ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

ВОЗМОЖНОСТИ КТ В ДИАГНОСТИКЕ ОСКОЛОЧНЫХ РАНЕНИЙ СЕРДЦА

Ахиев М.И.[1,2], Китаев В.М.[1,3], Абнизов А.С.[1]

1 – ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр высоких медицинских технологий – Центральный военный клинический госпиталь им. А.А. Вишневского» Минобороны России. г. Красногорск, Россия.

2 – Филиал Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова МО РФ. г. Москва, Россия.

3 – ФГБУ ДПО «ЦГМА» Управления делами президента РФ. Кафедра рентгенологии и ультразвуковой диагностики. г. Москва, Россия.

Цель исследования. Изучить зависимость вида отображения артефактов на компьютерных томограммах при ранениях сердца от величины смещения осколка при пульсации, и на этой основе разработать методику анализа томограмм, позволяющую распознавать вид ранения и вероятность смещения осколков.

Материалы и методы. Ретроспективно изучены компьютерные томограммы 78 раненых. В выборку вошли наблюдения ранений сердца осколками, размер которых составлял 1-5 мм, а форма приближалась к сферической. Особое внимание обращалось на изображения артефактов от металлических осколков, а при повторных КТ-исследованиях – возможные перемены в их изображениях. Толщина реконструкции изображений соответствовала 1,5 мм.

Результаты и обсуждение. При ретроспективном анализе КТ-изображений 78 наблюдений ранений сердца установлена зависимость вида артефактов от величины смещения осколков, что позволило уже при первичном исследовании разграничивать осколки на фиксированные и подвижные. Подвижные осколки располагались в полости перикарда, формировали артефакты 4-го вида и перемещались в полости перикарда. Глубокие ранения формировали артефакты 3-го вида. При глубоких ранениях осколок проникал в миокард желудочков или глубже, в слой мясистых трабекул и далее, в полости сердца. Проникая в полости желудочков, осколки фиксировались в мясистых трабекулах, и среди всех наблюдений проникающих ранений не было зафиксировано ни одного случая миграции осколка.

Заключение. При решении удаления смещаемых и потенциально смещаемых осколков необходимо проводить контрольное КТ-исследование перед операцией. Проникающие ранения сердца распознаются при КТ с контрастным усилением. Мелкие осколки при проникающих ранениях фиксируются в слое мясистых трабекул эндокарда, вероятность их миграции мала.

Ключевые слова: КТ-диагностика ранений сердца, артефакты от осколков в сердце, смещение осколков в сердце, диагностика проникающих и не проникающих ранений сердца.

Контактный автор: Ахиев М.И., e-mail: akhiev@yandex.ru

Для цитирования: Ахиев М.И., Китаев В.М., Абнизов А.С. Возможности КТ в диагностике осколочных ранений сердца. REJR 2025; 15(4):85-99. DOI: 10.21569/2222-7415-2025-15-4-85-99.

Статья получена: 09.11.25 **Статья принята:** 04.12.25

RUSSIAN ELECTRONIC JOURNAL OF RADIOLOGY

CT POSSIBILITIES IN THE DIAGNOSTICS OF THE HEART SHRAPNEL WOUNDS

Akhiev M.I.[1,2], Kitaev V.M.[1,3], Abnizov A.S.[1]

1 – National Medical Research Center of High Medical Technologies, A.A. Vishnevsky Central Military Clinical Hospital, the Russian Ministry of Defense. Krasnogorsk, Russia.

2 – S.M. Kirov Military Medical Academy, the Russian Ministry of Defense. Moscow, Russia.

3 – Central State Medical Academy, the Presidential Executive Office of the Russian Federation. Department of Radiology and Ultrasound Diagnostics. Moscow, Russia.

Purpose. To study the relationship between the CT appearance of artifacts of cardiac wounds and the magnitude of fragment displacement during pulsation. Based on this, we developed a tomogram analysis method for recognizing the type of wound and the likelihood of fragment displacement.

Materials and Methods. CT scans of 78 wounded patients were retrospectively analyzed. The sample included cases of cardiac wounds with fragments ranging in size from 1-5 mm and a nearly spherical shape. Particular attention was paid to the images of artifacts from metal fragments, and, during repeat CT examinations, to possible changes in their appearance. The image reconstruction thickness was 1.5 mm.

Results and Discussion. A retrospective analysis of CT images of 78 cases of cardiac wounds revealed a relationship between the appearance of artifacts and the magnitude of fragment displacement, enabling the differentiation of fragments into fixed and mobile fragments during the initial examination. Mobile fragments were located in the pericardial cavity, producing type 4 artifacts and migrating within the pericardial cavity. Deep wounds produced type 3 artifacts. In deep wounds, the fragment penetrated the ventricular myocardium or deeper, into the layer of fleshy trabeculae and further into the cardiac cavities. Upon entering the ventricular cavities, fragments were fixed in the fleshy trabeculae, and among all penetrating wounds, no cases of fragment migration were recorded.

Conclusion. When deciding to remove displaced and potentially displaced fragments, a control CT scan is necessary before surgery. Penetrating cardiac wounds are identified using contrast-enhanced CT. Small fragments in penetrating wounds are fixed in the layer of fleshy trabeculae of the endocardium; the likelihood of their migration is low.

Keywords: CT diagnostics of cardiac wounds, artifacts from shrapnel in the heart, displacement of shrapnel in the heart, diagnostics of penetrating and non-penetrating cardiac wounds.

Corresponding author: Akhiev M.I., e-mail: akhiev@yandex.ru

For citation: Akhiev M.I., Kitaev V.M., Abnizov A.S. CT possibilities in the diagnostics of the heart shrapnel wounds. REJR 2025; 15(4):85-99. DOI: 10.21569/2222-7415-2025-15-4-85-99.

Received: 09.11.25 **Accepted:** 04.12.25

До настоящего времени для подтверждения наличия осколка в сердце широко применяется рентгенологическое исследование, по результатам которого не всегда удается установить точную локализацию осколка. В противоположность этому, КТ имеет несомненные преимущества, но ряд ограничений, связанных с появлением артефактов от металлических осколков. Их возникновение обусловлено высоким градиентом коэффициентов ослабления излучения между биологическими тканями и металлическими осколками, а также смещением осколков вследствие пульсации сердца. В результате на КТ-изображениях появляются геометрические искажения, лучи, полосы, пятна различной интенсивности и даже ложные изображения всего объекта или его части. Появление таких артефактов обусловлено законами построения изображений и находится в зависимости от причины их формирования. В разнообразии артефактов, формируемых осколками в сердце, была отмечена зависимость их вида от величины смещения осколка. Высказана гипотеза о наличии связи между различными вариантами артефактов и величиной смещения локализованных в сердце осколков под влиянием пульсации, что позволит точнее диагностировать вид ранения.

В литературных источниках существует большое количество исследований, объясняющих причины возникновения артефактов и рекомендации по их устранению [1-6]. Вместе с тем, мы не встретили научных работ, направленных на использование артефактов для диагностики. Безусловно, в настоящее время существуют методики, программы сканирования и обработки изображений, которые справляются с этой задачей [7, 8]. Однако для выполнения этих методик необходимо дополнительное оборудование и временные затраты, которые во время боевых действий не доступны в лечебных учреждениях, расположенных вблизи линии соприкосновения с противником.

Цель исследования.

Изучить зависимость вида отображения артефактов на КТ при ранениях сердца от величины смещения осколка при пульсации и на этой основе разработать методику анализа томограмм, позволяющую распознавать вид ранения и вероятность смещения осколков.

Материалы и методы.

Для проверки высказанной гипотезы был проведен открытый отбор историй болезни раненых в сердце, находившихся на лечении в ФГБУ «НМИЦ ВМТ им. А.А. Вишневского» Минобороны России. Критерием отбора в группу анализа служило наличие электронных записей первичного и, как минимум, одного повторного КТ-исследований грудной полости, выполненных до удаления осколка. Критерием исключения являлись размеры осколка, превышающие 4 мм. Последнее ограничение было обусловлено формированием от крупных осколков интенсивных сливных артефактов, которые не поддаются анализу. К тому же, абсолютное большинство ранений в сердце, доставляемых на этап специализированной медицинской помощи, – это ранения мелкими осколками. Такие осколки редко требуют срочной хирургической помощи и укладываются во временной период эвакуации до специализированного лечебного учреждения. По этой причине в нашу выборку вошли наблюдения ранений сердца осколками, размер которых составлял 1-5 мм, а форма приближалась к сферической. Первичная КТ грудной полости проводилась всем раненым при поступлении. Повторная КТ у раненых отобранной группы выполнялась по разным клиническим показаниям в интервалах от одних суток и более. В результате отобраны и ретроспективно изучены компьютерные томограммы 78 раненых. Изучение компьютерных томограмм проводили с соблюдением требований закрытого исследования. Особое внимание обращали на изображения артефактов от металлических осколков, а на повторных КТ – возможные перемены в их изображениях. Толщина реконструкции изображений соответствовала 1,5 мм.

Результаты и обсуждение.

На первом этапе исследования было теоретически обосновано многообразие артефактов от осколков в сердце, что позволило разделить их на отдельные виды. Большинство осколков располагалось или в листках перикарда, или в мышечном слое камер сердца, поэтому они смещались синхронно с амплитудой пульсации сердечной стенки. Несмещаемые осколки располагались в мало подвижных отделах перикарда, в его заворотах, или паракардиально, и формировали первый вид артефактов в виде расходящихся звездообразных высококонтрастных лучей, которые возникали по причине эффекта интерполяции и вращения рентгеновской трубки. В направлении к периферии лучи постепенно затухали (рис. 1).

Подвижные осколки смещались синхронно с движением сердечной стенки и формировали дополнительные искажения в артефактах, которые зависели от величины

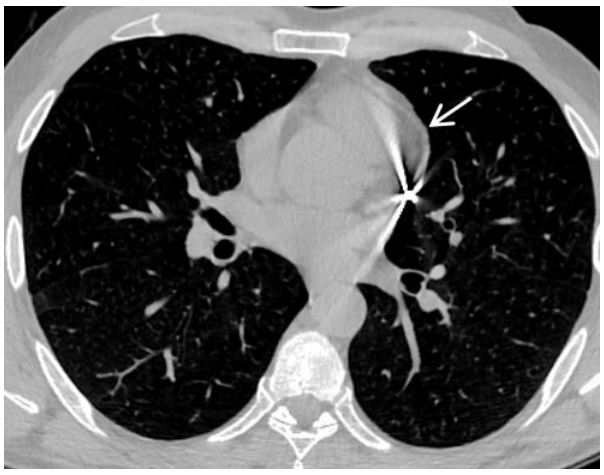

Рис. 1 а (Fig. 1 a)

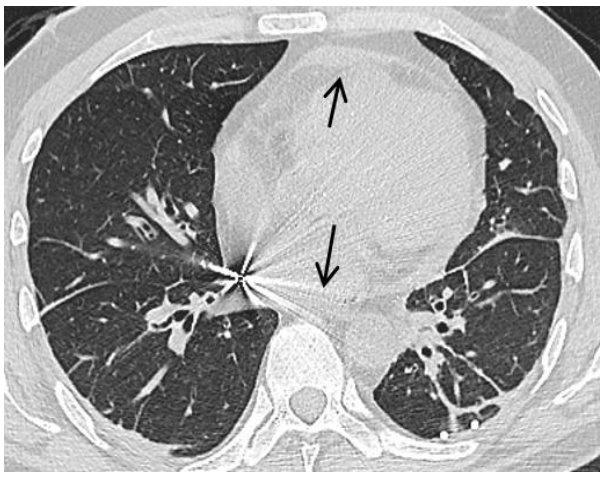

Рис. 1 б (Fig. 1 b)

Рис. 1. КТ органов грудной полости, аксиальная плоскость.

а – Ранение перикарда, ушиб перикарда. В левом медиастнальном отделе перикарда определяется фиксированный осколок, формирующий артефакты 1-го вида. Перикард уплотнен за счет отека (стрелка).

б – Ранение правого венозного заворота перикарда, ушиб перикарда. Осколок фиксирован в завороте перикарда. Гематомы в переднем и заднем отделах перикарда (стрелки).

Fig. 1. CT, chest, axial view.

a – Wound of the pericardium, pericardial contusion. In the left mediastinal part of the pericardium, a fixed fragment is determined, forming artifacts of the 1st type. The pericardium is compacted due to edema (arrow).

b – Wound of the right venous pericardial volvulus, pericardial contusion. The fragment is fixed in the pericardial volvulus. Hematomas in the anterior and posterior parts of the pericardium (arrows).

смещения осколка. Согласно данным физиологии, при пульсовых движениях смещение тканей стенки сердца совершается в трех направлениях: в глубину, к межжелудочковой перегородке, – это сжатие, и вдоль продольной оси сердца – это изгнание. В итоге выходит нечто похожее на скручивание. Амплитуда пульсовых движений в плоскости сканирования происходит в направлении векторов X и Y компьютерного томографа. Для правого предсердия она составляет 2-3 мм и 3-4 мм для левого; для стенки правого желудочка до 7 мм, левого – 7-12 мм. В направлении продольной оси Z амплитуда смещения наиболее выражена в периферических отделах средней части объема сердца, что соответствует стенке желудочков и составляет максимально 8 мм. В направлениях к основанию сердца и его верхушке продольное сокращение мышц сердца уменьшается, поэтому осколок, расположенный в верхней части предсердий или верхушке сердца, имеет меньшую амплитуду движения. На КТ изображение фиксированного в тканях сердца осколка и смещаемого под действием передаточной пульсации изменяется. Это объясняется особенностями спирального сканирования. В современных КТ-аппаратах плоскость реконструкции изображения включает информацию от несколько рядов детекторов одновременно. Это позволяет многократно регистрировать излучение, проходящее через выбранную ширину среза, что способствует получению более качественного изображения. Смещение осколка последовательно отображается новым рядом детекторов, и смещаемый осколок накладывается на новое изображение. Длина этого вытягивания находится в прямой зависимости от величины смещения осколка и протяженности фазы его пульсового движения в момент сбора данных сканирующей системой. В результате указанных факторов на КТ-изображениях сферический осколок превращается в вытянутую или, при изменении направления смещения, в углообразно искривленную структуру, протяженность которой, весьма приблизительно, определяется величиной смещения. Тем не менее, толщина этой вытянутой структуры с высоким приближением соответствует истинному диаметру осколка. Описанные особенности

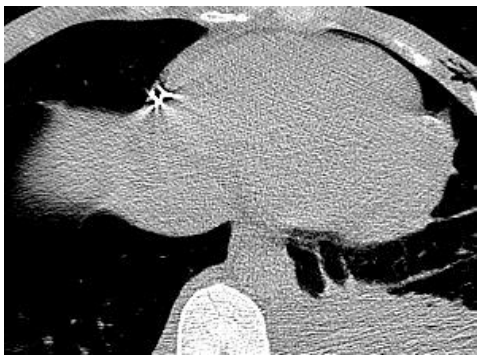

Рис. 2 а (Fig. 2 a)

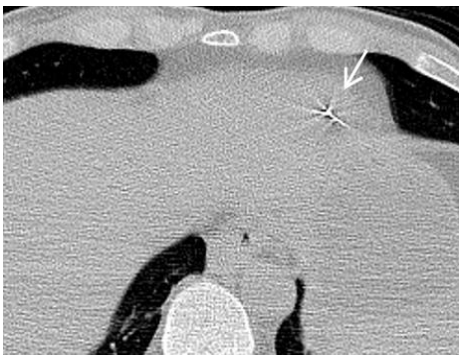

Рис. 2 б (Fig. 2 b)

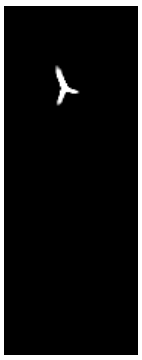

Рис. 2 в (Fig. 2 c)

Рис. 2. КТ органов грудной полости, аксиальная плоскость.

а – Фиксированный осколок в секторе перикарда, прилежащему к правому желудочку. Артефакты второго вида, смещение 4 мм. Ушиб перикарда. Осколок вытянут по длине.

б, в – Слепое ранение левого желудочка, гемоперикард (стрелка). Осколок фиксирован в задней стенке левого желудочка, формирует артефакты 2-го вида. Поскольку гемоперикард ограничивает амплитуду и увеличивает частоту пульсации, смещение осколка уменьшено до 4 мм. В окне динамического диапазона, адаптированном к металлу, показано угловое смещение осколка (в).

Fig. 2. CT, chest, axial view.

a – A fixed fragment in the pericardial sector adjacent to the right ventricle. Type II artifacts, 4 mm displacement. Pericardial contusion. The fragment is elongated.

b, c – Blind wound of the left ventricle, hemopericardium (arrow). The fragment is fixed in the posterior wall of the left ventricle, producing type II artifacts. Because hemopericardium limits the amplitude and increases the pulsation frequency, fragment displacement is reduced to 4 mm. The metal-adapted dynamic range window shows the angular displacement of the fragment (c).

отображают артефакты второго вида (рис. 2). Необходимо отметить, что для отчетливой визуализации артефактов второго вида необходимо использовать прокрутку изображений.

Артефакты третьего вида возникают при амплитуде пульсации и соответствующем смещении осколка, превышающем ширину рядов детекторов, участвующих в сборе данных, при этом наступает удвоение изображения осколка, а расстояние между удвоенными изображениями осколков не превышает амплитуду пульсации. Причина этого явления аналогична эффекту вытягивания, отличие заключается в величине смещения. При амплитуде смещения, превышающей 4-5 мм, и изменении направления вектора смещения по осям X, Y, Z, по причине спирального вращения системы сбора данных осколки попадают в новую область сканирования. В результате информация от смещенных тканей наслаивается на изображение новой области. При этом изображение тканей, не сильно отличающихся по денситометрическому показателю (ДП), усредняется, а структуры с высоким градиентом отображаются повторно. Расстояние между удвоенными изображениями связано с величиной их смещения, но напрямую не отражает истинного значения смещения осколка. Таким образом, вид артефактов от подвижных осколков зависит от величины их смещения. Осколки, фиксированные в миокарде желудочков, превышают амплитуду движения от предсердий, поэтому на КТ отображаются удвоенными структурами. Дугообразное искривление вытянутых линий осколков обусловлено спиральным вращением (рис. 3).

В отличие от фиксированных осколков, свободно располагающиеся осколки в полостях сердца, имеют возможность дополнительного перемещения. Это формирует четвертый вид артефактов. При этом расстояние между удвоенными изображениями превышает величину амплитуды пульсации и зависит от величины перемещения осколка (рис. 4).

Дополнительно необходимо отметить особенность смещения осколка при нарушениях пульсации сердца, обусловленных увеличением частоты, уменьшением амплитуды и нарушением ритма. В этих случаях на КТ формировались несколько (4 и более) дугообразных линий, пересекающихся в разных

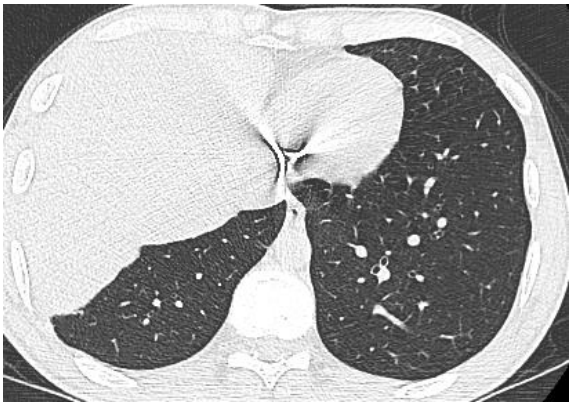

Рис. 3 (Fig. 3)

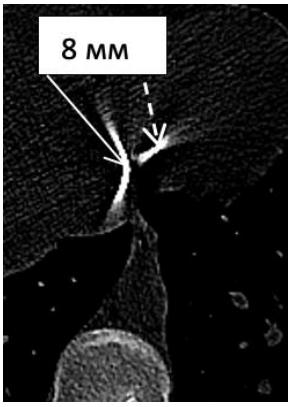

Рис. 3 б (Fig. 3 b)

Рис. 3. КТ органов грудной полости, аксиальная плоскость.

Слепое, проникающее через перикард, ранение правого желудочка. а – Осколок фиксирован в стенке желудочка и формирует артефакты 3-го вида. б – центр окна динамического диапазона смещен вправо, осколок отображается двумя дугообразными линиями. Сплошной стрелкой обозначена первая дуга артефакта, пунктирной – вторая. Расстояние между центрами дугообразных линий 8 мм.

Fig. 3. CT, chest, axial view.

Blind wound of the right ventricle penetrating through the pericardium. a – The fragment is fixed in the ventricular wall and forms artifacts of the 3rd type. b – the center of the DD window is shifted to the right, the fragment is displayed by two arcuate lines. The solid arrow indicates the first arc of the artifact, the dotted arrow indicates the second. The distance between the centers of the arcuate lines is 8 mm.

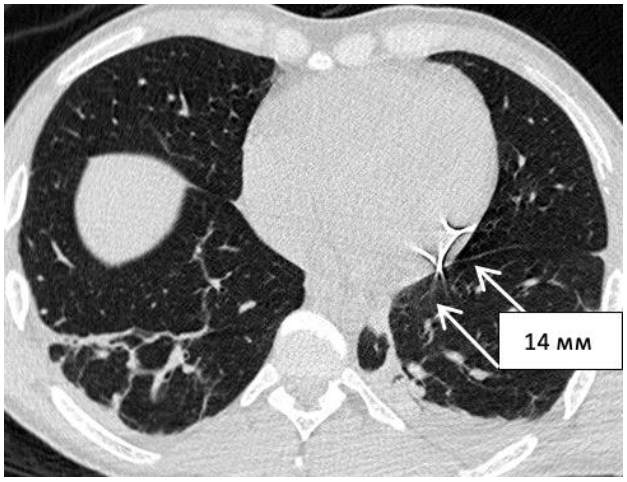

Рис. 4 (Fig. 4)

Рис. 4. КТ органов грудной полости, аксиальная плоскость.

Слепое осколочное ранение сердца. Осколок располагается в левом медиастинальном отделе перикарда и вызывает артефакты в виде трех дугообразных линий с интервалом 14 мм – четвертый вид артефактов, соответствующий подвижному осколку.

Fig. 4. CT, chest, axial view.

Blind shrapnel wound of the heart. The fragment is located in the left mediastinal part of the pericardium and causes artifacts in the form of three arcuate lines with an interval of 14 mm – the fourth type of artifacts, corresponding to a moving fragment.

Таблица №1. Распределение видов артефактов относительно расположения осколков.

Вид артефактов	Расположение осколков и их количество*				
	Паракардиальное пространство и вырезка	Завороты перикарда	Стенка предсердий и прилежащий сектор перикарда	Стенка желудочков и прилежащий сектор перикарда	МЖ перегородка
1	11 (84,6%)	4 (57,15%)	**1 (5,8%)**	0	0
2	**2 (15,4%)**	**3 (42,85%)**	10 (58,8%)	**1 (3,7 %)**	13 (92,9%)
3	0	0	**5 (29,4%)**	18 (66,7%)	**1 (7,1)**
4	0	0	**1 (5,8%)**	**8(29,6%)**	**0**
Всего	13 (100%)	7 (100%)	17	**27 (100%)**	14 (100%)

*Несоответствие между расположением осколка и видом артефакта выделено жирным шрифтом

Таблица №2. Распределение видов артефактов относительно расположения осколков по результатам контрольной КТ.

Вид артефактов	Расположение осколков*				
	Паракардиальное пространство и вырезка КА	Завороты перикарда	Стенка предсердий и прилежащие секторы перикарда	Секторы перикарда и прилежащая стенка желудочков	МЖ перегородка
1	11(84,6%)	8(88,9)	0	0	0
2	**2 (15,4%)**	**1(11,1%)**	10 (90,9%)	**4(12,9%)**	13 (92,9%)
3	0	0	**1 (9,1%)**	26 (83,9%)	**1 (7,1%)**
4	0	0	0	**1 (3.2%)**	0
Всего	13(100%)	9(100%)	11(100%)	31(100%)	14(100%)

*Несоответствие между расположением осколка и видом артефакта выделено жирным шрифтом

направлениях, что походило на упомянутый выше эффект трепетания конца сосудистого катетера.

Описанное поведение смещаемых осколков идентично хорошо знакомым артефактам от сосудистого катетера, установленного в верхней полой вене. Под действием турбулентного потока крови проксимальная часть катетера ограничена в движении, смещается минимально, поэтому отображается двумя неразделимыми дугообразными линиями. Конец катетера располагается свободно, амплитуда и вектор перемещения его движений под действием потока крови не ограничивается. В результате на томограммах формируются артефакты в виде нескольких дугообразных линий, расположенных на расстоянии, зависящем от величины смещения, что напоминает эффект трепетания.

Сопоставление локализации осколков с видами сформированных им артефактов в группе анализа показано в таблице №1. Локализацию осколков определяли по их визуализации на первичных КТ. Паракардиальным расположением считали случаи примыкания осколка к изображению сердца; осколки, наслаивающиеся на венозные коллекторы перикарда, аортальный заворот и заворот легочной артерии, расценивали как расположенные в заворотах перикарда; осколки, расположенные в секторах перикарда, прилежащих к желудочкам/предсердиям, сводили в группы ранений стенки желудочков/предсердий.

Из таблицы видно, что соответствие локализации осколков отходящим от них видам артефактов получено в 56 наблюдениях. Эти осколки были фиксированными и смещались синхронно с пульсирующей стенкой сердца. В 22 наблюдениях осколки формировали артефакты, не характерные для локализации. Следовательно, они либо располагались в камерах сердца и свободно перемещались, либо величина пульсации сердечной стенки не соответствовала физиологической норме. Для подтверждения предполагаемых причин перемещения осколков был проведен анализ повторных КТ-исследований, выполненных по различным клиническим показаниям в интервале от 1 дня до 3 недель, средний временной промежуток повторных исследований составил 5 ± 4,3 дня. Расположение осколков по результатам повторного КТ-исследования показано в таблице №2.

Анализ контрольных КТ привел к ряду количественных отличий от вида артефактов первичного исследования. Если при первичном исследовании 22 осколка формировали артефакты, характерные для свободного расположения в полости перикарда, а 56 были фиксированными, то при контрольном исследовании количество свободно расположенных осколков уменьшилось до 10, а фиксированных, соответственно, увеличилось до 68. Перемещение в основном происходило либо меду различными секторами перикарда, либо между секторами перикарда и заворотами венозных коллекторов:

- 4 осколка секторов перикарда переместились в область вырезки борозды правой коронарной артерии;
- 3 осколка сместились в иные секторы перикарда;
- 2 осколка из заворотов перикарда переместились в различные секторы перикарда;
- 1 осколок переместился внутри полости желудочка.

Таким образом, 10 осколков изменили свое расположение, что составило 12,8%. На рисунке 5 показан пример перемещения свободно расположенного осколка в полости перикарда.

Изменение вида артефактов от осколков без перемещения зафиксировано в 12 наблюдениях. Причиной служила состоявшаяся фиксация осколка (4 наблюдения) или

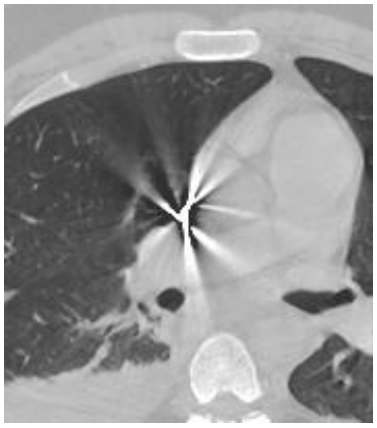

Рис. 5 а (Fig. 5 a)

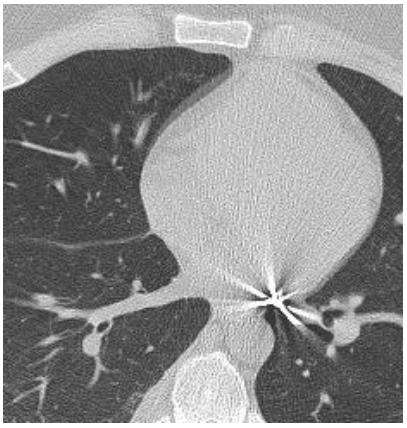

Рис. 5 б (Fig. 5 b)

Рис. 5 в (Fig. 5 c)

Рис. 5. КТ органов грудной полости, аксиальная плоскость.

а – Первичное исследование; осколок раполагается в полости перикарда на уровне правой сердечной вырезки и формирует третий вид артефакта, характерный для не фиксированного состояния.

б – Исследование через 13 дней. Осколок сместился в сектор перикарда, соответствующий левому предсердию и формирует артефакты второго вида с эффектом трепетания. в – Исследование через 30 дней. Осколок сместился в сектор перикарда, прилежащий к левому желудочку и формирует артефакты третьего вида с эффектом трепетания.

Fig. 5. CT, chest, axial view.

a – Initial examination, the fragment is located in the pericardial cavity at the level of the right cardiac notch and forms the third type of artifact, characteristic of a non-fixed state. b – After 13 days. The fragment has shifted to the pericardial sector corresponding to the left atrium and forms artifacts of the second type with a flutter effect. c – After 30 days. The fragment has shifted to the pericardial sector adjacent to the left ventricle and forms artifacts of the third type with a flutter effect.

восстановление амплитуды пульсации сердца, нарушенной вследствие ранения, до физиологической нормы (8 наблюдений).

Для определения диагностической эффективности КТ в выявлени фиксированных и свободно расположенных осколков в полости перикада была проведена проверка сопряженности результатов первичного КТ-исследования с операционными находками. Результаты показаны в таблице №3.

В таблице обращает внимание высокая специфичность метода, что указывает на большую вероятность смещения осколка при наличии положительного значения признака подвижности и большую вероятность стабильного состояния осколка при отсутствии такового. В целом диагностическая эффективность метода составила 92,3%. Прогностическая ценность – 76,6%, это подтверждает высокую вероятность смещения осколка при положительном значении КТ-признака.

Все представленные в таблицах случаи перемещения касались осколков, локализованных в перикарде. При этом поведение осколков при проникающих ранениях оставалось неясным, поскольку КТ, выполненная без контрастного усиления (КУ), не позволяла выделить факт проникновения осколков через эндокард. Как известно из анатомии, эндокард представляет оболочку, состоящую из эндотелиальных клеток и соединительнотканной основы, которая выстилает камеры сердца изнутри, покрывая мясистые трабекулы, сосочковые мышцы, хорды, клапаны. На КТ эти анатомические элементы визуализируется только при контрастном усилении, когда промежутки между гребнями трабекул, хорд и других элементов, выступающих в полости камер сердца, заполняются контрастным препаратом. Слой мясистых трабекул не накапливает контрастный препарат, поэтому на изображениях с КУ по краю болюса контрастированной крови, заполняющей камеры сердца, мясистые трабекулы отображаются бахромчатой канвой, которая и определяет топографию эндокарда (рис. 8). В итоге наличие ранящего осколка в этом слое, а также в желудочках и хордах должно соответствовать проникающему ранению сердца.

Для проверки поведения осколков при

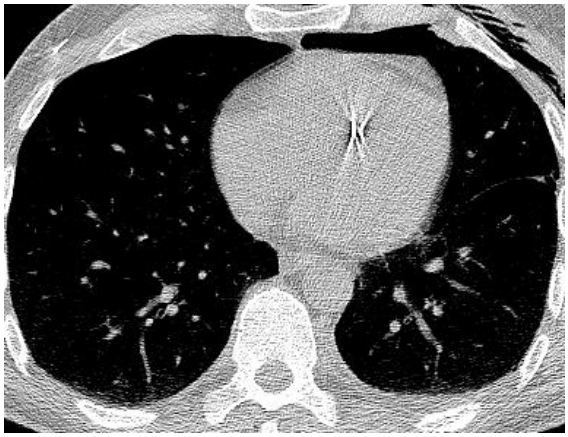

Рис. 6 а (Fig. 6 a)

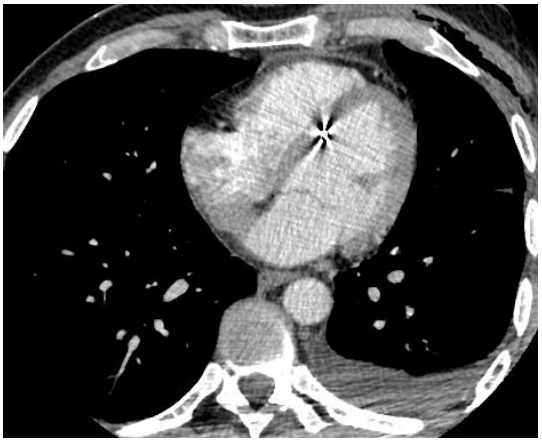

Рис. 6 б (Fig. 6 b)

Рис. 6. КТ органов грудной полости, аксиальная плоскость.

Осколочное ранение сердца. а – Нативное исследование. В межжелудочковой перегородке определяется металлический осколок, диаметр 1-2 мм, смещение 4 мм, артефакты 2-го вида. б – Исследование с контрастным усилением подтверждает локализацию осколка.

Fig. 6. CT, chest, axial view.

Shrapnel wound of the heart. CT. a – Native examination. A metal fragment is detected in the interventricular septum, diameter 1-2 mm, displacement 4 mm, artifacts of the 2nd type. b – CT examination confirms the localization of the fragment.

Таблица №3. Результаты сопряженности первичного КТ-исследования грудной полости с «золотым стандартом».

Результат операции	Наличие признака смещения		Оценка метода				
	Есть	Нет	Ч	С	Р	ДЭ	ПЦ
Смещение есть (N=17)	ИП = 16	ЛО = 1	94,1%	91,8%	21,8%	92,3%	76,6%
Смещения нет (N=61)	ЛП = 5	ИО = 56					

Таблица №4. Распределение видов артефактов относительно глубины расположения осколков.

Локализация осколков	Количество наблюдений	Вид артефактов	Количество по виду
Миокард желудочков	16	3	15 (93,7%)
		4	1 (6,3%)
Стенка предсердий	4	2	4 (100%)
Мясистые трабекулы	10	3	3 (30%)
		Трепетание	7 (70%)
Сосочковые мышцы	4	2	1 (25,0%)
		Трепетание	3 (75,0%)
Межжелудочковая перегородка	13	2	12 (92,3%)
		3	1 (7,7%)
Всего осколков	47	-	47 (100%)
Перемещенные осколки	1	-	1 (2,1%)
Фиксированные осколки	46	-	46 (97,9%)

Рис. 7 а (Fig. 7 a)

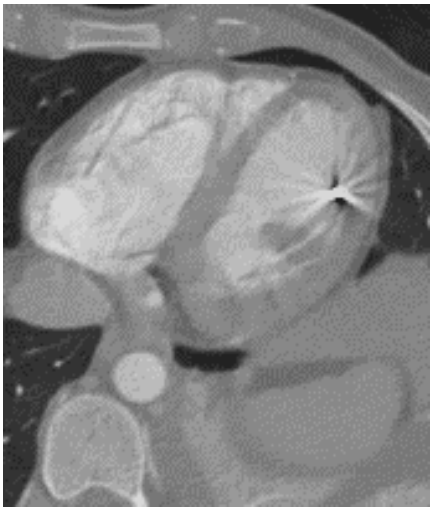

Рис. 7 б (Fig. 7 b)

Рис. 7. КТ органов грудной полости, аксиальная плоскость.

Проникающее ранение левого желудочка. а – Первичное исследование. Осколок 2-3 мм, смещение 9 мм, 3-й вид артефактов. б – КТ с контрастным усилением и ЭКГ-синхронизацией, в этот же день. Осколок фиксирован в слое мясистых трабекул эндокарда левого желудочка.

Fig. 7. CT, chest, axial view.

Penetrating wound of the left ventricle. a – Primary examination. Fragment 2-3 mm, displacement 9 mm, 3rd type of artifacts. b – CT, with contrast enhancement, ECG gated, on the same day. The fragment is fixed in the layer of fleshy trabeculae of the endocardium of the left ventricle.

проникающих ранениях сердца был проведен дополнительный анализ подборки электронных записей КТ с КУ раненых с фиксированными в стенках камер сердца осколками. Эту группу подборки составили наблюдения, в которых по результатам первичного КТ-исследования разделить ранения на проникающие и непроникающие не представлялось возможным. Цель анализа заключалась в попытке определения зависимости вида артефактов от глубины внедрения осколков в слои стенок камер сердца. Виды артефактов определяли по первичному нативному КТ- исследованию. Глубину внедрения осколков в стенку камер сердца уточняли по результатам КТ с синхронизацией с ЭКГ или КТ с КУ. Эти исследования выполнялись по различным клиническим показаниям. В результате была отобрана группа анализа из 47 наблюдений. Результаты показаны в таблице №4.

По результатам анализа таблицы видно, что 15 осколков располагались в миокарде желудочков и формировали 3-й вид артефактов, соответствующий их расположению, т.е. были фиксированными, а ранения не проникающими. В 4 наблюдениях ранений предсердий, по причине малой толщины стенки этих камер, эндокард отчетливо не определялся, но все осколки формировали артефакты 2-го вида, что дало основание также считать и эти ранения непроникающими. Оставшиеся 28 наблюдений оказались проникающими ранениями. Из них наиболее стабильную картину положения осколков и вида артефактов показывали осколки, локализованные в межжелудочковой перегородке (13). В абсолютном большинстве эти ранения проявлялись артефактами 2-го вида, все они отображались фиксированными осколками и по определению являлись проникающими, поскольку осколки в абсолютном большинстве проходили через камеры сердца (рис. 6).

Часть осколков, локализованных в мясистых трабекулах и сосочковых мышцах, формировали артефакты 3 вида, что характерно для их фиксированного состояния (рис. 7). Вместе с тем, 70% из осколков, расположенных в слое мясистых трабекул, и 75%, расположенных в сосочковых мышцах, формировали артефакты, отличающиеся от 3-го вида. Отличие заключалось в появлении большего числа дугообразных линий артефактов – четырех и более. Эти линии распо-

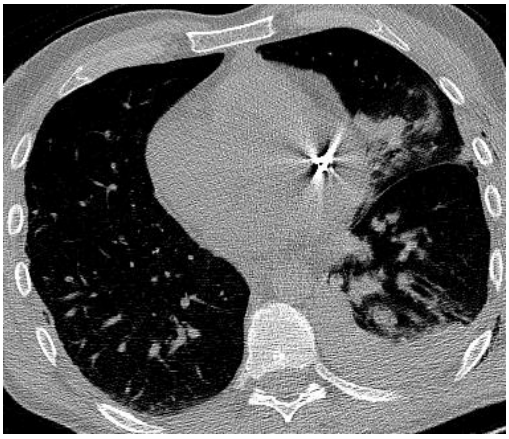

Рис. 8 а (Fig. 8 a)

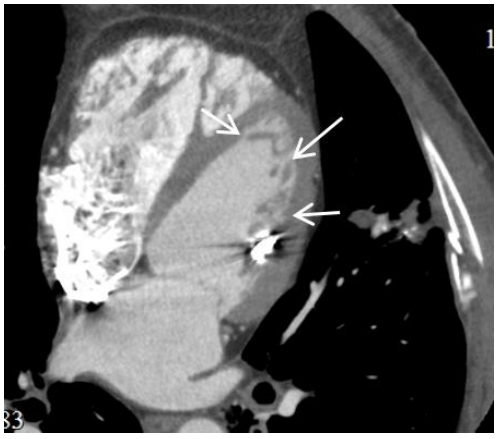

Рис. 8 б (Fig. 8 b)

Рис. 8. а – КТ органов грудной полости, аксиальная плоскость. б – КТ с контрастным усилением и ЭКГ-синхронизацией, исследование через 2 недели.

а – первичное исследование, вторые сутки после ранения правого желудочка сердца. Осколок 2 мм, смещение 5-6 мм, 3-й вид артефактов с элементами трепетания.

б – исследование через 2 недели. Осколок располагается в основании переднелатеральной сосочковой мышцы – проникающее ранение сердца. Слой мясистых трабекул обозначен стрелками.

Fig. 8. CT, chest, axial view. a – Primary CT, b – CT, with contrast enhancement.

a – second day after injury to the right ventricle of the heart. A 2 mm fragment, 5-6 mm displacement, type 3 artifacts with elements of flutter.

b – ECG gated, examination in 2 weeks. The fragment is located at the base of the anterolateral papillary muscle – penetrating wound of the heart. The layer of fleshy trabeculae is indicated by arrows.

лагались на кротком расстоянии относительно друг друга. Все это указывало на хаотичное движение осколка и походило на эффект трепетания, который, вероятно, вызывался повреждениями, нанесенными осколком (рис. 8).

Аналогичное ограничение движения осколков наблюдалось при повреждении сосочковых мышц (рис. 9). Представленный пример иллюстрирует наблюдение проникающего ранения заднемедиальной сосочковой мышцы левого желудочка. В этом наблюдении первичное и последующее КТ-исследования были выполнены на второй день после ранения, на КТ хорошо виден отек зоны повреждения.

Вопреки ожиданиям, из 28 наблюдений проникающих ранений только в одном случае произошло совершенно очевидное перемещение осколка в полости правого желудочка с фиксацией его в новом месте расположения (рис. 10).

Это наблюдение подтверждает возможность перемещения осколка, вместе с тем, удивляет малая частота подобных наблюдений (3,5% от всех проникающих ранений). Трудно представить, что все проникающие осколки задерживаются в трабекулярном слое миокарда и не попадают в полость сердечных камер. Представленные наблюдения позволяют утверждать, что при проникающих ранениях осколки проходят в камеры сердца гораздо чаще, чем мы фиксируем этот факт при обследовании. Попадая в камеры сердца, осколок в течение короткого времени фиксируется в слое мясистых трабекул желудочков. Об этом же свидетельствует факт отсутствия в анализируемой группе проникающих ранений сердца случаев миграции осколка в круги кровообращения, хотя такие наблюдения описаны. Мы располагаем только одним наблюдением, которое по критериям отбора не вошло в анализируемую группу. Это было минно-взрывное проникающее ранение правого легкого и правого желудочка сердца крупным осколком (13 х 6 х 3 мм). При первичном КТ-исследовании осколок ориентировочно определялся в медиастинальной стенке правого желудочка. Исходящие от него артефакты формировали яркий массив, не поддающийся какому-либо анализу. На КТ с контрастным усилением локализация осколка в стенке правого желудочка была под

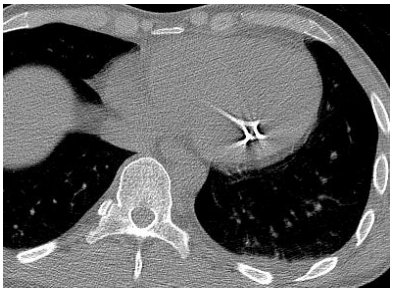

Рис. 9 а (Fig. 9 a)

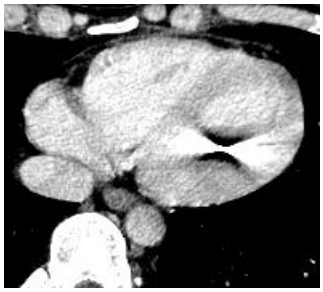

Рис. 9 б (Fig. 9 b)

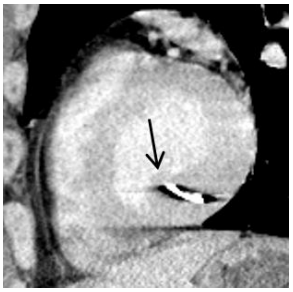

Рис. 9 в (Fig. 9 c)

Рис. 9. а – КТ органов грудной полости, аксиальная плоскость. б, в – КТ с контрастным усилением.

а – первичное исследование, вторые сутки после ранения левого желудочка. Осколок 1-2 мм. Смещение 7-8 мм, 3-й вид артефактов с эффектом трепетания. б, в – контрольное исследование в тот же день, реконструкции в аксиальной и сагиттальной плоскости. Осколок располагается в нижней части заднемедиальной сосочковой мышцы, смещение осколка 7 мм, 3-й вид артефактов. Объем мышцы увеличен за счет отека. Отек распространяется на прилежащий слой эндокарда (обозначен стрелками).

Fig. 9. CT, chest, axial view. a – Primary CT examination. b, c – Control CT, with contrast enhancement.

The second day after the left ventricular injury. A- the fragment is 1-2 mm. Displacement is 7-8 mm, type 3 artifacts with the flutter effect. b, c – on the same day, axial and sagittal reconstruction. The fragment is located in the lower part of the posteromedial papillary muscle, the fragment displacement is 7 mm, type 3 artifacts. The muscle volume is increased due to edema. The edema extends to the adjacent endocardial layer (indicated by arrows).

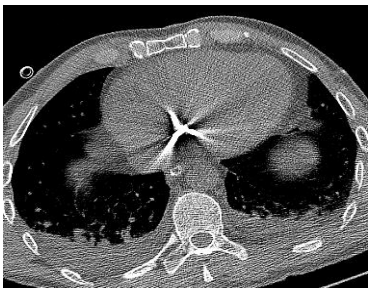

Рис. 10 а (Fig. 10 a)

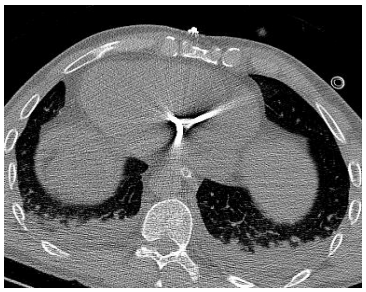

Рис. 10 б (Fig. 10 b)

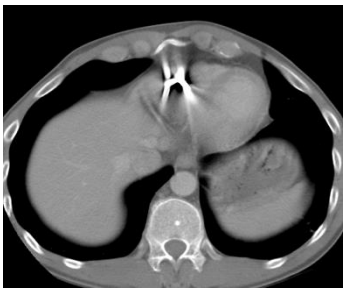

Рис. 10 в (Fig. 10 c)

Рис. 10. КТ органов грудной полости, аксиальная плоскость. а, б – первичное исследование. в – КТ с контрастным усилением.

а, б – Минно-взрывное осколочное сквозное ранение правого легкого, проникающее ранение сердца. В правом желудочке определяется осколок, размером 3-4 мм, артефакты от осколка 4-го вида, смещение удвоенной тени осколка до 17 мм преимущественно в направлении оси Z. в – контрольное исследование через 5 дней (выполнено в отсроченную фазу). Обнаруженный ранее осколок переместился к передней стенке нижней части полости желудочка. Ориентировочная длина траектории перемещения 56 мм.

Fig. 10. CT, chest, axial view. a, b – Primary CT, c – Control CT, with contrast enhancement.

a, b – mine-blast shrapnel penetrating wound of the right lung, penetrating wound of the heart. A fragment is detected in the right ventricle, size 3-4 mm, artifacts from a fragment of the 4th type, displacement of the doubled shadow of the fragment up to 17 mm mainly in the direction of the Z axis. c – after 5 days (performed in the delayed phase of CE). The previously detected fragment moved to the anterior wall of the lower part of the ventricular cavity. The approximate length of the trajectory of movement is 56 mm.

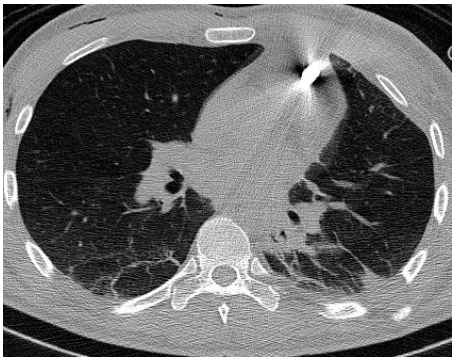

Рис. 11 а (Fig. 11 a)

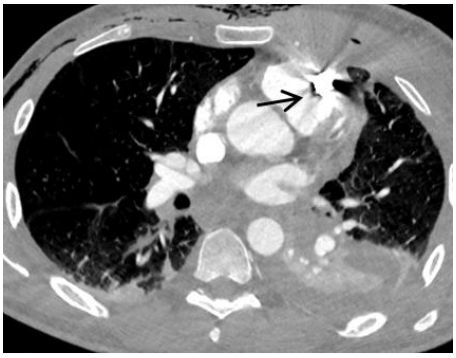

Рис. 11 б (Fig. 11 b)

Рис. 11 в (Fig. 11 c)

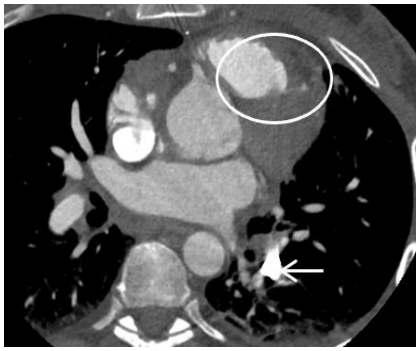

Рис. 11 г (Fig. 11 d)

Рис. 11 д (Fig. 11 e)

Рис. 11. а – КТ органов грудной полости, аксиальная плоскость, первичное исследование; б – КТ с контрастным усилением, аксиальная плоскость в, г – КТ с контрастным усилением с ЭКГ-синхронизацией, аксиальная плоскость. д – корональная плоскость;

а – слепое проникающее через перикард ранение левого желудочка сердца. В передней стенке правого желудочка определяется металлический осколок, размер 13 х 6 х 3 мм. Осколок вызывает массив артефактов второго вида.

б – осколок частично выпячивается в полость правого желудочка (стрелка).

в, г –исследование через 6 дней. Диагностирована миграция осколка в нижнюю левую легочную артерию (стрелка). Овалом обозначено место прежней локализации осколка.

Fig. 11. a – CT, chest, axial view, primary examination. b – CT, with contrast enhancement, axial view; c, d – CT, with contrast enhancement, ECG gated, axial view, e – coronal view.

a – blind wound of the left ventricle of the heart penetrating through the pericardium. A metal fragment measuring 13 x 6 x 3 mm is detected in the anterior wall of the right ventricle. The fragment causes an array of artifacts of the second type. b – the fragment partially protrudes into the cavity of the right ventricle (arrow).

c, d, e – examination after 6 days. Migration of the fragment into the lower left pulmonary artery is diagnosed (arrow). The oval indicates the previous location of the fragment.

тверждена (рис. 11). Через 6 дней установлено, что осколок мигрировал в левую нижнюю легочную артерию и вызвал тромбоэмболию.

Представленное наблюдение миграции осколка и проведенный анализ проникающих ранений нашей выборки склоняют к выводу, что мелкие осколки (1-5 мм), с которыми на этап специализированной медицинской помощи поступает абсолютное большинство раненых с проникающими ранениями сердца, в короткий временной промежуток фиксируются в слое мясистых трабекул, поэтому не перемещаются и не мигрируют. Раненые в сердце крупными осколками крайне редко доставляются на этап специализированной медицинской помощи. По нашим наблюдениям крупные осколки локализовались только в паракардиальном пространстве среднего отдела средостения и заднем средостении. Эти осколки имели не-

правильную форму, а их наибольший размер доходил до 10 мм и более. При таких ранениях воздействие на сердце ограничивалось только ушибом перикарда. Представленное наблюдение является необычным: крупный осколок вызвал большое повреждение стенки правого желудочка, большая масса осколка способствовала проникновению в камеру желудочка, а размеры осколка, существенно превышающие объем трабекул, совершенно не способствовали его фиксации. Все перечисленное явилось причиной миграции в малый круг кровообращения.

Выводы.

1. Не проникающие ранения сердца можно распознавать при первичном КТ-исследовании по артефактам, формирущихся от осколков. Мелкие осколки (1-5 мм), расположенные в сердечной стенке, являясь фиксированными, совершают колебательные движения синхронно с пульсовыми движениями предсердий или желудочков, формируя в зависимости от локализации артефакты 1-го, 2-го или 3 видов.

2.Смещаемые осколки располагаются в полости перикарда и подвержены дополнительным движениям, которые на КТ проявляется артефактами 4-го вида.

3. Осколки, располагающиеся в заворотах перикарда, формируют артеваkты 1-2 вида, но являются потенциально смещаемыми.

4. При решении удаления смещаемых и потенциально смещаемых осколков необходимо проводить контрольную КТ перед операцией.

5. Проникающие ранения сердца распознаются на КТ с КУ. Мелкие осколки при проникающих ранениях фиксируются в слое мясистых трабекул эндокарда, вероятность их миграции мала: из 28 наблюдений проникающих ранений сердца, прослеженных во времени, не было ни одного случая миграции.

Заключение.

Подводя итог исследованию о возможностях КТ в диагностике ранений сердца, необходимо еще раз подчеркнуть, что рассматриваемые виды артефактов и соответствующее им поведение осколков характерны для мелких (1-4 мм по диаметру) осколков. В настоящее время КТ проводится всем без исключения раненым в грудную полость в первые часы пребывания в специализированном стационаре, поэтому анализ вида артефакта от осколка в сердце позволяет получить информацию без каких-то дополнительных исследований. Операции по удалению осколков очень редко проводятся в первый или на второй дни поступления. Как правило, современные огнестрельные ранения полиорганные, поэтому всегда существует необходимость в соответствующей подготовке к таким операциям. В этот временной промежуток, как правило, выполняются контрольные КТ-исследования грудной полости, основная цель которых заключается отнюдь не в оценке расположения осколка, а в определении динамики раневого процесса. Поэтому анализ КТ, в том числе, должен включать и оценку состояния осколка, что позволит по виду артефактов с большой уверенностью выделять несмещаемые осколки. КТ грудной полости, проведенная в обычном режиме, без применения контрастного усиления, уже при первичном исследовании, по виду формируемых осколками артефактов, позволяет диагностировать ранения сердца, разграничивая их по глубине проникновения осколков. При поверхностных ранениях осколок локализуется в листках перикарда с возможным распространением на прилежащий слой миокарда. При глубоких ранениях осколок проникает в миокард или глубже, через слой мясистых трабекул, повреждая эндокард, в полость камер сердца. Поверхностные ранения легко узнаются на КТ по расположению осколка по краю изображения сердца и виду артефактов, при этом артефакты 4-го вида будут указывать на свободное расположение осколка в полости перикарда и вероятное перемещение. Среди глубоких ранений убедительно распознаются осколки, локализованные в межжелудочковой перегородке (по артефактам 2-го вида и, нередко, помогает очевидная визуализация перегородки на нативном КТ-исследовании). Расположение осколков в миокарде осуществляется по артефактам 3-го вида, но выделение проникающих ранений не так очевидно. Существенную помощь оказывает обнаружение на артефактах эффекта трепетания, но, как показали наши исследования, этот признак, имея высокое прогностическое значение, не всегда встречается. Поэтому локализацию осколков при глубоких ранениях необходимо уточнять, применяя КТ с контрастным усилением.

Источник финансирования и конфликт интересов.

Авторы данной статьи подтвердили отсутствие финансовой поддержки исследования и конфликта интересов, о которых необходимо сообщить.

Список литературы:

1. Barrett J.F., Keat N. Artifacts in CT: recognition and avoidance. Radiographics. 2004; 24 (6): 1679-91. doi: 10.1148/rg.246045065. PMID: 15537976.

2. Li Y., Chen Y., Luo L., Zhang P., Zhang Q.J. Fast CT metal artefacts correction based on derivative and region-based filling. Med Imaging Radiat Oncol. 2011; 55 (6): 535-41. doi: 10.1111/j.1754-9485.2011.02312.x.PMID: 22141599.

3. Lichtenberger J.P., Kim A.M., Fisher D. et al. Imaging of combat-related thoracic trauma – review of penetrating trauma. Mil Med. 2018; 183: 81-88.

4.Hsieh J. Computed Tomography: Principles, Design, Artifacts, and Recent Advances. Engineering, Medicine, 2003. 633 c.

5. Khoroshun E., Makarov V., Nehoduiko V.V., Nechuiviter O.P., Pershina Y.I., Veryovkin I.I. Mathematical modeling to predict the migration of foreign bodies of gunshot origin. Mathematics, Medicine. Emergency medicine. 2024; 20 (5): 363-375 DOI:10.22141/2224-0586.20.5.2024.1736.

6. Колесников Н.П., Стукалова О.В., Хачатрян Н.Т., Устюжанин Д.В., Терновой С.К. МРТ последствий ножевого ранения сердца 30-летней давности. REJR. 2024; 14 (2): 129-135. DOI: 10.21569/2222-7415-2024-14-2-129-135.

7. Hsich J. Image artifacts: appearances, causes and corrections. In: Computed tomography: principles, design, artifacts and recent advances. Bellingham, Wash, SPIE Press, 2003; 167-240.

8. Гафси Б.Э., Веселова Т.Н., Терновой С.К., Ширкин А.В. Компьютерная томография в оценке состояния корня аорты у пациентов с критическим аортальным стенозом. REJR. 2023; 13(4):101-109. DOI: 10.21569/2222-7415-2023-13-4-101-109.

References:

1. Barrett J.F., Keat N. Artifacts in CT: recognition and avoidance. Radiographics. 2004; 24 (6): 1679-91. doi: 10.1148/rg.246045065. PMID: 15537976.

2. Li Y., Chen Y., Luo L., Zhang P., Zhang Q.J. Fast CT metal artefacts correction based on derivative and region-based filling. Med Imaging Radiat Oncol. 2011; 55 (6): 535-41. doi: 10.1111/j.1754-9485.2011.02312.x.PMID: 22141599.

3. Lichtenberger J.P., Kim A.M., Fisher D. et al. Imaging of combat-related thoracic trauma – review of penetrating trauma. Mil Med. 2018; 183: 81-88.

4. Hsieh J. Computed Tomography: Principles, Design, Artifacts, and Recent Advances. Engineering, Medicine, 2003. 633 c.

5. Khoroshun E., Makarov V., Nehoduiko V.V., Nechuiviter O.P., Pershina Y.I., Veryovkin I.I. Mathematical modeling to predict the migration of foreign bodies of gunshot origin. Mathematics, Medicine. Emergency medicine. 2024; 20 (5): 363-375 DOI:10.22141/2224-0586.20.5.2024.1736.

6. Kolesnikov N.P., Stukalova O.V., Khachatryan N.T., Ustyuzhanin D.V., Ternovoy S.K. MRI of the consequences of a 30-year-old stab wound to the heart. REJR 2024; 14(2):129-135. DOI: 10.21569/2222-7415-2024-14-2-129-135 (in Russian).

7.Hsich J. Image artifacts: appearances, causes and corrections. In: Computed tomography: principles, design, artifacts and recent advances. Bellingham, Wash, SPIE Press, 2003; 167-240.

8. Gafsi B.E., Veselova T.N., Ternovoy S.K., Shirkin A.V. Computed tomography in the evaluation of the aortic root in patients with critical aortic stenosis. REJR. 2023; 13(4):101-109. DOI:10.21569/2222-7415-2023-13-4-101-109 (in Russian).

.