



КТ-диагностика и особенности развития тромбоэмболии легочной артерии при минно-взрывных ранениях грудной полости

Ахиев М.И.^{1,2}, Китаев В.М.^{1,3}, Комогорова А.А.¹

¹ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр высоких медицинских технологий им. А.А. Вишневецкого» Минобороны России,

пос. Новый, тер. 3 ЦВКГ им. А.А. Вишневецкого, 1, Московская обл., Красногорск, 143420, Российская Федерация

² Филиал ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» Минобороны России в г. Москве, ул. Малая Черкизовская, 7, Москва, 107392, Российская Федерация

³ ФГБУ ДПО «Центральная государственная медицинская академия» Управления делами президента Российской Федерации, ул. Маршала Тимошенко, 19, стр. 1А, Москва, 121359, Российская Федерация

Ахиев Магомед Исамудинович, к. м. н., начальник центра (лучевой диагностики с архивом) ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр высоких медицинских технологий им. А.А. Вишневецкого» Минобороны России, преподаватель кафедры хирургии неотложных состояний филиала ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» Минобороны России в г. Москве;

<https://orcid.org/0009-0005-6853-162X>

Китаев Вячеслав Михайлович, д. м. н., профессор, консультант центра (лучевой диагностики с архивом) ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр высоких медицинских технологий им. А.А. Вишневецкого» Минобороны России, ФГБУ ДПО «Центральная государственная медицинская академия» Управления делами президента Российской Федерации;

<https://orcid.org/0009-0009-5153-9405>

Комогорова Алёна Александровна, заведующая отделением ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр высоких медицинских технологий им. А.А. Вишневецкого» Минобороны России;

<https://orcid.org/0009-0001-2787-3106>

Резюме

Цель: изучение влияния поражающих факторов ранений на процесс тромбообразования в легочных артериях и оценка компьютерной томографической (КТ) симптоматики тромбообразования при минно-взрывных (МВ) ранениях грудной полости.

Материал и методы. Проведено нерандомизированное рентгенологическое обследование 202 пациентов с осколочными МВ ранениями грудной полости. МВ ранениями считали многофакторные воздействия от ранящих снарядов и ударной волны от взрыва боеприпаса. Всем пациентам первое КТ-исследование выполняли в день поступления, повторное – по клиническим показаниям. Контрастное усиление осуществляли посредством болюсного введения неионного контрастного препарата в расчете 1 мл на 1 кг массы тела пациента. Сканирование проводили в нативную, артериальную и венозную фазы. На КТ изучали уровень локализации тромбов в просветах легочной артерии и зону ушиба легкого при контрастном усилении.

Результаты. Показано, что наряду с общепризнанным заносом тромбов из венозной системы при тяжелых ранениях легкого существует потенциал первичного тромбообразования в легочных артериях. Это увеличивает частоту развития тромбоза легочных артерий до 32,7%. Предрасполагающим фактором тромбообразования в мелких ветвях легочной артерии является повреждение эндотелия сосудов легкого.

Заключение. Исследование подтверждает многообразный механизм формирования тромбов в легочной артерии при тяжелых МВ ранениях легкого.

Ключевые слова: ранение легкого; тромбоэмболия легочной артерии; компьютерная томография; тромбоз легочных артерий; контрастное усиление.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Ахиев М.И., Китаев В.М., Комогорова А.А. КТ-диагностика и особенности развития тромбоэмболии легочной артерии при минно-взрывных ранениях грудной полости. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2026; 107(2): 98–107. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2026-107-2-98-107>

Для корреспонденции: Ахиев Магомед Исамудинович, e-mail: akhiev@yandex.ru

Статья поступила 26.01.2026

После доработки 01.03.2026

Принята к печати 01.06.2026

CT Diagnostics and Features of Pulmonary Embolism Development in Chest Mine-Blast Wounds

Magomed I. Akhiev^{1,2}, Vyacheslav M. Kitaev^{1,3}, Alena A. Komogorova¹

¹ Vishnevsky National Medical Research Center of High Medical Technologies, pos. Novyy, ter. 3 TsVKG imeni Vishnevskogo, 1, Moskovskaya obl., Krasnogorsk, 143420, Russian Federation

² Moscow Branch of Kirov Military Medical Academy, ul. Malaya Cherkizovskaya, 7, Moscow, 107392, Russian Federation

³ Central State Medical Academy, ul. Marshala Timoshenko, 19, str. 1A, Moscow, 121359, Russian Federation

Magomed I. Akhiev, Cand. Med. Sc., Head of Center of Radiation Diagnostics with Archive, Vishnevsky National Medical Research Center of High Medical Technologies; Lecturer, Chair of Emergency Surgery, Moscow Branch of Kirov Military Medical Academy; <https://orcid.org/0009-0005-6853-162X>

Vyacheslav M. Kitaev, Dr. Med. Sc., Professor, Consultant, Center of Radiation Diagnostics with Archive, Vishnevsky National Medical Research Center of High Medical Technologies; Central State Medical Academy; <https://orcid.org/0009-0009-5153-9405>

Alena A. Komogorova, Head of Department, Vishnevsky National Medical Research Center of High Medical Technologies; <https://orcid.org/0009-0001-2787-3106>

Abstract

Objective: To study the impact of wound damaging factors on the process of thrombus formation in the pulmonary arteries and to evaluate computed tomographic (CT) symptoms of thrombus formation in chest mine-blast (MB) wounds.

Material and methods. A non-randomized radiographic examination of 202 patients with chest MB wounds was conducted. MB wounds were defined as multifactorial impacts from projectiles and the blast wave from the munition's explosion. All patients underwent an initial CT on the day of admission, with a repeat scan as clinically indicated. Contrast enhancement was achieved by administering a bolus of non-ionic contrast agent at a dose of 1 ml per 1 kg of patient body weight. Scanning was performed in the native, arterial, and venous phases. CT scans were used to assess the location of thrombi within the pulmonary artery and the area of pulmonary contusion using contrast enhancement.

Results. It was shown that in addition to the generally recognized introduction of thrombi from the venous system, there is a potential for primary thrombus formation in the pulmonary arteries in severe lung injuries. This increases the incidence of pulmonary artery thrombosis to 32.7%. Damage to the pulmonary vascular endothelium is a predisposing factor for thrombus formation in small branches of the pulmonary artery.

Conclusion. The study confirmed the multifaceted mechanisms of thrombus formation in the pulmonary artery in severe MB lung injuries.

Keywords: lung injury; pulmonary embolism; computed tomography; pulmonary artery thrombosis; contrast enhancement.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

For citation: Akhiev MI, Kitaev VM, Komogorova AA. CT diagnostics and features of pulmonary embolism development in chest mine-blast wounds. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2026; 107(2): 98–107 (in Russian). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2026-107-2-98-107>

For corresponding: Magomed I. Akhiev, e-mail: akhiev@yandex.ru

Received January 26, 2026

Revised March 1, 2026

Accepted June 1, 2026

Введение / Introduction

Давно установлено, что при затяжном течении заболеваний, вызванных травматическими, токсико-воспалительными и другими патологическими процессами, развивается системный воспалительный ответ, одной из составляющих которого является запуск каскада реакций свертывания крови и формирования тромбов [1–3]. Попадая в малый круг кровообращения, тромбы перекрывают просвет легочных артерий, что ведет к сни-

жению перфузии в альвеолах, нарушению газообмена. Дыхательная недостаточность нередко приводит к критическому состоянию. Традиционно считается, что тромбы не возникают в легочных сосудах, а заносятся из венозного русла большого круга кровообращения [4, 5].

В последнее десятилетие наблюдения за течением тяжелых заболеваний и травм показали увеличение частоты развития тромбозмболии легочной артерии (ТЭЛА) без подтвержденного на-

личия венозного тромбоза [6]. В этой связи ряд авторов предполагают, что тромботические массы, заброшенные из венозного русла, не являются единственным источником тромбоза легочных артерий [6–8]. На это же указывает частота развития ТЭЛА при ранениях [2, 9, 10]. При поражении пулями, осколками от снарядов и мин в биологических тканях возникает боковой удар, представляющий фронт колебательных движений, вызванных чередованием высокого давления и разряжения. Эти повторяющиеся циклы колебательных движений образуют в ткани временно пульсирующую полость, которая не только усиливает повреждающее действие снаряда в направлении траектории движения, но и распространяется вокруг [11], вызывая разрушения в тканях.

В еще большей степени вызывают разрушения минно-взрывные (МВ) ранения, при которых на повреждения от ранящих снарядов накладывается действие ударной волной от взрыва боеприпаса. Под влиянием всех перечисленных факторов в биологических тканях происходят спазм, разрыв капилляров и артерий. Это ведет к снижению скорости кровотока, заполнению сосудов кровью, создаются все условия для формирования внутрисосудистых тромбов. Поэтому существует необходимость дальнейшего изучения вопросов патогенеза и диагностики тромбообразования, особенно при ранениях легкого. В этой связи возможность выявления первичного тромбоза в легочных артериях на начальном этапе формирования и диагностики тромбообразования методом компьютерной томографии (КТ) представляют научный и практический интерес.

Цель – изучение влияния поражающих факторов ранений на процесс тромбообразования в легочных артериях и оценка КТ-симптоматики тромбообразования при МВ ранениях грудной полости.

Материал и методы / Material and methods

Проведено нерандомизированное рентгенологическое обследование 202 пациентов с осколочными МВ ранениями грудной полости, находившихся на лечении в ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр высоких медицинских технологий им. А.А. Вишневецкого» Минобороны России. Критерием включения в группу анализа служило выявление при первичном КТ-исследовании ранения (повреждения легких), проявляющегося ушибом от минимального (37 раненых) до обширного, занимающего несколько сегментов (165 раненых).

Отбор проводили в течение конкретного временного промежутка. Средний возраст обследуемых составил 29 ± 5 лет. По основному поражающему фактору 22% пациентов имели осколочные ранения и 55% – МВ ранения. Остальные 23% по-

лучили повреждения легких только от ударной волны. МВ ранениями считали многофакторные воздействия от ранящих снарядов и ударной волны от взрыва боеприпаса. У раненых с ударно-волновыми травмами легких (20,3%), как правило, имелись тяжелые МВ ранения других органов, которые нередко являлись ведущими, определяющими тяжесть состояния. Таким образом, при всех перечисленных видах ранений имелся ушиб легких, который представлял собой зону первичного разрушения и/или пропитанный кровью ударно-волновой ателектаз.

Всем пациентам первое КТ-исследование проводили в день поступления (2–3-и сутки после ранения, в редких случаях – от 4 сут до 2 нед), повторное – по клиническим показаниям. Контрастное усиление выполняли посредством болюсного введения неионного контрастного препарата в расчете 1 мл на 1 кг массы тела пациента. Сканирование осуществляли в нативную, артериальную и венозную фазы. На КТ изучали уровень локализации тромбов в просветах легочной артерии и зону ушиба легкого при контрастном усилении.

Результаты / Results

Ушибы легких на КТ проявлялись консолидацией ткани легкого. Денситометрический показатель (ДП) зоны ушиба увеличивался от 25 до 40 НУ, что объяснялось геморрагическим пропитыванием и коллабированием альвеол. Ателектазы при МВ травме образовывались в результате действия ударной волны, формирующей эффект имплозии.

Упрощенно можно сказать, что имплозия – это процесс, при котором объекты разрушаются, сжимая самих себя. Применительно к легочной ткани это воздействие можно представить следующим образом. При взрыве происходит резкое увеличение объема образовавшегося газа. Быстро расширяющиеся взрывные газы вытесняют окружающий воздух в стороны и, сжимая его, образуют чередующиеся волны газообразных продуктов с высоким и низким давлением, которые движутся со сверхзвуковой скоростью. Проходя через биологический объект (в нашем случае легкое), волна высокого давления порождает образование микроскопических газовых пузырьков в окружающей альвеолы интерстициальной ткани, т.е. наступает эффект кавитации. Сменяющая ее волна низкого давления обеспечивает рост этих пузырьков. Очередная зона высокого давления сжимает пузырьки, вызывая их схлопывание. Взрыв крошечных воздушных пузырьков формирует вокруг альвеол сходящиеся ударные волны, суммарный вектор которых направлен в центр альвеол. В результате наступает коллапс.

Таким образом, коллапс как следствие ударно-волнового воздействия происходит непосредственно в момент травмы. В зависимости от

энергии ранящего снаряда и/или ударной волны в нашем исследовании ушиб занимал долю легкого, сегмент, захватывал только плащевой отдел паренхимы и часто формировался в обоих легких. На КТ коллабированную паренхиму легкого распознавали по уменьшению объема и визуализации сближенных артерий воздушных просветов сегментарных бронхов. При отсутствии обширных разрушений, развития тромбоза или присоединения инфекции восстановление ателектазов, возникающих в результате ударно-волнового воздействия, происходило через 7–10 дней после ранения.

При введении контрастного препарата подвигнутая ушибу паренхима легкого накапливала введенный препарат (окрашивалась). В венозную и отсроченную фазы контрастного усиления наблюдалось постепенное вымывание препарата. По визуальному восприятию вида накопления контрастного вещества в области ушиба мы выделили пять вариантов изображений – от минимального накопления (0-й вид) до массивного (3-й и 4-й виды). Вид накопления коррелировал с тяжестью ушиба легкого. В случаях минимального ушиба на КТ наблюдали лишь узкую полосу субплевральной консолидации плащевой отдела паренхимы легкого, к которой чаще примыкало небольшое скопление плевральной жидкости. Прозрачность всей остальной ткани легкого не менялась. При контрастном усилении узкая полоса паренхимы препарат не накапливала.

На рисунке 1 показан пример развития ТЭЛА с обширными огнестрельными переломами и осколочными ранениями таза, при этом повреждения

легких взрывной волной были минимальными. Пациент поступил на 3-и сутки после ранения. На КТ грудной полости определялись умеренный двусторонний гидроторакс и полоса консолидации плащевой отдела ткани легкого. Через 3 нед по результатам лабораторных исследований и ультразвукового исследования диагностирован тромбоз вен таза. При КТ-ангиографии диагностирована ТЭЛА. Представленный пример подтверждает возникновение тромбов у раненых посредством заноса в малый круг кровообращения из венозной системы.

Ушибы легкого 1–4-го видов являлись следствием возрастающего энергетического воздействия. При 1-м виде (рис. 2) зона ушиба легочной паренхимы проявлялась консолидацией, морфологической основой которой являлась коллабированная и пропитанная кровью паренхима. Вводимый контрастный препарат распространялся по всему объему ушиба равномерно, ДП увеличивается до 130–170 HU. Тромбы в легочных артериях не определялись.

При 2-м виде тромбы в главных, долевыми, сегментарных артериях также не обнаруживали, но в зоне ушиба они выборочно заполняли субсегментарные артерии с минимальным распространением на сегментарные. Накопление контрастного вещества происходило неравномерно, наряду с окрашенными зонами наблюдались участки, куда контрастированная кровь не поступала. В венозную фазу усиления градиент ДП между окрашенными и менее окрашенными участками снижался по причине вымывания контрастного препарата. На рисунке 3 представлено исследование, выполненное на 3-й день после МВ ранения. У это-

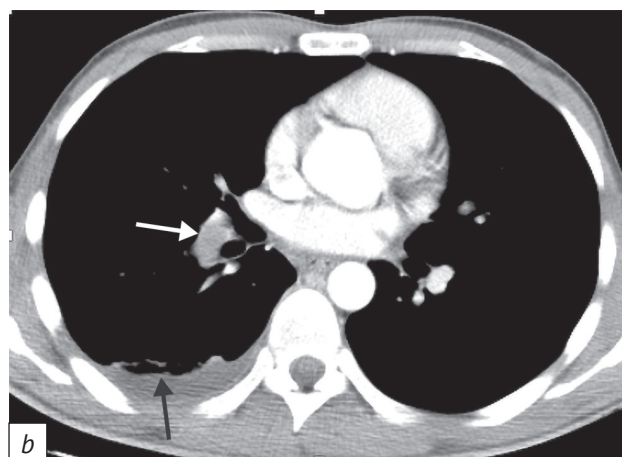


Рис. 1. Минно-взрывное ранение таза (не показано), минимальный ушиб легких. Тромбоэмболия правой легочной артерии:

a – первичное исследование, ушиб плащевого слоя легких (звездочки); *b* – исследование через 3 нед, тромб в правой легочной артерии (белая стрелка), скопление выпота (черная стрелка)

Fig. 1. Mine-blast pelvic injury (not shown), minimal lung injury. Thromboembolism of the right pulmonary artery:

a – the initial study, contusion of the mantle layer of the lungs (asterisks); *b* – the study after 3 weeks, thrombus in the right pulmonary artery (white arrow), accumulation of effusion (black arrow)

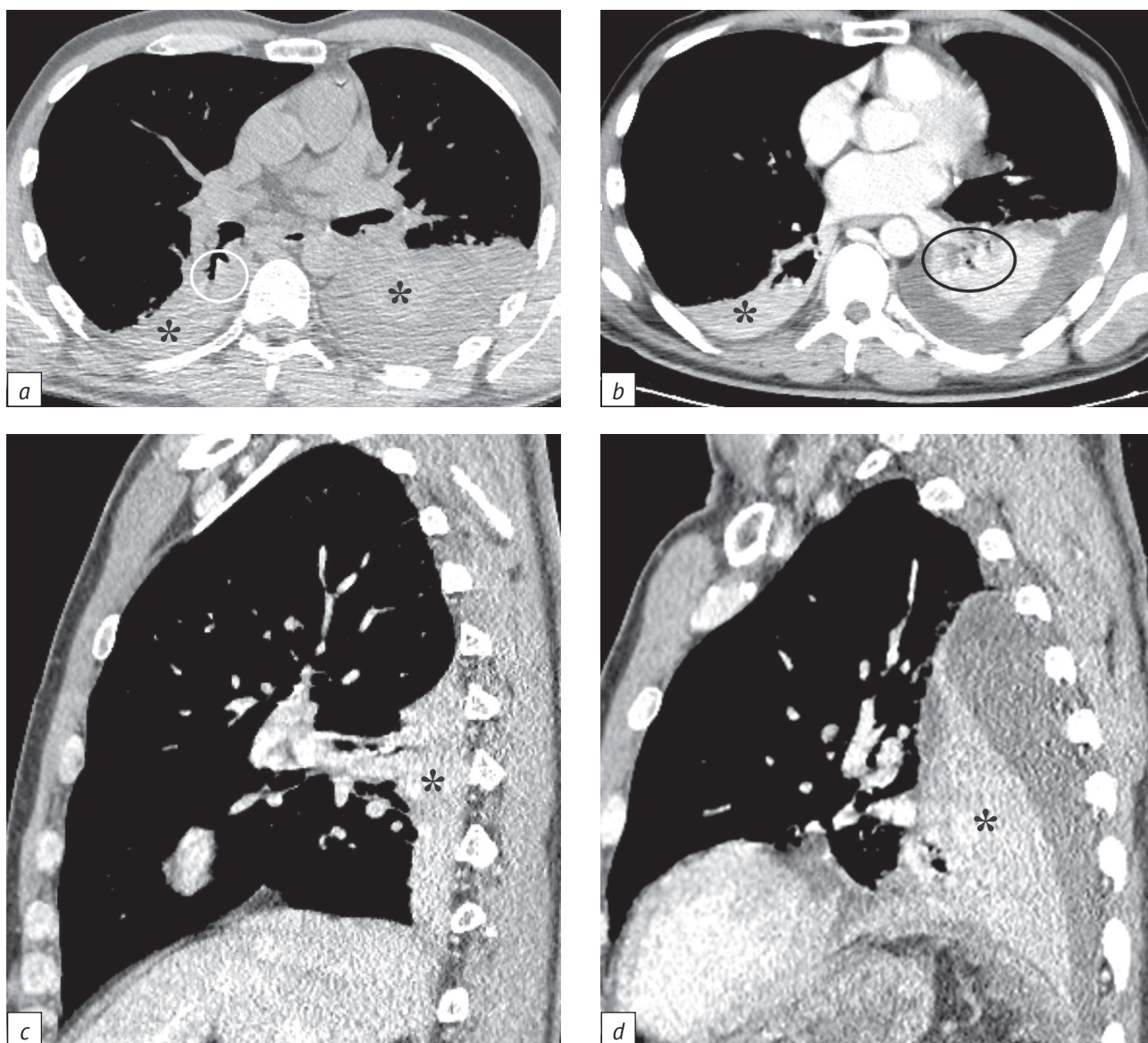


Рис. 2. Минно-взрывное повреждение грудной полости. Ушиб нижней доли левого и S9, S10 сегментов правого легкого. Двусторонний гемоторакс, уменьшение объема нижних долей. Равномерное распределение контрастного вещества в поврежденных сегментах легких (денситометрический показатель 150 HU). Ателектаз нижних долей обозначен звездочками, сближенные сосуды и бронхи обведены кругами:

a – нативное исследование; *b* – артериальная фаза контрастного усиления; *c* – сагиттальная реконструкция с контрастным усилением правой доли; *d* – сагиттальная реконструкция с контрастным усилением левой доли

Fig. 2. Mine-blast chest damage. Contusion of the lower lobe of the left lung and S9, S10 of the right lung. Bilateral hemothorax, decreased volume of the lower lobes. Even distribution of contrast agent in the damaged segments of the lungs (densitometric indicator 150 HU). Atelectasis of the lower lobes is indicated by asterisks, adjacent vessels and bronchi are circled:

a – native examination; *b* – arterial phase of contrast enhancement; *c* – sagittal reconstruction with contrast enhancement of the right lobe; *d* – sagittal reconstruction with contrast enhancement of the left lobe

го пациента пристеночный тромб определялся в просвете сегментарной артерии S9 и распространялся вглубь сегмента. В зонах ушиба S9 и S10 наблюдалось неравномерное накопление контрастного препарата.

При 3-м виде зона ушиба и располагающиеся в ней сосуды не заполнялись контрастированной кровью по всему объему. Этот вид также отличался отсутствием визуализации тромбов в главных

и долевых артериях, а сегментарные артерии заполнялись контрастным препаратом фрагментарно или вовсе не визуализировались. В зоне ушиба определялись множественные воздушные полости – пневматоцеле (рис. 4).

Наконец, 4-й вид (рис. 5) сочетал в себе изменения 0-го вида с остальными. При этом тромбы обнаруживались в главных, долевых, сегментарных и субсегментарных легочных артериях. В зоне

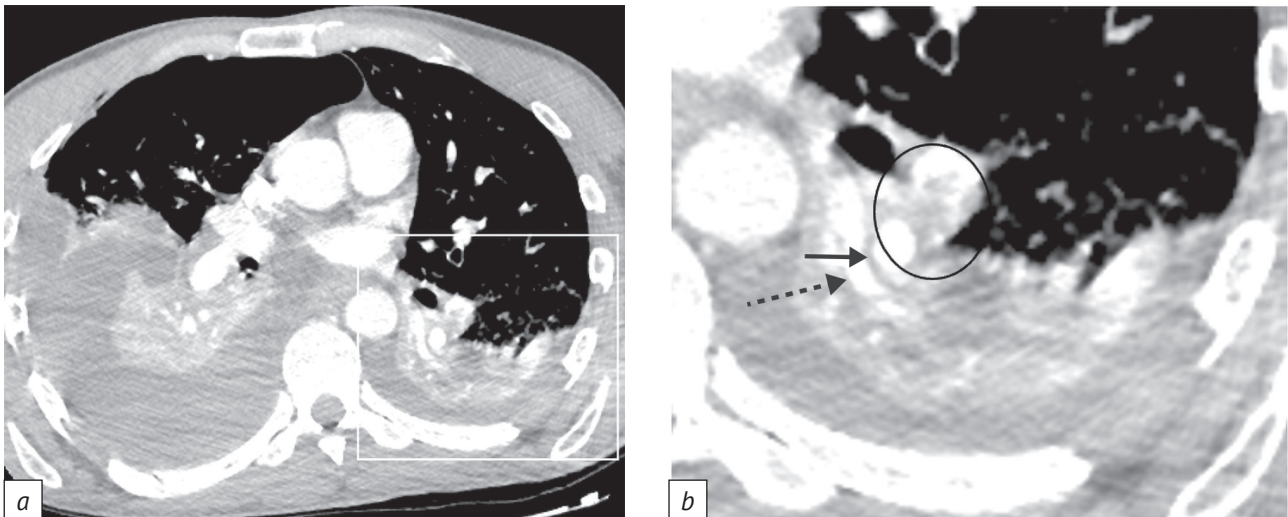


Рис. 3. Исследование выполнено на 3-и сутки после минно-взрывного ранения (а, б). Ушиб задних отделов легких. Неравномерное накопление контрастного вещества в зоне ушиба левого легкого. Расширенная артерия (сплошная стрелка) и вена (пунктирная стрелка). Пристеночные тромбы в артерии S9 обведены овалом

Fig. 3. The study was performed on the third day after mine-blast injury. Contusion of the posterior parts of the lungs. Uneven accumulation of contrast agent in the area of injury of the left lung. Dilated artery (solid arrow) and vein (dashed arrow). Parietal thrombi in artery S9 are circled

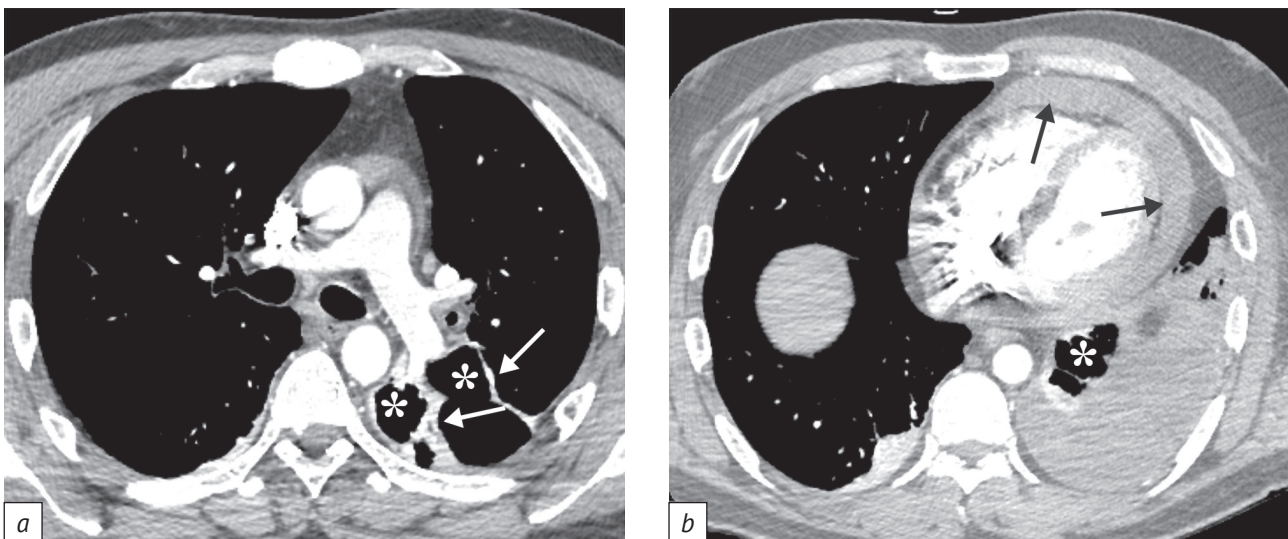


Рис. 4. Минно-взрывное ранение. КТ-ангиография, артериальная фаза, краниальный (а) и каудальный (б) уровни. В разрушенной паренхиме базального отдела нижней доли наблюдается отсутствие накопления контрастного препарата и воздушные полости (звездочки). Застойные изменения в венозной сети вокруг вторичных долек (белые стрелки), гемоперикард (черные стрелки)

Fig. 4. Mine-blast wound. CT angiography, arterial phase, cranial (a) and caudal (b) levels. In the destroyed parenchyma of the basal part of the lower lobe, there is a lack of contrast agent accumulation and air cavities (asterisks). Stagnant changes in the venous network around the secondary lobules (white arrows), hemopericardium (black arrows)

ушиба происходило неравномерное снижение контраста, а его интенсивность зависела от степени перекрытия просветов легочных артерий тромбами в мелких артериях. Общее снижение накопления контрастного вещества было обусловлено неравномерным притоком крови по частично тромбированным сосудам.

Частота развития ТЭЛА и тромбоза легочной артерии в зависимости от характера ранений и вида ушиба представлена в таблице 1.

Обсуждение / Discussion

Отсутствие в нашем исследовании пациентов с пулевыми ранениями объясняется их низ-

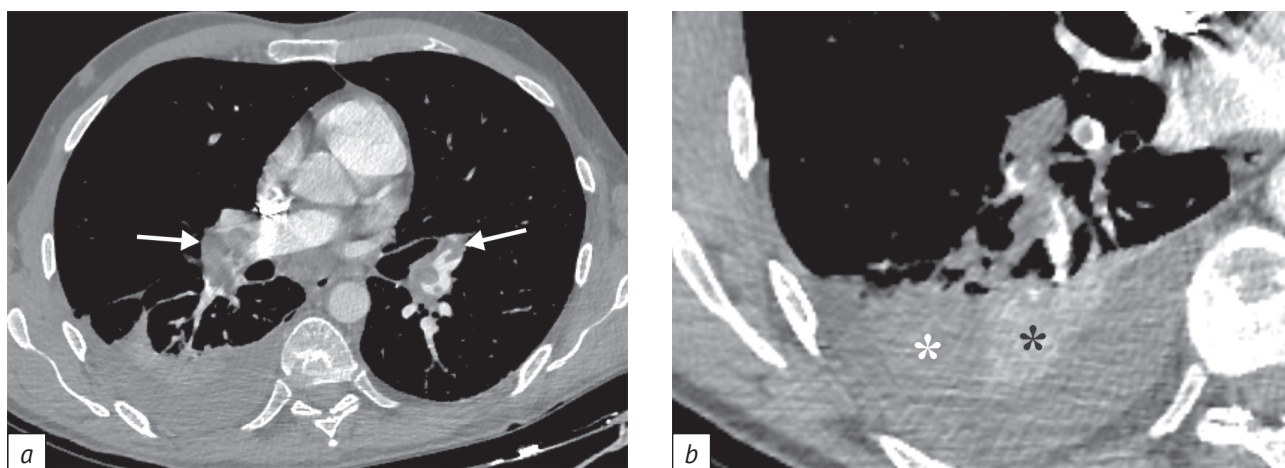


Рис. 5. Исследование на 5-й день после ранения. Ушиб нижней доли правого легкого. В просвете главных, долевых и сегментарных артерий определяются тромботические массы (стрелки). На томограмме (а) и увеличенном изображении (b) обращает на себя внимание отличие в окрашивании паренхимы легкого, обусловленное отсутствием кровотока в S9 (белая звездочка) и частично сохраненным кровотоком в S10 (черная звездочка). Частично сохраненный кровоток в паренхиме S10 характеризовался умеренным накоплением контрастного вещества, ее денситометрический показатель увеличился до 110 НУ, а денситометрический показатель паренхимы S9 не изменился. Диагностирована массивная тромбоэмболия легочной артерии с вовлечением больших, средних и малых артерий нижней доли

Fig. 5. Examination on the fifth day after injury. Contusion of the lower lobe of the right lung. Thrombotic masses are determined in the lumen of the main, lobar and segmental arteries (arrows). On the tomogram (a) and the enlarged image (b), attention is drawn to the difference in the staining of the lung parenchyma due to the lack of blood flow in S9 (white asterisk) and partially preserved blood flow in S10 (black asterisk). Partially preserved blood flow in parenchyma S10 was characterized by a moderate accumulation of contrast agent, its densitometric indicator increased to 110 HU, and densitometric indicator of parenchyma S9 did not change. Massive pulmonary embolism was diagnosed with involvement of large, medium and small arteries of the lower lobe

Таблица 1

Частота развития тромбоэмболии и тромбоза легочной артерии в зависимости от характера ранений и вида ушиба, n (%)

Table 1

Development rate of thromboembolism and pulmonary artery thrombosis depending on the nature of injuries and type of contusion, n (%)

Вид ушиба легкого и характеристика КУ / Type of pulmonary contusion and CE characteristics	Характер ранений (n=202) / Nature of injuries (n=202)				Частота развития ТЭЛА / Incidence of PE	Частота развития тромбоза / Incidence of thrombosis
	Осколочные / Shrapnel	МВ (осколок + взрывная волна) / MB (shrapnel + blast wave)	МВ (взрывная волна) / MB (blast wave)	Всего / Total		
0-й вид, минимальный ушиб / Type 0, minimal injury	20 (9,9)	9 (4,6)	8 (3,9)	37 (18,3)	20	0
1-й вид, равномерное КУ / Type 1, even CE	7 (3,5)	30 (14,9)	38 (18,8)	75 (37,1)		
2-й вид, неравномерное КУ / Type 2, uneven CE	7 (3,5)	43 (21,3)	4 (2,0)	54 (26,7)	0	54
3-й вид, отсутствие КУ паренхимы и сосудов / Type 3, absence of parenchyma and vessels CE	11 (5,4)	19 (9,4)	0 (0,0)	30 (14,9)	0	30
4-й вид (3-й вид + пневматоцеле) / Type 4 (type 3 + pneumatocele)	1 (0,5)	4 (2,0)	1 (0,5)	6 (3,0)	0	6
Всего / Total	46 (22)	105 (52,0)	51 (25,2)	202 (100,0)	34	84

Примечание. КУ – контрастное усиление; МВ – минно-взрывное; ТЭЛА – тромбоэмболия легочной артерии.

Note. CE – contrast enhancement; MB – mine blast; PE – pulmonary embolism.

кой частотой при современных боевых действиях. Минимальный ушиб (0-й вид) наблюдался у 37 (18%) раненых. В этой группе ведущее повреждение локализовалось вне грудной полости, а легкое поражалось под действием взрывной ударной волны, энергия которой не вызывала существенных деструктивных изменений паренхимы легкого. Контрастный препарат не проникал в интерстициальное пространство легочной паренхимы, и окрашивания не наблюдалось.

Ушибы 1-го вида отмечены у 75 раненых. Они так же, как 0-й вид, проявлялись при изолированном действии на легкое ударной волны, при этом другие анатомические области подвергались тяжелому ранению. При ушибах 1-го вида действующая на легкое взрывная волна обладала большей энергией, поэтому оказывала повреждающее действие на гематокапиллярный барьер легочных сосудов и, как правило, обоих легких. Подверженная ударному воздействию легочная паренхима равномерно окрашивалась, что исключало наличие тромбоза. При ушибах 0-го и 1-го видов ТЭЛА развивалась в процессе лечения раненых по классическому варианту вследствие заноса эмболов из большого круга кровообращения. На некотором протяжении тромбы соприкасались с какой-либо стороной стенки сосуда, а затем занимали центральное положение, часто распространяясь до уровня сегментарных артерий включительно. Контрастированная кровь обтекала расположенные в артериях тромботические массы.

Наибольшее количество ушибов вызывали МВ ранения 2-го и 3-го видов. Такие ушибы возникали при сочетанных ранениях грудной полости ранящим снарядом и ударной волной. При многофакторных ранениях на поражение осколками наслаивалось действие взрывной ударной волны, которая не только усиливала и увеличивала зону ушиба от осколка, но и изменяла его топографию. В результате ушиб формировался в условиях наибольшего энергетического воздействия на легкое, которое проявлялось повреждением эндотелиальной выстилки сосудов, приводящим к нарушению гематоэндотелиального барьера.

Из теории кинетики водорастворимого контрастного препарата известно, что молекулы неионного контрастного вещества при растворении увеличиваются в объеме. При неповрежденном гематоэндотелиальном барьере увеличенные в объеме молекулы препарата не проникают через стенку капилляров и он свободно протекает по капиллярной сети в венозную. Поэтому сосуды хорошо окрашиваются, а в паренхиме легкого никакого накопления препарата не происходит. Аналогичная рентгенологическая картина хорошо известна и наблюдается при КТ-ангиографии, ча-

сто выполняемой с целью визуализации сосудистой сети.

Равномерное окрашивание зоны ушиба (1-й вид – 36%) отображало повреждение капилляров и мелких сосудов и являлось следствием нарушения гематоэндотелиального барьера. При таких условиях молекулы контрастного препарата свободно проникали через стенку капилляров в интерстициальное пространство легкого. На КТ это отображалось равномерным окрашиванием по всему интерстициальному пространству, но в большей степени вокруг сосудов, поскольку их сопровождает наибольшее скопление соединительной ткани. Этим же объясняется некоторое «расширение» окрашенных сосудов. Яркому контрастированию также способствовало спадание альвеол, которое увеличивало присутствие соединительной ткани (а следовательно, и контрастного препарата) в единице объема. Примечательно, что ушибы 1-го вида восстанавливались за короткий промежуток времени (в среднем за 1 нед) без каких-либо изменений паренхимы.

Ушиб 3-го вида формировался преимущественно в результате разрушающего действия вторичных осколков, которое образовывало обширную зону первичного разрушения паренхимы. В конечном итоге у всех раненых с ушибами 2-го и 3-го видов в мелких ветвях легочной артерии образовывались тромбы, препятствующие накоплению контрастного вещества, что наглядно отображалось на КТ-ангиографии.

В целом 2-й и 3-й виды свидетельствовали о более глубоких нарушениях кровообращения, которое имело или локальное проявление, или тотальное – по всему сегменту или по всей доле. При данных видах повреждался капиллярный барьер, но травматические изменения этим не ограничивались – они были более глубокими, с нарушением эндотелия. Обнаженная субэндотелиальная зона запускала каскад реакций системы свертывания крови по цепочке патогенетического механизма. Поврежденный эндотелий терял свои регуляторные и модулирующие свойства. В этих условиях сосуды суживались вплоть до выраженного спазма, и одновременно в них запускался механизм образования тромбов, что на КТ проявлялось участками паренхимы, лишенными контрастного вещества. Разрывы на КТ проявляются образованием в зоне ушиба мелких пневматоцеле, поэтому они легко узнаваемы. Неслучайно 3-й вид ушиба формировался преимущественно при МВ ранениях, когда к поражающему действию ранящего снаряда присоединялось действие вторичных осколков, которые значительно увеличивали площадь разрыва легочной паренхимы.

На рисунке 6 показано повреждение легкого осколком и ударной волной. В правом легком

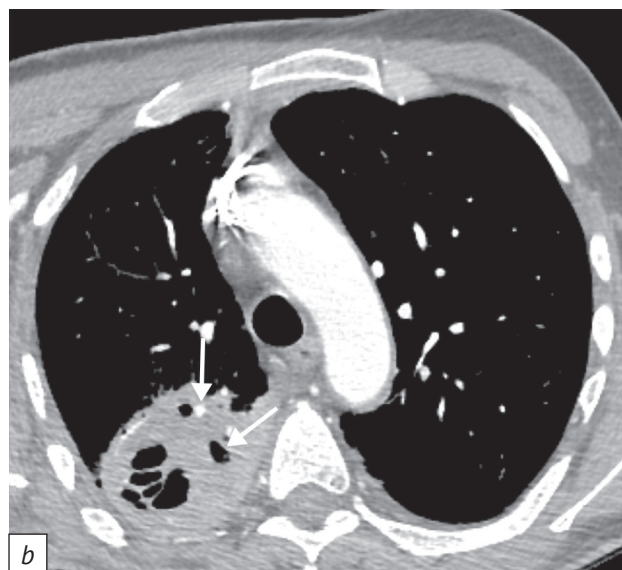
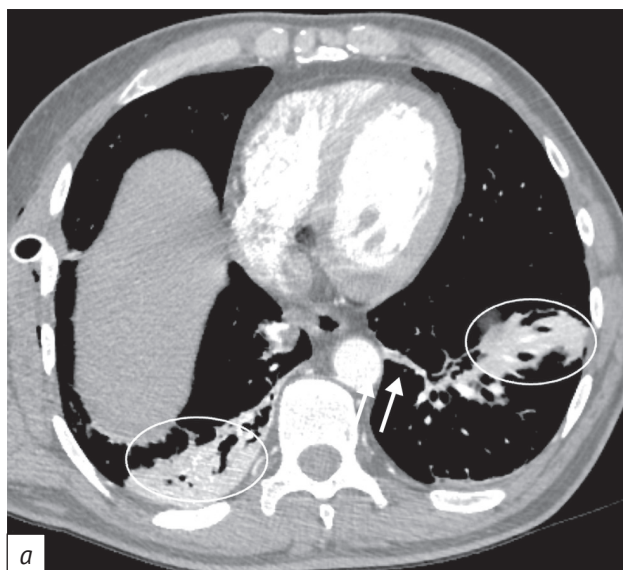


Рис. 6. Минно-взрывное ранение. КТ-ангиография выполнена в день поступления:

a – контрастное изображение субсегментарных артерий нижних долей (обведены овалами); *b* – контрастный препарат в сегментарных артериях S1, S2 (стрелки)

Fig. 6. Mine-blast wound. CT angiography was conducted on the day of admission:

a – contrast image of the subsegmental arteries of the lower lobes (circled); *b* – contrast agent in segmental arteries S1, S2 (arrows)

определяются две зоны ушиба – S9, S10 и S1, S2. В левом легком повреждение локализуется в S8. Ранение осколком в S1, S2 проявляется множественными разрывами (пневматоцеле). На КТ-ангиографии интерстициальная ткань зон ушибов нижних долей равномерно и достаточно интенсивно накапливает контрастный препарат, ДП увеличивается с 35 HU до 174 HU. Также хорошо видно контрастное изображение сегментарной и субсегментарных артерий. Это исключает тромбообразование в зонах ушиба нижних долей и свидетельствует в пользу поражения от ударной волны. И наоборот, в интерстициальное пространство S1, S2 справа контрастный препарат не поступает (3-й вид). Слабо контрастируется просвет сегментарной артерии S1, несколько лучше заполняется артерия S2. Субсегментарные ветви контрастным веществом совсем не заполняются (ДП 43 HU), что указывает на тромбирование сосудов S2 справа.

Морфологические изменения при 4-м виде ушиба также ограничивались повреждением гематозендотелиального барьера, но здесь очевидное присутствие тромбов в крупных и средних артериях нарушало приток крови в зону поражения, что проявлялось различиями в контрастировании паренхимы. Этот вид ушиба сочетал в себе занос эмболов из большого круга кровообращения с тромбозом мелких артерий в зоне ушиба.

Таким образом, наше исследование подтверждает многообразный механизм формиро-

вания тромбов в легочной артерии. При тяжелых ранениях легкого наряду с общепризнанным заносом тромбов из венозной системы существует возможность первичного тромбообразования в легочных артериях, что увеличивает вероятность тромбоза.

Заключение / Conclusion

При тяжелых МВ ранениях и повреждениях легких с первых минут создаются условия для формирования тромбов в сосудах зоны ушиба легкого. Обязательным провоцирующим фактором тромбообразования является повреждение эндотелия. Формирование тромбов в зоне ушиба при КТ-ангиографии проявляется неравномерным накоплением или полным отсутствием накопления контрастного препарата и сигнализирует о тромбообразовании в 100% случаев. Частота тромбообразования в наибольшей степени наблюдается при МВ ранениях (32,7%), при осколочных ранениях она составляет 9,8%.

На КТ неосложненный тромбозом ушиб легкого отображается ателектазом, который наступает с момента ударно-волнового воздействия и проявляется равномерным накоплением контрастного препарата в интерстициальной ткани коллабированного участка. Такая рентгенологическая картина исключает первичный тромбоз в легочных артериях пораженной зоны и указывает на перспективу скорого восстановления легочной паренхимы.

Литература [References]

1. Шевченко Ю.Л., Гороховатский Ю.И., Азизова О.А., Замятин М.Н. Системный воспалительный ответ при экстремальной хирургической агрессии. М.: Издательство Российской академии наук; 2009: 273 с. [Shevchenko YuL, Gorokhovatsky Yul, Azizova OA, Zamyatin MN. Systemic inflammatory response in extreme surgical aggression. Moscow: Publishing House of the Russian Academy of Sciences; 2009: 273 pp (in Russ).]
2. Bahloul M, Dlela M, Bouchaala K, et al. Post-traumatic pulmonary embolism: incidence, physiopathology, risk factors of early occurrence, and impact outcome. A narrative review. *Am J Cardiovasc Dis.* 2020; 10(4): 432–43.
3. Carlson J, Pahalawatta U, Hinwood M, et al. Pulmonary artery thrombosis in trauma: not as deadly as previously thought. *World J Surg.* 2025; 49(11): 3248–56. <https://doi.org/10.1002/wjs.70120>.
4. Дворцовой С.Н., Зубарев А.Р. Ультразвуковая диагностика тромбоза вен нижних конечностей в остром периоде минно-взрывной травмы. Ультразвуковая и функциональная диагностика. 2010; 3: 51–6. [Dvortsevoy SN, Zubarev AR. Ultrasound diagnostics of lower extremity vein thrombosis in the acute period of mine-blast injury. *Ultrasound and Functional Diagnostics.* 2010; 3: 51–6 (in Russ).]
5. Колтович А.П., Варданян А.В., Капустин С.И. и др. Профилактика венозных тромбозмболических осложнений при боевой огнестрельной травме. Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. 2018; 9: 82–6. <https://doi.org/10.17116/hirurgia2018090182>. [Koltovich AP, Vardanyan AV, Kapustin SI, et al. Prevention of venous thromboembolic complications in firearm injury. *Pirogov Russian Journal of Surgery.* 2018; 9: 82–6 (in Russ). <https://doi.org/10.17116/hirurgia2018090182>.]
6. Nauser C, Williams R, Morse B. Early onset massive pulmonary embolism after penetrating trauma in the absence of deep vein thrombosis. *Am Surg.* 2017; 83(7): e240–2.
7. Бокарев И.Н., Попова Л.В. Венозный тромбозмболизм и тромбозмболия легочной артерии. М.: Медицинское информационное агентство; 2013: 512 с. [Bokarev IN, Popova LV. Venous thromboembolism and pulmonary embolism. Moscow: Medical Information Agency; 2013: 512 pp (in Russ).]
8. Cha SI, Choi KJ, Shin KM, et al. Clinical characteristics of in-situ pulmonary artery thrombosis in Korea. *Blood Coagul Fibrinolysis.* 2015; 26(8): 903–7. <https://doi.org/10.1097/MBF.0000000000000343>.
9. McDuffie JV, Medintz ML, Culhane JT. Increasing rate of pulmonary embolism in trauma patients at a level one trauma center: an opportunity for quality improvement? *Cureus.* 2022; 14(1): e21793. <https://doi.org/10.7759/cureus.21793>.
10. Roumeliotis L, Kanakaris NK, Papadopoulos IN. Incidence, risk factors and potential timing of occurrence of pulmonary embolism in fatal trauma: an autopsy based case-control study on 2705 victims. *Surgeon.* 2023; 21(1): 8–15. <https://doi.org/10.1016>.
11. Мануковский В.А., Тулупов А.Н. Огнестрельные ранения груди, живота, таза и позвоночника. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2022: 236 с. [Manukovsky VA, Tulupov AN. Gunshot wounds of the chest, abdomen, pelvis and spine. Moscow: GEOTAR-Media; 2022: 236 pp (in Russ).]