

<https://doi.org/10.23888/HMJ2025133419-432>

EDN: RPJYSA

Комплексное лечение огнестрельных повреждений мягких тканей конечностей с применением первично-реконструктивных оперативных вмешательств (экспериментальное исследование)

С.А. Рудской¹ ✉, А.А. Оприщенко², А.Л. Боряк¹, Р.Б. Кондратюк², Т.Г. Кирьякулова²

¹ Республиканский центр травматологии, ортопедии и нейрохирургии, Донецк, Российская Федерация;

² Донецкий государственный медицинский университет имени М. Горького, Донецк, Российская Федерация

Автор, ответственный за переписку: Рудской Сергей Андреевич, rudake.don@yandex.com

АННОТАЦИЯ

Введение. Комплексный подход к лечению огнестрельных ранений позволяет на ранних этапах проводить коррекцию как системных метаболических, так и регионарных сосудистых нарушений, возникающих из-за особенностей ранящих агентов и характера огнестрельных ранений. Увеличение частоты и выраженности гнойно-септических осложнений, являющихся одной из основных проблем лечения огнестрельных ранений, напрямую зависит от тяжести повреждения тканей и степени нарушения регионарного кровотока, а значит — от выраженности тканевой гипоксии.

Цель. Провести микроскопическую оценку динамики раневого процесса в зависимости от вида проведенной терапии с целью улучшения результатов лечения пациентов с огнестрельными повреждениями верхних конечностей.

Материалы и методы. Проведено экспериментальное исследование на 20 кроликах с моделью огнестрельной раны грудной конечности. У особой группы 1 лечение осуществляли по технологии комплексной первично-реконструктивной и противоишемической терапии, у особой группы 2 — хирургическое лечение по традиционной схеме. Забор гистологического материала для оценки морфологических изменений проводился на разных этапах лечения в зависимости от лечебного воздействия.

Результаты. Было установлено, что течение раневого процесса при огнестрельном ранении во многом определяется тяжестью полученного ранения и объемом разрушений как на макро-, так и на микроскопическом уровне. Это обусловлено лучшей перфузией поврежденной мышечной ткани ввиду меньшей (или полного отсутствия) блокады сосудов микроциркуляторного русла и сохранением нормального клеточного строения на всем этапе лечения.

Заключение. При создании одинаковых экспериментальных условий по характеру и тяжести нанесенного ранения были получены данные, что в группе 1 течение раневого процесса проходит с меньшими морфологическими изменениями. Пролонгация спазма сосудов микроциркуляции является основным предиктором ишемии мышечной ткани и как результат формирования некрозов. В группе 2, выраженные некротические и воспалительные изменения сохранялись на протяжении всего эксперимента, тем самым замедляя переход раневого процесса в фазу регенерации.

Ключевые слова: военно-полевая хирургия; микрохирургия; огнестрельные ранения; первичные реконструкции; раневой процесс.

Для цитирования:

Рудской С.А., Оприщенко А.А., Боряк А.Л., Кондратюк Р.Б., Кирьякулова Т.Г. Комплексное лечение огнестрельных повреждений мягких тканей конечностей с применением первично-реконструктивных оперативных вмешательств (экспериментальное исследование) // Наука молодых (Eruditio Juvenium). 2025. Т. 13, № 3. С. 419–432. doi: 10.23888/HMJ2025133419-432 EDN: RPJYSA

<https://doi.org/10.23888/HMJ2025133419-432>

EDN: RPJYSA

Complex Treatment of Gunshot Injuries of Soft Tissue of the Extremities Using Primary Reconstructive Surgical Interventions (Experimental Study)

Sergey A. Rudskoy¹✉, Aleksandr A. Oprishchenko², Andrey L. Boryak¹, Roman B. Kondratyuk², Tatyana G. Kiryakulova²

¹ Republican Center of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery, Donetsk, Russian Federation;

² Donetsk State Medical University named after M. Gorky, Donetsk, Russian Federation

Corresponding author: Sergey A. Rudskoy, rudake.don@yandex.com

ABSTRACT

INTRODUCTION: A complex approach to the treatment of gunshot wounds permits early correction of both systemic metabolic and regional vascular disorders conditioned by peculiarities of the injuring agents and the character of gunshot wounds. An increase in the incidence and prominence of purulent-septic complications being one of the main challenges in treatment of gunshot wounds directly depends on the severity of tissue damage and the extent of impairment of the regional blood flow, that is, on the severity of tissue hypoxia.

AIM: Microscopic assessment of the dynamics of the wound process depending on the type of therapy with the aim of improving the results of treatment of patients with gunshot wounds of the upper extremities.

MATERIALS AND METHODS: We conducted an experimental study on 20 rabbits with a model of a gunshot wound of a thoracic limb. Rabbits of group 1 were treated using the technology of complex primary reconstructive and anti-ischemic therapy, rabbits of group 2 — using the traditional scheme of surgical treatment. In the course of experimental study, histological material was collected to assess morphological alterations at different stages of treatment depending on the type of therapeutic modality.

RESULTS: We have established that the course of a gunshot wound healing process is to a large extent determined by the severity of wound and the amount of damage both at the macroscopic and microscopic levels. This is primarily due to better perfusion of damaged muscle tissue due to a less (or completely absent) block of microcirculatory vessels and preservation of normal cellular structure throughout the entire treatment stage.

CONCLUSION: Under equal experimental conditions in terms of the character and severity of the inflicted wound, we obtained the data that in group 1 the wound process runs with less pronounced morphological changes. Prolongation of microcirculation vessel spasm is the main predictor of muscle tissue ischemia and, as a result, formation of necrosis. In group 2, pronounced necrotic and inflammatory changes persisted throughout the experiment thus delaying transition of the wound process to the regeneration phase.

Keywords: battlefield surgery; microsurgery; gunshot wounds; primary reconstructions; wound process.

To cite this article:

Rudskoy SA, Oprishchenko AA, Boryak AL, Kondratyuk RB, Kiryakulova TG. Complex Treatment of Gunshot Injuries of Soft Tissue of the Extremities Using Primary Reconstructive Surgical Interventions (Experimental Study). *Science of the Young (Eruditio Juvenium)*. 2025;13(3):419–432. doi: 10.23888/HMJ2025133419-432 EDN: RPJYSA

Введение

Лечение пациентов с тяжелой травмой верхней конечности остается одной из актуальнейших проблем гражданских травматологических центров как в нашем регионе, так и за рубежом в виду значительного социально-экономического значения верхней конечности как органа труда. Потеря способности работать и обслуживать себя после травм, несет для государства значительные материальные убытки, и может приводить к хронической депрессии, а также социально изоляции пострадавших [1]. Особое место среди повреждений верхней конечности занимают открытые осложненные травмы, в том числе огнестрельные, сопровождающиеся множественными повреждениями костей, сухожилий, нервов, сосудов и дефектом тканей в разнообразных их комбинациях. Происходящие при высокоэнергетической массивной травме выраженные нарушения сосудистой и тканевой трофики говорят о срыве физиологических регуляторных систем, в первую очередь со стороны периферической нервной системы. Сложность лечения этой категории пострадавших обусловлена тяжестью травмы, но не исключены субъективные ошибки (неоправданный выбор тактики и применение неадекватных методов лечения ввиду недостаточного опыта хирургов), что приводит к увеличению осложнений и этапов операций [2]. В настоящее время, несмотря на широкие возможности в лечении ран, пациенты с огнестрельными ранениями конечностей представляют собой сложную хирургическую задачу.

На сегодняшний день, «огнестрельная травма» является проблемой не только военной медицины, но и гражданского здравоохранения. В конце XX века в нашей стране и в мире в целом отмечен резкий рост числа огнестрельных повреждений среди мирного населения [3]. Доктрина оказания медицинской помощи раненым в ходе боевых действий, включающая принципы этапности оказания медицинской помощи, впервые была сформулирована хирургами под руковод-

ством Е.И. Смирнова в 1942 году и имела значительные отличия от рекомендаций для травм мирного времени [4, 5]. В практике военной хирургии имеется богатый арсенал современных методов лечения ран, таких как: системы лечения ран отрицательным давлением (СЛРОД), системы ультразвуковой очистки, этапные хирургические обработки, современные адсорбирующие перевязочные материалы и гидрофильные мази, содержащие в своем составе антибактериальные препараты. Однако, сохраняется высоким процент осложнений и неудовлетворительных результатов лечения [6–8].

Известно, что травма уже с первых минут активизирует стресс-реакцию и иммунный ответ организма, выраженность и продолжительность которых зависят от силы и длительности воздействия, масштаба повреждения тканей [9, 10]. Четкое представление об изменениях взаимоотношений регуляторных систем в динамике раневого процесса, оценка их возможностей в реализации механизмов адаптации может быть основой для оптимизации тактики лечения участников боевых действий на госпитальном этапе и этапе реабилитации. Предположение об особом роде механизма формирования огнестрельной раны было высказано еще Н.И. Пироговым, основоположником научного подхода в военно-полевой хирургии. Последующие клинические и экспериментальные исследования позволили более детально изучить данные процессы и сформировать современные взгляды на механизм формирования огнестрельных ран [11, 12].

Поражающие факторы ранящих снарядов при огнестрельных ранениях приводят к формированию в тканях трех зон: раневой дефект, зона первичного некроза, зона вторичного некроза. В литературе было предложено выделять большее число зон огнестрельной раны, однако они не имели четкого практического применения и, соответственно, не получили широкого распространения. Раневой канал (раневого дефект) заполнен тканевым детритом,

инородными телами, сгустками крови, свободными или связанными с надкостницей и мышцами костными фрагментами. Зона первичного некроза формирует стенки раневого канала и может иметь глубину от нескольких миллиметров до 1,5–2 см. Зона вторичного некроза представлена тканями, пострадавшими в результате бокового давления временной пульсирующей полости. Ведущую роль при этом играют местные гемодинамические изменения — спазм и тромбоз сосудов микроциркуляторного русла, артерий и вен малого диаметра. Повреждения тканей в данной зоне — мелкие кровоизлияния, нарушения микроциркуляции и нервной трофики, носят обратимый характер [13, 14], однако их дальнейшая судьба в значительной степени зависит от своевременности и качества лечения. Если удастся восстановить микроциркуляцию до появления необратимых изменений на клеточном уровне и предотвратить развитие инфекции, то вторичные некрозы могут вовсе не развиваться или иметь мелкоочаговый характер [15, 16].

Вместе с тем следует отметить, что микроциркуляторные нарушения в зоне молекулярного сотрясения изучены достаточно подробно. В отдельных публикациях указывается, что в течение первых трех дней после огнестрельного поражения в области раны наблюдается вазоконстрикция на уровне всех звеньев системы регионарного кровообращения — артериального, венозного, лимфатического и микроциркуляторного. Несмотря на это, в доступной нам литературе обнаружены единичные сообщения о возможности влияния на зону вторичного некроза медикаментозными препаратами на этапе лечения огнестрельных ранений [17, 18].

Цель — провести микроскопическую оценку динамики раневого процесса в зависимости от вида проведенной терапии с целью улучшения результатов лечения пациентов с огнестрельными повреждениями верхних конечностей.

Материалы и методы

Экспериментальная часть работы выполнена в ЦНИЛ ФГБОУ ВО ДНМУ им. М. Горького Минздрава России согласно требованиям Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях (CETS №123) от 1986 года. Получено разрешение комиссии по биоэтике № 1 ФГБОУ ВО ДНМУ им. М. Горького Минздрава России от 22.02.2023.

Исследование основано на проспективном рандомизированном анализе и состоит из 2 групп. Группу 1 (основную) составили 10 кроликов, которым наносили огнестрельное пулевое ранение мягких тканей плеча грудной конечности с последующим выполнением регионарной проводниковой анестезии (0,25% раствор Бупивакаина в дозе 2 мл) и проведением первично-реконструктивного лечения с применением разработанного комплекса противоишемических мероприятий. В группу 2 (группу сравнения) вошли 10 кроликов, которым наносили огнестрельное пулевое ранение мягких тканей плеча грудной конечности, по локализации соответствующее ранению животных основной группы, с последующим отсроченным реконструктивным лечением. Группы были сопоставимыми по полу, возрасту, весу, механизму повреждения и срокам проведения манипуляций ($p < 0,01$).

Животных содержали в стандартных условиях вивария под клинико-ветеринарным наблюдением при естественном освещении, со свободным доступом к воде и пище.

Критерии включения: здоровые особи без сопутствующих заболеваний органов дыхания и сердечно-сосудистой системы; особи кроликов, прошедшие двухнедельный карантин по бешенству; с весом более 2-х кг.

С целью обезболивания животным перед нанесением ранения вводился препарат «Золетил 100», в дозировке согласно весу животного.

У животных выполнялся забор операционного материала (мышечная ткань)

для патогистологического исследования с фиксацией 10% нейтральным формалином. В *группе 1* забор материала проводился:

- после нанесения огнестрельной раны;
- после проведения регионарной проводниковой анестезии основных нервных стволов, которая проводилась через 4 часа (блокада плечевого сплетения);
- после хирургической обработки раны;
- через 24 часа после первично-реконструктивного лечения;
- через 10 суток после первично-реконструктивного лечения.

В *группе 2* забор материала проводился:

- после нанесения огнестрельной раны;
- через 4 часа после нанесения огнестрельной раны;
- после хирургической обработки раны;
- через 24 часа открытого ведения раны.

Всем животным экспериментального исследования наносили огнестрельное пулевое ранение мягких тканей плеча грудной конечности пулей калибра 4,5 мм (патрон Флобера), из гладкоствольного мелкокалиберного огнестрельного оружия с расстояния 10 см. Снаряд предварительно загрязнялся грунтом, для имитации обширного огнестрельного осколочного ранения мягких тканей человека.

В *группе 1* по топографическим ориентирам через 4 часа после ранения выполняли регионарную блокаду нервных стволов (блокада плечевого сплетения аксиллярным доступом) 0,25% раствором Бупивакаина в дозе 2 мл. После развития двигательного и чувствительного блока, рана механически очищалась при помощи 5% мыльного раствора. Затем выполняли хирургическую обработку раны, которая включала в себя: рассечение кожных покровов для ревизии раневого канала, фасциотомию футляров, промывание раневого канала 0,05% раствором хлоргексидина, выполнение гемостаза. Затем проводили наложение первичных швов на кожные покровы (по типу первично-реконструктивного лечения), накладывали асептическую повязку с антибактериальной

мазью. Ежедневно животным выполняли перевязку с наложением асептических повязок с антибактериальной мазью (Левометил). До 5 суток назначались препараты: Пентоксифилин и Мексидол в дозировке, соответствующей весу животного. Антибактериальная терапия включала введение (через 4 часа после ранения и затем ежедневно) внутримышечно (в неповрежденную тазовую конечность) Цефтриаксона (антибиотика цефалоспоринового ряда III поколения) в дозе 0,5 мг/кг на протяжении всего периода наблюдения.

В *группе 2* через 4 часа после ранения выполняли хирургическую обработку раны, которая включала в себя: рассечение кожных покровов для ревизии раневого канала, фасциотомию футляров, промывание раневого канала 0,05% раствором хлоргексидина, выполнение гемостаза. Рану оставляли открытой и накладывали асептическую повязку с антибактериальной мазью. Ежедневно животным выполняли перевязку с наложением асептических повязок с антибактериальной мазью до 10 суток. На 10-е сутки выполнялась повторная хирургическая обработка ран с иссечением (при наличии) некротизированных тканей и наложением первично-отсроченных швов. Антибактериальная терапия соответствовала назначению препарата основной группы в такой же дозировке на протяжении всего периода наблюдения.

В работе применяли индекс морфологических изменений мышц (ИМИМш) (А.П. Трухан, 2014) для объективной оценки морфологических изменений и возможности сравнения их степени выраженности (табл. 1).

Материалы исследования были подвергнуты статистической обработке с использованием методов параметрического и непараметрического анализа. Накопление, корректировка, систематизация исходной информации и визуализация полученных результатов осуществлялись в электронных таблицах Microsoft Office Excel 2016. Статистический анализ проводился с использованием программы Statistica 6.5 (Stat Soft. Inc., США).

Таблица 1. Индекс морфологических изменений мышц
Table 1. Index of morphological changes in muscles

Признак и его выраженность	Оценка (баллы)
1. Преднекротические и некротические изменения:	
1.1 изменения отсутствуют	0
1.2 исчезновение поперечной исчерченности	1
1.3 участки глыбчатого распада	2
1.4 распространенный глыбчатый распад или некроз отдельных волокон	3
1.5 очаговые некрозы	4
1.6 выраженные некрозы	5
2. Клеточная инфильтрация (оценивается в 10 полях зрения; x 100):	
2.1 отсутствует	0
2.2 скудная (в 1–3 полях зрения)	1
2.3 очаговая (в 4–6 полях зрения)	3
2.4 выраженная (в 7 и более полях зрения)	5
3. Блокада микроциркуляторного русла (осмотренные сосуды в поле зрения; x 400):	
3.1 отсутствует	0
3.2 единичные (1–2)	3
3.3 умеренное (3 и более)	5

Результаты

На всем протяжении наблюдений, в обеих группах, течение раневого процесса определялось как нормальное. Значимые осложнения не определялись. В группе 1 — у 8 особей (80%) раны зажили первичным натяжением, в 2-х случаях (20%) определялись краевые некрозы, которые не по-

вливали на результат лечения, однако незначительно пролонгировали заживление раневой поверхности. В то же время, краевые (поверхностные) некрозы раневой поверхности в группе 2 определялись у 4-х особей (40%) и в последствии были иссечены в ходе повторной хирургической обработки (рис. 1).



Рис. 1. Экспериментальное животное группы 2. Формирование грануляционной ткани в ране, с элементами краевых некрозов.

Fig. 1. Experimental animal of group 2. Formation of granulation tissue in the wound with elements of marginal necrosis.

Сроки проведения повторной хирургической обработки определялись индивидуально для каждого экспериментального животного. Основным фактором очищения раневой поверхности являлось наличие грануляционной ткани на раневой поверхности. Средний срок повторной хирургической обработки ран в группе 2 составил 9,3 суток (ДИ 6–10), $Me=10$ сут.

Критерием для оценки заживления раневой поверхности определили отсутствие диастаза краев раны при разведении (рис. 2). Средний срок заживления раневой поверхности в группе 1 составил 15,2 суток (ДИ 14–19), $Me=14,5$ сут, в то время как в группе 2 — 24,2 суток (ДИ 21–28), $Me=24$ сут.



Рис. 2. Экспериментальное животное группы 2. Заживление огнестрельной раны первичным натяжением.

Fig. 2. Experimental animal of group 2. Gunshot wound healing by primary tension.

На поверхности раневого канала у животных группы 1 (первично-реконструктивное лечение), как и у животных группы 2 (отсроченное лечение) сразу после нанесения огнестрельной раны определялись ранние морфологические изменения (ИМИМш=6, ДИ 5–7, $Me=6$). Статистически достоверных различий ($p > 0,05$) между результатами полученными в группе 1 и группе 2 не выявлено. При микроскопическом исследовании во всех препаратах определяются участки импрегнации частицами пороха и микроскопических инородных тел. В мышечной ткани потеря поперечной исчерченности, резкое малокровие на фоне спазма сосудов микроциркуляции представлено на рисунке 3.

Второй забор биопсийного материала производился через 4 часа после нанесения огнестрельного ранения для экспериментальных животных обеих групп.

В группе 1, после выполнения регионарной проводниковой анестезии, средний ИМИМш составил 6,3 (ДИ 5–7). У животных в группе 2, без выполнения дополнительных лечебных манипуляций, и составил 6,8 (5–8) (рис. 4). Достоверно значимых отличий ($p > 0,05$) между полученными результатами не выявлено.

После выполнения хирургической обработки ран, выполнялся 3-й забор биопсийного материала в обеих группах. Получены следующие результаты: в группе 1 — средний ИМИМш=4,9 (ДИ 4–6), а в группе 2 — 6,7 (ДИ 6–9). Согласно полученным данным, можно сделать вывод, что в группе 1 после выполнения хирургической обработки ран, сохранены мягкие ткани с меньшими морфологическими изменениями чем в группе 2. Эти данные подтверждаются микрофотографиями представленными в рисунке 5 и 6.

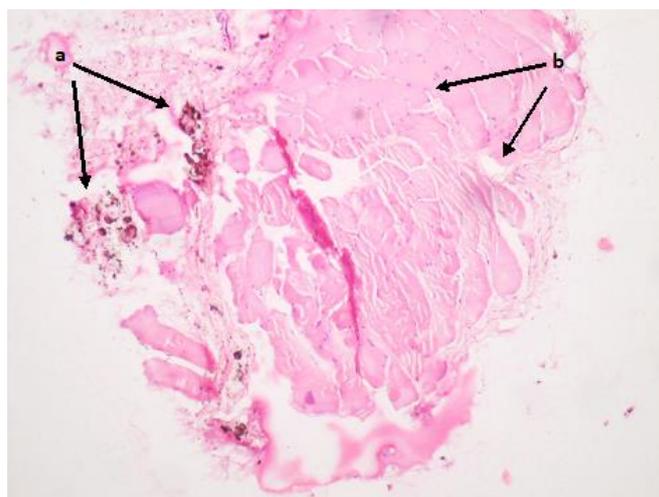


Рис. 3. Микрофотография, группа 1, окраска гематоксилином и эозином, $\times 100$. Импрегнация частицами пороха (a), в мышечной ткани потеря поперечной исчерченности, резкое малокровие на фоне спазма сосудов микроциркуляции (b).

Figure 3. Microphotograph, group 1, hematoxylin and eosin staining, $\times 100$, impregnation with gunpowder particles (a), loss of striation in muscle tissue, severe anemia with the underlying spasm of microcirculatory vessels (b).

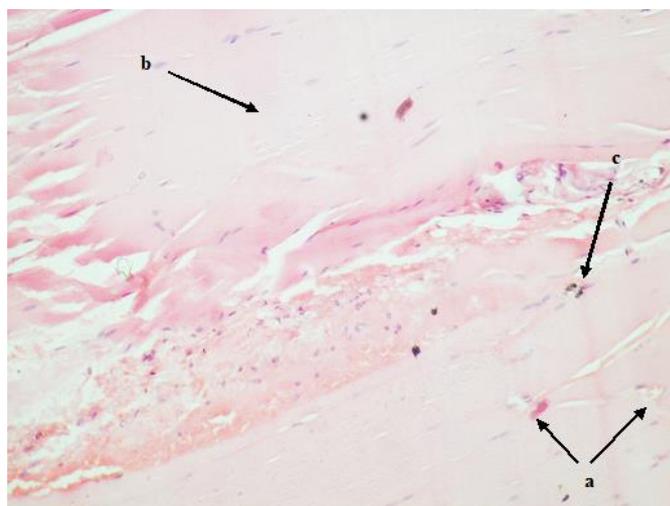


Рис.4. Микрофотография, группа 2, окраска гематоксилином и эозином, $\times 200$. Резкое малокровие, спазм сосудов микроциркуляции (a), в мышечной ткани потеря поперечной исчерченности (b), участки импрегнации мелкими частицами пороха (c).

Fig. 4. Microphotograph, group 2, hematoxylin and eosin staining, $\times 200$, severe anemia, spasm of microcirculation vessels (a), loss of striation in muscle tissue (b), areas of impregnation with small gunpowder particles (c).

При исследовании материала взятого через 24 часа после нанесения огнестрельного ранения, в группе 1 определяются незначительные морфологические изменения (рис. 7). В ряде препаратов, в малом коли-

честве полей зрения определяются участки глыбчатого распада миоцитов и скудная клеточная инфильтрация стромы. Средний ИМИМш составил 1,8 (ДИ 1–4).

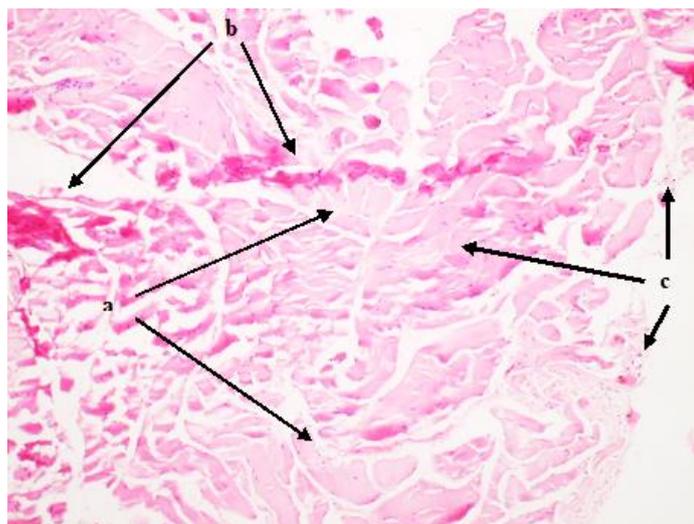


Рис. 5. Микрофотография, группа 1, окраска гематоксилином и эозином, $\times 100$. В мышечной ткани дистрофия (*a*), участки имbibции мышечной ткани кровью (*b*), полнокровие мышечной ткани, отсутствие спазма сосудов микроциркуляции (*c*).

Fig. 5. Microphotograph, group 1, hematoxylin and eosin staining, $\times 100$. Dystrophy in muscle tissue (*a*), areas of imbibition of muscle tissue with blood (*b*), plethora of muscle tissue, absence of spasm of microcirculatory vessels (*c*).

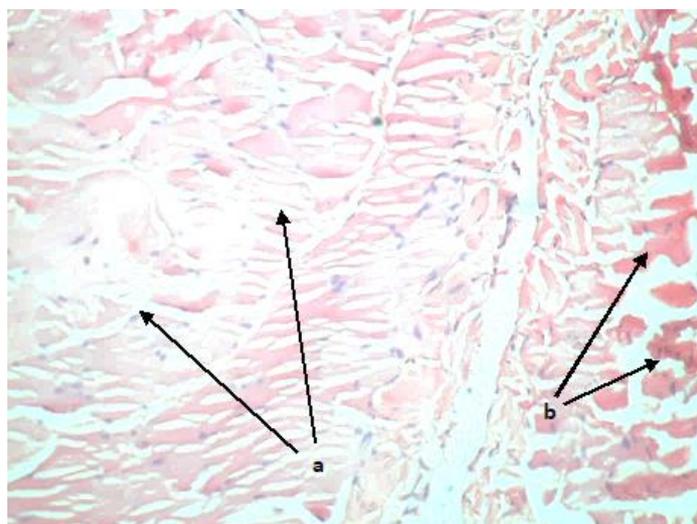


Рис. 6. Микрофотография, группа 2, окраска гематоксилином и эозином, $\times 200$. Резкое малокровие, дистрофия мышечной ткани (*a*), некротические изменения мышечной ткани с имbibцией кровью (*b*).

Fig. 6. Microphotograph, group 2, hematoxylin and eosin staining, $\times 200$. Severe anemia, dystrophy of muscle tissue (*a*), necrotic changes of muscle tissue with imbibition with blood (*b*).

В группе 2 определяются выраженные морфологические изменения в виде распространённого глыбчатого распада или очаговых некрозов в комбинации с выраженной клеточной инфильтрацией стромы (рис. 8).

При исследовании биопсийного материала на 10-е сутки с момента нанесения огнестрельного ранения, нами получены следующие данные. В группе 1 определяются незначительные морфологические изменения. В большей части

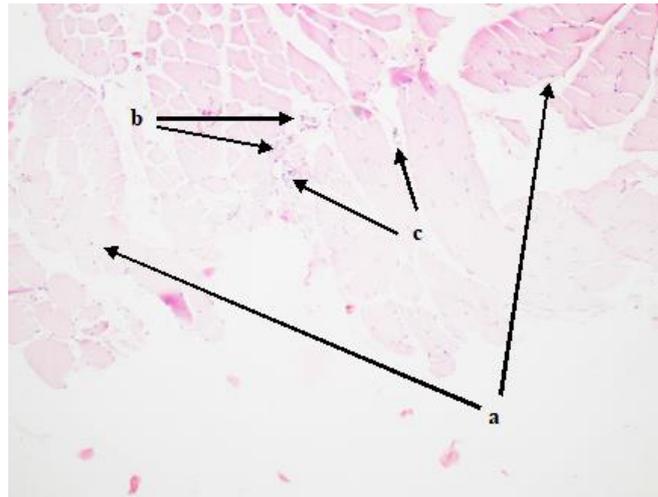


Рис. 7. Микрофотография, группа 1, окраска гематоксилином и эозином, $\times 100$. Мышечная ткань нормального кровенаполнения с участками дистрофии (a), скудная инфильтрация стромы нейтрофилами, эозинофилами и плазматическими клетками (b), сосуды микроциркуляции без признаков спазма (c).

Fig. 7. Microphotograph, group 1, hematoxylin and eosin staining, $\times 100$. Muscle tissue of normal blood filling with areas of dystrophy (a), scanty infiltration of stroma with neutrophils, eosinophils and plasma cells (b), microcirculatory vessels with no signs of spasm (c).

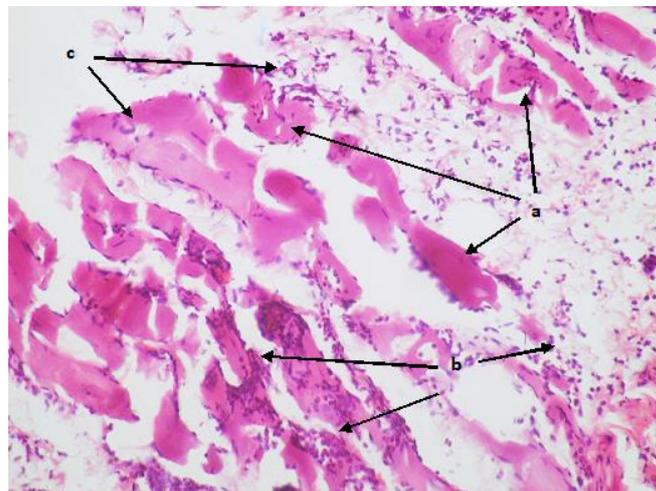


Рис. 8. Микрофотография, группа 2, окраска гематоксилином и эозином, $\times 200$. Мышечная ткань с участками очаговых некрозов (a), выраженная инфильтрация стромы и мышечной ткани нейтрофилами, эозинофилами и плазматическими клетками (b), тромбоз сосудов микроциркуляции на фоне спазма (c).

Fig. 8. Microphotograph, group 2, hematoxylin and eosin staining, $\times 200$. Muscle tissue with areas of focal necrosis (a), pronounced infiltration of stroma and muscle tissue with neutrophils, eosinophils and plasma cells (b), thrombosis of microcirculatory vessels with the underlying spasm (c).

препаратов определяются участки прорастания рыхлой волокнистой соединительной ткани в мышечную ткань с наличием типичных фибробластоподобных клеток со значительным количеством межклеточного

вещества. Отмечаются участки незначительной инфильтрации стромы (рис. 9). Средний ИМИМш составил 1,3 (ДИ 1–3).

В группе 2 на сроке 10-х суток сохраняются выраженные морфологические

изменения в виде очаговых некрозов в комбинации с умеренной клеточной инфильтрацией стромы и участками прорастания рыхлой волокнистой соединительной ткани (рис. 10). Средний ИМИМш составил 8,9 (ДИ 7–10). Обобщенный результат определения индекса морфологи-

ческих изменений мышц предоставлен в таблице 2. Согласно полученным данным, средний ИМИМш в группе 1 составил 20,2 (ДИ 17–24), а в группе 2 — 38,8 (ДИ 31–41). Данные различия являются статистически значимыми, $p < 0,01$.

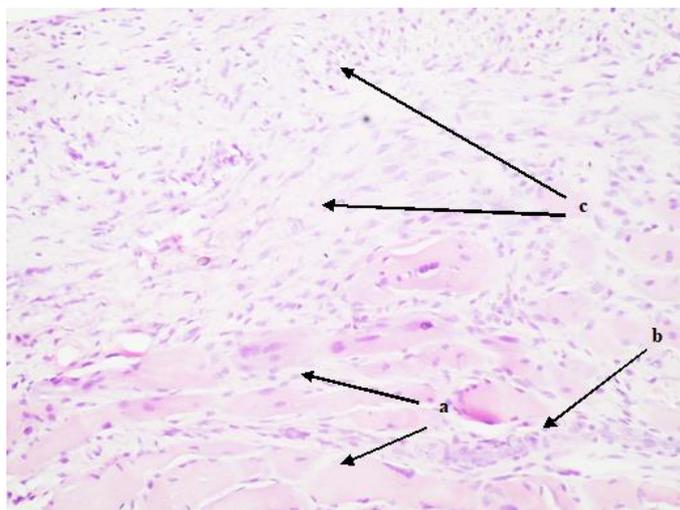


Рис. 9. Микрофотография, группа 1, окраска гематоксилином и эозином, $\times 200$. Мышечная ткань с нормальным клеточным строением (a), незначительная инфильтрация стромы (b), рыхлая волокнистая соединительная ткань с наличием типичных фибробластоподобных клеток и прорастанием в миоциты (c).

Fig. 9. Microphotograph, group 1, hematoxylin and eosin staining, $\times 200$. Muscle tissue with normal cellular structure (a), minor infiltration of stroma (b), loose fibrous connective tissue with the presence of typical fibroblast-like cells and ingrowth to myocytes (c).

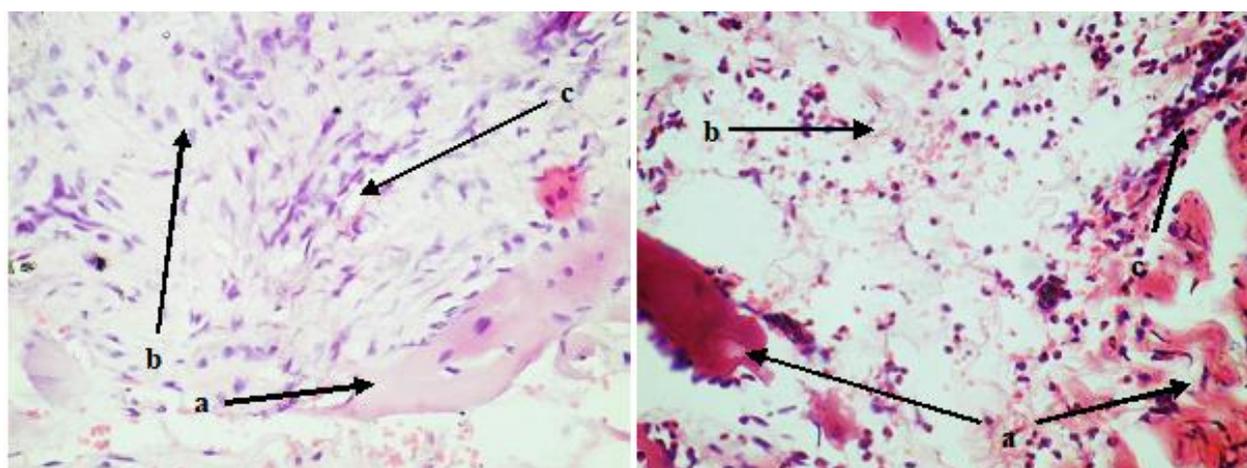


Рис. 10. Микрофотография, группа 2, окраска гематоксилином и эозином, $\times 200$. Мышечная ткань дистрофизирована с участками некрозов (a), выраженная инфильтрация стромы (b), рыхлая волокнистая соединительная ткань с наличием типичных фибробластоподобных клеток и прорастанием в миоциты (c).

Fig. 10. Microphotograph, group 2, hematoxylin and eosin staining, $\times 200$. Muscle tissue is dystrophic with areas of necrosis (a), pronounced infiltration of stroma (b), loose fibrous connective tissue with the presence of typical fibroblast-like cells and ingrowth to myocytes (c).

Таблица 2. Индекс морфологических изменений мышц в группах исследования в зависимости от сроков раневого процесса

Table 2. Index of morphological changes in muscles in study groups depending on the timing of the wound process

Сроки забора биопсионного материала	ИМИМш средний		p
	Группа 1	Группа 2	
После нанесения огнестрельной раны	5,9 (ДИ 5–7)	6,2 (ДИ 5–7)	0,2
После проведения регионарной проводниковой анестезии основных нервных стволов, которая проводилась через 4 часа/через 4 часа после нанесения огнестрельной раны	6,3 (ДИ 5–7)	6,8 (ДИ 5–8)	0,18
После хирургической обработки раны	4,9 (ДИ 4–6)	6,7 (ДИ 6–9)	0,09
Через 24 часа	1,8 (ДИ 1–4)	10,2 (ДИ 7–12)	<0,01
На 10 сутки	1,3 (ДИ 1–3)	8,9 (ДИ 7–10)	<0,01
Сумма	20,2 (ДИ 17–24)	38,8 (ДИ 31–43)	<0,01

Обсуждение

Течение раневого процесса при огнестрельном ранении во много определяется тяжестью полученного ранения и объемом разрушений как на макро- так и на микроскопическом уровне [13–16]. При создании одинаковых экспериментальных условий по характеру и тяжести нанесенного ранения были получены данные, что в группе 1 течение раневого процесса проходит с меньшими морфологическими изменениями. В первую очередь это обусловлено лучшей перфузией поврежденной мышечной ткани ввиду меньшего (или полного отсутствия) блокады сосудов микроциркуляторного русла и сохранением нормального клеточного строения на всем этапе лечения. Пролонгация спазма сосудов микроциркуляции является основным предиктором ишемии мышечной ткани и как результат формирования некрозов. В группе 2 выраженные некротические и воспалительные изменения сохранялись на протяжении всего эксперимента, тем самым замедляя переход раневого процесса в фазу регенерации.

И в группе 1, и в группе 2 при микроскопической оценке биоптатов мышечной ткани после хирургической обработки не выявлено участков импрегнации пороховыми газами и остаточных инородных тел, что говорит о достаточной радикальности проведенного лечебного воздействия.

Получены достоверные результаты, что при применении комплекса противо-

ишемической терапии возможно проведение первично-реконструктивных вмешательств с незначительными морфологическими изменениями. Достоверно не выявлено значимых отличий в реакции микроциркуляторного русла при применении симпатических блокад в ранние сроки, однако в комплексе противоишемической терапии, значимые морфологические отличия выявлены в биоптатах, забор которых производили через после хирургической обработки и через 24 часа. Данные результаты возможно интерпретировать как более длительное (30+ минут) развитие симпатического блока при применении раствора Бупивокаина с последующим длительным сохранением вазодилатации.

Также значимые отличия морфологической картины определяются и в цепи воспаления. Так, в сроках 24 часа–10 суток, в группе 1 определяется значимое снижение уровня инфильтрации стромы лейкоцитами. Предикторы к формированию данного фактора требует дальнейшего экспериментального исследования.

С учетом клинической картины и патоморфологических данных, повторная хирургическая обработка ран требовала достаточной радикальности для иссечения некротизированных тканей тем самым являясь новой травмой для животного с повторным запуском механизмов воспаления.

Несмотря на отсутствие значимых осложнений в обеих экспериментальных группах, ишемизированные, а как след-

ствие некротизированные ткани являются благоприятной питательной средой для микроорганизмов (первичная/вторичная контаминация), тем самым повышая риск развития гнойно-септических осложнений и раневой инфекции.

Заключение

В ходе проведенного исследования были получены морфологические и клини-

ческие данные, что течение раневого процесса в группе 1 (комплексное первично-реконструктивное и противошоковое лечение) проходит с меньшими морфологическими изменениями, чем в группе 2 (традиционное отсроченное лечение). Сроки заживления ран, а как результат, сроки выведения животного из эксперимента в группе 1 в 1,6 раз меньше, чем в группе 2, что значительно сократило сроки лечения.

Список литературы | References

1. Kravchenko AV, Trufanov IM, Yurchenko NN. Features of the primary surgical treatment of gunshot wounds of the wrist. *Traumatology, Orthopaedics and Military Medicine*. 2019;(4):64–69.
2. Engelmann EWM, Roche S, Maqungo S, et al. Treating fractures in upper limb gunshot injuries: The Cape Town experience. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2019;105(3):517–522. doi: 10.1016/j.otsr.2018.11.002
3. Davydov DV, Kerimov AA, Besedin VD, et al. Treatment of gunshot wounds of extremities using physical and orthobiological methods. *Medical Bulletin of the Main Military Clinical Hospital named after N.N. Burdenko*. 2022;(4):5–15. doi: 10.53652/2782-1730-2022-3-4-5-15 EDN: CIDXTU
4. Glukhov DV, Bulavin VV, Ivanov IV. Organizatsiya meditsinskoy pomoshchi voyennosluzhashchim federal'noy gruppirovki voysk v khode provedeniya kontrterroristicheskoy operatsii. In: *Sovremennyye problemy voyennoy meditsiny, obitayemosti i professional'nogo otbora: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii; Saint Petersburg, 17–18 November 2011*. Saint Petersburg: S.M. Kirov Military Medical Academy; 2011. P. 225–226. (In Russ.) EDN: QBFHXX
5. Gianu K, Baldan M, Molde A. *Military field surgery. Vol. 2: The work of surgeons in conditions of limited resources during armed conflicts and other situations of violence*. Moscow: ICRC (CSC EURASIA); 2013.
6. Kryukov EV, Grigoriev MA, Brizhan LK, et al. The using of the negative pressure wound therapy in the complex treatment degloving injuries of the lower extremity. *Department of Traumatology and Orthopedics*. 2018;(3):31–35. EDN: ETFYZO doi: 10.17238/issn2226-2016.2018.3.31-35
7. Singh D, Chopra K, Sabino J, Brown E. Practical Things You Should Know about Wound Healing and Vacuum-Assisted Closure Management. *Plast Reconstr Surg*. 2020;145(4):839e–854e. doi: 10.1097/prs.0000000000006652 EDN: ERDRSM
8. Szul AC, Davis LB, Sparacino LR, editors. *Emergency war surgery*. 3rd U.S. revision. Washington: Borden Institute, Walter Reed Army Medical Center; 2004.
9. Karim-Zade GD, Malikov MKh, Saburova AM, Nasyrdzhonova KhR. Oxidative stress and antioxidant system in severe upper limb injuries. *Avicenna Bulletin*. 2023;25(2):182–191. doi: 10.25005/2074-0581-2023-25-2-182-191 EDN: JAEURM
10. Chesnokov OD, Rybakina EG, Shanin SN, et al. Activity of immune system functions in patients under severe combined trauma and acute blood loss. *Bulletin of Saint Petersburg University. Medicine*. 2008;(4):142–152. EDN: KVNIKH
11. Samokhvalov IM, editor. *Voyenno-polevaya khirurgiya*. Saint Petersburg: S.M. Kirov Military Medical Academy; 2021. P. 28–29. (In Russ.) EDN: RPOGDB
12. Thierauf A, Glardon M, Axmann S, et al. The varying size of exit wounds from center-fire rifles as a consequence of the temporary cavity. *Int J Legal Med*. 2013;127(5):931–936. doi: 10.1007/s00414-013-0869-9 EDN: DTDBDO
13. Ozeretskovskiy LB, Gumanenko YEK, Boyarintsev VV. *Ranevaya ballistika. Istoriya i sovremennoye sostoyaniye ognestrel'nogo oruzhiya i sredstv individual'noy bronezashchity*. Saint Petersburg: *Kalashnikov Journal*; 2006. P. 31–35. (In Russ.) EDN: UAOCYT
14. Maiden N. Historical overview of wound ballistics research. *Forensic Sci Med Pathol*. 2009;5(2):85–89. doi: 10.1007/s12024-009-9090-z EDN: EWPJHX
15. Sarkisov DS, Pal'tsyn AA, Muzykant LI, et al. Morfologiya ranevogo protsessa. In: *Kuzin MI, Kostyuchenok BM, editors. Rany i ranevaya infektsiya*. Moscow: Meditsina; 1990. P. 38–89. (In Russ.) EDN: FHPJFK
16. Gayvoronskiy IV, Tikhonova LP, Gayvoronskiy AV. Dinamika izmeneniy gemomikrotsirkulyatornogo rusla v zonakh ognestrel'noy rany myagkikh tkaney konechnostey. In: *Ognestrel'naya rana i ranevaya infektsiya: materialy Vsesoyuznoy yubileynoy konferentsii, posvyashchennoy 180-letiyu so dnya rozhdeniya N.I. Pirogova i 150-letiyu nachala yego nauchnoy i pedagogicheskoy deyatel'nosti v Mediko-khirurgicheskoy akademii; Leningrad, 19–21 February 1991*. Leningrad; 1991. P. 16–17. (In Russ.)
17. Aydarov VI, Maleev MV, Krasilnikov VI, Khasanov ER. Emergency care for victims of explosions.

Practical Medicine. 2019;17(6, Pt 2):6–9. doi: 10.32000/2072-1757-2019-6-6-9 EDN: DUZUHL
18. Oprishchenko AA, Kravchenko AV, Bodachenko KA, et al. Osobennosti regionalnoy gemodinamiki pri ognestrel'nykh perelomakh goleni v ostrom periode

travmy. In: *Dostizheniya rossiyskoy travmatologii i ortopedii: materialy XI Vserossiyskogo s'yezda travmatologov-ortopedov*; Saint Petersburg, 11–13 April 2018. Saint Petersburg; 2018;1:256–260. (In Russ.) EDN: XQSTRZ

Дополнительная информация

Этическая экспертиза. Экспериментальная часть работы выполнена в ЦНИЛ ФГБОУ ВО ДНМУ им. М. Горького Минздрава России, согласно требованиям Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях (CETS №123) от 1986 года. Разрешение комиссии по биоэтике № 1 ФГБОУ ВО ДНМУ им. М. Горького Минздрава России от 22.02.2023.
Источники финансирования. Отсутствуют.
Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.
Оригинальность. При создании статьи авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные).
Генеративный искусственный интеллект. При создании статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.
Рецензирование. В рецензировании участвовали два рецензента и член редакционной коллегии издания.

Об авторах:

✉ **Рудской Сергей Андреевич**, врач травматолог-ортопед отделения микрохирургии конечностей;
ORCID: 0009-0005-6654-3520;
e-mail: rudake.don@yandex.com

Оприщенко Александр Александрович, д-р мед. наук, профессор кафедры травматологии, ортопедии и хирургии экстремальных ситуаций;
eLibrary SPIN: 2828-7449;
ORCID: 0009-0001-1531-2563;
e-mail: mzddocumenti@mail.ru

Боряк Андрей Леонидович — канд. мед. наук, главный врач;
ORCID: 0000-0001-9619-5524;
e-mail: doc_boryak212@mail.ru

Кондратюк Роман Борисович, канд. мед. наук, заведующий кафедрой патологической анатомии;
eLibrary SPIN: 5926-0286;
ORCID: 0000-0001-5928-8799;
e-mail: patanatomia@dnmu.ru

Кирьякулова Татьяна Георгиевна, канд. мед. наук, доцент кафедры травматологии, ортопедии и хирургии экстремальных ситуаций;
eLibrary SPIN: 6123-6440;
ORCID: 0009-0001-4403-6430;
e-mail: kiryakulova.tatyana@yandex.ru

Вклад авторов:

Рудской С.А. — концепция исследования, экспертная оценка информации, редактирование.
Оприщенко А.А. — формирование базы данных, экспертная оценка информации, редактирование.
Боряк А.Л. — организация технической части эксперимента, сбор данных, экспертная оценка информации.
Кондратюк Р.Б. — организация и проведение морфологической части исследования, подготовка биоптатов, микроскопическая оценка, экспертная оценка информации.
Кирьякулова Т.Г. — сбор и систематизация данных, написание текста.
Все авторы одобрили рукопись (версию для публикации), согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой ее части.

Ethics approval. The experimental part of the work was carried out at the Central Research Laboratory of the Donetsk National Medical University named after M. Gorky, in accordance with the requirements of the European Convention for the Protection of Vertebrate Animals Used for Experimental and Other Scientific Purposes (CETS No. 123) of 1986. The Commission on Bioethics No. 1 of the Donetsk National Medical University named after M. Gorky issued a permit on February 22, 2023.

Funding sources. No funding.

Disclosure of interests. The authors have no relationships, activities or interests related with for-profit or not-for-profit third parties whose interests may be affected by the content of the article.

Statement of originality. The authors did not use previously published information (text, illustrations, data) when creating work.

Generative AI. Generative AI technologies were not used for this article creation.

Peer-review. Two reviewers and a member of the editorial board participated in the review.

Authors' Info:

✉ **Sergey A. Rudskoy**, Traumatologist-Orthopedist of the Department of Limb Microsurgery;
ORCID: 0009-0005-6654-3520;
e-mail: rudake.don@yandex.com

Aleksandr A. Oprishchenko, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor of the Department of Traumatology, Orthopedics and Surgery of Extreme Situations;
eLibrary SPIN: 2828-7449;
ORCID: 0009-0001-1531-2563;
e-mail: mzddocumenti@mail.ru

Andrey L. Boryak, MD, Cand. Sci. (Medicine), Chief Physician;
ORCID: 0000-0001-9619-5524;
e-mail: doc_boryak212@mail.ru

Roman B. Kondratyuk, MD, Cand. Sci. (Medicine), Head of the Department of Pathological Anatomy;
eLibrary SPIN: 5926-0286;
ORCID: 0000-0001-5928-8799;
e-mail: patanatomia@dnmu.ru

Tatyana G. Kiryakulova, MD, Cand. Sci. (Medicine), Assistant Professor of the Department of Traumatology, Orthopedics and Surgery of Extreme Situations;
eLibrary SPIN: 6123-6440;
ORCID: 0009-0001-4403-6430;
e-mail: kiryakulova.tatyana@yandex.ru

Author contributions:

Rudskoy S.A. — concept of the study, expert assessment of information, editing.
Oprishchenko A.A. — formation of database, expert assessment of information, editing.
Boryak A.L. — organization of the technical part of the experiment, collection of data, expert evaluation of information.
Kondratyuk R.B. — organization and conduct of the morphological part of the study, preparation of biopsies, microscopic assessment, expert assessment of information.
Kiryakulova T.G. — collection and systematization of data, writing the text.
All authors approved the manuscript (the publication version), and also agreed to be responsible for all aspects of the work, ensuring proper consideration and resolution of issues related to the accuracy and integrity of any part of it.

Рукопись получена: 01.12.2024

Received: 01.12.2024

Рукопись одобрена: 01.09.2025

Accepted: 01.09.2025

Опубликована: 30.09.2025

Published: 30.09.2025