исследования. Однако в ряде случаев вместе с подкожным косметическим имплантатом могут устанавливаться NFC (near field communication – связь на ближнем

расстоянии) или RFID (Radio Frequency Identification – радиочастотная идентификация) чипы, которые содержат малое количество меди и диоксида кремния. Необходимо убедиться в классе МР-совместимости данных имплантов на основе информации из документации.

Пожар

При возникновении пожара сотрудникам МРТ-кабинета необходимо эвакуировать пациента из процедурной, вызвать экстренные службы МЧС и принять меры по ликвидации пожара согласно инструкции по пожарной безопасности.

Необходимо использовать только немагнитные огнетушители и средства пожаротушения [10].

При включенном высоком магнитном поле пожарных не следует пускать в комнату сканирования. МР-несовместимые огнетушители не использовать.

Поломка – повреждение корпусных деталей

Приостановить прием пациентов и обратиться в обслуживающую организацию.

Каждый день необходимо проверять целостность оборудования, включая осмотр корпусов РЧ-катушек, мест присоединений кабелей.

Попадание контрастного вещества на элементы области сканирования

В случае попадания жидкостей (биологические жидкости, лекарственные препараты и пр.) на элементы томографа (стол, катушка, туннель) необходимо осуществить осушение области бумажным полотенцем/бумажной салфеткой/протереть антисептическим раствором.

Порт-система/Vascular access port

Опросить пациента, изучить документацию на имплант, при необходимости выполнить МР-исследование согласно рекомендациям [29]:

1) пациенты с порт-системами могут пройти МР-сканирование на МР-томографе с величиной магнитной индукции не более 3,0 Тл, независимо от величины пространственного градиента магнитного поля и независимо от сроков установки этих имплантов (можно сразу после установки);

2) МР-сканирование должно быть проведено с использованием следующих параметров:

- индукция магнитного поля – 3,0 Тл или меньше;
- среднее значение УКП всего тела – 2 Вт/кг (работа в нормальном режиме МР-томографа);
- максимальное время визуализации – 15 минут на одну импульсную последовательность (разрешено выполнение нескольких импульсных последовательностей одному пациенту).

Потеря сознания у пациента/обморок у пациента/синкопе

Прекратить сканирование, вывести стол из тоннеля томографа, позвать на помощь коллег в соответствии с алгоритмом разработанным в отделении. В случае эпилептического приступа – прекратить сканирование, вывести стол из томографа, убедиться, что пациент может дышать. В случае исследования головного мозга и/или органов шеи снять головную или шейную катушку, положить голову на бок, вызвать врача, реаниматолога.

Провода и кабели

Зажатие кабелей и проводов ведет к их механическим повреждениям.

Прекратить исследование, сообщить инженеру медицинской организации или в обслуживающую организацию. Возможно, потребуется ремонт или замена.

Провода оголенные

Приостановить прием пациентов и обратиться в обслуживающую организацию.

Протезы ортопедические

Необходимо следовать стандартным рекомендациям: опросить пациента, изучить документацию на ИМИ, удостовериться в том, что ИМИ является МР-безопасным или МР-совместимым при определенных условиях. Убедиться в возможности обеспечить условия сканирования, принять решение о выполнении исследования.

Пульсоксиметр встроенный

Не допускается применение встроенного пульсоксиметра для контроля состояния пациента (он предназначен только для синхронизации импульсных последовательностей). При необходимости осуществления мониторинга жизненно важных показателей в отсутствие МР-совместимого оборудования – отказаться от выполнения МР-исследования.

Сопровождающие

Присутствие сопровождающих пациента лиц в кабинете МРТ во время сканирования допустимо только в случае острой необходимости и только после прохождения той же процедуры контроля, что и для пациента: опрос, анкетирование, сканирование на предмет наличия металлических предметов в теле. Опрос и сканирование также обязательны в отношении сопровождающего медицинского персонала. При нахождении в сканирующем зале во время работы томографа обеспечить сопровождающих средствами акустической защиты (наушники, беруши).

Стенты коронарные

Наличие коронарных стентов, установленных более шести недель назад, не является противопоказанием к проведению МРТ. Проведение МР-исследования пациентам с имплантированными коронарными стентами допустимо при выполнении следующих условий [30]:

- индукция магнитного поля – 3,0 Тл или меньше;
- среднее значение УКП всего тела – 2 Вт/кг (работа в нормальном режиме МР-томографа);
- максимальное время визуализации – 15 минут на одну импульсную последовательность (разрешено выполнение нескольких импульсных последовательностей одному пациенту).

Риски выполнения исследования в течение первых шести недель после имплантации следует рассматривать индивидуально для каждого пациента.

Стимулятор блуждающего нерва/VNS

Необходимо опросить пациента, изучить документацию на имплант и убедиться в возможности проведения МРТ-сканирования. Подробное описание действий приведено в «Особенности проведения магнитно-резонансной томографии у пациентов с имплантами и металлоконструкциями» [22].

Стимулятор блуждающего нерва должен быть переведен в специальный режим при помощи системы программирования. Эту манипуляцию совершает врач-невролог или врач-нейрохирург, имеющий доступ к настройке устройства. Непосредственно перед началом МР-исследования рентгенолаборант или врач должны уведомить пациента о том, что при появлении дискомфорта, нагрева или других необычных ощущений пациент должен незамедлительно сигнализировать, чтобы персонал МРТ-кабинета сразу прекратил процедуру.

Пациентов с системой VNS-терапии можно сканировать безопасно через две недели после имплантации при следующих условиях:

- статическое магнитное поле – только 1,5 Тл или 3,0 Тл;
- пространственный градиент поля – 720 Гаусс/см или ниже;
- только нормальный режим сканирования (normal mode);
- использование приемо-передающих катушек или использование приемной катушки вне зоны исключения.

Стол пациента / блокировка стола

Неисправность стола томографа во время исследования пациента (стол томографа не выдвигается после окончания исследования/блок стола томографа с пациентом) – убедиться в отсутствии попадания предметов в конструкцию стола (провода, шланги, одежда). Вручную выкатить стол с пациентом (требуется инструктаж персонала). Вызвать инженера, сообщить в сервисную службу.

Стружка металлическая в теле

Наличие металлической стружки в теле пациента может привести к повреждениям и дискомфорту пациента в процессе выполнения МР-исследования, особенно в случае наличия стружки в глазу (может привести к потере зрения). Чтобы исключить такие случаи, необходимо опросить пациента и проверить его тело с использованием металлодетектора перед входом в комнату сканирования. При подозрении на наличие металлической стружки в глазу следует рассмотреть необходимость выполнения рентгенографии или КТ. Исследование выполнять только после тщательного анализа рисков.

Татуировки/перманентный макияж

Наличие татуировки или перманентного макияжа у пациента не является противопоказанием к проведению МРТ [31]. Однако некоторые красящие пигменты на основе оксида железа, используемые при нанесении татуировок, могут вызвать дискомфорт, жжение на коже и артефакты на изображениях [32,33].

Перед проведением сканирования пациенты должны быть проинформированы о возможности возникновения дискомфорта в зоне татуировки. При возникновении такой ситуации, пациент должен незамедлительно сообщить об этом рентгенолаборанту путем подачи сигнала с помощью сигнальной груши.

Тошнота, рвота у пациента/рвота у пациента

Убедиться, что пациент может дышать (снять головную РЧ-катушку при сканировании зоны головы), прекратить исследование и вывести пациента из процедурной, тщательно убрать всю жидкость, обработать зону, после – убедиться в возможности продолжить МР-исследование.

Удельный коэффициент поглощения/SAR превышение

Допустимо значение УКП 2 Вт/кг – это «режим контроля первого уровня». При этом персонал должен осознавать риски и контролировать состояние пациента.

Важно: на многих аппаратах УКП рассчитывается исходя из введенных оператором роста и веса пациента. Если записать их со слов – можно легко превысить лимит передаваемой тканям энергии и подвергнуть пациента риску.

Экстравазация контрастного вещества

Немедленно прекратить введение контрастного препарата и следовать следующему алгоритму:

1. Извлечь катетер, оценить количество средства, попавшего в мягкие ткани. При наличии гематомы наложить повязку с гепарином.
2. Контрастное средство при соприкосновении с мягкими тканями вызывает сильную болезненность и жжение. Для облегчения этих

симптомов рекомендовано применять холодные компрессы в течение последующих 10–12 часов (по 10 минут с интервалами в 20 минут, через полотенце) [24].

Электрический ток

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), вывезти из процедурной МРТ, вызвать дежурного врача или скорую помощь и оказать первую помощь.

Электропитание, отключение – внезапное прекращение подачи электроэнергии, что может привести к аварийной остановке оборудования или потере данных

Сообщить заведующему отделением. Должны включиться источник бесперебойного питания и другие системы резервного питания. Если электричество не включается – звонить в обслуживающую организацию и сообщить о случившемся, уточнить о вероятности и времени возникновения квенча. В случае вероятности квенча – сообщить спасательным службам и эвакуировать пациентов и персонал из кабинета МРТ (см. «квенч»).

Электроприборы – некорректная работа

Если какой-то прибор вблизи МР-томографа перестал работать или работает с нарушениями, следует убрать прибор из поля томографа. Установка приборов в смежных помещениях требует учета распределения изолиний индукции магнитного поля. Карта распределения изолиний должна быть получена при запуске МРТ в эксплуатацию.

Электростатический разряд, вызывающий повреждение оборудования или травму персонала и пациентов

Прекратить МР-сканирование. Вызывать инженеров. Оборудование неисправно, есть риск угрозы для жизни пациента/персонала.

Эпилептический приступ при сканировании

Прекратить сканирование, вывести стол из тоннеля томографа. Убедиться, что пациент может дышать – в случае исследования головного мозга и/или органов шеи снять головную или шейную катушку, положить голову на бок, вызвать врача-реаниматолога.

Шум при сканировании/дискомфорт и тревога у пациента из-за громкого шума/дискомфорт у персонала из-за громкого шума

Пациента необходимо успокоить, объяснить, что это безопасно и исследование обладает большой диагностической ценностью, а время сканирования невелико, при необходимости – на время вывести из процедурной. Использовать специальные тихие импульсные последовательности при возможности. Убедиться, что наушники плотно прилегают к ушам пациента. Использовать дополнительно беруши под наушники в случае, когда не требуется подача голосовых команд при сканировании. Помнить об обратной связи: команду «вдохнуть и не дышать» пациент услышит только при использовании специальных наушников.

Для персонала – рассмотреть вопрос шумоизоляции процедурной, по возможности перенести рабочие места (например, размещать кабинет врача-рентгенолога смежно с технической нецелесообразно – перенесите его). Сопровождающему персоналу (рентгенолаборанту, лечащему врачу, родственнику пациента) при нахождении в процедурной при работающем томографе следует надевать беруши или наушники.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данные методические рекомендации рассматривают факторы риска, возникающие при нахождении пациента в кабинете МРТ, основную роль заведующего рентгенологическим отделением в обеспечении МР-безопасности, а также основные правила безопасного выполнения МР-исследований.

Ввиду высокой актуальности проведения МРТ пациентам с имплантами в методику включено описание классификации ИМИ по МР-совместимости. Отмечено, что на данный момент к МР-совместимым могут относиться не только пассивные ИМИ, но также некоторые активные, например, ЭКС, ИД, устройства для глубокой стимуляции мозга, стимуляторы блуждающего нерва, инфузионные насосы, кохлеарные ИМИ. Рассматриваются пути улучшения качества изображения и борьбы с возникающими артефактами при проведении МР-исследования с ИМИ.

Отдельный раздел методических рекомендаций посвящен проведению МР-исследований пациентов, в котором рассматривается общий алгоритм. Также подготовлены разделы, включающие требования обеспечения безопасности при использовании контрастных препаратов в случае сканирования плода, а также при сканировании лиц в бессознательном состоянии.

Указанный в методических рекомендациях порядок действий при проведении МРТ позволит обеспечить безопасность медицинского персонала, пациентов, а также других людей, которые каким-либо образом могут быть подвержены опасности при работе МР-томографа.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Смирнов А. В., Семенов Д. С., Ахмад Е. С., Хоружая А. Н. Обзор российской нормативной документации по организации и функционированию кабинетов и отделений магнитно-резонансной томографии // *Digital Diagnostics*. 2021. Т. 2, № 4. С. 453–464.
2. American College of Radiology Committee on MR Safety. ACR Manual on MR Safety // American College of Radiology. 2020. – URL: <https://www.acr.org/-/media/ACR/Files/Radiology-Safety/MR-Safety/Manual-on-MR-Safety.pdf> (дата обращения: 25.10.2024).
3. The Society and College of Radiographers and the British Association of MR Radiographers. Safety in Magnetic Resonance Imaging // The Society and college of Radiographers. London: Quartz House, 2019. Vol. 4. 36 с.
4. MHRA. Safety Guidelines for Magnetic Resonance Equipment in Clinical Use // *Mhra*. 2021. December. P. 1–86.
5. The Royal Australian and New Zealand College of Radiologists. MRI Safety Guidelines. 3.0. Sydney, 2021. 36 p.
6. Сергунова К. А., Ахмад Е. С., Петряйкин А. В. [и др.]. Основы безопасности при проведении магнитно-резонансной томографии: методические рекомендации // Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». Вып. 47. М., 2019. № 63. 68 с.
7. Сергунова К. А., Семенов Д. С., Васильев Ю. А. [и др.]. Методические рекомендации по безопасности проведения магнитно резонансной томографии для рентгенолаборантов // Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». Вып. 43. М.: ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», 2020. 44 с. с.
8. Keevil S. Safety in magnetic resonance imaging // *Medical physics int journal*. 2016. Т. 4, № 1.
9. ICNIRP. *Icnirp Guidelines* // *Simposio Salud Ambiental*. 2010. Т. 26, № 1. С. 104–112.
10. Сергунова К. А., Петряйкин А. В., Гомболевский В. А. [и др.]. Методические рекомендации по разработке инструкций по охране труда для персонала кабинета (отделения) магнитно-резонансной томографии // Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». Вып. 7. М.: ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», 2017. 32 с.
11. Семенов Д. С., Смирнов А. В., Ахмад Е. С. [и др.]. Рекомендации по проектированию кабинета магнитно резонансной томографии // Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». Вып. 74. М.: ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», 2021. 52 с.
12. Kanal E., Barkovich A. J., Bell Ch., et al. ACR guidance document on MR safe practices: 2013 // *Journal of Magnetic Resonance Imaging*. 2013. Vol. 37, № 3. P. 501–530.
13. Wilson S.R. Shinde S., Appleby I., et al. Guidelines for the safe provision of anaesthesia in magnetic resonance units 2019: Guidelines from the Association

of Anaesthetists and the Neuro Anaesthesia and Critical Care Society of Great Britain and Ireland // *Anaesthesia*. 2019. Vol. 74, № 5. P. 638–650.

14. Mervak B. M., Altun E., McGinty K. A. MRI in pregnancy: Indications and practical considerations // *Journal of Magnetic Resonance Imaging*. 2019. Vol. 49, № 3. P. 621–631.

15. Jabehdar Maralani P., Kapadia A., Liu G., et al. Canadian Association of Radiologists Recommendations for the Safe Use of MRI During Pregnancy // *Canadian Association of Radiologists Journal*. SAGE Publications Inc., 2022. Vol. 73, № 1. C. 56–67.

16. Ziskin M. C., Morrissey J. Thermal thresholds for teratogenicity, reproduction, and development. // *International journal of hyperthermia: the official journal of European Society for Hyperthermic Oncology, North American Hyperthermia Group*. England, 2011. Vol. 27, № 4. P. 374–387.

17. ACR Committee on MR Safety. ACR–SPR practice parameter for the safe and optimal performance of fetal magnetic resonance imaging // *Online: American College of Radiology*. 2020.

18. Chapman T., Alazraki A. L., Eklund M. J. A survey of pediatric diagnostic radiologists in North America: current practices in fetal magnetic resonance imaging // *Pediatric radiology*. Germany, 2018. Vol. 48, № 13. P. 1924–1935.

19. Spalluto L. B., Woodfield C. A., DeBenedictis C. M., et al. MR imaging evaluation of abdominal pain during pregnancy: Appendicitis and other nonobstetric causes // *Radiographics*. 2012. Vol. 32, № 2. P. 317–334.

20. Dobai A., Dembrovsky F., Vízkelety T., et al. MRI compatibility of orthodontic brackets and wires: systematic review article // *BMC Oral Health*. 2022. Vol. 22, № 1. P. 298.

21. Artifacts from metal structures in magnetic resonance imaging // *Best Pract. Moscow: Moscow, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Healthcare Department*, 2022. 40 p.

22. Васильев Ю.А. и др. Особенности проведения магнитно-резонансной томографии у пациентов с имплантатами и металлоконструкциями. Москва: Издательские решения, 2022. 172 с.

23. Shellock F. G. Guidelines for the Management of Patients with Heart Valve Prostheses and Annuloplasty Rings Referred for MRI Examinations 2023. P. 3. URL:https://www.ismrm.org/smrt/safety_page/2023.Shellock.Heart.Valves.Annuloplasty.Rings.MRI.Guidelines.pdf (дата обращения: 25.10.2024).

24. Гомболевский В. А., Лайпан А. Ш., Бадюл М. И. [и др.]. Особенности применения контрастных препаратов в лучевой диагностике // Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». М.: ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», 2019. Вып. 25. 64 с.

25. Tremblay E., Thérasse E., Thomassin-Naggara I., Trop I. Quality initiatives: guidelines for use of medical imaging during pregnancy and lactation. // *Radiographics: a review publication of the Radiological Society of North America, Inc. United States*, 2012. Vol. 32, № 3. P. 897–911.

26. Davenport M., Daniella A.J.C, et al. ACR Manual On Contrast Media 2020 ACR Committee on Drugs and Contrast Media // Stanford Protocol. 2020. 131 p.
27. Transdermal Medication Patches and Other Drug Delivery Patches [Электронный ресурс]. URL: https://www.mrisafety.com/SafetyInformation_view.php?editid1=198 (дата обращения: 25.10.2024)
28. Государственный реестр лекарственных средств [Электронный ресурс]. URL: <https://grls.rosminzdrav.ru/GRLS.aspx> (дата обращения: 25.10.2024)
29. Shellock F. G. Guidelines for the Management of Patients with Vascular Access Ports Referred for MRI Examinations // ISMRM. 2023. P. 2. URL: https://www.ismrm.org/smrt/safety_page/2023.Shellock.VAP.MRI.Guidelines.pdf (дата обращения: 25.10.2024)
30. Shellock F. G. Guidelines for the Management of Patients with Coronary Artery Stents Referred for MRI Examinations // Ismrm. 2021. P. 4.
31. Alsing K.K. и др. MR scanning, tattoo inks, and risk of thermal burn: An experimental study of iron oxide and organic pigments // Skin Research and Technology. 2018. Vol. 24, № 2. P. 278–284.
32. Johannesen H. H., Hansen R. H., Alsing K., Serup J. Tatroo Ink, Magnetism and Sensation of Burn during Magnetic Resonance Imaging, and Introduction of Hand-Held Magnet Testing of Commercial Tattoo Ink Stock Products prior to Use. 2023. P. 251–258.
33. Serup J., Alsing K. K., Olsen O., et al. On the mechanism of painful burn sensation in tattoos on magnetic resonance imaging (MRI). Magnetic substances in tattoo inks used for permanent makeup (PMU) identified: Magnetite, goethite, and hematite // Skin Research and Technology. 2023. Vol. 29, № 3.

Приложение А

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

1. До проведения исследования. Зона I-II.

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

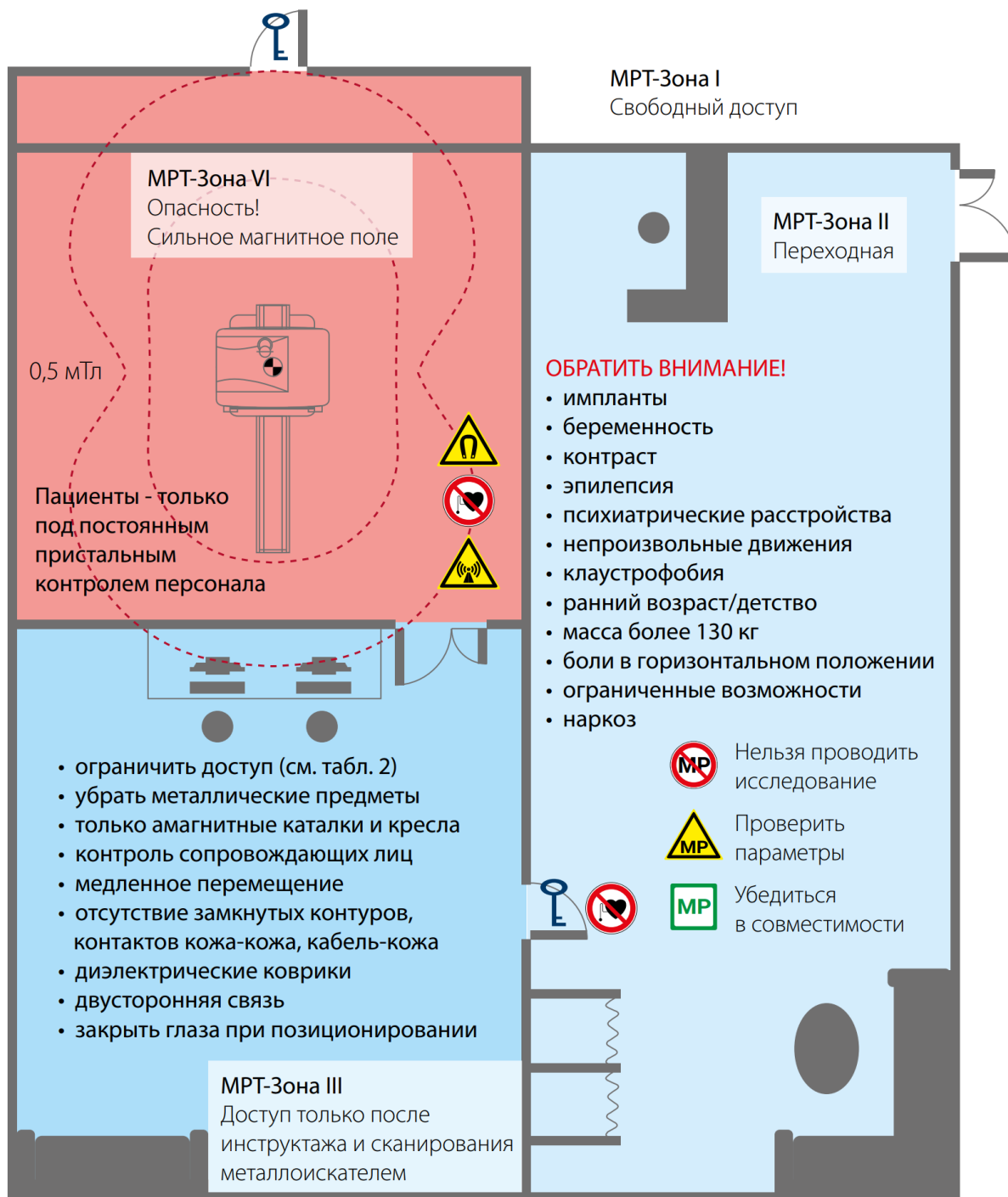


Рисунок А.1 – Схема обеспечения безопасности при проведении МР-исследования с учетом зонирования

1.2. Провести анкетирование и внимательно ознакомиться с результатами (см. таблицу А.1).

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

Обратить внимание	Действие
Наличие ИМИ	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 ¹ врача
Эпилепсия	Уточнить у пациента, принимает ли он препараты, оценить вероятность припадка в МРТ. Проинформировать врача
Пациенты с психическими расстройствами (установленный диагноз)	Проинформировать врача
Непроизвольное движение (тики, тремор)	Использовать программы, устраняющие артефакты движения (JET, Blade, Propeller, RADAR и др.). Рассмотреть возможность седации/наркоза в случае, если имеются выраженные двигательные артефакты
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 лет без наркоза
Масса более 130 кг или окружность живота превышает диаметр туннеля	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 Здесь и далее информирование о рисках предполагает индивидуальное рассмотрение возможности и условий выполнения исследования для каждого пациента. В отсутствие врача-рентгенолога (например, в ночную смену или в условиях, когда врач работает дистанционно и нет возможности консультации) рентгенолаборанту следует отказать в проведении исследования и проинформировать руководителя.

1.3. При обнаружении импланта следовать порядку действий, указанному в таблице А.2.

Таблица А.2 – Порядок действий при наличии у пациента импланта

Действия по обеспечению безопасности	Пояснение
1. Определение типа импланта 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 импланты и др.
<p>2. Определение МР-совместимости импланта:</p> <p>МР-безопасный </p> <p>МР-совместимый при определенных условиях </p> <p>МР-несовместимый </p>	<p>Определение типа импланта проводить по заключению о МР-совместимости импланта (информация может быть в выписке из стационара, в сопроводительной документации).</p> <p>Дополнительная информация об импланте о:</p> <ul style="list-style-type: none"> – рентгенографических исследованиях; – предыдущих КТ или МРТ области сканирования
2.А. Неизвестный имплант. Исследование не начинать	Проинформировать врача. Имплант считать МР-несовместимым до получения дополнительных сведений (см. п. 2), позволяющих сделать вывод о МР-совместимости импланта
2.Б. Любой активный имплант (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 имплант. Исследование не начинать	Следует 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 имплант при постоянном контроле с использованием аудио- и видеосвязи	<p>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.</p> <p>При невозможности соблюдения одного из этих требований, следует отказаться от проведения исследования</p>
2.Д. Пассивный МР-безопасный имплант. Проверить срок имплантации – должно пройти несколько недель после установки. Исследование может быть проведено при постоянном контроле с использованием аудио- и видеосвязи	Зубные протезы, как правило, являются МР-безопасными. При выраженных артефактах проинформировать врача для уточнения диагностической ценности результатов

2. Подготовка и проведение исследования. Зона III–IV

Таблица А.3 – Порядок действий по обеспечению безопасности

Действия по обеспечению безопасности	Пояснение
При наличии активных имплантов (кардиостимуляторов, инсулиновых помп и других устройств с ограничениями по напряженности поля) ограничить доступ, см. п. 1 данного приложения. То же касается инородных тел, возникших вследствие травм, огнестрельных, осколочных, минно-взрывных ранений	Данным пациентам запрещено находиться в зонах III и IV (комната управления и комната сканирования)
Исключить наличие металлических предметов у пациента. При наличии имплантов см. п. 1.3 данного приложения	У пациента удалить все металлические объекты (съёмные металлоконструкции во рту, украшения, элементы одежды, очки, часы, пластиковые карты и пр.)
Проконтролировать отсутствие металлических предметов, медицинских инструментов и пр. у сопровождающих лиц и мед. персонала, принимающего участие в проведении исследования	Относится к зоне IV (комнате сканирования), допускается использование специального МР-совместимого оборудования
В комнате сканирования подводить к столу и укладывать пациента медленно	Предупредить о возможных неприятных ощущениях (головокружение, появление зрительных эффектов)
Пациентов, доставленных на каталке или кресле перекладывать на немагнитные каталку или кресло. Костыли и другие ортопедические приспособления не допускать в комнату сканирования	
Не допускать замкнутых проводящих контуров, контактов кожа-кожа, контактов кабель-кожа. Исключить возможность касания РЧ-катушек и корпуса томографа с кожей пациента (использовать диэлектрические коврики не тоньше 10 мм толщиной)	Неправильная укладка пациента, соединительных кабелей, датчиков и проводов может привести к ожогам
Убедиться в функционировании двусторонней связи	Аудио, видео, тревожная кнопка («груша»)
При позиционировании закрыть глаза пациенту	Во избежание получения травм от лазерного луча позиционирующего проектора
В случае обнаружения неуказанного в анкете и сопроводительной документации импланта во время исследования по выраженным артефактам от металла – остановить исследование, проконтролировать состояние пациента, проинформировать врача	Решение о прекращении или продолжении исследования принимает врач с учетом рисков
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 импланта; – проверить металлодетектором; – не начинать исследования без результатов рентгенографии черепа и грудной клетки для исключения наличия имплантов	Исследование проводить только в присутствии врача-рентгенолога. По завершении каждой последовательности проверять состояние пациента

Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики»

Выпуск № 147

Составители:

*Васильев Юрий Александрович
Семенов Дмитрий Сергеевич
Бажин Александр Владимирович
Петряйкин Алексей Владимирович
Ахмад Екатерина Сергеевна
Дарий Ольга Юрьевна
Сыркашев Егор Михайлович
Кремнева Елена Игоревна
Хоружая Анна Николаевна
Абуладзе Лия Руслановна
Кудрявцев Никита Дмитриевич
Сморчкова Анастасия Кирилловна*

БЕЗОПАСНОСТЬ В МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ

Методические рекомендации

2-е издание, переработанное и дополненное

Отдел координации научной деятельности ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»
Технический редактор
Компьютерная верстка

ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»
127051, г. Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1