



Актуальность применения ультразвуковой кавитации в комплексном лечении боевой хирургической травмы

©Д.С. Меркулов^{1*}, Э.Я. Фисталь^{2,3}, В.О. Демчук³

¹ ООО «ЮНА Эстетик», Донецк, Россия

² Институт неотложной и восстановительной хирургии им. В.К. Гусака, Донецк, Россия

³ Донецкий национальный медицинский университет им. М. Горького, Донецк, Россия

* Д.С. Меркулов, ООО «ЮНА Эстетик», 283017, Донецк, ул. Овнатаняна 29а, merkulovds@mail.ru

Поступила в редакцию 6 марта 2024 г. Исправлена 25 марта 2024 г. Принята к печати 27 марта 2024 г.

Резюме

Актуальность: История лечения огнестрельных ранений насчитывает уже несколько столетий. Тем не менее, каждая новая война или затяжной вооруженный конфликт вновь заставляют хирургов возвращаться к этой проблеме. В последние годы изменился и характер самих ранений – повреждения становятся более тяжелыми, с большим объемом поврежденных тканей. В структуре боевых санитарных потерь взрывные и осколочные повреждения преобладают над огнестрельными. Раны, наносимые подобным огнестрельным оружием, как правило, отличаются от ран, нанесенных оружием старого образца по масштабности, глубине и тяжести анатомических разрушений мягких тканей и костей.

Применение современных физических методов обработки ран и подготовки их к пластическому закрытию, таких как низкочастотный ультразвук, позволяет максимально радикально очистить раневую поверхность с минимальным повреждением жизнеспособных тканей и в ранние сроки выполнить операции по пластическому закрытию дефектов мягких тканей.

Цель: Совершенствование способов первичной хирургической обработки у пациентов с боевой хирургической травмой с применением низкочастотного ультразвука.

Материалы и методы: Нами были изучены результаты лечения 176 раненых и пострадавших, которые находились на стационарном лечении в ожоговом отделении и в отделении пластической хирургии и трансплантации клеток Института неотложной и восстановительной хирургии им. В.К. Гусака с 2015 по 2023 г. Все больные были разделены на две группы. 1-ю группу (основную) составили 86 человек, для лечения которых во время хирургической обработки раны применяли УЗ-кавитацию. 2-ю группу составили 90 человек, которые были оперированы без использования ультразвуковой обработки ран. Группы больных между собой сопоставимы.

Результаты: После хирургической обработки раны основной пул клеточных элементов составили сегментоядерные нейтрофилы (78–68%). После ультразвуковой обработки количество детрита снизилось в 3,75 раза. В основной группе больных количество фибробластов в 1,88 раза превысило количество фибробластов в группе сравнения. На 4-е сут. удельная площадь грануляционной ткани в 1,7 раза в основной группе больных превышала удельную площадь грануляционной ткани у больных группы сравнения. При морфометрическом контроле было установлено: в основной группе больных количество капилляров в грануляционной ткани составило $31,3 \pm 2,5$ у.е. на 4-е сут., в группе сравнения – $20,0 \pm 1,12$ у.е.

Применение ультразвуковой кавитации ран способствует подавлению раневой инфекции на 4–5-е сут. лечения: у $82,2 \pm 5,7\%$ больных количество микробов в 1 грамме тканей снизилось ниже «критического числа», в группе сравнения этот показатель был достигнут у $28,9 \pm 6,7\%$.

По данным изучения лазерной доплеровской флоуметрии получен статистически значимый рост среднего значения потока крови (показателя М) в 1,22 раза через 24–48 ч после оперативного лечения.

В основной группе больных было зафиксировано $11,6 \pm 3,4\%$ осложнений, у больных группы сравнения – $24,5 \pm 4,4\%$, $p < 0,05$. Среднее количество операций на одного человека в основной группе больных составило $1,6 \pm 0,4$, у больных группы сравнения – $2,8 \pm 0,5$, $p < 0,05$. Средняя длительность стационарного лечения в основной группе больных составила $13,5 \pm 3,4$ сут., у больных группы сравнения средняя длительность лечения – $24,3 \pm 2,5$ сут., $p < 0,01$.

Выводы: Данное исследование позволяет сделать вывод о преимуществе применения ультразвуковой кавитации при первичной хирургической обработке огнестрельных ран с последующей первично или первично-отсроченной пластикой.

Ключевые слова: ультразвуковая кавитация, низкочастотный ультразвук, огнестрельные раны, боевая хирургическая травма

Цитировать: Меркулов Д.С., Фисталь Э.Я., Демчук В.О. Актуальность применения ультразвуковой кавитации в комплексном лечении боевой хирургической травмы. *Инновационная медицина Кубани*. 2024;9(2):64–71. <https://doi.org/10.35401/2541-9897-2024-9-2-64-71>



Applicability of Ultrasonic Cavitation in Complex Treatment of Combat Surgical Trauma

©Danil S. Merkulov^{1*}, Emil Ya. Fistal^{2,3}, Vladislav O. Demchuk³

¹“YuNA Estetik” LLC, Donetsk, Russian Federation

²V.K. Gusak Institute of Emergency and Reconstructive Surgery, Donetsk, Russian Federation

³M. Gorky Donetsk National Medical University, Donetsk, Russian Federation

* Danil S. Merkulov, “YuNA Estetik” LLC, ulitsa Ovnatanyana 29a, Donetsk, 283017, Russian Federation, merkulovds@mail.ru

Received: March 6, 2024. Received in revised form: March 25, 2024. Accepted: March 27, 2024.

Abstract

Background: The history of gunshot wound treatment dates back several centuries. However, every new war or protracted armed conflict makes surgeons return to this issue. In recent years the nature of wounds changed: injuries become more severe, with a larger amount of damaged tissue. Among the wounded persons, blast and fragment injuries prevail over gunshot injuries. Gunshot wounds, as a rule, differ from wounds inflicted by old-style weapons in the scale, depth, and severity of anatomical destruction of soft tissue and bones.

Modern physical methods of wound management and preparation of wounds for plastic closure, such as low-frequency ultrasound, enable to debride the wound surface with minimal damage to viable tissues and perform plastic closure of soft tissue defects as radically and as early as could be.

Objective: To improve methods of primary surgical debridement in patients with combat surgical trauma using low-frequency ultrasound.

Materials and methods: We studied treatment results in 176 wounded and injured people hospitalized in the burn unit and the division of plastic surgery and cell transplantation at the V.K. Gusak Institute of Emergency and Reconstructive Surgery (Donetsk, Russian Federation) between 2015 and 2023. All the patients were divided into 2 groups. Group 1 (main) included 86 patients who underwent surgical wound debridement with ultrasonic cavitation. Group 2 consisted of 90 patients who were operated on without ultrasonic wound debridement. The groups of patients were comparable.

Results: After surgical wound debridement, segmented neutrophils (78%-68%) were the main type of blood cells. After ultrasonic wound debridement, the amount of detritus decreased by 3.75 times. In the main group, the number of fibroblasts was 1.88 times higher than that in the comparison group. On day 4, the specific area of the granulation tissue was 1.7 times higher in the main group compared with that in the comparison group. Results of the morphometric control revealed that on day 4 the number of capillaries in the granulation tissue was 31.3 ± 2.5 units in the main group and 20.0 ± 1.12 units in the comparison group.

Ultrasonic cavitation of wounds helps suppress wound infection by day 4-5 of treatment: in $82.2 \pm 5.7\%$ of the patients, the number of microorganisms per gram of tissue decreased below the “critical number”, whereas in the comparison group it was achieved in $28.9 \pm 6.7\%$ of the patients.

According to laser Doppler flowmetry findings, we obtained a statistically significant increase in the mean blood flow value (M index) by 1.22 times 24-48 hours after surgical treatment.

In the main group, $11.6 \pm 3.4\%$ of complications were reported, whereas in the comparison group it was $24.5 \pm 4.4\%$, $P < .05$. The mean number of operations per person was 1.6 ± 0.4 in the main group and 2.8 ± 0.5 in the comparison group, $P < .05$. The mean duration of inpatient treatment was 13.5 ± 3.4 days in the main group and 24.3 ± 2.5 days in the comparison group, $P < .01$.

Conclusions: We can conclude that ultrasonic cavitation is advantageous in routine surgical debridement of gunshot wounds followed by primary or delayed primary closure.

Keywords: ultrasonic cavitation, low-frequency ultrasound, gunshot wounds, combat surgical trauma

Cite this article as: Merkulov DS, Fistal EYa, Demchuk VO. Applicability of ultrasonic cavitation in complex treatment of combat surgical trauma. *Innovative Medicine of Kuban*. 2024;9(2):64–71. <https://doi.org/10.35401/2541-9897-2024-9-2-64-71>

Введение

Огнестрельные ранения отличаются специфическими и разнообразными картинами повреждений. Если стандартная техника проведения хирургических операций применима для лечения механических ран, то обработка боевых ран, причиненных высокоэнергетическим оружием, должна базироваться на понимании механизма пулевого ранения [1, 2]. Движущийся снаряд причиняет ранение вследствие переноса на тело кинетической энергии, которая разрушает и деформирует ткани. При попадании ранящего снаряда в ткани образуется раневой канал, состоящий из трех условных зон: зона узкого канала, зона временной полости и конечного узкого канала. Во время прохождения пули в ране образуются полости, которые наблюдаются во всех пулевых ранах, независимо

от энергии ранящего агента, характера его движения, а также на всем протяжении пулевого канала. Размер и характер повреждения тканей, окружающих полость, зависит от скорости и характера движения снаряда [3–5].

В ранах, вызванных высокоэнергетическими снарядами, происходит массивное перемещение тканей во всех направлениях, образуется временная полость с диаметром, превышающим диаметр пули в 10–15 раз. Почти полный вакуум, образующийся в полости, засасывает через входное отверстие (и через выходное, если ранение сквозное) воздух, инфицированные инородные тела и бактерии. Если временная полость образуется в момент выхода пули, то выходное отверстие превышает входное в несколько раз. В диагностике огнестрельных ранений важное место

занимает выявление тяжелых внутренних повреждений в результате образования полости при прохождении высокоэнергетических снарядов при достаточно длинном раневом канале и наличии небольшого входного и выходного отверстий [3–6].

Особое внимание в лечении огнестрельных ранений направлено на изучение вопроса о «зонах огнестрельной раны»: раневой канал, зона у травматического некроза и молекулярного сотрясения [7, 8], который не утратил своей актуальности и в настоящее время. В последние годы углубленные исследования морфофункциональных изменений позволили разделить ткани зоны молекулярного сотрясения по степени расстройств жизнеспособности [7, 9]. Специфичность зоны молекулярного сотрясения заключается в выраженном полиморфизме протекающих здесь процессов. В области огнестрельной раны имеет место совершенно особый механизм некробиоза. Он связан с последствиями кавитационного повреждения клеточных и субклеточных структур, создающего экстремальные условия для вегетативных процессов на биомолекулярном уровне. Это приводит к аутокаталитическому развитию вторичного некроза при содействии протеолитических факторов, освобождающихся в гибнущих тканях. Возникновение очагов вторичного некроза при этом может наблюдаться на значительном удалении от места первичного повреждения, например, в виде так называемых «дистанционных» очагов [10].

Также ряд авторов считают, что развитие вторичного некроза в тканях огнестрельной раны обусловлено ухудшением кровоснабжения вследствие спазма либо тромбоза артериол [11, 12]. Выраженные нарушения гемодинамики имеют место в огнестрельной ране в течение суток. При этом спазм артериол сопровождается снижением числа функциональных капилляров [13]. Большинство этих изменений носит временный характер. Так, оценивая функциональное состояние по клиренсу водорода, ряд авторов пришли к выводу, что через 24 ч после огнестрельного ранения имеется тенденция к восстановлению локального кровотока в тканях зоны молекулярного сотрясения. Полное восстановление отмечается к 3-м сут. [6]. Таким образом, морфофункциональные изменения в тканях зоны молекулярного сотрясения динамичны и имеют сложную архитектуру. Учитывая всю сложность патогенеза огнестрельных повреждений, основным и наиболее рациональным методом лечения является хирургическая обработка. Первичная хирургическая обработка рассматривается в качестве основного метода лечения огнестрельных ран различной этиологии. Профилактика инфекционных осложнений достигается за счет устранения ишемии тканей вследствие травматического отека (рассечение входного и выходного отверстий, широкая фасциотомия), удаления

субстрата раневой инфекции (содержимого раневого дефекта, нежизнеспособных тканей, составляющих зону первичного некроза, а также тканей с сомнительной жизнеспособностью из зоны вторичного некроза), гемостаза, дренирования раны [14, 10]. Однако по результатам морфологических исследований можно сделать вывод о том, что значительная часть изменений в зоне молекулярного сотрясения носит обратимый характер, а сложность патогенеза, отсутствие надежных критериев оценки состояния тканей не исключает возможности оставления в ране после обработки участков с пониженной жизнеспособностью [15]. Выполнение большинства этих требований стало возможным с внедрением в хирургическую практику современных физических методов воздействия. Отмечено, что при обработке ран ультразвуком повышается активность оксидоредуктаз, участвующих в бактерицидной системе нейтрофилов [12]. Низкочастотный ультразвук в озвучиваемой среде ускоряет очищение раны за счет кавитационного разрушения клеточных элементов отделяемого и выделения лизосомальных энзимов, хемотаксических факторов, бактерицидных катионных белков. Эти факторы усиливают протеолитическую активность экссудата, стимулируют фагоцитарную и антибактериальную активность нейтрофилов [14]. Некротизированные ткани более рыхлые, содержание жидкости в них больше, чем в здоровых, поэтому они легче и быстрее подвергаются ультразвуковому разрушению. Также доказано, что благодаря низкочастотному ультразвуку усиливается проникающая способность лекарственных средств в пораженные мышцы – до 9 мм. Было доказано наличие механического, термического и химического воздействия ультразвука на микроорганизмы, приводящее к разрушению клеточных мембран, инаktivации ферментов и распаду белковых субстанций. Также в исследованиях ряда авторов отмечается, что после ультразвуковой обработки происходит освобождение микрососудов от стазов, тромбов и усиление краевого стояния с миграцией лейкоцитов в ткань. Ультразвуковое воздействие на раневую поверхность в процессе операции позволяет дифференцировать границы нежизнеспособных тканей и тем самым определить объем первичной хирургической обработки.

Материалы и методы

Все больные были разделены на две группы. 1-ю группу (основную) составили 86 человек, для лечения которых во время хирургической обработки раны применяли УЗ-кавитацию. 2-ю группу составили 90 человек, которые были оперированы без использования ультразвуковой обработки ран. Группы больных были сопоставимы между собой. Поступившие пациенты являлись как военнотружущими,

так и гражданскими лицами. Летальные исходы в работе не учитывались. Летальность во всех группах колебалась в пределах 1,9–2,0%. Причинами смерти послужили травмы, несовместимые с жизнью, необратимый шок (ожоговый, травматический, геморрагический), крайне тяжелый сепсис. Критериями включения в исследования были: возраст больных от 20 до 60 лет; наличие боевой травмы; отсутствие системной сопутствующей патологии, которая могла бы повлиять на течение раневого процесса (рак, сахарный диабет, заболевания щитовидной железы, заболевания соединительной ткани, некорректируемая сердечно-легочная недостаточность, хроническая венозная недостаточность и т. д.); непроникающие ранения мягких тканей. Критериями исключения являлись: возраст до 20 лет и старше 60 лет; здоровые люди; бытовые травмы; наличие сопутствующей системной патологии; проникающие полостные ранения. Пациенты с проникающими ранениями черепа, грудной клетки, брюшной полости получали лечение в профильных хирургических стационарах. Методология исследования была построена на основе модели «случай-контроль». Этот метод предполагает сравнение двух относительно однородных выборок, различающихся по одному параметру. В данном исследовании группы имелись отличие по наличию/отсутствию ультразвуковой кавитации ран во время хирургической обработки. В работе была предпринята попытка осмыслить полученные результаты лечения больных в разных группах, вычленив наиболее значимые факторы, влияющие на исход заболевания, длительность лечения, количество выполненных операций.

Результаты

В исследуемых группах средний возраст больных составил $39,2 \pm 2,4$ лет. Подавляющее большинство пострадавших – мужчины – 170 человек ($96,6 \pm 1,4\%$), женщины – 6 ($3,4 \pm 1,4\%$); в основной группе больных мужчин – 83 ($96,5 \pm 2,0\%$), женщин – 3 ($3,5 \pm 2,0\%$), в группе сравнения мужчин – 87 ($96,7 \pm 1,9\%$), женщин – 3 ($3,3 \pm 1,9\%$).

Наблюдалось 102 случая ($57,9 \pm 3,7\%$) осложненного течения полученной травмы. В основной группе больных отягощающие последствия травмы составили 48 случаев ($55,8 \pm 5,3\%$), в группе сравнения – 54 случая ($60,0 \pm 5,1\%$).

Ультразвуковая кавитация ран применялась по следующей методике. Для обработки ран ультразвуковое озвучивание проводили при резонансной частоте 10–15 кГц и амплитуде 140/150 мкм на волноводе около 15 мм² – мощностью от 200–1000 мВ/мм² (волновода). На аппарате есть возможность регулировки только частоты, поэтому этот параметр является ключевым для мощности УЗ-кавитации. В качестве озвучиваемой среды использовали 0,9%-й NaCl (рис. 1, 2).

Таблица 1
Структура нозологических форм по группам сравнения, в % (абс./P ± m)

Table 1
Nosological entities by groups, % (abs./P ± m)

Нозологическая единица	Основная группа, n = 86	Группа сравнения, n = 90
Изолированные огнестрельные ранения (множественные осколочные, пулевые)	16/18,6 ± 4,2	18/20,0 ± 4,2
Раны (некротические, гранулирующие)	24/27,9 ± 4,8	32/35,5 ± 5,0
Минно-взрывная травма	46/53,5 ± 5,4	50/55,5 ± 5,2

Таблица 2
Оценка тяжести состояния пациентов при поступлении

Table 2
Assessment of severity of the patients' condition at the time of admission

Тяжесть состояния	Основная группа	Группа сравнения
Удовлетворительное	18 (21,0 ± 4,4%)	20 (22,2 ± 4,4%)
Средней тяжести	42 (48,8 ± 5,4%)	45 (50,0 ± 5,3%)
Тяжелое	26 (30,2 ± 4,9%)	25 (27,8 ± 4,7%)



Рисунок 1. Боевая хирургическая травма, множественные проникающие осколочные ранения лица, открытый перелом верхней челюсти с повреждением гайморовой пазухи, обширная рваная рана нижней челюсти и шеи с обнажением кости нижней челюсти

Figure 1. Combat surgical trauma. Multiple penetrating fragment wounds to the face, open fracture of the upper jaw with damage to the maxillary sinus, extensive laceration of the lower jaw and neck with exposure of the lower jaw bone



Рисунок 2. Ультразвуковая кавитация ран
Figure 2. Ultrasonic wound cavitation



Рисунок 3. а – комбинированная кожная пластика раневого дефекта с использованием надключичного лоскута; б – состояние больного на 10-е сут. с момента операции; в – состояние пациента спустя 2 года после получения травмы
Figure 3. a) Combined skin grafting of a wound defect using a supraclavicular flap; b) patient's condition on day 10 after the surgery; c) patient's condition 2 years after the injury

В зависимости от площади раневого дефекта выполнялась пластика местными тканями, аутодермотрансплантация, использование лоскутов на осевом кровообращении, а также комбинация перечисленных методик. Пластика раневого дефекта выполнялась либо одномоментно, либо следующим этапом после проведения повторной хирургической обработки с применением метода ультразвуковой кавитации ран (рис. 3).

Пациенты 2-й группы поступали в клинику спустя 3 сут. после получения травмы. Первичная хирургическая обработка либо не выполнялась и выполнялось консервативное лечение ран, либо же выполнялась не в полном объеме на этапах эвакуации.

Для решения диагностической задачи – определения глубины поражения кожи – у пострадавших в результате огнестрельных ранений проводилось исследование состояния микроциркуляторного русла

в огнестрельной ране при помощи лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ). После регистрации ЛДФ-граммы проводилась компьютерная обработка данных, на выходе получали среднее значение потока крови (М), которое измерялось в перфузионных единицах. По данным изучения микроциркуляции получен статистически значимый рост среднего значения потока крови (показателя М) в 1,22 раза через 24–48 ч после оперативного лечения с применением УЗ-кавитации. В основной группе показатель М через сутки превышал нормальное значение ($2,36 \pm 1,12$ ПФ. ЕД.), у больных группы сравнения в эти же сроки показатель М только приблизился к показателю в точке контроля. Данный факт подтвердил, что выполнение ультразвуковой кавитации оказывает положительное влияние на восстановление микроциркуляции (рис. 4).

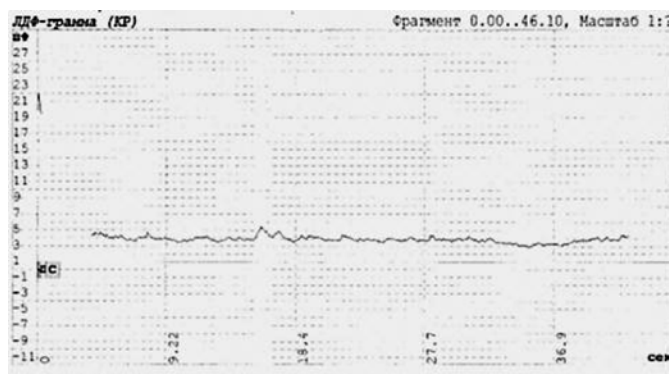


Рисунок 4. ЛДФ-грамма через 24 ч после первичной хирургической обработки, УЗ-кавитации и аутодермотрансплантации. Восстановление уровня микроциркуляции до нормальных значений, точка регистрации – латеральная лодыжка

Figure 4. Laser Doppler flowmetry 24 hours after primary surgical debridement, ultrasonic cavitation, and skin autografting. Restored normal microcirculation, the recording point is the lateral malleolus

Морфологическому исследованию подвергались биоптаты из дна и стенок раны перед оперативным лечением сразу после операции и, по возможности, на 4-е сут. после операции. У пациентов группы сравнения также контрольные биопсии были взяты на 4-е сут. Перед операцией в тканях полученных биоптатов краев раны у всех обследованных пациентов при микроскопическом исследовании наблюдалась сходная картина и в основном была представлена лейкоцитарно-некротическим детритом, идентифицированным по скоплению нейтрофилов, наличию некротически измененных пучков коллагеновых волокон, покрытых фибрином, выраженной лейкоцитарной инфильтрацией. В дне раны отмечалось наличие мелких участков некроза, мелких кровоизлияний, накопление толстого слоя фибрина с неравномерной инфильтрацией сегментоядерными лейкоцитами. В просвете капилляров, прилежащих к раневой поверхности, определялись белковые массы (фибрин). Характерной была краевая локализация лейкоцитарных инфильтратов, тогда как некротически измененные пучки коллагеновых волокон, покрытые фибрином, имели центральную локализацию в ране. В периваскулярной ткани встречались группы лимфоцитов, единичные макрофаги и плазмодиты. Сосуды микроциркуляторного русла практически отсутствовали в поверхностных слоях раны, также отсутствовали гидропические изменения основного аморфного вещества.

В основной группе больных после хирургической и ультразвуковой обработки сохранялись признаки гидропической трансформации дермы краев ран. Участков детрита не наблюдалось. Характерной была нейтрофильная инфильтрация в краях и на дне ран, где доминирующей популяцией были нейтрофилы.

Также было отмечено наличие фибробластов и плазматических клеток.

У больных группы сравнения после хирургической обработки раны наблюдалось уменьшение отека тканей. Очаги некроза стали более плотными, по-прежнему пропитаны сегментоядерными нейтрофилами и микробами. Каждый очаг некроза уменьшился в размере, был окружен широким лейкоцитарным валом. Среди лейкоцитов преобладали сегментоядерные нейтрофилы, присутствовали дистрофически измененные лейкоциты, встречались палочкоядерные нейтрофилы. В то же время наблюдалось статистически значимое уменьшение количества детрита: после ультразвуковой обработки количество детрита снизилось в 3,75 раза.

На 4-е сут. после операции биопсия краев и дна раны была повторена. У больных основной группы в препаратах отмечалось постепенное созревание грануляционной ткани, наблюдалось наличие большого количества сосудов капиллярного типа строения. Среди клеток инфильтрата увеличилось количество фибробластов, появились тонкие волокна коллагена. У больных группы сравнения среди нейтрофилов преобладали палочкоядерные, значительно уменьшилось количество дегенеративных лейкоцитов, появились единичные фибробласты. В препаратах наблюдалось много капилляров, уплощенный эпителий. Воспалительная инфильтрация в различных участках была неравномерной. Также обратило на себя внимание количество фибробластов: в основной группе количество фибробластов в 1,88 раза превысило количество фибробластов в группе сравнения.

Был проведен сравнительный анализ удельной площади грануляционной ткани по группам больных. На 4-е сут. удельная площадь грануляционной ткани в 1,7 раза в основной группе превышала удельную площадь грануляционной ткани у больных группы сравнения. При проведении морфометрических исследований были отмечены достоверные различия в основной группе больных и в группе сравнения. Это связано с формированием новой сосудистой сети, ускорением кровотока в дне и стенках раны, улучшением тканевого обмена. Подсчет количества сосудов в группе сравнения показал, что на 4-е сут. их количество в среднем составило $20,0 \pm 1,2$ у.е. В основной группе больных на 4-е сут. в основной группе пациентов количество сосудов в грануляционной ткани возросло до $31,3 \pm 2,5$ у.е. Эти данные могут свидетельствовать о повышенной пролиферативной активности эндотелия после проведения УЗ-кавитации.

Бактериологическое исследование раневого отделяемого было проведено 90 пациентам: 45 больным основной группы и 45 больным группы сравнения. Бактериологическое исследование проводилось до операции, сразу после оперативного лечения, на 4-е и 8-е сут. после операции в тех случаях, когда экссудация

из раны сохранялась. Во всех случаях исходное количество бактерий в тканях раны до хирургической обработки превышало «критическое число» и составляло 10^6 – 10^8 на 1 г ткани. У 24 больных ($26,7 \pm 4,7\%$) была высеяна монокультура, представленная золотистым стафилококком, зеленым стрептококком и эпидермальным стафилококком. У 66 больных ($73,3 \pm 4,7\%$) микрофлора была представлена микробным ассоциациями, среди которых выделяли: золотистый стафилококк и кишечную палочку, золотистый стафилококк и протей, зеленый стрептококк и кишечную палочку. Второй посев производился у раненых сразу после операции. Микробная обсемененность ран у больных основной группы существенно снизилась на 1–2 порядка (35 больных ($77,8 \pm 6,2\%$)), а у 10 больных ($22,2 \pm 6,2\%$) микробная обсемененность оказалась ниже «критического числа». У больных группы сравнения этот результат был достигнут только в 1 случае ($2,2 \pm 2,2\%$). На 4-е сут. лечения в основной группе больных у 37 пациентов ($82,2 \pm 5,7\%$) количество микробов в 1 грамме тканей снизилось ниже «критического числа», в группе сравнения этот показатель был достигнут у 13 пациентов ($28,9 \pm 6,7\%$).

Обсуждение

Большинство пострадавших поступили с минно-взрывной травмой – 96 пациентов ($54,5 \pm 3,7\%$). Изолированные огнестрельные ранения были зафиксированы у 34 раненых ($19,3 \pm 3,0\%$). Раны различной этиологии на этапах лечения были зафиксированы у 56 больных ($31,8 \pm 3,0\%$). В относительно удовлетворительном состоянии поступило 38 пациентов ($21,6 \pm 3,1\%$); наибольшее количество больных поступило в состоянии средней тяжести – 87 пациентов ($49,4 \pm 3,8\%$); в тяжелом и крайне тяжелом состоянии – 51 больной ($29,0 \pm 3,4\%$).

По данным изучения лазерной доплеровской флоуметрии получен статистически значимый рост среднего значения потока крови в $1,22$ раза через 24 – 48 ч после оперативного лечения.

После хирургической обработки раны основной пул клеточных элементов составили сегментоядерные нейтрофилы (78 – 68%). Наблюдалось уменьшение количества детрита в $3,75$ раза после ультразвуковой обработки. В основной группе больных количество фибробластов в $1,88$ раза превысило количество фибробластов в группе сравнения. На 4-е сут. удельная площадь грануляционной ткани в $1,7$ раза в основной группе превышала удельную площадь грануляционной ткани у больных группы сравнения. При морфометрическом контроле было установлено: в основной группе количество капилляров в грануляционной ткани составило $31,3 \pm 2,5$ у.е. на 4-е сут., в группе сравнения – $20,0 \pm 1,12$ у.е. Применение ультразвуковой кавитации ран способствует

подавлению раневой инфекции на 4–5-е сут. лечения: у $82,2 \pm 5,7\%$ больных количество микробов в 1 грамме тканей снизилось ниже «критического числа», в группе сравнения этот показатель был достигнут у $28,9 \pm 6,7\%$.

В основной группе больных было зафиксировано $11,6 \pm 3,4\%$ осложнений, у больных группы сравнения – $24,5 \pm 4,4\%$, $p < 0,05$. Среднее количество операций на одного человека в основной группе больных составило $1,6 \pm 0,4$, в группе сравнения – $2,8 \pm 0,5$, $p < 0,05$. Средняя длительность стационарного лечения в основной группе составила $13,5 \pm 3,4$ сут., у больных группы сравнения – $24,3 \pm 2,5$ сут., $p < 0,01$.

Заключение

Основным методом ранней специализированной хирургической помощи при боевой травме является рациональная первичная хирургическая обработка. Применение таких современных физических методов, как ультразвуковая кавитация в хирургическом лечении больных с боевой хирургической травмой позволяет не только максимально тщательно выполнить первичную хирургическую обработку, но и дает возможность выполнить ее максимально атравматично, что, учитывая тяжесть состояния больных, является важным условием в выборе способа лечения на ранних сроках после получения травмы. Также данный метод позволяет сократить вероятность возникновения ишемических осложнений и инфицирования ран, что способствует выполнению закрытия ран в ранние сроки.

Ультразвуковая кавитация в комплексном хирургическом лечении огнестрельных ран являются перспективным направлением и требует дальнейших научных исследований.

Вклад авторов

Концепция и дизайн исследования: Э.Я. Фисталь

Написание статьи: Д.С. Меркулов

Проведение статистического анализа: Д.С. Меркулов, О.В. Демчук

Исправление статьи: Э.Я. Фисталь

Утверждение окончательной версии: Э.Я. Фисталь

Author contributions

Concept and design: Fistal

Manuscript drafting: Merkulov

Statistical analysis: Merkulov, Demchuk

Manuscript revising: Fistal

Final approval of the version to be published: Fistal

Литература/References

1. Миннуллин И.П., Суровкин Д.М. *Лечение огнестрельных и взрывных ранений*. МОПСАР АВ; 2001.
Minnullin IP, Surovikin DM. *Treatment of Gunshot and Explosive Injuries*. MORSAR AV; 2001. (In Russ.).
2. Нечаев Э.А., Тутухел А.К., Грицанов А.И., Косачев И.Д. Хирургические аспекты уроков войны в Афганистане. *Военно-медицинский журнал*. 1991;(8):7–12. PMID: 1755234.

Nechaev EA, Tutokhel AK, Gritsanov AI, Kosachev ID. The surgical aspects of the lessons of the war in Afghanistan. *Voen Med Zh.* 1991;(8):7–12. (In Russ.). PMID: 1755234.

3. Бодулин В.В., Хералов А.К., Воротников А.А. Хирургические аспекты огнестрельных ранений конечностей. В: *Материалы Юбилейной научной конференции, посвященной 90-летию со дня рождения профессора М.С. Макарова*. Ставропольский государственный медицинский университет; 1998:120–123.

Bodulin VV, Kheralov AK, Vorotnikov AA. Surgical aspects of gunshot injuries to the extremities. In: *Proceedings of the Anniversary Scientific Conference Dedicated to the 90th Anniversary of the Birth of Professor M.S. Makarov*. Stavropol State Medical University; 1998:120–123. (In Russ.).

4. Богданов С.Б. *Виды кожных аутопластик. Атлас : Руководство для врачей*. ООО «КЛУБ ПЕЧАТИ»; 2018.

Bogdanov SB. *Types of Skin Autografting. Atlas : A Guide for Physicians*. ООО «КЛУБ ПЕЧАТИ»; 2018. (In Russ.).

5. Соколов Г.Е., Рязанцев В.П., Баширов Р.С. Новые аспекты патогенеза и главные направления в лечении огнестрельных ран. В: *Огнестрельная рана и раневая инфекция*. ВМедА; 1991:104–105.

Sokolovich GE, Ryazantsev VP, Bashirov RS. New aspects of pathogenesis and main directions in the treatment of gunshot wounds. In: *Gunshot Wound and Wound Infection*. VMedA; 1991:104–105. (In Russ.).

6. Фисталь Э.Я., Бассов О.И., Долгошапко О.Н., Фисталь Н.Н., Соболев Д.В. *Военно-полевая медицина (часть 1): учебное пособие*. Восточный издательский дом; 2015.

Fistal EYa, Bassov OI, Dolgoshapko ON, Fistal NN, Sobolev DV. *Battlefield Medicine (Part 1): A Textbook*. Vostochnyi izdatelskii dom; 2015. (In Russ.).

7. Нечаев Э.А., Грицанов А.И., Фомин Н.Ф., Миннуллин И.П. *Минно-взрывная травма*. Альд; 1994.

Nechaev EA, Gritsanov AI, Fomin NF, Minnullin IP. *Mine Blast Injuries*. Ald; 1994. (In Russ.).

8. Шапошников Ю.Г., Рудаков Б.Я. Актуальные вопросы хирургической обработки огнестрельных ран. *Военно-медицинский журнал*. 1983;(3):12–16.

Shaposhnikov YuG, Rudakov BYa. Current issues in the surgical treatment of gunshot wounds. *Voen Med Zh.* 1983;(3):12–16. (In Russ.).

9. Лежнев К.К. *Сравнительная оценка методов определения жизнеспособности тканей при огнестрельных повреждениях*. Автореф. дис. канд. мед. наук. Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова; 1990.

Lezhnev KK. *Sravnitel'naya otsenka metodov opredeleniya zhiznesposobnosti tkanei pri ognestrel'nykh povrezhdeniyakh*. Dissertation abstract. S.M. Kirov Military Medical Academy; 1990. (In Russ.).

10. Лисицин К.М., Шапошников Ю.Г., Рудаков Б.Я. Особенности современной раневой баллистики, определяющие характер и объем хирургической обработки раны. *Вестник Академии медицинских наук СССР*. 1979;(3):47–51. PMID: 442796.

Lisitsyn KM, Shaposhnikov IuG, Rudakov BIa. Features of current wound ballistics which determine the character and extent of surgical treatment of gunshot wounds. *Vestn Akad Med Nauk SSSR*. 1979;(3):47–51. (In Russ.). PMID: 442796.

11. Колесников И.С., Лыткин М.И., Чепчерук Г.С. Предупреждение и лечение гнойных осложнений после ранений груди. *Военно-медицинский журнал*. 1982;(12):39–41.

Kolesnikov IS, Lytkin MI, Chepcheruk GS. Prevention and treatment of purulent complications after chest wounds. *Voen Med Zh.* 1982;(12):39–41. (In Russ.).

12. Дедушкин В.С., Артемьев А.А. Всегда ли нужна хирургическая обработка огнестрельных переломов?. В: *Огнестрельная рана и раневая инфекция*. ВМедА; 1991:131–133.

Dedushkin VS, Artemyev AA. Is surgical debridement of gunshot fractures always necessary?. In: *Gunshot Wound and Wound Infection*. VMedA; 1991:131–133. (In Russ.).

13. Жианну К., Балдан М. *Военно-полевая хирургия : Работа хирургов в условиях ограниченности ресурсов во время вооруженных конфликтов и других ситуаций насилия : в 2-х т.* МККК; 2010.

Giannou C, Baldan M. *War Surgery : Working With Limited Resources in Armed Conflict and Other Situations of Violence : in 2 Volumes*. ICRC; 2010. (In Russ.).

14. Stein M, Hirshberg A. Medical consequences of terrorism. The conventional weapon threat. *Surg Clin North Am.* 1999;79(6):1537–1552. PMID: 10625992. [https://doi.org/10.1016/s0039-6109\(05\)70091-8](https://doi.org/10.1016/s0039-6109(05)70091-8)

15. Самохвалов И.М., Ляшедко П.П., Тынянкин Н.А. Хирургическое лечение огнестрельных ран. В: Под ред. А.Н. Бельских, И.М. Самохвалов. *Указания по военно-полевой хирургии*. Министерство обороны Российской Федерации; 2013:42–51.

Samokhvalov IM, Lyashedko PP, Tynyankin NA. Surgical treatment of gunshot wounds. In: Belskikh AN, Samokhvalov IM, eds. *Instructions for Battlefield Surgery*. Ministry of Defense of the Russian Federation; 2013:42–51. (In Russ.).

Сведения об авторах

Меркулов Данил Сергеевич, врач – пластический хирург, руководитель многопрофильного медицинского центра, ООО «ЮНА Эстетик» (Донецк, Россия). <https://orcid.org/0009-0003-8881-6871>

Фисталь Эмиль Яковлевич, д. м. н., профессор кафедры термических повреждений и пластической хирургии, Донецкий национальный медицинский университет им. М. Горького; врач пластический хирург, президент, Институт неотложной и восстановительной хирургии им. В.К. Гусака (Донецк, Россия). <https://orcid.org/0009-0005-4052-7848>

Демчук Владислав Олегович, врач – пластический хирург, ассистент кафедры скорой медицинской помощи, Донецкий национальный медицинский университет им. М. Горького (Донецк, Россия). <https://orcid.org/0009-0001-0621-2106>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Author credentials

Danil S. Merkulov, Plastic Surgeon, Head of the Multidisciplinary Medical Center, “YuNA Estetik” LLC (Donetsk, Russian Federation). <https://orcid.org/0009-0003-8881-6871>

Emil Ya. Fistal, Dr. Sci. (Med.), Professor at the Department of Thermal Injuries and Plastic Surgery, M. Gorky Donetsk National Medical University; Plastic Surgeon, President, V.K. Gusak Institute of Emergency and Reconstructive Surgery (Donetsk, Russian Federation). <https://orcid.org/0009-0005-4052-7848>

Vladislav O. Demchuk, Plastic Surgeon, Assistant Professor at the Department of Emergency Medicine, M. Gorky Donetsk National Medical University (Donetsk, Russian Federation). <https://orcid.org/0009-0001-0621-2106>

Conflict of interest: none declared.