

УДК 616–07

БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОВЕДЕНИЯ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ ЛЮДЯМ С УСТАНОВЛЕННЫМИ В СЕРДЦЕ ЭЛЕКТРОННЫМИ УСТРОЙСТВАМИ

КАРТАШОВА ПОЛИНА МАКСИМОВНА,
ОРЛОВ МИХАИЛ АЛЕКСЕЕВИЧ

студенты
ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный медицинский университет»

Научный руководитель: Вайман Евгений Федорович
к. м. н., зав. кафедрой онкологии, лучевой диагностики и лучевой терапии
ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный медицинский университет»

Аннотация: в статье рассматривается вопрос безопасности проведения магнитно-резонансной томографии у пациентов с имплантированными сердечными электронными устройствами. Исследование фокусируется на исследовании потенциальных рисков, связанных с использованием МРТ в отношении таких устройств, включая возможные негативные воздействия, такие как нагревание, перемещение устройств и смещение электродов. Также обсуждаются усилия по оценке и минимизации рисков, включая возможность неисправности устройства и возникновения сердечных аритмий.

Ключевые слова: магниторезонансная томография, электрокардиостимулятор, кардиовертер-дефибриллятор, имплантируемый кардиодефибриллятор, лучевая диагностика, заболевания сердца.

SAFETY OF MAGNETIC RESONANCE TOMOGRAPHY FOR PEOPLE WITH ELECTRONIC DEVICES INSTALLED IN THE HEART

Kartashova Polina Maksimovna,
Orlov Mikhail Alekseevich

Scientific adviser: Vaiman Evgeniy Fedorovich

Abstract: The article addresses the issue of the safety of magnetic resonance imaging in patients with implanted cardiac electronic devices. The study focuses on investigating the potential risks associated with the use of MRI in relation to such devices, including possible negative effects such as heat, device movement and electrode displacement. Efforts to assess and minimize risks, including the potential for device malfunction and cardiac arrhythmias, are also discussed.

Keywords: magnetic resonance imaging, pacemaker, cardioverter-defibrillator, implantable cardiac defibrillator, radiation diagnostics, heart diseases.

Магнитно-резонансная томография (МРТ) является широко используемым методом визуализации человеческого тела, предоставляющим высококачественные изображения без использования

ионизирующего излучения и контрастных препаратов. Уникальные возможности МРТ в области пространственного разрешения и характеристики тканей позволяют получать ценные данные о тканевой перфузии, функции и метаболизме. Этот метод является предпочтительным для визуализации в различных клинических ситуациях и широко применяется для диагностики и контроля течения различных заболеваний, включая неврологические, костно-мышечные, онкологические и сердечно-сосудистые расстройства. За последние десятилетия МРТ стала одним из наиболее распространенных методов диагностики [1].

Количество пациентов, у которых установлены электронные устройства для электротерапии сердца, таких как электрокардиостимуляторы (ЭКС), кардиовертеры-дефибрилляторы и устройства для ресинхронизирующей терапии, постоянно возрастает. Как отмечается, в 2009 году в мире было более 1 миллиона имплантированных ЭКС, и почти все страны сообщили о росте числа установленных устройств. Следовательно, вероятность проведения процедуры магнитно-резонансной томографии (МРТ) в течение срока использования устройства увеличивается на 50–75%. Обычно таким пациентам отказывают в проведении МРТ из-за соображений безопасности. Однако недавние разработки магнитно-резонансовместимых кардиостимуляторов позволяют преодолеть это значительное ограничение и обеспечивают возможность безопасного проведения МРТ увеличивающемуся числу пациентов с имплантированными устройствами [2].

При МРТ сканировании используются радиочастотные импульсы, взаимодействующие с протонами в тканях человеческого тела, позволяя получить изображение. В процессе сканирования часть радиочастотной энергии поглощается тканями, что может вызвать их резистивный нагрев. Электроды устройств для электротерапии сердца могут концентрировать радиочастотную энергию, что приводит к нагреву, электрическим токам и риску повреждения тканей и устройств. Это может вызвать сброс параметров кардиостимулятора, истощение батареи, изменение чувствительности и другие негативные последствия, включая повреждение электродов. Неисправность устройства и потенциальные риски воздействия МРТ требуют внимательного контроля и минимизации возможных неблагоприятных последствий [3].

В течение 1980 годов было зафиксировано несколько летальных случаев у пациентов с имплантированными устройствами для сердечной электростимуляции (ЭКС) сразу после проведения МРТ. В том числе, как минимум 2 пациента с ЭКС подверглись внезапной смерти во время процедуры МРТ. Кроме того, имеется информация о 13 случаях смерти пациентов с ЭКС во время МРТ. Однако ни у одного из этих пациентов не проводилось электрокардиографическое мониторирование, и окончательная причина смерти оставалась неизвестной. Эти неблагоприятные эффекты можно классифицировать по трем основным категориям: нагреву, движению и неисправности устройства.

Исследования проведенные после 2000 года по устройствам, допущенным к клиническому использованию, свидетельствуют о том, что многие проблемы, выявленные у более старых моделей, у современных уже не наблюдаются. Новые устройства содержат меньше ферромагнитных материалов, обладают лучшей защитой от электромагнитных помех и имеют более компактные размеры. Были проведены строгие исследования безопасности электронных устройств для сердца, включая тестирование *in vitro* и исследования на животных *in vivo*, чтобы оценить воздействие стандартных МР-сканеров с магнитным полем интенсивностью 1,5 Тесла на температуру устройства и тканей, позиционирование и возможное случайное сердечное стимулирование.

После успешного завершения доклинических испытаний были проведены разнообразные клинические исследования для оценки безопасности и возможности безвредного прохождения МРТ пациентами, имеющими имплантированные устройства для электротерапии сердца. Доклинические данные позволили опровергнуть опасения по поводу клинически значимого нагрева, смещения устройств, неисправности устройства и нецеленаправленной стимуляции сердца после МРТ, что послужило причиной продолжения исследований МРТ у пациентов с ЭКС.

Из числа первых исследований, проведенных на 76 пациентах с использованием сканера 1,5 Тесла, было установлено, что после МРТ наблюдалась активация геркона и асинхронная стимуляция с временным снижением напряжения батареи у CIED. В последующих исследованиях функции кардио-

стимулятора после прохождения МРТ магнитное поле такой интенсивности не обнаружили существенных последствий, таких как основные изменения в устройстве, хотя наблюдались некоторые незначительные изменения, такие как незначительное истощение батареи и изменение порогов кардиостимуляции. Тем не менее, ни одно из этих изменений не достигло клинически значимого уровня. Некоторые изолированные случаи эктопии во время проведения МРТ были обусловлены временным отключением и последующим включением энергии, что теоретически могло повлечь за собой изменение режима стимуляции с асинхронного на нежелательный. Однако обнаруженные в этих случаях эпизоды эктопии были непродолжительными и не оказали долгосрочного влияния после завершения процедуры получения изображения [4].

Устройства, способные безопасно использоваться во время магнитного резонансного исследования (МРТ), называются МР-совместимыми. Ключевые требования для проведения МРТ у пациентов с такими устройствами включают определенные условия, связанные с самим исследованием магнитно-резонансного томографа, такие как плотность магнитного поля, тип тоннеля и плотность поглощения энергии. Также важны параметры, касающиеся характеристик пациента, включая срок после имплантации устройства, локализацию имплантата, отсутствие противопоказаний к самому исследованию и отсутствие дополнительных приспособлений к электродам.

Требования к характеристикам пациента с имплантированными МР-совместимыми ЭКС:

- с момента имплантации ЭКС должно пройти более 6 недель;
- пекторальная локализация имплантата (левая или правая);
- отсутствие других противопоказаний к МРТ (например, МР-несовместимые оставленные электроды);
- отсутствие переходников и адаптеров электродов *in situ*.

Требования к МР-томографу и параметрам МР-сканирования:

- плотность потока магнитного поля – 1,5 Тл (3 Тл для ряда моделей ЭКС);
- цилиндрический тоннель;
- максимальный коэффициент поглощения – 2 Вт/кг;
- максимальный коэффициент поглощения в области головы – 3,2 Вт/кг.

Для безопасности и эффективности МРТ пациентам с МР-совместимыми устройствами необходимо подробное планирование и подготовка. Важно сотрудничество врачей различных специализаций во время процедуры. Команде специалистов нужно исключить любые противопоказания, учесть особенности сканирования для каждого имплантированного устройства и тщательно спланировать процесс. Перед процедурой важно также сделать рентгенографию грудной клетки для оценки положения и состояния электрода. Выбор режима стимуляции должен основываться на клинической ситуации и характеристиках пациента.

Для предотвращения нежелательного воздействия радиочастотных импульсов на функционирование кардиостимулятора при сканировании МРТ, мы устанавливаем специальный асинхронный режим стимуляции для пациентов, зависящих от регулятора сердечного ритма. ошибочной активации стимуляции из-за влияния радиочастотных импульсов на устройства пациентов, не зависящих от кардиостимулятора, мы рекомендуем настройку устройства на режим неотслеживаемой желудочковой стимуляции (VVI) или двухкамерной тормозной стимуляции (DDI) во время сканирования. При наличии настроек AAI-DDD, на время исследования применяются VVI или DDI. Для обеспечения избежания неоправданной стимуляции также рекомендуется деактивировать реакции на изменение частоты, преждевременные сокращения желудочков, желудочковую чувствительность и кондуктивную фибрилляцию предсердий. Это гарантирует, что вибрации или радиочастотные импульсы не вызовут непреднамеренной стимуляции [5].

Во время проведения процедуры магнитно-резонансной томографии (МРТ) необходимо обязательно использовать неинвазивные методы мониторинга гемодинамики, такие как электрокардиография, пульсоксиметрия и измерение артериального давления (по меньшей мере один из них). Эти методы позволяют непрерывно контролировать сердечную активность и состояние пациента во время процедуры. Также необходимо иметь внешний дефибриллятор (предпочтительно с возможностью прове-

дения внешней электрокардиостимуляции) вне кабинета МРТ, чтобы в случае необходимости обеспечить оперативное вмешательство.

Более того каждому пациентам, после операции по имплантации ЭКС, выдают паспорт на имплантированное устройство, в котором указывается совместим ли кардиостимулятор с процедурой МРТ.

Артефакты, которые возникают на магнитно-резонансных изображениях у пациентов с металлическими имплантатами и устройствами, хорошо известны и легко распознаются. Они вызваны нарушением местного магнитного поля, что приводит к искажению взаимосвязи между положением и частотой сигнала. Области с высокой интенсивностью сигнала могут встречаться рядом с областями отсутствия сигнала. Тип и степень артефакта на магнитно-резонансном изображении зависят от магнитной восприимчивости устройства, его размера, формы, позиции, а также от параметров импульсной последовательности, используемой при МРТ. Разработаны новые методы постобработки, которые значительно снижают металлические артефакты на изображениях, полученных при МРТ [6].

Магнитно-резонансная томография (МРТ) является безопасным методом визуализации для пациентов с имплантированными устройствами для стимуляции сердца (ЭКС), когда применяются МР-совместимые системы, разработанные для минимизации взаимодействия исследуемой системы с магнитным полем МРТ. Новейшие МР-совместимые устройства обладают улучшенными характеристиками, что открывает перспективы для безопасного и эффективного использования МРТ у пациентов с имплантированными устройствами.

Список источников

1. Глушко Л. А., Бокерия О. Л. СИСТЕМЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОТЕРАПИИ СЕРДЦА, СОВМЕСТИМЫЕ С МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИЕЙ // АННАЛЫ АРИТМОЛОГИИ. – 2015. – № 4.– С. 226 – 230.
2. Шария М.А., Терновой С.К. Кардиостимулятор, совместимый с МРТ (первый опыт обследования) // REJR. – 2013. – № 2. – С. 90 – 92.
3. Calcagnini G., Triventi M., Censi F. Et al. In vitro investigation of pacemaker lead heating induced by magnetic resonance imaging: role of implant geometry // J. Magn. Reson. Imaging. – 2008. – № 28. – С. 870 – 876.
4. Коэн Джейн Ди , Коста Х.С., Руссо Р. Дж. Определение рисков магнитно-резонансной томографии силой 1,5 тесла для пациентов с кардиостимуляторами и имплантируемыми кардиовертерами-дефибрилляторами. – 2012. – С. 1630–1639 .
5. Рекомендации по электрокардиостимуляции и сердечно ресинхронизирующей терапии // Российский Кардиологический журнал. – 2014.– № 4. – С. 58 – 63.
6. Нью П. Ф., Розен Б. Р., Брэйдс Т. Дж. Потенциальные опасности и артефакты ферромагнитных и неферромагнитных хирургических и стоматологических материалов и устройств при ядерно-магнитно-резонансной томографии // Радиология. – 1983. – С. 137 – 150.