

М. И. Ахиев^{1,2}, В. М. Китаев¹

ОСОБЕННОСТИ ОТОБРАЖЕНИЯ НА КТ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОСКОЛКОВ В СЕРДЦЕ

¹ *Национальный медицинский исследовательский центр высоких медицинских технологий и Центральный военный клинический госпиталь им. А. А. Вишневого Министерства обороны Российской Федерации, г. Красногорск;*

² *Филиал Военно-медицинской академии им. С. М. Кирова Министерства обороны Российской Федерации, г. Москва*

М. I. Akhiev^{1,2}, V. M. Kitaev¹

FEATURES OF CT IMAGING OF METAL FRAGMENTS IN THE HEART

¹ *National Medical Research Center for High Medical Technologies and Central Military Clinical Hospital named after A. A. Vishnevsky of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Krasnogorsk;*

² *Branch of the Military Medical Academy named after S. M. Kirov of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Moscow*

Актуальность. При проведении спиральной КТ (СКТ) у раненных металлическими осколками возникают артефакты, значительно искажающие изображение [1–6]. При осколочных ранениях сердца добавляются артефакты, вызываемые смещением осколка вследствие пульсации. Появление артефактов обусловлено законами построения изображений и зависит от предмета их формирования, поэтому связь между различными вариантами артефактов и величиной смещения локализованных в сердце осколков очевидна, и учет такой зависимости может использоваться в диагностике.

Цель исследования: изучить зависимость видов отображения артефактов, вызываемых локализованными в сердце металлическими осколками, от величины их смещения при пульсации.

Материал и методика исследования. Для подтверждения высказанной гипотезы был проведен закрытый ретроспективный анализ КТ изображений ранений в сердце. Отбор в группу анализа проводился открытым способом. Критерием отбора служило наличие электронных записей СКТ исследований грудной полости, выполненных до удаления осколка. Критерием исключения являлись случаи отсутствия результатов операций по удалению осколков. Первичная СКТ проводилась всем раненым при поступлении. Повторная СКТ у раненных отобранной группы выполнялась по клиническим показаниям в интервалах от одних суток и более. В результате отобраны и ретроспективно изучены КТ исследования 65 раненых. Изучение КТ проводили с соблюдением требований закрытого исследования. Особое внимание обращали на изображения артефактов от металлических осколков, а также перемены в их локализации при повторных КТ ис-

следованиях. Питч реконструкции изображений соответствовал 1,2; толщина реконструкции — 1,5 мм. Абсолютное большинство осколков имели неправильную форму, их максимальный размер находился в диапазоне от 1–2 до 13 мм.

Полученные результаты и обсуждение. Все многообразие артефактов было разделено на четыре основных вида. *Первый вид* характеризовался визуализацией слегка вытянутого изображения осколка (не более чем на 1–2 мм), окруженного расходящимися лучами артефактов, которые при прокрутке изображения совершали поворот в секторе, не превышающем 45°, или вовсе не смещались. Расходящиеся звездообразные лучи от осколков возникали от высококонтрастных инородных тел и вращения рентгеновской трубки по причине эффекта интерполяции. При этом происходило постепенное отклонение измерений денситометрических показателей (ДП) от истинных значений. Первый вид изображения был характерен для неподвижных и малоподвижных осколков, расположенных рядом с перикардом (рис. 1).

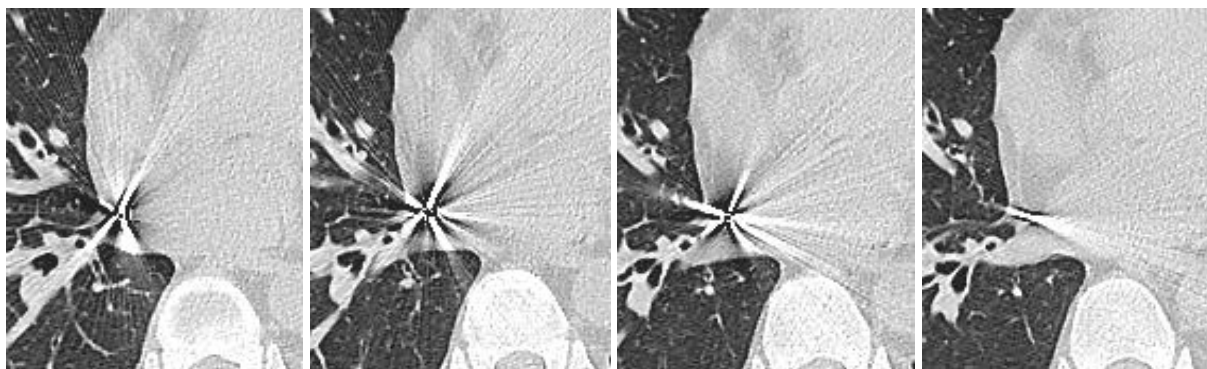


Рис. 1. Первый вариант артефактов от осколка при КТ. Реконструкция изображений 1,5 мм. Представлены фрагменты прокрутки изображений. По мере смещения пациента изменяется длина расходящихся лучей артефактов, но вращения лучей не наблюдается

Второй вид артефактов дополнительно содержал в себе отображение движений, передаваемых стенкой камер сердца. Смещение тканей при пульсации происходит в трех направлениях: в глубину, к межжелудочковой перегородке — это сжатие, оно происходит в плоскости X/Y, а также вдоль продольной оси Z — это изгнание. В итоге формируется нечто похожее на скручивание. Амплитуда пульсовых волн в плоскости X/Y правого предсердия составляет 2–3 мм и 3–4 мм — левого; стенки правого желудочка — до 7 мм, левого — 7–12 мм. В направлении продольной оси амплитуда смещения наиболее выражена в периферическом отделе средней части объема сердца, что соответствует желудочкам, и максимально составляет 8 мм для левого и 6 мм для правого желудочка. В направлениях к основанию и вершине сердца смещение затухает. Следовательно, фиксированный в перикарде осколок не может смещаться более обозначенных значений. Мелкие осколки отображались тонкой линейной структурой, что симулиро-

вало их форму в виде проволоки. От осколка также отходили лучи артефактов, которые при прокрутке изображений совершали поворот в секторе до 90° , это походило на вращающиеся лопасти ветряной мельницы. Смещение лучей зависело от величины сектора, в который вписывался осколок при вращении сканирующей системы. Смещение центра окна динамического диапазона (ДП) в крайнее правое положение способствовало лучшей визуализации металлических осколков, поскольку ДП в зоне артефактов даже вблизи осколка примерно на 500 HU ниже, чем от металла (рис. 2). Вторым видом отображения артефактов был характерен для смещения осколка от колебательных движений, передаваемых стенками предсердий, а также межжелудочковой перегородкой (рис. 3).

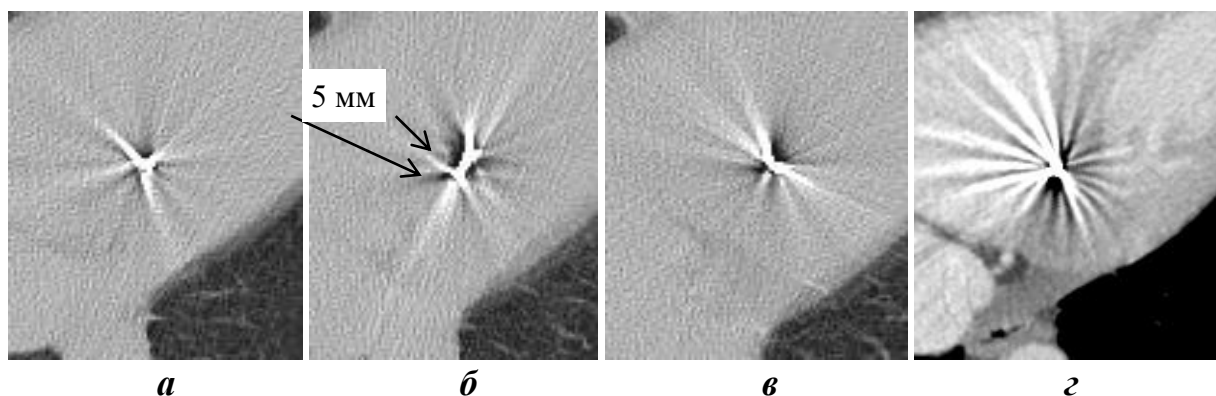


Рис. 2. Слепое проникающее ранение правого желудочка сердца. Осколок фиксирован в межжелудочковой перегородке. На КТ определяется второй вид артефактов. При прокрутке изображений, радиальные артефакты совершают поворот. Показаны начальный (а), промежуточный (б) и конечный (в) сканы визуализации осколка. На промежуточном скане видно, что смещение осколка составило 5 мм; з — для сравнения показана КТ того же пациента, синхронизированная с ЭКГ

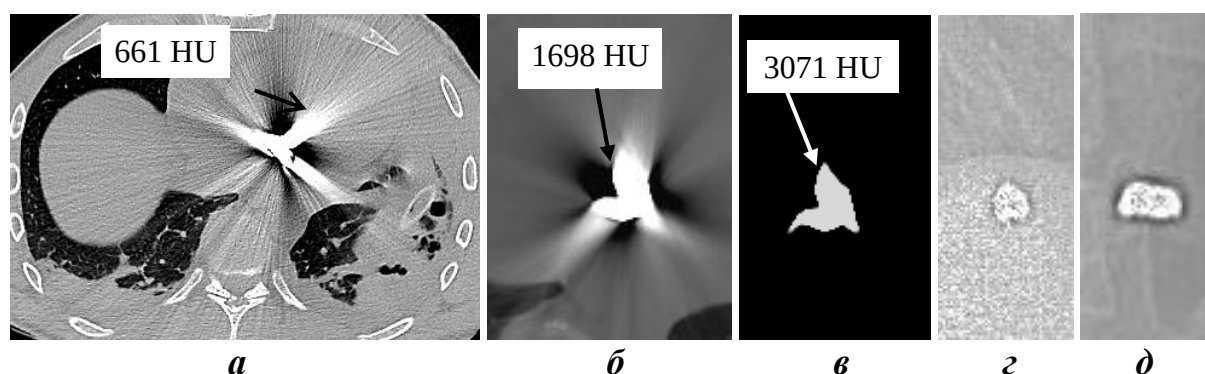


Рис. 3. Слепое ранение правого желудочка сердца. На КТ металлический осколок создает артефакты второго вида:

а, б, в — ДП осколка и артефактов существенно отличаются. В результате смещения форма осколка растягивается по оси X/Y и искажается. Лучи артефактов совершают поворот на 90° ; з, д — фрагменты рентгенограмм в двух проекциях. Размеры осколка $11 \times 5 \times 9$ мм, хорошо видна его истинная форма

При третьем виде артефактов, дополнительно к описанному изображению, на первый план выходили дугообразные линии, от концов которых исходили расходящиеся радиальные лучи. Вся описанная конструкция при прокрутке изображений совершала поворот в секторе до 180° (рис. 4).

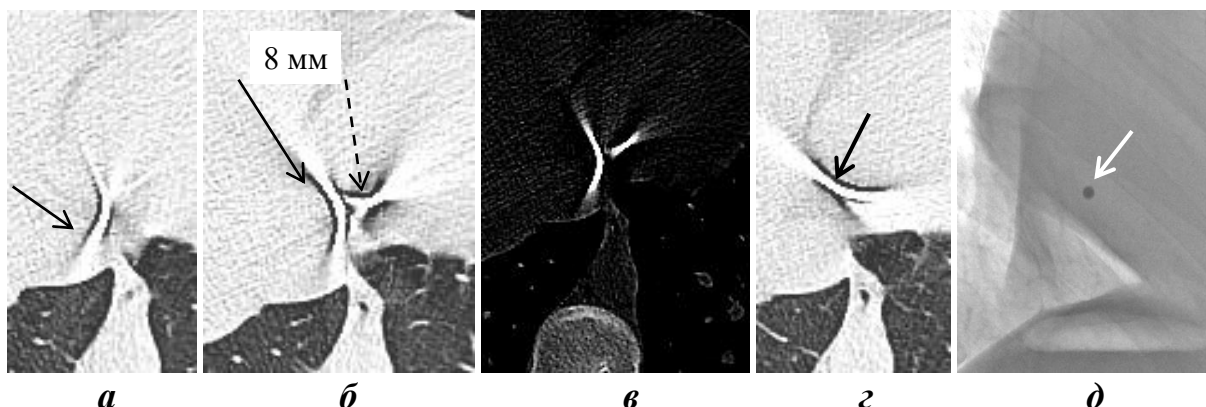


Рис. 4. Слепое, проникающее через перикард, ранение правого желудочка: а–д — фрагменты прокрутки изображений. Осколок фиксирован в стенке желудочка. Расстояние между центрами дугообразных линий 8 мм. Сплошной стрелкой обозначена первая дуга артефакта, пунктирной — вторая; в — окно динамического диапазона смещено вправо, осколок отображается двумя дугообразными линиями; д — фрагмент рентгенограммы. Металлический осколок (стрелка) имеет шаровидную форму, диаметр 3 мм

Формирование таких артефактов заключается в конструктивных особенностях СКТ. Детекторы в современных КТ-аппаратах со спиральным сканированием расположены в несколько рядов, поэтому плоскость реконструкции пересекают, как минимум, два ряда детекторов. Это позволяет многократно регистрировать излучение, проходящее через выбранную ширину среза, что способствует получению более качественного изображения. При пульсации сердца, смещающиеся по оси Z осколки по причине спирального вращения системы сбора данных дополнительно попадают в область сканирования и накладываются на формирующееся изображение. В результате образуются две, а иногда три дугообразные линии, отображающие структуры металлической плотности. Расстояние между удвоенными изображениями связано с величиной смещения осколка, но только приблизительно отображает истинное значение смещения.

Четвертый вид артефактов исходил от нефиксированных осколков, которые к смещениям от пульсации совершали дополнительные перемещения в полости перикарда. При этом расстояние между дугами превышало амплитуду сокращения стенки желудочка сердца вдоль продольной оси Z — более 8 мм для левого и 6 мм для правого желудочка (рис. 5).

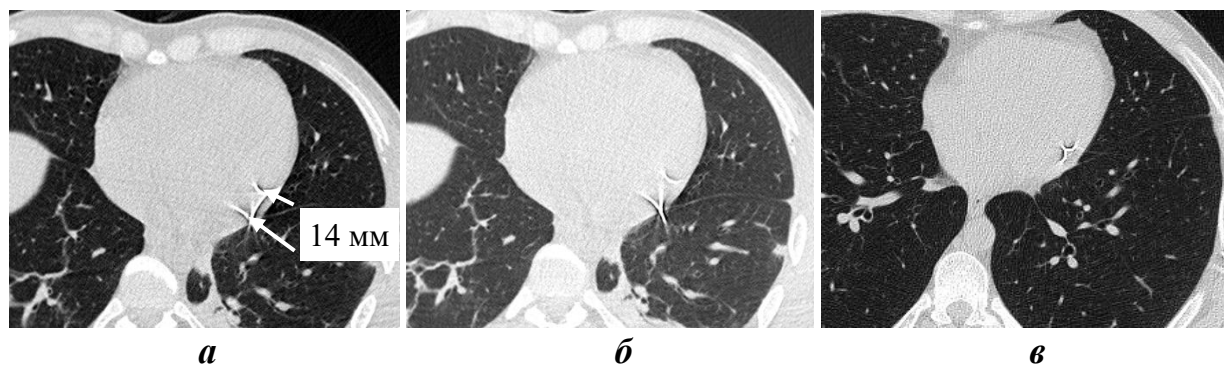


Рис. 5. Слепое осколочное ранение сердца:

а, б — осколок располагается в левом медиастинальном отделе перикарда и вызывает артефакты в виде трех дугообразных линий с интервалом 14 мм — четвертый вид, свободное расположение; *в* — контрольное исследование через два дня. Осколок сместился в краниальном направлении. Дугообразные линии максимально придвинулись. Уменьшение амплитуды смещения по вектору *Z* указывает на фиксированное состояние осколка

Выводы:

1. Неподвижные и малоподвижные осколки образуют артефакты в виде расходящихся звездообразных лучей.
2. Осколки, смещаемые синхронно с пульсацией сердца в плоскости вращения сканирующей системы *X/Y*, на КТ изменяют форму за счет растягивания тени. От их концов отходят расходящиеся лучи артефактов, которые при прокрутке изображений совершают поворот в секторе до 90° .
3. Синхронное с пульсацией сердца смещение осколка по оси *Z* вызывает дугообразные артефакты, расстояние между которыми 5–8 мм. На концах дугообразных линий также формируются лучи, которые при прокрутке изображений совершают поворот в секторе до 180° .
4. Расстояние между дугообразными линиями, превышающее физиологическое сокращение сердца по оси *Z*, отображает четвертый вид артефактов, который характерен для смещения осколков, свободно расположенных в полости перикарда.

ЛИТЕРАТУРА

1. Barrett, J. F. Artifacts in CT: recognition and avoidance / J. F. Barrett, N. Keat // Radiographics. – 2004. – Vol. 24 (6). – P. 1679–1691.
2. Fast CT metal artefacts correction based on derivative and region-based filling / Y. Li, Y. Chen, L. Luo [et al.] // J. Med. Imaging Radiat. Oncol. – 2011. – Vol. 55 (6). – P. 535–541.
3. Imaging of combat-related thoracic trauma — review of penetrating trauma / J. P. Lichtenberger, A. M. Kim, D. Fisher [et al.] // Mil. Med. – 2018. – Vol. 183. – P. 81–88.
4. Hsieh, J. Computed tomography: principles, design, artifacts, and recent advances / J. Hsieh // Engineering, Medicine. – 2003. – P. 633.
5. Mathematical modeling to predict the migration of foreign bodies of gunshot origin / E. Khoroshun, V. Makarov, V. V. Nehoduiko [et al.] ; Mathematics, Medicine // Emergency medicine. – 2024. Vol. 20 (5). – P. 363–375.
6. Hsieh, J. Image artifacts: appearances, causes and corrections / J. Hsieh // In: Computed tomography: principles, design, artifacts and recent advances. – Bellingham, Wash : SPIE Press, 2003. – P. 167–240.