

УДК 616.831-001.46-073

<http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-3-92-105>

ВЫПОЛНЕНИЕ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ ПАЦИЕНТАМ С ОГНЕСТРЕЛЬНЫМИ РАНЕНИЯМИ: ПАМЯТКА ВРАЧАМ-РЕНТГЕНОЛОГАМ

¹Ю. А. Васильев^{ORCID}, ¹Д. С. Семенов^{ORCID*}, ¹А. В. Петрайкин^{ORCID}, ²Ю. Н. Васильева^{ORCID}, ^{1,3,4}В. А. Ульянова^{ORCID},
⁵Ш. Р. Абдель-Керим^{ORCID}, ⁵Н. Б. Петрова^{ORCID}, ¹А. К. Смorchкова^{ORCID}, ¹Д. Е. Шарова^{ORCID}

¹Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий, Москва, Россия

²Российский университет медицины, Москва, Россия

³Главный клинический госпиталь, Москва, Россия

⁴Городская клиническая онкологическая больница № 1, Москва, Россия

⁵Городская клиническая больница имени В. П. Демикова, Москва, Россия

ВВЕДЕНИЕ: Безопасность проведения магнитно-резонансной томографии (МРТ) у пациентов с металлическими инородными телами — важный аспект, которому уделено множество научных работ и рекомендаций. Вопрос о проведении МРТ у пациентов с имплантированными медицинскими устройствами достаточно глубоко исследован. Тем не менее в отношении огнестрельных ранений отсутствуют четкие инструкции для практикующих специалистов, а большинство рекомендаций сводится к отказу от выполнения исследования при малейшем сомнении в его безопасности.

ЦЕЛЬ: Систематизировать информацию о безопасности и качестве проведения МРТ у пациентов с огнестрельными ранениями, а также разработать практические рекомендации для врачей-рентгенологов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ: Выполнен анализ и обобщение основных отечественных и зарубежных рекомендаций по обеспечению безопасности при проведении МРТ, общепринятых классификаций и механизмов огнестрельных ранений.

РЕЗУЛЬТАТЫ: Представлен обзор физических факторов риска при проведении МРТ, причины их возникновения, рекомендации по минимизации. Рассмотрено влияние металлических объектов на появление артефактов на МРТ-изображениях. Разработан алгоритм принятия решения о безопасности выполнения МРТ пациенту с ранением пулей или дробью. В качестве наглядной иллюстрации применения данного алгоритма представлены два клинических наблюдения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: Проведение МРТ при огнестрельных ранениях возможно, но требует тщательного анализа рисков и важности диагностической информации. Опрос пациента в данных ситуациях часто неинформативен, поэтому для выявления металлических инородных тел методами выбора являются рентгенография или компьютерная томография. Для минимизации рисков при проведении МРТ необходимо заранее подготовить протокол сканирования и контролировать состояние пациента после каждой импульсной последовательности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: магнитно-резонансная томография, безопасность, огнестрельные ранения

* Для корреспонденции: Семенов Дмитрий Сергеевич, e-mail: SemenovDS4@zdrav.mos.ru

Для цитирования: Васильев Ю.А., Семенов Д.С., Петрайкин А.В., Васильева Ю.Н., Ульянова В.А., Абдель-Керим Ш.Р., Петрова Н.Б., Смorchкова А.К., Шарова Д.Е. Выполнение магнитно-резонансной томографии пациентам с огнестрельными ранениями: памятка врачам-рентгенологам // *Лучевая диагностика и терапия*. 2024. Т. 15, № 3. С. 92–105, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-3-92-105>.

PERFORMING MAGNETIC RESONANCE IMAGING IN PATIENTS WITH GUNSHOT WOUNDS: A GUIDE FOR RADIOLOGISTS

¹Yuri A. Vasilev^{ORCID}, ¹Dmitriy S. Semenov^{ORCID*}, ¹Alexey V. Peraikin^{ORCID}, ²Yulia Y. Vasileva^{ORCID}, ^{1,3,4}Violetta A. Ulyanova^{ORCID},
⁵Shuan Rashad Abdel-Kerim^{ORCID}, ⁵Natalia B. Petrova^{ORCID}, ¹Anastasia K. Smorchkova^{ORCID}, ¹Daria E. Sharova^{ORCID}

¹Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russia

²Russian University of Medicine, Moscow, Russia

³Main Clinical Hospital, Moscow, Russia

⁴City Clinical Oncology Hospital No. 1, Moscow, Russia

⁵V. P. Demikhov City Clinical Hospital, Moscow, Russia

© Авторы, 2024. Издательство ООО «Балтийский медицинский образовательный центр». Данная статья распространяется на условиях «открытого доступа», в соответствии с лицензией CCBY-NC-SA 4.0 («Attribution-NonCommercial-ShareAlike») / «Атрибуция-Некоммерчески-Сохранение Условий» 4.0), которая разрешает неограниченное некоммерческое использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии указания автора и источника. Чтобы ознакомиться с полными условиями данной лицензии на русском языке, посетите сайт: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.ru>

INTRODUCTION: The safety of magnetic resonance imaging (MRI) in patients with metallic foreign bodies is an important aspect that has been the subject of many scientific papers and guidelines. The issue of MRI in patients with implanted medical devices is well researched. However, for gunshot wounds, there are no clear guidelines for practitioners, and most recommendations are to refuse to perform the study if there is the slightest doubt about its safety.

OBJECTIVE: To systematize information on the safety and quality of MRI in patients with gunshot wounds and to develop practical guidelines for radiologists.

MATERIALS AND METHODS: We have analyzed and summarized the main domestic and foreign recommendations for ensuring safety during MRI, generally accepted classifications and mechanisms of gunshot wounds.

RESULTS: A review of physical risk factors in MRI, their causes, and recommendations for their minimization is presented. The influence of metallic objects on the appearance of artefacts on MRI images is considered. The algorithm of decision making on the safety of MRI in a patient with a bullet or shotgun wound is given. Two clinical observations are presented to illustrate the application of this algorithm.

CONCLUSION: Performing MRI in gunshot wounds is feasible but requires careful analysis of the risks and the importance of diagnostic information. Interviewing the patient in these situations is often uninformative, so radiography or CT are the methods of choice for detection of metallic foreign bodies. To minimize the risks of MRI, a scan protocol should be prepared in advance and the patient should be monitored after each pulse sequence.

KEYWORDS: magnetic resonance imaging, safety, gunshot wounds

* **For correspondence:** *Semenov Dmitry Sergeevich, e-mail: SemenovDS4@zdrav.mos.ru*

For citation: Vasilev Yu.A., Semenov D.S., Petraikin A.V., Vasileva Yu.N., Ulyanova V.A., Abdel-Kerim Sh.R., Petrova N.B., Smorchkova A.K., Sharova D.E. Performing magnetic resonance imaging in patients with gunshot wounds: a guide for radiologists // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2024. Vol. 15, No. 3. P. 92–105, <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-3-92-105>.

Введение. Проведение магнитно-резонансной томографии (МРТ) у пациентов, в организме которых находятся инородные металлические или другие объекты, связано с определенными рисками. В частности, это нагрев, смещение или поворот таких объектов под действием электромагнитных полей. Также стоит учесть возникновение артефактов на томографических изображениях, что может затруднить интерпретацию результатов исследования. Безопасность пациентов при проведении МРТ — важный аспект, которому уделено множество научных работ и рекомендаций^{1,2,3,4,5} [1]. Вопрос о проведении МРТ у пациентов с имплантированными медицинскими устройствами также достаточно глубоко исследован⁶. Однако в отношении огнестрельных ранений отсутствуют четкие инструкции для практикующих специалистов, а большинство рекомендаций сводится к отказу от выполнения исследования при малейшем сомнении в его безопасности.

Цель. Систематизировать информацию о безопасности и качестве проведения МРТ у пациентов с огнестрельными ранениями, а также разработать практические рекомендации для врачей-рентгенологов.

Материалы и методы. Виды огнестрельных ранений. В современных военных конфликтах используются ручное огнестрельное оружие, мины, гранаты, артиллерия, танки, полевые орудия и гаубицы, минометы, системы залпового огня и ракетные комплексы, а также авиация. В целом этот арсенал можно классифицировать на стрелковое, с основным поражающим фактором в виде пули, и взрывное оружие, которое воздействует на цель с помощью ударной волны и осколков [2].

С точки зрения лучевой диагностики критически важно учитывать, что огнестрельное оружие ближнего боя, такое как пистолеты и дробовики, часто использует пули из мягких материалов, например, свинца. Однако для увеличения дальности и поражающей спо-

¹ Сергунова К.А., Ахмад Е.С., Петряйкин А.В., Семенов Д.С., Васильев Ю.А., Кивасёв С.А. и др. Основы безопасности при проведении магнитно-резонансной томографии: методические рекомендации / Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики. Вып. 63. М., 2019. 56 с.

² Сергунова К.А., Семенов Д.С., Васильев Ю.А., Ахмад Е.С., Петряйкин А.В., Кудрявцев Н.Д. и др. Методические рекомендации по безопасности проведения магнитно-резонансной томографии для рентгенолаборантов / Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики. Вып. 43. М.: ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», 2020. 44 с.

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. 36 p.

⁴ Medicines and Healthcare products Regulatory Agency (MHRA). Safety Guidelines for Magnetic Resonance Equipment in Clinical Use. MHRA. 2021. 86 p.

⁵ The Royal Australian and New Zealand College of Radiologists. MRI Safety Guidelines. 3.0. Sydney, 2021. 36 p.

⁶ Васильев Ю.А., Семенов Д.С., Ахмад Е.С., Дарий О.Ю., Бронев О.Ю., Сергунова К.А. и др. Особенности проведения магнитно-резонансной томографии у пациентов с имплантами и металлоконструкциями. М.: Издательские решения, 2022. 172 с.

собности, применяются пули с начальной скоростью 700–900 м/с или более, которые обычно состоят из тяжелого ядра (например, свинцового) и прочной стальной оболочки. Бронебойные пули могут включать такие материалы, как высокоуглеродистая сталь или карбид вольфрама. Кроме того, применяются пули сложной конструкции: разрывные (со взрывчаткой) и фрагментирующиеся (разламывающиеся на части при попадании).

Взрывные устройства — мины, гранаты, артиллерийские снаряды, бомбы и т.д. — обычно содержат взрывчатку, помещенную в прочный корпус, детонатор и, зачастую, мелкие поражающие элементы (шарики, шрапнель и т.п.). В результате взрыва такого устройства в тело могут попасть как отдельные части снаряда, так и различные сопутствующие материалы, включая частицы грунта или сооружений.

Разнообразие оружия, используемого в боевых действиях, влечет за собой необходимость классификации ранений. Так, Российская ассоциация нейрохирургов предлагает дифференцировать огнестрельные ранения по типу снаряда (пулевые, осколочные и ранения специальными снарядами), по характеру ранения (одиночные, множественные, сочетанные и комбинированные), а также по характеру раневого канала (касательные, слепые и сквозные)¹. Если пациента спасти не удастся, более точная категория ранения определяется уже с помощью танаториологических исследований [3].

В учебнике Военно-медицинской академии представлена классификация, учитывающая этиологию ранения (огнестрельные, пулевые и осколочные, минно-взрывные), природу раневого канала (слепые, сквозные, касательные, рикошетирующие) и отношение к полостям (проникающие и непроникающие)². В недавнем обзоре, посвященном травмам черепа и головного мозга, упоминается дополнительная категория — взрывные травмы, возникающие в результате воздействия метательных снарядов или ударной волны [4].

Магнитно-резонансная томография является методом выбора при оценке состояния мягких тканей, включая головной и спинной мозг, суставов, внутренних органов и других структур. Однако, с учетом существующих рисков, у врача-рентгенолога возникает задача прогнозирования воздействия электромагнитных полей томографа на инородные объекты в теле пациента. Каждый клинический случай уникален и должен быть рассмотрен индивидуально, причем факторы риска следует оценивать

независимо друг от друга, а решение принимать на основании комплексного анализа. К сожалению, в таких условиях практически невозможно предложить универсальный подход к прогнозированию, хотя разработка алгоритма диагностики для узкой категории клинических случаев возможна³. Для врача критически важно понимать физические основы возникающих эффектов, поэтому ниже будут последовательно рассмотрены все факторы риска и сформулированы рекомендации по их минимизации. Также в данной работе авторы предлагают концепцию МР-совместимости инородных объектов в теле пациента, аналогичную таковой для имплантируемых медицинских изделий.

Факторы риска при проведении МРТ пациентам с огнестрельными ранениями. *Втягивание и поворот.* Магнитно-резонансный томограф создает магнитное поле высокой индукции, обычно 1,5 или 3 Тл. Это поле постоянно присутствует в кабинете МРТ, даже тогда, когда исследование не проводится.

Когда объекты с ненулевой магнитной восприимчивостью попадают в область действия этого магнитного поля, возникает сила, направленная к изоцентру томографа. Величина этой силы зависит от физических свойств объекта и величины индукции (точнее, градиента индукции) поля в данной точке пространства (рис. 1). Эта сила может начать проявляться уже на входе в процедурную МРТ (воздействие за ее пределами можно считать незначительным) и достигает максимума у торца гентри. В зависимости от свойств попавшего в организм объекта, максимальное значение этой силы может варьироваться от 0,2 мН для стентов [5] до 4,4 Н (что эквивалентно весу около 440 г) для пули или дроби [6].

Кроме того, ферромагнитные объекты имеют тенденцию к ориентации вдоль линий индукции магнитного поля (рис. 2). Это приводит к возникновению крутящего момента, который стремится повернуть объект. Интенсивность этого момента также зависит от свойств объекта и величины индукции, достигая максимума в изоцентре (рис. 3), за исключением случаев, когда объект уже ориентирован вдоль изолинии.

В результате воздействие магнитных полей может привести к смещению или повороту таких металлических объектов, как пули и осколки, и к повреждению окружающих тканей. Это представляет собой серьезный риск для пациента при проведении МРТ.

Считается, что значения силы и крутящего момента, равные тем, которые возникают под действием гравитации, являются безопасными. Это

¹ Ассоциация нейрохирургов России. Клинические рекомендации по лечению огнестрельных и взрывных ранений черепа и головного мозга. СПб., 2015.

² Гуманенко Е.К. Боевая хирургическая травма: учебное пособие. СПб.: Военно-медицинская академия, 1997. 33 с.

³ Ульянова В.А., Васильев Ю.А., Васильева Ю.Н., Душкова Д.В., Бажин А.В., Ахмад Е.С., Сергунова К.А., Петряйкин А.В., Семенов Д.С. Патент № RU 2714082. Способ диагностики огнестрельных ранений позвоночника с помощью магнитно-резонансной и рентгеновской компьютерной томографии. 2020. Доступно по: https://i.moscow/patents/ru2714082c1_20200211. Ссылка активна на 15.03.2024.

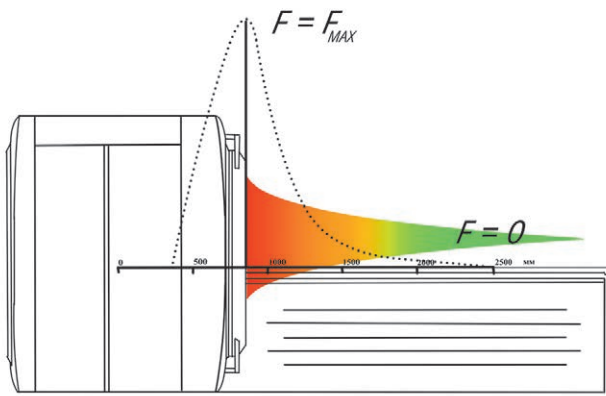


Рис. 1. Величина силы втягивания в зависимости от расстояния до изоцентра магнита, представлена цветовым градиентом (красный — наибольшая величина, зеленый — наименьшая величина). Размеры указаны для примера и могут в значительной степени отличаться от аппарата к аппарату

Fig. 1. The magnitude of the retraction force depending on the distance to the magnet isocenter, represented by a color gradient (red is the largest value, green is the smallest value). The dimensions are given as an example and may vary significantly from device to device

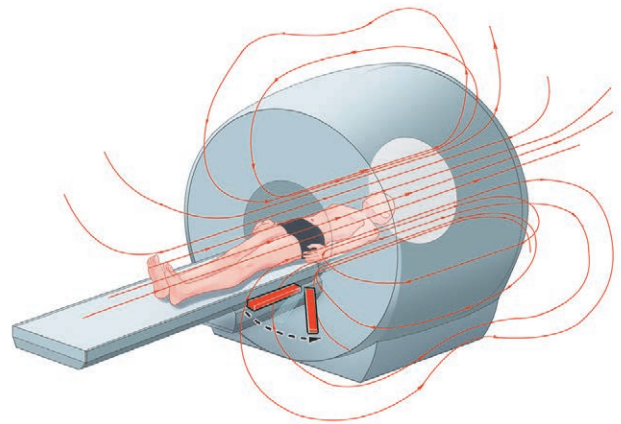


Рис. 2. Примерная диаграмма расположения линий индукции магнитного поля (красные стрелки) в МРТ. Справа от стола пациента схематично расположен возможный поворот вносимого в поле металлического предмета (красный объект), с возникновением крутящего момента (черная пунктирная стрелка)

Fig. 2. Approximate diagram of the location of magnetic field lines (red arrows) in MRI. To the right of the patient's table, a possible rotation of a metal object brought into the field (red object) is schematically located, with the occurrence of a torque (black dotted arrow)

особенно важно для свежих (до 6 недель) травм, когда процесс заживления тканей еще не завершен.

С учетом особенностей воздействия магнитных полей на ферромагнитные объекты, можно сделать

у пациента в стопе находится небольшой инородный объект, то МРТ головного мозга, скорее всего, не приведет к негативным последствиям. Также не будет воз-

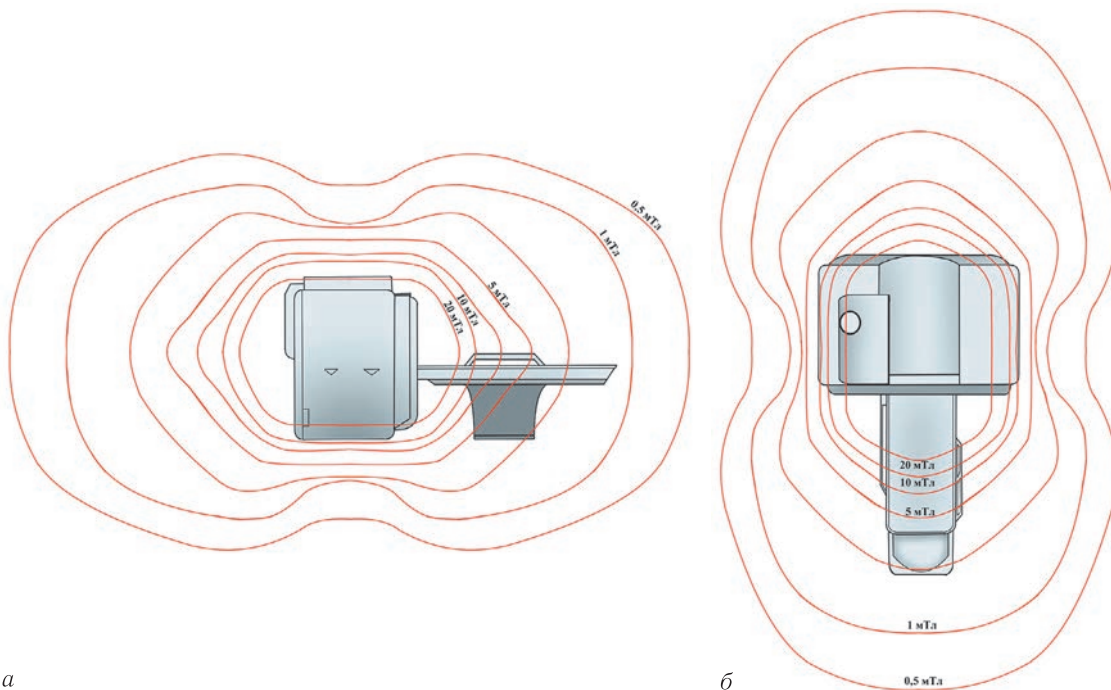


Рис. 3. Диаграмма величины индукции магнитного поля: *а* — вид сбоку; *б* — вид сверху. Величины указаны для примера и могут отличаться от аппарата к аппарату

Fig. 3. Diagram of magnetic field induction magnitude: *a* — side view; *b* — top view. The values are given as an example and may vary from device to device

вывод, что минимальная сила будет действовать на них на наибольшем расстоянии от торца гентри и прямо в центре магнита. Это означает, что если

действия силы притяжения на такой объект при сканировании стопы, если ее разместить в центре магнита. Однако стоит помнить, что при перемещении стола

пациента объект будет временно подвержен максимальной силе притяжения.

Для минимизации влияния вращающего момента, позиция пациента должна быть такой, чтобы объект располагался вдоль линий индукции магнитного поля (вдоль оси Z в центре магнита). Здесь стоит отметить, что на практике весьма сложно уложить и переместить пациента таким образом, чтобы инородный объект всегда был правильно позиционирован относительно магнитного поля. И поэтому минимизация влияния вращающего момента актуальна только в ситуациях, когда нет риска травмы тканей из-за вращения (объект размером не более 2–3 см, как минимум 6 недель после травмы) для обеспечения безопасности пациента. Отметим также, что все передвижения пациента в кабинете МРТ должны быть настолько медленными, насколько это возможно (в том числе при перемещении стола томографа). Это связано с тем, что перемещение металлического объекта относительно изоцентра равносильно резкому изменению индукции магнитного поля и может привести к тем же негативным последствиям.

В то время как втягивание имплантированных медицинских изделий в МРТ можно в некоторой степени точно предсказать на основе анализа документации, определение свойств инородного объекта, полученного в результате огнестрельного ранения — значительно более сложная задача¹. Тем не менее мы предлагаем некоторые рекомендации.

Прежде всего, необходимо оценить состояние окружающих тканей с помощью компьютерной томографии (КТ) или рентгеновского обследования. Если с момента ранения (или оперативного вмешательства) прошло менее 2–6 недель, даже незначительное взаимодействие пули или осколка с магнитным полем может привести к травме.

Затем следует определить положение и размеры инородных тел. Даже при очевидном огнестрельном ранении заранее невозможно точно судить о размерах, количестве и положении объектов, поскольку существует большое количество снарядов, которые деформируются, распадаются на части и оставляют мелкие частицы в раневом канале. На этом этапе важно понимать, что только небольшие объекты, расположенные далеко от кровеносных сосудов и жизненно важных органов, могут быть относительно безопасными после заживления окружающих тканей.

Американское общество рентгенологов рекомендует использовать сильный постоянный магнит (>0,1 Тл) и ферромагнитные детекторы для опреде-

ления свойств неизвестных инородных объектов². Следует отметить, что чувствительность магнитов к ферромагнитным объектам уменьшается пропорционально квадрату расстояния, поэтому этот подход применим только для инородных тел, находящихся недалеко от поверхности кожи. Очевидно, что при наличии риска травмы тканей из-за смещения осколка или пули, использование магнита небезопасно. Оптимальным в данном случае решением является использование ферромагнитных детекторов рамочного или стоечного типа — они позволяют безопасно и достаточно эффективно выявлять инородные тела, которые могут взаимодействовать с магнитным полем¹. Однако в практике российских медицинских организаций данные устройства пока не получили широкого распространения.

Нагрев инородных тел в организме пациента во время проведения МРТ может произойти исключительно во время самого исследования. Это происходит, когда под воздействием переменных (радиочастотного B_1 и градиентного B_{gr}) магнитных полей в токопроводящих материалах возникает электрический ток. Энергия, возникающая при протекании этого тока, частично превращается в тепло из-за электрического сопротивления.

Согласно физическим законам, радиочастотный нагрев достигает максимума в областях с наибольшей величиной поля B_1 (рис. 4, а). Объекты с большой поверхностью (3–4 см и более) подвержены нагреву под воздействием переменных полей из-за индуцированных вихревых токов (токов Фуко) в областях с максимальной величиной градиентного поля (рис. 4, б). Важно, что плотность вихревых токов в МРТ сильно смещается к поверхности проводников, что приводит к их неравномерному нагреву.

Безопасным считается увеличение температуры тканей пациента на 1°C за время МР-исследования². Важно упомянуть эффект антенны, когда определенная длина токопроводящего объекта (около 13 см для поля 3 Тл и 26 см для поля 1,5 Тл) может вызвать критический нагрев до $20\text{--}60^\circ\text{C}$ [8]. Риск такого эффекта особенно велик при расположении проводника на периферии гентри параллельно оси Z томографа. В то же время небольшие одиночные объекты до 3 см несут низкий риск значимого нагрева³.

Учитывая пространственное распределение электромагнитных полей во время сканирования, можно предположить, что нагрев любых объектов за пределами гентри томографа на некотором расстоянии от торца будет минимальным. Максимальный

¹ Васильев Ю.А., Семенов Д.С., Ахмад Е.С., Дарий О.Ю., Броннов О.Ю., Сергунова К.А. и др. Особенности проведения магнитно-резонансной томографии у пациентов с имплантатами и металлоконструкциями. М.: Издательские решения, 2022. 172 с.

² Сергунова К.А., Ахмад Е.С., Петряйкин А.В., Семенов Д.С., Васильев Ю.А., Кивасёв С.А. и др. Основы безопасности при проведении магнитно-резонансной томографии: методические рекомендации / Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики. 2019. Вып. 63. С. 56.

³ U.S. Food and Drug Administration. Testing and Labeling Medical Devices for Safety in the Magnetic Resonance (MR) Environment: Guidance for Industry and Food and Drug Administration Staff, 2021. 32 p.

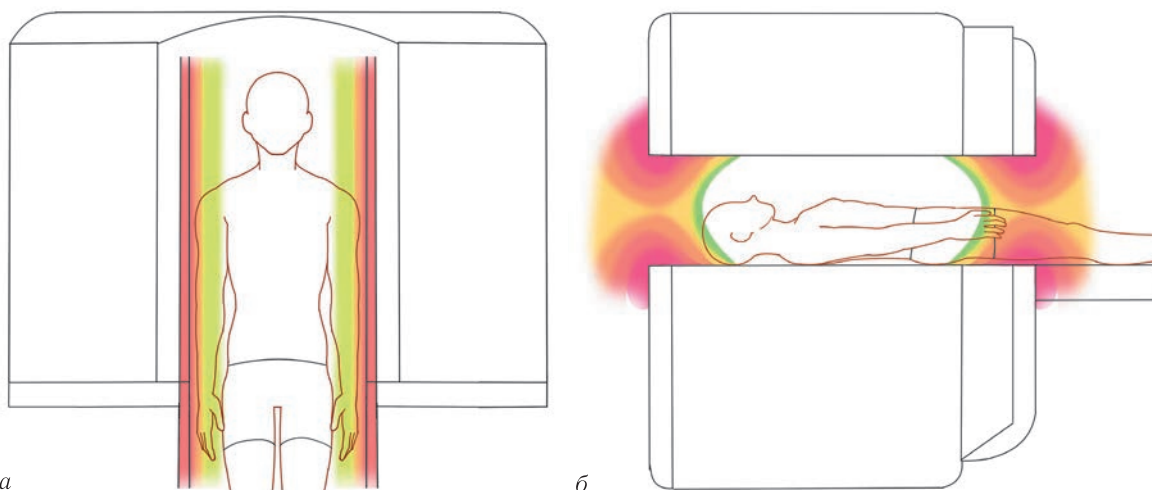


Рис. 4. Зоны максимального нагрева токопроводящих инородных объектов под действием радиочастотного (а) и градиентных (б) магнитных полей

Fig. 4. Zones of maximum heating of conductive foreign objects under the influence of radio frequency (a) and gradient (b) magnetic fields

радиочастотный нагрев можно ожидать в центре магнита, вблизи внутренней поверхности туннеля. Максимальный градиентный нагрев, в свою очередь, обнаруживается у торцов гентри. Для визуализации влияющих факторов приведем также результаты обзора Winter и соавт., посвященного нагреву имплантов в МРТ (табл. 1) [9].

тока сканирования на количество энергии, передаваемое пациенту (определяется коэффициентом SAR) и, как следствие, инородному объекту, во время исследования. Его можно минимизировать, увеличив время TR, уменьшив длину ETL, угол FA и количество заполнений в направлении фазового кодирования. Однако стоит отметить, что все эти

Таблица 1

Качественное сравнение радиочастотного и градиент-индуцированного нагрева в зависимости от объекта и параметров импульсных последовательностей [9]

Table 1

Qualitative comparison of radio frequency (RF) and gradient-induced heating depending on the object and parameters of the pulse sequences [9]

Параметр	Радиочастотный нагрев	Градиент-индуцированный нагрев
Размер	Наиболее критично: длина порядка четверти — половины длины РЧ-волны в ткани	Наиболее критично: массивный имплант
Форма	Наиболее критично: вытянутый, с заостренными концами и несколько близкорасположенных имплантов	Наиболее критично: большое поперечное сечение
Материал	Значение электропроводности не столь важно. Высокая теплопроводность снижает температуру «горячих точек» (hotspots)	Высокая электропроводность приводит к возникновению больших вихревых токов. Например, сплав CoCrMo нагревается на 60% больше по сравнению с Ti-6Al-4V. Теплопроводность оказывает меньшее влияние
Положение	Наиболее критично: области с наибольшим фоновым электрическим полем E. 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	Наиболее критично: имплант вытянут вдоль вектора фонового поля E (параллельно оси магнита для традиционных body-катушек)	Наиболее критично: большое поперечное сечение импланта перпендикулярно вектору поля B_G с максимальной амплитудой

Таким образом, для минимизации рисков необходимо обеспечить правильное пространственное расположение инородного объекта относительно изоцентра МРТ. Кроме того, важно учесть влияние про-

изменения неизбежно приводят к ухудшению контрастности и разрешающей способности.

Артефакты. Металлические объекты в области сканирования приводят к неоднородности магнитного

поля в МРТ (и рассеиванию рентгеновского излучения в КТ). В результате на изображениях появляются артефакты, которые могут значительно затруднить интерпретацию результатов исследования (рис. 5).

Combination — комбинация изображений с переменным резонансом при множественных повторах, General Electric Company, США), в том числе использующие метод view-angle-tilting (VAT).

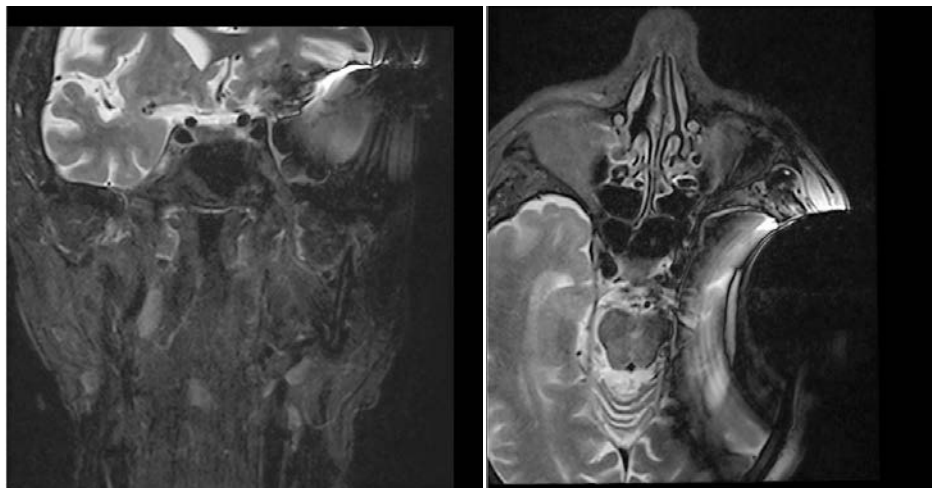


Рис. 5. Пример артефактов от металла: МРТ головного мозга у пациента с пулевым ранением в левой височной области, визуализация неинформативна

Fig. 5. Example of metal artifacts: MRI of the brain in a patient with a bullet wound in the left temporal region, the visualization is not informative

Причинами возникновения таких артефактов являются потеря или некорректная пространственная регистрация сигнала и некорректное подавление сигнала от жира и воды. Важно, что в большинстве случаев влияние артефактов на качество визуализации может быть значимо снижено. Ранее были подробно рассмотрены методы подавления артефактов от различных металлоконструкций в МРТ^{1,2}. Краткое резюме данных методов приведено в табл. 2.

Аналогичные решения предлагают и другие компании. В большинстве случаев это сложные программные модули с аппаратной составляющей, пользовательский интерфейс которых представлен заранее настроенным протоколом. Их использование часто позволяет значимо снизить влияние артефактов без применения специальных знаний. Такие методы могут быть рекомендованы к применению при обследовании пациентов с огнестрельными ранениями.

Способы подавления артефактов от металла в МРТ

Таблица 2

Methods for suppressing metal artifacts in MRI

Table 2

Виды артефактов	Методы снижения артефактов
Потеря и усиление сигнала	Использование ИП со спиновым эхо или FSE (TSE, RARE), уменьшение толщины среза, увеличение размера матрицы, использование параллельного сбора данных и др.
Некорректное жироподавление	Применение ИП STIR или технологии Dixon
Некорректное подавление сигнала от воды	Применение режимов с недекартовым заполнением k-пространства (например, PROPELLER FLAIR)
Геометрические искажения	Расширение полосы пропускания приемника (в совокупности с другими методиками)

Существуют также и готовые решения от производителей магнитно-резонансных томографов, такие как SEMAC© (Slice Encoding for Metal Artifact Correction — компенсация магнитного артефакта с кодированием среза, Siemens AG, ФРГ) и MAVRIC© (Multiacquisition Variable-Resonance Image

На этом перечень основных рисков, возникающих при проведении исследований из-за наличия инородных объектов в теле пациента, заканчивается. Существуют и иные факторы риска, такие как нарушение работы активных имплантируемых медицинских изделий, тошнота и головокружение в условиях

¹ Васильев Ю.А., Семенов Д.С., Ахмад Е.С., Дарий О.Ю., Бронев О.Ю., Сергунова К.А. и др. Особенности проведения магнитно-резонансной томографии у пациентов с имплантатами и металлоконструкциями. М.: Издательские решения, 2022. 172 с.

² Васильев Ю.А., Семенов Д.С., Панина О.Ю. и др. Артефакты от металлоконструкций в магнитно-резонансной томографии: методические рекомендации. Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». М.: ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», 2022. 40 с.

воздействия сильного магнитного поля, магнитофосфены, риск травмы органов слуха и др., однако они выходят за рамки данной работы.

Сложность определения количественных характеристик металлического инородного тела, влияющих на безопасность проведения МР-исследования (детализированные размеры объекта, расположение в системе координат томографа, химический состав инородного тела, давность травмы), в значительной степени затрудняет принятие решения, однако, с учетом рассмотренных аспектов, можно предложить следующую стратификацию риска осложнений при выполнении МРТ пациентам с инородными объектами, попавшими в организм в результате огнестрельного ранения (табл. 3).

В фантомном исследовании, посвященном оценке безопасности выполнения МРТ пациентам с огнестрельными ранениями (включено 12 видов пуль для

опасности выполнения МРТ в случаях, когда КТ позволяет четко визуализировать пулю.

Алгоритм выполнения МРТ пациенту с огнестрельным ранением

1. Произведите сбор анамнеза у пациента, учитывая при этом информацию о типе травмы, времени происшествия, а также выполнении медицинских процедур. Помимо этого, важно установить, проводились ли операции по удалению осколков или замене поврежденных тканей.

2. Оцените общее состояние пациента, а также выявите при наличии возможные осложнения, связанные с ранением. Важно учитывать место ранения, наличие гематом, отеков и воспалительных процессов.

3. Выполните компьютерную томографию или рентгенографию области ранения, прилежащих анатомических зон, а также областей, имеющих следы ранений, для определения характеристик ино-

Таблица 3

Стратификация риска осложнений при выполнении МРТ пациентам с инородными объектами, попавшими в организм в результате огнестрельного ранения, металлических имплантов и аппаратов наружной фиксации

Table 3

Stratification of the risk of complications when performing MRI in patients with foreign objects entering the body as a result of a gunshot wound, external fixation device

Риск осложнений	Характеристики инородных объектов
Низкий риск осложнений	<ul style="list-style-type: none"> — Небольшие объекты (до 5 мм), через 6 недель после ранения не прилегающие к кровеносным сосудам, жизненно важным органам и критически опасным анатомическим областям* и не располагающиеся в них. — Небольшие объекты (до 1 см) вне изоцентра магнита или до 3–4 см вне гентри, через 6 недель после ранения (пример: МРТ головного мозга при наличии осколков в нижних конечностях)
Высокий риск осложнений	<ul style="list-style-type: none"> — При сканировании инородный объект должен быть расположен в изоцентре магнита, но существует риск смещения при перемещении пациента на столе МРТ (пример: МРТ конечности при огнестрельном ранении конечности). — При сканировании токопроводящий объект будет расположен вблизи передающей РЧ-катушки, в том числе у внутренней поверхности гентри — риск РЧ-нагрева (пример: МРТ головного мозга при наличии инородных объектов в плече). — Токопроводящий объект с большой поверхностью смещен к торцу гентри относительно изоцентра — риск градиентного нагрева и вибраций
Строго противопоказано	<ul style="list-style-type: none"> — Внешние металлоконструкции (аппараты наружной фиксации различных конструкций), металлические импланты за исключением МР-совместимых**. — Инородный объект располагается в жизненно важных органах и критически опасных анатомических областях*, кровеносных сосудах, либо прилежит к ним. — Свежая травма/ранение — объект может сместиться***

* Жизненно важные (сердце, мозг, легкие, почки, печень) и иные (железы внутренней секреции) паренхиматозные органы, полые органы пищеварительной и мочеполовой системы, глаза и содержимое орбит.

** Безопасность выполнения МРТ у пациентов с аппаратами наружной фиксации и наличии имплантов обсуждена ранее [7].

*** Травма/ранение до 6 недель (фаза фиброзного рубцевания)¹.

пистолетов и дробовиков) авторы показывают отсутствие значимых негативных эффектов для неферромагнитных объектов, таких как дроби и свинцовые пули без оболочки [10]. При этом отмечено, что пули, пробивающие твердые ткани и проникающие глубоко в тело пациента, наверняка выпущены с высокой скоростью и могут иметь ферромагнитные элементы. Авторы считают уместным привести этот алгоритм принятия решения о без-

родного объекта. Основным фактором риска в данном контексте является потенциальное наличие артефактов от металлических конструкций, вызванных рассеиванием излучения. Несмотря на это, радиологические методы позволяют получить важную информацию о состоянии окружающих инородный объект тканей и свойствах самого объекта. Важно учесть расположение и размер объектов, состояние окружающих тканей.

¹ Васильев Ю.А., Семенов Д.С., Ахмад Е.С., Дарий О.Ю., Броннов О.Ю., Сергунова К.А. и др. Особенности проведения магнитно-резонансной томографии у пациентов с имплантами и металлоконструкциями. М.: Издательские решения, 2022. 172 с.

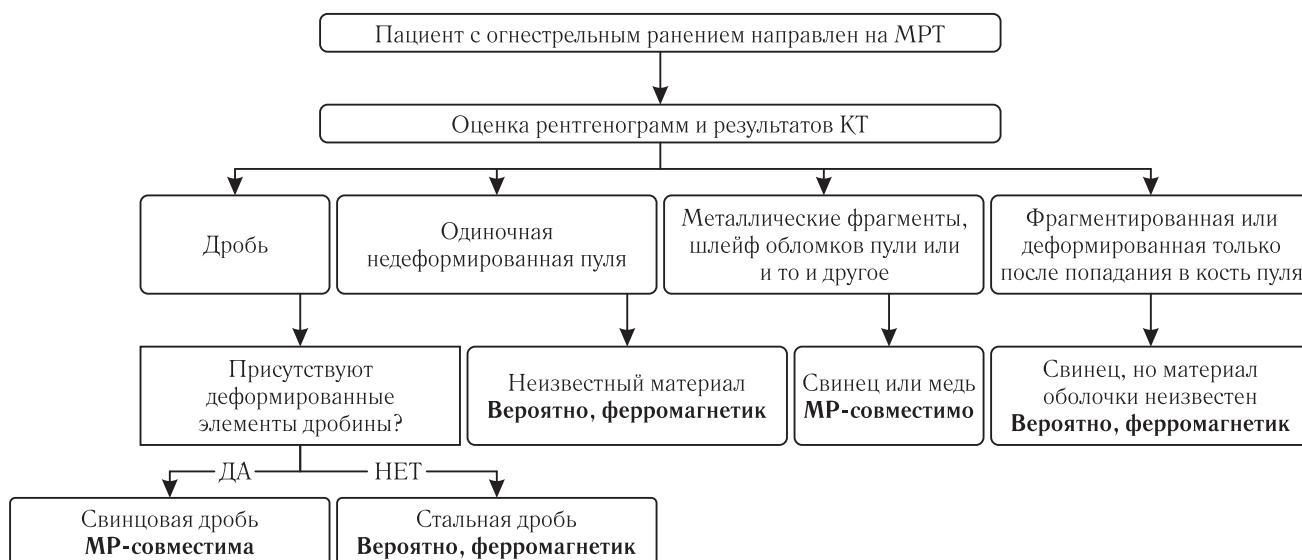


Рис. 6. Алгоритм принятия решения о безопасности выполнения МРТ пациенту с ранением пулей или дробью [10]
Fig. 6. Algorithm for making a decision on the safety of performing MRI on a patient injured by a bullet or shot [10]

4. Проведите оценку состояния пациента, чтобы определить, подходит ли он для проведения МРТ. Должны быть учтены общее состояние здоровья пациента и возможные осложнения, вызванные ранением. В случае, если пациент находится в критическом состоянии или нестабилен, МРТ может быть отложена до стабилизации состояния пациента.

5. Обсудите данную ситуацию с хирургом или травматологом, которые участвовали в лечении пациента или удалении осколков. Они могут представить ценную информацию о состоянии пациента и помочь определить целесообразность проведения МРТ. Важно взаимодействовать с другими специалистами — неврологами, кардиологами или анестезиологами, чтобы принять коллегиальное решение о проведении МРТ. Они могут предоставить дополнительную информацию о состоянии пациента и возможных рисках.

6. На основе собранной информации, мнений других специалистов и возможных альтернативных методов диагностики примите решение о проведении МРТ для пациента с огнестрельным ранением. При этом важно оценить потенциальные риски и преимущества МРТ в сравнении с альтернативными методами (например, ультразвуковой диагностикой).

7. В случае принятия решения о проведении МРТ проинформируйте пациента о процедуре, связанных с ней рисках и преимуществах, а также о возможных альтернативных методах диагностики. Обязательно получите согласие пациента на процедуру в письменной форме.

8. Согласуйте дату и время проведения МРТ с пациентом и медицинским персоналом, участвующим в процедуре. Убедитесь, что всё необходимое оборудование и персонал будут доступны в запланированное время.

9. Заблаговременно подготовьте протокол сканирования, используя фантом или здорового добровольца.

10. Во время проведения МРТ внимательно следите за состоянием пациента, чтобы немедленно обнаружить любые возможные осложнения или реакции на процедуру.

11. После окончания каждой ИП тщательно анализируйте полученные изображения: особое внимание уделите области огнестрельного ранения, состоянию окружающих тканей и органов, а также наличию возможных осложнений.

12. Подробно опишите подверженные артефактам зоны, отметив локализации или ИП, которые невозможно интерпретировать.

13. Сделайте запись об успешном выполнении МРТ или о возникших осложнениях в карте пациента так, чтобы по прошествии времени по ней можно было бы судить о безопасности повторного выполнения исследования.

В качестве иллюстрации предложенного подхода к определению риска выполнения МРТ-исследования при наличии металлических инородных тел приводим два клинических наблюдения.

Клиническое наблюдение № 1. Пациент Э-п, 45 лет, минно-взрывная травма от 10.11.2022 г. Осколочное ранение левого глаза; OS: рубцовая деформация век, анофтальм. Слепое осколочное ранение правого плеча и предплечья, открытый перелом хирургической шейки правой плечевой кости. Посттравматический остеомиелит головки правой плечевой кости. Открытый оскольчатый перелом правой лучевой кости со смещением отломков. Плексопатия справа. Состояние после операции от 07.06.2023 г.: комплексная пластика глазной щели. Судорожный синдром. Жалобы: боли в области ранений, отсутствие активных движений в правой кисти, головные боли, периодические судорожные приступы.

Текущая госпитализация с 31.05.2023 г. С учетом анамнеза, установленного ранее диагноза рекомендована МРТ головного мозга с целью уточнения

характера внутричерепных повреждений, а также КТ органов грудной клетки, правой верхней конечности.

При компьютерной томографии была выполнена топограмма анатомических областей: голова, шея, грудная клетка, брюшная полость с захватом правой верхней конечности (рис. 7).

отрезка XI ребра. Следует отметить, что ранее не был удален металлический осколок в левом легком, вероятно, ошибочно определяемый как кальцинат. Учитывая расположение металлических осколков в левом легком, в параорбитальной области слева, было решено воздержаться от выполнения МРТ

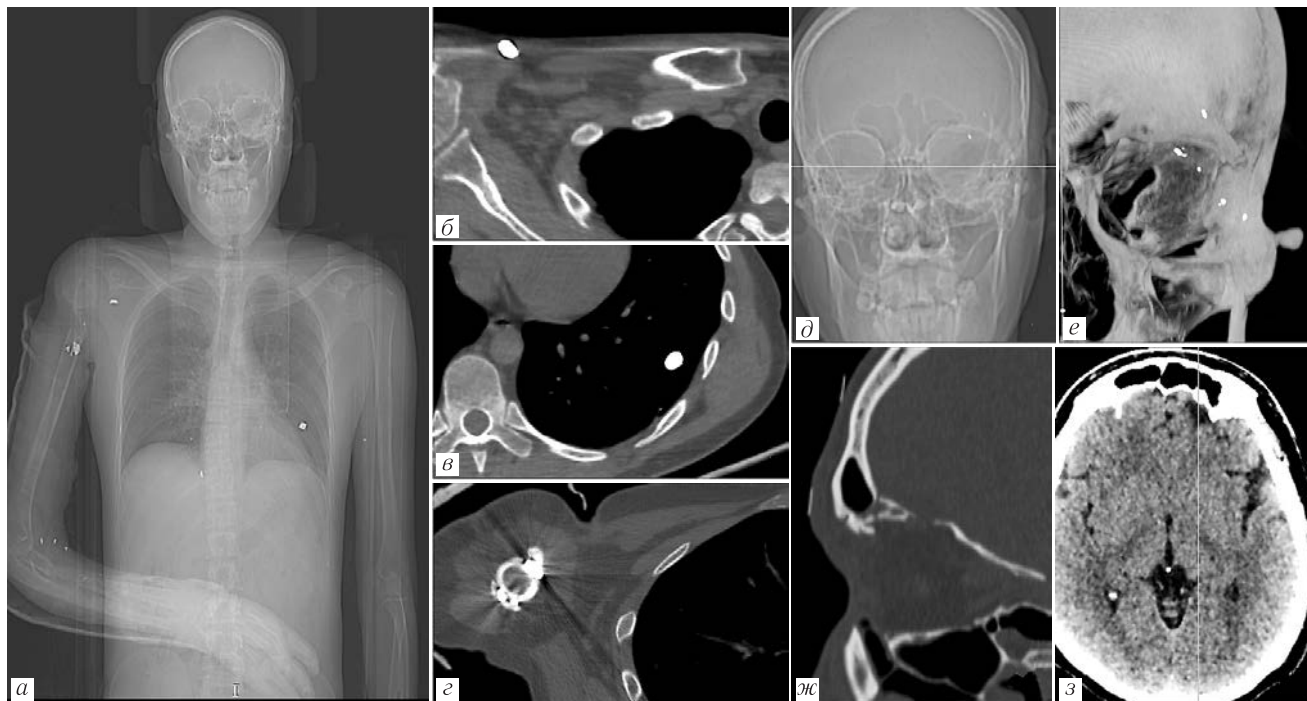


Рис. 7. Компьютерно-томографическое исследование пациента Э-п, 45 лет, минно-взрывная травма от 10.11.2022. Данный пациент соответствует строке 3 табл. 3 — «Строго противопоказано», пояснение в тексте. Анатомические области на изображениях: *a* — общая топограмма торса; *б* — осколок в правой подключичной области; *в* — осколок в левом легком; *г* — осколок в правой плечевой кости; *д* — общая топограмма головы; *е* — осколки в левой интра- и параорбитальной областях; *ж* — область левой орбиты; *з* — левые прямая и медиальная орбитальные извилины

Fig. 7. Computed tomographic examination of patient E-p, 45 years old, mine blast injury dated November 10, 2022. This patient corresponds to line 3 of table 3 — «Strictly contraindicated», explanation in the text. Anatomical areas in the images: *a* — general topogram of the torso; *б* — a fragment in the right subclavian region; *в* — a fragment in the left lung; *г* — a fragment in the right humerus; *д* — general topogram of the head; *е* — fragments in the left intra- and paraorbital areas; *ж* — area of the left orbit; *з* — left rectus and medial orbital gyri

Выявлены три крупных (рис. 7, *a*) осколка металлической плотности (3071 HU) и ряд более мелких в области головы — параорбитальной области слева (рис. 7, *д*). При сканировании в спиральном режиме (стандартные 120 кВ, адаптивный ток, MAR (Metal Artefact Reduction), толщина среза реконструкции 0,62 и 1,25 мм) было показано, что наиболее крупные металлические осколки располагаются: в подключичной области справа, поверхностно, размером 10×7 мм (рис. 7, *б*); в периферических отделах 9-го сегмента нижней доли левого легкого у VIII ребра, размером 11×11 мм (рис. 7, *в*); в области перелома верхней трети плечевой кости (рис. 7, *г*), параорбитально слева. Отмечен раневой ход большого срока давности через десятый межреберный промежуток с консолидированным краевым переломом заднего

головного мозга (строка 3 табл. 3), выполнив компьютерную томографию.

Таким образом, согласно табл. 3 «МР-совместимость инородных объектов, попавших в организм в результате огнестрельного ранения», данный пациент соответствует строке 3 «Строго противопоказано». При удалении осколка из левого легкого риск будет соответствовать строке 2 «Высокий риск осложнений».

При проведении компьютерной томографии детально определены инородные тела — мелкие осколки металлической плотности интра- и параорбитально слева (до 5 мм) (рис. 7, *е*). Плотность всех выявленных осколков (3071 HU) соответствует верхнему порогу корректно определяемой плотности. Отмечены частично консолидированные переломы

крыши левой орбиты и внутренней пластинки лобной пазухи (рис. 7, ж). Выявлены ушибы с последующей кистозно-глиозной трансформацией прямой и медиальной орбитальных извилин (рис. 7, з).

Клиническое наблюдение 2. Пациент У-к, 32 года минно-взрывная травма от 04.10.2022 г. Сквозное осколочное ранение правой ягодичной области с открытым многооскольчатый чрезвертельным переломом правой бедренной кости с формированием очага остеомиелита, секвестрэктомией, пластикой местными тканями. Ампутация левой нижней конечности на уровне нижней трети бедра. Обширные заживающие поверхностные раны верхних конечностей, правой нижней конечности. Проведены множественные этапные операции, включающие вторичную

хирургическую обработку, реампутации, пластики местными тканями раны области правого тазобедренного сустава. Петлевая сигмостомия, колостома в левой подвздошной области.

Жалобы пациента: ограничение подвижности, резкое ограничение произвольных движений правой нижней конечностью, интенсивные боли в поясничной области.

Текущая госпитализация с 17.06.2023 г. Учитывая данные сопроводительной медицинской документации, анамнеза и осмотра, было принято решение о выполнении КТ всего тела (рапСТ). При этом на топограмме (рис. 8, а) были определены два небольших участка, подозрительных на инородные тела металлической плотности — в мягких тканях кна-

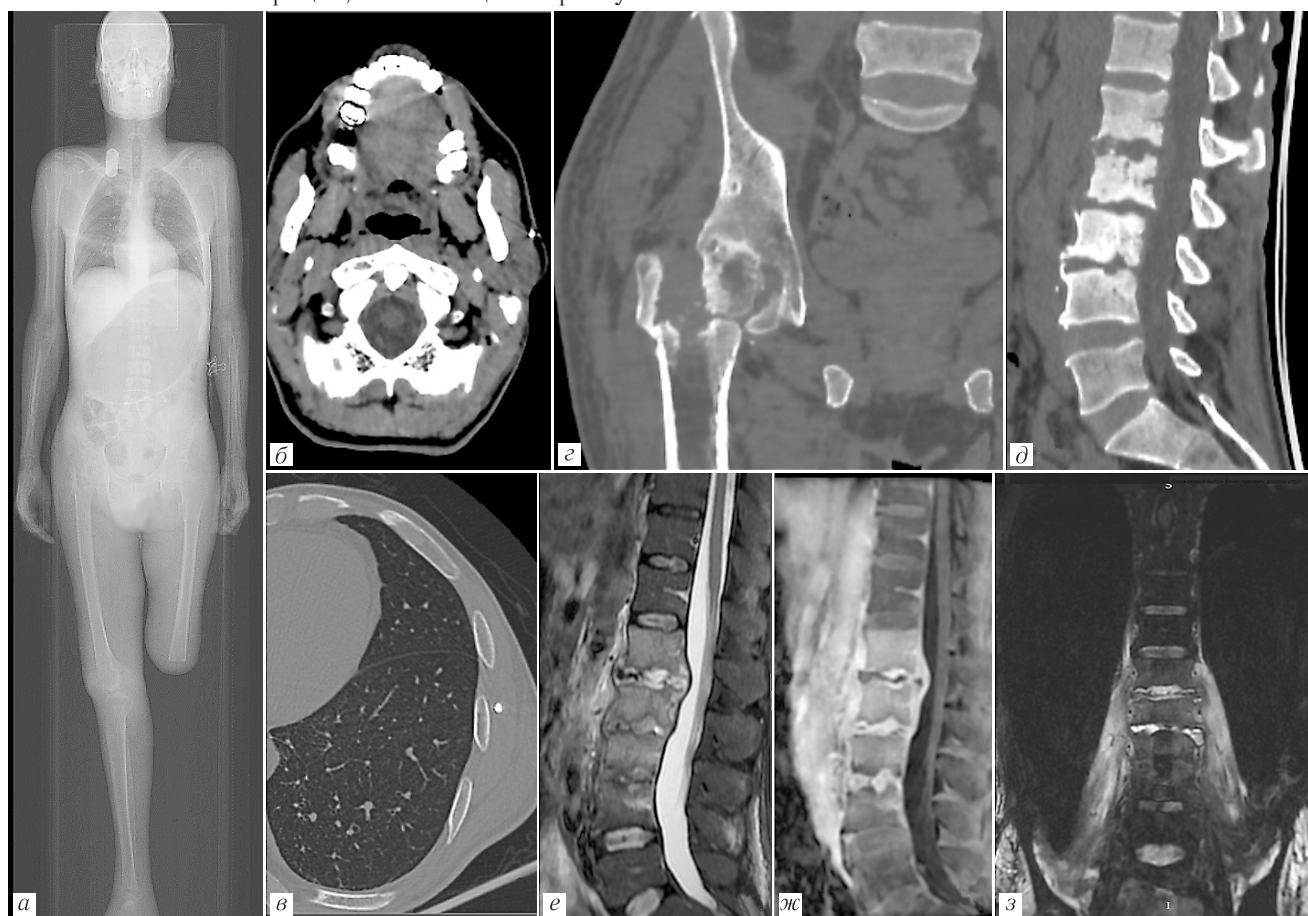


Рис. 8. Компьютерно-томографическое и магнитно-резонансные исследования пациента У-к 32 года, минно-взрывная травма от 04.10.2022 г. Данный пациент соответствует строке 1 таблицы 3 — «Низкий риск осложнений», объяснение в тексте. Анатомические области и режимы сканирования: а — общая топограмма; б — осколок в области левой жевательной мышцы; в — осколок в области передней зубчатой мышцы слева; г — правый тазобедренный сустав; д — компьютерно-томографическое изображение поясничного отдела позвоночника; е — сагиттальное магнитно-резонансное изображение поясничного отдела позвоночника в режиме STIR; ж — сагиттальное магнитно-резонансное изображение поясничного отдела позвоночника в режиме 3D LAVA Flex с жироподавлением после внутривенного контрастного усиления; з — корональное магнитно-резонансное изображение поясничного отдела позвоночника в режиме 3D STIR Cube

Fig. 8. Computed tomography and magnetic resonance studies of patient U, 32 years old, mine-explosive injury dated October 4, 2022. This patient corresponds to line 1 of Table 3 — «Low risk of complications», explanation in the text. Anatomical areas and scanning modes: a — general topogram; б — a fragment in the area of the left masseter muscle; в — a fragment in the area of the serratus anterior muscle on the left; г — right hip joint; д — computed tomographic image of the lumbar spine; е — sagittal magnetic resonance image of the lumbar spine in STIR mode; ж — sagittal magnetic resonance image of the lumbar spine in 3D LAVA Flex mode with fat suppression after intravenous contrast enhancement; з — coronal magnetic resonance image of the lumbar spine in 3D STIR Cube mode

ружи от ветви нижней челюсти слева и в проекции левого легкого. При выполнении спирального КТ-сканирования отмечено инородное тело металлической плотности (до 3 мм) в подкожно-жировой клетчатке над левой жевательной мышцей (рис. 8, б). Второе (6×4 мм) отмечено кнаружи от VII ребра в передней зубчатой мышце слева (рис. 8, в). Оба инородных тела имели рентгеновскую плотность 3071 HU, что соответствует металлу. Дополнительных инородных тел выявлено не было.

При выполнении КТ всего тела были уточнены описанные ранее патологические процессы: обширные рубцовые изменения мягких тканей голени и бедра, течение остеомиелита правого тазобедренного сустава, неконсолидированный перелом проксимального отдела правой бедренной кости с визуализацией раневых ходов (рис. 8, з), состояние после ампутации на уровне нижней трети левого бедра (рис. 8, а). В качестве находки, не указанной в переводном эпикризе, был отмечен спондилит тел позвонков L_{1-IV} с подозрением на спондилодисцит (рис. 8, д). Учитывая полученные данные о металлических инородных телах, пациент был классифицирован как имеющий низкий риск осложнений согласно табл. 3, что позволило выполнить МРТ позвоночника. Отмеченные инородные тела металлической плотности (до 3 мм) располагались в подкожно-жировой клетчатке лица над левой жевательной мышцей (рис. 8, б), соответствовали формулировке строки 1 табл. 3 — «небольшие объекты (до 5 мм), через 6 недель после ранения не прилегающие к кровеносным сосудам, жизненно важным органам и критически опасных анатомических областях и не располагаются в них». Второе (6×4 мм), кнаружи от VII ребра в передней зубчатой мышце слева (рис. 8, в), соответствует формулировке строки 1 табл. 3 — «небольшие объекты до 1 см вне изоцентра магнита, до 3–4 см вне гентри через 6 недель после ранения (пример: МРТ головного мозга при наличии осколков в нижних конечностях)».

При МРТ позвоночника определены изменения по типу спондилита L_{1-IV}, спондилодисцита, эпидурита, двустороннего псоита, миозита подвздошных

и ягодичных мышц. На рис. 8 представлены МРТ изображения в режимах STIR (рис. 8, е), 3D LAVA Flex с жироподавлением после внутривенного контрастного усиления (рис. 8, ж), а также 3D STIR Cube (рис. 8, з).

Заключение. Выполнение МРТ-исследования пациентам с огнестрельным ранением в ряде случаев возможно, но требует тщательного анализа рисков и важности диагностической информации, полученной при исследовании с учетом доступных альтернативных методов диагностики и состояния пациента. Предложена классификация рисков выполнения МРТ-исследования в зависимости от размера металлического осколка, его локализации, давности травмы: низкий риск осложнений, высокий риск осложнений, строго противопоказано. Опыт работы с данной категорией пациентов показывает, что чаще встречаются множественные мелкие металлические инородные объекты (крупные осколки, как правило, удаляются при первичном хирургическом вмешательстве). С другой стороны, часто применяются МР-несовместимые устройства внешней и внутренней фиксации и внешние носимые устройства, такие как аппараты для лечения отрицательным давлением.

Опрос пациента в такой ситуации зачастую неинформативен из-за высокой вероятности множественных ранений и многократных медицинских вмешательств. Методом выбора для того, чтобы достоверно установить наличие металлических инородных объектов, в данном случае является рентгенография или компьютерная томография, которая может быть выполнена в режиме предварительного сканирования всего тела и далее — локально применительно к областям с инородными объектами.

С целью минимизации рисков при выполнении МРТ-исследования у пациента с металлическими осколками следует заранее подготовить протокол сканирования, контролировать состояние пациента после каждой импульсной последовательности. По завершении диагностической процедуры следует сделать соответствующую запись о выполненном МРТ-исследовании, так как для данной категории пациентов высока вероятность назначения МРТ в будущем.

Сведения об авторах:

Васильев Юрий Александрович — кандидат медицинских наук, врач-рентгенолог, директор государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы», главный внештатный специалист по лучевой и инструментальной диагностике Департамента здравоохранения Москвы; 127051, Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1; e-mail: VasilevYA1@zdrav.mos.ru; ORCID 0000-0002-5283-5961;

Семенов Дмитрий Сергеевич — кандидат технических наук, руководитель отдела стандартизации и контроля качества государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы»; 127051, Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1; e-mail: SemenovDS4@zdrav.mos.ru; ORCID 0000-0002-4293-2514

Петрайкин Алексей Владимирович — доктор медицинских наук, доцент, главный научный сотрудник отдела стандартизации и контроля качества государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы», врач-рентгенолог; 127051, Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1; e-mail: alexeypetraikin@gmail.com; ORCID 0000-0003-1694-4682;

Васильева Юлия Николаевна — кандидат медицинских наук, ассистент кафедры лучевой диагностики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет медицины» Министерства здравоохранения Российской Федерации, врач-рентгенолог; 127006, Москва, ул. Долгоруковская, д. 4; e-mail: drugya@yandex.ru; ORCID 0000–0003–4955–2749;

Ульянова Виолетта Алексеевна — врач-рентгенолог отдела экспертизы и качества государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы»; 127051, Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1; врач-рентгенолог федеральное казенное учреждение здравоохранения «Главный клинический госпиталь Министерства внутренних дел России»; 123060, Москва, ул. Народного Ополчения, д. 35; врач-рентгенолог государственного бюджетного учреждения здравоохранения «Городская клиническая онкологическая больница № 1 Департамента здравоохранения города Москвы»; 117152, Москва, Загородное шоссе, д. 18А, стр. 7; e-mail: violettaalekseevna@bk.ru; ORCID 0009–0002–7008–8151;

Абдель-Керим Шуан Рашид — врач-рентгенолог диагностического отделения Московского клинического центра инфекционных болезней «Вороновское» государственного бюджетного учреждения здравоохранения «Городская клиническая больница имени В. П. Демикова Департамента здравоохранения города Москвы»; 142165, Москва, поселение Вороновское, квартал № 10; e-mail: shuan.ak@gmail.com; ORCID 0009–0002–9283–0302;

Петрова Наталья Борисовна — врач-рентгенолог, заведующая диагностическим отделением Московского клинического центра инфекционных болезней «Вороновское» государственного бюджетного учреждения здравоохранения «Городская клиническая больница имени В. П. Демикова Департамента здравоохранения города Москвы»; 142165, Москва, поселение Вороновское, квартал № 10; e-mail: brovanb@mail.ru; ORCID 0009–0001–3436–430X;

Сморчкова Анастасия Кирилловна — младший научный сотрудник отдела стандартизации и контроля качества государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы»; врач-рентгенолог; 127051, Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1; e-mail: SmorchkovaAK@zdrav.mos.ru; ORCID 0000–0002–9766–3390;

Шарова Дарья Евгеньевна — заместитель руководителя отдела инновационных технологий государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы»; 127051, Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1; e-mail: SharovaDE@zdrav.mos.ru; ORCID 0000–0001–5792–3912.

Information about the authors:

Yuri A. Vasilev — Cand. of Sci. (Med.), CEO of the State Budget-Funded Health Care Institution of the City of Moscow «Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department», senior consultant for Radiology and Instrumental Diagnostics of the Moscow Healthcare Department; 127051, Moscow, Petrovka st., 24, bld. 1; e-mail: vasilevYA1@zdrav.mos.ru; ORCID 0000–0002–5283–5961;

Dmitriy S. Semenov — Cand. of Sci. (Tech.), Head of Standardization and Quality Control Department of the State Budget-Funded Health Care Institution of the City of Moscow «Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department»; 127051, Moscow, Petrovka st., 24, bld. 1; e-mail: SemenovDS4@zdrav.mos.ru; ORCID 0000–0002–4293–2514;

Alexey V. Petraikin — Dr. of Sci. (Med.), Assistant Professor, Chief Researcher of the Standardization and Quality Control Department of the State Budget-Funded Health Care Institution of the City of Moscow «Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department»; 127051, Moscow, Petrovka st., 24, bld. 1; e-mail: alexeypetraikin@gmail.com; ORCID 0000–0003–1694–4682;

Yulia N. Vasileva — Cand. of Sci. (Med.), assistant of the Department of Radiology of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Russian University of Medicine» of the Ministry of Health of the Russian Federation; 127006, Moscow, Dolgoroukovskaya st., 4; e-mail: drugya@yandex.ru; ORCID 0000–0003–4955–2749;

Violetta A. Ulyanova — radiologist, Department of Expertise and Quality of the State Budget-Funded Health Care Institution of the City of Moscow «Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department»; Federal Government Healthcare Institution «Main Clinical Hospital of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation»; State Budgetary healthcare institution of the Moscow city «City Clinical Oncology Hospital No. 1 of the Moscow Health Department»; 127051, Moscow, Petrovka st., 24, bld. 1; 117152, Moscow, Narodnogo Opolcheniya st., 35; 117152, Moscow, 18A, Zagorodnoe sh., bld. 7; e-mail: violettaalekseevna@bk.ru;

Shuan R. Abdel-Kerim — radiologist, Diagnostics Department of the Moscow Clinical Center of Infectious Diseases «Voronovskoye», State Budgetary healthcare institution «V.P. Demikhov City Clinical Hospital of the Moscow Health Department»; 142165, Moscow, settlement Voronovskoye, Quarter No. 10; e-mail: shuan.ak@gmail.com; ORCID 0009–0002–9283–0302;

Natalia B. Petrova — radiologist, Head of the Diagnostics Department of the Moscow Clinical Center of Infectious Diseases «Voronovskoye», State Budgetary healthcare institution «V.P. Demikhov City Clinical Hospital of the Moscow Health Department»; 142165, Moscow, settlement Voronovskoye, Quarter No. 10; e-mail: brovanb@mail.ru; ORCID 0009–0001–3436–430X;

Anastasia K. Smorchkova — junior researcher of Standardization and Quality Control Department of the State Budget-Funded Health Care Institution of the City of Moscow «Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department»; 127051, Moscow, Petrovka st., 24 bld. 1; e-mail: SmorchkovaAK@zdrav.mos.ru; ORCID 0000–0002–9766–3390;

Daria E. Sharova — deputy head of the Department of Innovative Technologies of the State Budget-Funded Health Care Institution of the City of Moscow «Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department»; 127051, Moscow, 24 Petrovka st., bld. 1; e-mail: SharovaDE@zdrav.mos.ru; ORCID 0000–0001–5792–3912.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение поисково-аналитической работы и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующим образом: концепция и план исследования — *Ю. А. Васильев, Д. Е. Шарова*; сбор и анализ данных — *Д. С. Семенов, А. В. Петрайкин, Ю. Н. Васильева, В. А. Ульянова, Ш. Р. Абдель-Керим, Н. Б. Петрова*; подготовка рукописи — *А. К. Сморчкова*.

Authors' contributions. All authors met the ICMJE authorship criteria. Special contribution: *YuAV, DESh* aided in the concept and plan of the study; *DSS, AVP, YNV, VAU, ShRA-K, NBP* provided collection and analysis of data; *AKS* preparation of the manuscript.

Источник финансирования. Данная статья подготовлена авторским коллективом в рамках НИР «Научное обеспечение стандартизации, безопасности и качества магнитно-резонансной томографии» (№ ЕГИСУ: № 123031500007-6) в соответствии с Приказом от 21.12.2022 г. № 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» Департамента здравоохранения города Москвы.

Funding: This paper was prepared by a group of authors as a part of the research and development effort titled «Research program to further the standardization, safety and quality of magnetic resonance imaging» (USIS No. 123031500007-6) in accordance with the Order No. 1196 dated December 21, 2022 «On approval of state assignments funded by means of allocations from the budget of the city of Moscow to the state budgetary (autonomous) institutions subordinate to the Moscow Health Care Department, for 2023 and the planned period of 2024 and 2025» issued by the Moscow Health Care Department.

Потенциальный конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Disclosure. The authors declare that they have no competing interests.

Соответствие принципам этики. Одобрение этического комитета не требовалось. Информированное согласие получено от каждого пациента.

Adherence to ethical standards. The approval of the ethics committee was not required. Informed consent is obtained from each of the patient.

Поступила/Received: 15.04.2024

Принята к печати/Accepted: 29.08.2024

Опубликована/Published: 29.09.2024

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Greenberg T.D., Hoff M.N., Gilk T.B., Jackson E.F., Kanal E., McKinney A.M. et al. ACR guidance document on MR Safe Practices: Updates and critical information 2019 // *Journal of Magnetic Resonance Imaging*. 2019. Vol. 51, No. 2. P. 331–338. doi: 10.1002/jmri.26880.
2. Швырков М.Б. Огнестрельные ранения лица и функциональные нарушения // *Российский стоматологический журнал*. 2017. Т. 21, № 3. С. 152–157. [Shvyrkov M.B. Gunshot wounds of face and functional disorders. *Russian Dental Journal*, 2017, Vol. 21, No. 3, pp. 152–157 (In Russ.).] doi: 10.18821/1728-2802.
3. Щеголев А.И., Туманова У.Н. Посмертные лучевые исследования в мировом и отечественном здравоохранении: анализ литературы и мнений российских специалистов // *Digital Diagnostics*. 2023. Т. 4, № 3. С. 369–383. [Shchegolev A.I., Tumanova U.N. Postmortem Radiology Studies in global and National Healthcare: Literature Analysis and perspectives of Russian specialists. *Digital Diagnostics*, 2023, Sept. 26, Vol. 4, No. 3, pp. 369–383 (In Russ.).] doi: 10.17816/DD375328.
4. Гизатуллин Ш.Х., Станишевский А.В., Свистов Д.В. Боевые огнестрельные ранения черепа и головного мозга // *Вопросы нейрохирургии им. Н.Н.Бурденко*. 2021. Т. 85, № 5. С. 124–131. [Gizatullin Sh.Kh., Stanishevsky A.V., Svistov D.V. Combat gunshot skull and brain injuries. *Issues of neurosurgery named after N.N.Burdenko*, 2021, Vol. 85, No. 5, pp. 124–131 (In Russ.).] doi: 10.17116/neiro202185051124.
5. Lopič N., Jelen A., Vrtnik S., Jagličič Z., Wencka M., Starc R. et al. Quantitative determination of magnetic force on a coronary stent in MRI // *Journal of Magnetic Resonance Imaging*. 2013. Vol. 37, No. 2. P. 391–397. doi: 10.1002/jmri.23831.
6. Martinez-del-Campo E., Rangel-Castilla L., Soriano-Baron H., Theodore N. Magnetic resonance imaging in lumbar gunshot wounds: an absolute contraindication? // *Journal of neurosurgery*. 2014. Vol. 37, No. 1. P. E13. doi: 10.3171/2014.7.FOCUS1496.
7. Сергунова К.А., Ахмад Е.С., Петрайкин А.В., Кивасев С.А., Семенов Д.С., Васильев Ю.А. и др. Безопасность проведения магнитно-резонансного исследования пациентам с имплантируемыми медицинскими изделиями // *Бюллетень НИЦССХ им. А.Н.Бакулева РАМН*. 2019. Т. 20, № 4. С. 313–323. [Sergunova K.A., Ahmad E.S., Petraikin A.V., Kivasev S.A., Semenov D.S., Vasilev Yu.A. et al. Safety of magnetic resonance examination patients with implantable medical devices. *Bulletin of the National Medical Research Center for Cardiovascular Surgery named after A.N.Bakulev of the Russian Academy of Medical Sciences*, 2019, Vol. 20, No. 4, pp. 313–323 (In Russ.).] doi: 10.24022/1810-0694-2019-20-4-313-323.
8. Panych L.P., Madore B. The physics of MRI safety // *Journal of Magnetic Resonance Imaging*. 2018. Vol. 47, No. 1. P. 28–43. doi: 10.1002/jmri.25761.
9. Winter L., Seifert F., Zilberti L., Murbach M., Ittermann B. MRI-Related Heating of Implants and Devices: A Review // *Journal of Magnetic Resonance Imaging*. 2020. Vol. 53, No. 6. P. 1646–1665. doi: 10.1002/jmri.27194.
10. Fountain A.J., Corey A., Malko J.A., Strozier D., Allen J.W. Imaging appearance of ballistic wounds predicts bullet composition: Implications for MRI safety // *American Journal of Roentgenology*. 2021. Vol. 216, No. 2. P. 542–551. doi: 10.2214/AJR.20.23648.