

DOI: <https://doi.org/10.17816/brmma642642>

EDN: JCSBMQ



Экспериментальная оценка эффективности противошоковой терапии комбинированного механо-термического поражения тяжелой степени

В.Н. Цыган¹, Е.В. Ивченко¹, Н.К. Соколов¹, Е.В. Зиновьев^{1, 2, 3}¹ Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия;² Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия;³ Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт скорой помощи имени И.И. Джанелидзе, Санкт-Петербург, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Современную боевую хирургическую травму характеризует комбинированное воздействие различных поражающих факторов. Нередко это приводит к одновременному развитию в организме нескольких критических состояний, например, ожоговой болезни, синдрому длительного сдавления и т. д. Перекрестное взаимодействие цепей патогенеза каждого из них способствует возникновению синдрома взаимного отягощения и, как следствие, повышению вероятности неблагоприятного исхода травмы. Актуальность исследований, направленных на изучение механизмов развития данных состояний и разработку возможных патогенетических путей коррекции изменений гомеостаза, не вызывает сомнений.

Цель — оценить эффективность противошоковой терапии при сочетании синдрома длительного сдавления и ожоговой болезни в эксперименте.

Материалы и методы. Исследование выполнено на 360 крысах массой 240–250 г, которым моделировали синдром длительного сдавления тканей и глубокие ожоги кожи. В ходе работы анализировали показатель летальности в зависимости от объема и состава противошоковой терапии. Обработку материалов проводили общепринятыми методами вариационной статистики. Альтернативную гипотезу принимали при $p < 0,05$.

Результаты. Установлено, что при сочетании синдрома длительного сдавления и ожоговой болезни объем вводимых растворов должен быть увеличен на 40%. С учетом этого общепринятая формула Паркланда была модифицирована следующим образом: $V=6,5 \times S \times M$. При изучении различных схем противошоковой терапии наибольшую эффективность продемонстрировало совместное применение кристаллоидных и коллоидных растворов в соотношении 40 и 60% соответственно. При этом летальность составила 28,9%, что в 2,4 раза ($p < 0,05$) и в 2,6 раза ($p < 0,05$) больше по сравнению с изолированным применением 0,9% раствора натрия хлорида и 10% раствора альбумина. Доказана высокая эффективность субстратных антигипоксантов при лечении механо-термического шока. Их введение позволило снизить показатель летальности до 30,4%, что в 2,2 раза ($p < 0,05$) меньше относительно результатов использования физиологического раствора. У применения анальгетиков и антиоксидантов не было достоверного влияния на выживаемость животных.

Заключение. Проведенное исследование свидетельствует о перспективности применения метаболических (субстратных) антигипоксантов при противошоковой терапии у пострадавших с синдромом длительного сдавления и ожоговой болезнью. Для данного направления исследований необходимы дальнейшее развитие и углубленное изучение.

Ключевые слова: ожоги кожи; синдром длительного сдавления; шок; интенсивная терапия; гипоксия; ишемия; антигипоксанты; антиоксиданты.

Как цитировать

Цыган В.Н., Ивченко Е.В., Соколов Н.К., Зиновьев Е.В. Экспериментальная оценка эффективности противошоковой терапии комбинированного механо-термического поражения тяжелой степени // Вестник Российской военно-медицинской академии. 2025. Т. 27, № 2. С. 221–228. DOI: 10.17816/brmma642642 EDN: JCSBMQ

DOI: <https://doi.org/10.17816/brmma642642>

EDN: JCSBMQ

Experimental Evaluation of the Effectiveness of Antishock Therapy for Severe Combined Mechanical and Thermal Injury

Vasiliy N. Tsygan, Evgeniy V. Ivchenko¹, Nikolay K. Sokolov¹, Evgeniy V. Zinoviev^{1, 2, 3}¹ Kirov Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia;² Saint Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, Russia;³ Saint Petersburg I.I. Dzhanelidze research institute of emergency medicine, Saint Petersburg, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Modern combat-related surgical trauma is characterized by the combined impact of multiple detrimental factors. This often leads to the simultaneous development of several critical conditions in the body, such as burn disease and crush syndrome. The cross-interaction of these pathogenetic pathways contributes to the development of mutual aggravation syndrome, thereby increasing the likelihood of an unfavorable trauma outcome. Research into the mechanisms of these conditions and the development of pathogenetically justified approaches to correcting these homeostatic disturbances remains highly relevant.

AIM: To evaluate the effectiveness of antishock therapy in a combined experimental model of crush syndrome and burn disease.

METHODS: The study was performed using 360 rats weighing 240–250 g, in which both crush syndrome and deep skin burns were induced. Mortality rates were analyzed depending on the volume and composition of the antishock therapy delivered. Data processing was performed using the standard methods for variation statistics. The alternative hypothesis was accepted at $p < 0.05$.

RESULTS: It was found that in the combined model of crush syndrome and burn disease, the volume of infused fluids should be increased by 40%. Based on this result, the standard Parkland formula was modified to $V = 6,5 \times S \times M$. Among the evaluated antishock therapy regimens, the combination of crystalloid and colloid solutions in a 40:60 ratio exhibited the highest efficacy. The mortality rate in this group was 28.9%, which was 2.4 ($p < 0.05$) and 2.6 ($p < 0.05$) times lower than that with 0.9% sodium chloride solution and 10% albumin solution, respectively. The high effectiveness of the substrate-based antihypoxants for the treatment of mechanical and thermal shock was demonstrated. Their administration reduced the mortality rate to 30.4%, which was 2.2 times ($p < 0.05$) lower than the results observed when normal saline was administered. The use of analgesics and antioxidants did not significantly influence the animals' survival rate.

CONCLUSION: The results of this study indicate the potential use of metabolic (substrate-based) antihypoxants in antishock therapy for patients with combined crush syndrome and burn disease. This research direction requires further development and in-depth investigation..

Keywords: skin burns; crush syndrome; shock; intensive care; hypoxia; ischemia; antihypoxants; antioxidants.

To cite this article

Tsygan VN, Ivchenko EV, Sokolov NK, Zinoviev EV. Experimental Evaluation of the Effectiveness of Antishock Therapy for Severe Combined Mechanical and Thermal Injury. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy*. 2025;27(2):221–228. DOI: 10.17816/brmma642642 EDN: JCSBMQ

ОБОСНОВАНИЕ

Минно-взрывные поражения и ранения до 80-х годов XX в. не выносили в отдельную группу боевой травмы. Однако вступление человечества в эпоху локальных вооруженных конфликтов способствовало изменению качественного состава санитарных потерь. Пулевые ранения уступили место поражениям боеприпасов взрывного действия [1]. На фоне совершенствования артиллерийского, ракетного и барражирующего (дроны, беспилотники) вооружения количество пострадавших с минно-взрывными ранениями, сопровождающимися механо-термическими повреждениями, продолжает неуклонно расти. Это требует от медицинской службы Министерства обороны Российской Федерации переосмысления подходов и тактик к оказанию медицинской помощи военнослужащим [2].

Применение боеприпасов взрывного, в том числе кумулятивного, действия при поражении живой силы, фортификационных сооружений или техники переводит вектор травм в сторону механо-термических поражений [3]. Обширные ожоговые повреждения кожного покрова приводят к развитию ожоговой болезни. Основные звенья патогенеза данного состояния в первые часы после травмы — болевой синдром и психоэмоциональный стресс, приводящие к активному выбросу гормонов гипоталамо-гипофиза вазопрессина, окситоцина и адренкортикотропина. Последние обеспечивают нарастание явлений ацидоза и гипоксии тканей в связи с повышением общего периферического сопротивления сосудов, централизации кровообращения и нарушению функций внешнего дыхания [4]. Наибольшее значение в процессе нарушения гомеостаза организма на фоне обширных ожоговых поражений принадлежит гиповолемии. Повышение проницаемости сосудов вследствие воздействия аминов, кининовой системы, эйкозаноидов и др., изменение онкотического давления в микрососудах и интерстиции обеспечивает активный выход жидкости в ткани из сосудистого русла. Эти процессы также характерны и для обширных механических повреждений, в том числе на фоне краш-синдрома. Длительное отсутствие перфузии поврежденных участков способствует их ишемии и накоплению токсических продуктов деградации клеток, формируя порочные круги патогенеза [5]. Это обуславливает необходимость раннего начала противошоковой терапии, отсутствие которой приводит к необратимым изменениям тканей с последующим летальным исходом организма [6]. Оба данных состояния критические [7].

В экспериментальной работе В.А. Золотухиной и соавт. [8] было продемонстрировано, что даже при ожоге кожного покрова крысы в области холки площадью 4 см² к 10-м суткам наблюдения погибло 80% животных. Их сочетание способствует развитию синдрома взаимного отягощения и, как следствие, повышению вероятного неблагоприятного исхода. Основным способом лечения при этом — ранняя противошоковая терапия, основанная

на внутривенном введении значительных объемов кристаллоидных и коллоидных растворов [9]. Реперфузия тканей, в первую очередь, направлена на компенсацию их гипоксии. При этом в арсенале специалистов остается ряд перспективных препаратов, например, метаболических (субстратных) антигипоксантов и антиоксидантов, которых зачастую не применяют. В связи с чем работы по изучению схем противошоковой терапии ожоговой болезни и синдрома длительного сдавления в сочетании с указанными группами лекарственных средств относят к актуальным задачам военной медицины.

Цель исследования — оценить эффективность противошоковой терапии при сочетании синдрома длительного сдавления тканей и ожоговой болезни в эксперименте.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование выполнено на 360 крысах массой 240–250 г на кафедре патологической физиологии Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова и в научно-исследовательской лаборатории экспериментальной хирургии Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета в 2020–2021 гг. Крыс получали в питомнике лабораторных животных Рапполово Ленинградской области и выдерживали в карантине на протяжении 2 нед. Животных содержали на базе вивария этих же учреждений, отвечающих всем требованиям ГОСТ 33215-2014¹ и ГОСТ 33216-2014². Вывод из эксперимента осуществлялся на 7-е сутки наблюдения с использованием процедуры, соответствующей п. 6.11 ГОСТ 33215-2014 и рекомендациями Европейской комиссии по эвтаназии экспериментальных животных³. Это внутривенное введение 1 мл лидокаина под общей анестезией. Утилизацию биологического материала выполняли по стандартным нормативам утилизации отходов класса «Б».

Рандомизацию осуществляли по массе тела особи. Все животные в зависимости от поставленных задач были разделены на 28 равных групп. Первые 6 групп по 11 грызунов в каждой использовали для оценки влияния площади ожоговых ран (10, 20, 30, 40, 50 и 60 см²) на летальность животных. Вторые 9 групп по 11 грызунов в каждой использовали для оценки влияния объема вводимого 0,9% раствора натрия хлорида (0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 и 40 мл) также на летальность животных. Третьи 13 групп по 15 особей в каждой использовались

¹ Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. М.: Стандартинформ, 2016. 20 с.

² Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила содержания и ухода за лабораторными грызунами и кроликами. М.: Стандартинформ, 2016. 17 с.

³ Директива 2010/63/ЕС Европейского парламента и Совета от 22 сентября 2010 г. о защите животных, используемых для научных целей // Официальный журнал Европейского Союза. L 276/33 от 20.10.2010.



Рис. 1. Кожа крысы после воспроизведения ожога III степени.

для оценки эффективности схем интенсивной терапии (0 (контрольная группа — без лечения); 0,9% раствор натрия хлорида (NaCl); 0,9% раствор NaCl + 10% раствор альбумина (80:20); 0,9% раствор NaCl + 10% раствор альбумина (60:40%); 0,9% раствор NaCl + 10% раствор альбумина (40:60); 0,9% раствор NaCl + 10% раствор альбумина (20:80); 10% раствор альбумина; Ремаксол®; Мафусол®; раствор полиоксифумарина; 0,9% раствор NaCl + раствор супероксиддисмутазы; 0,9% раствор NaCl + 2% раствор ксилазина; раствор полиоксифумарина + раствор супероксиддисмутазы + 2% раствор ксилазина) при лечении механо-термического шока.

Краш-синдром моделировали под общей анестезией путем давления на мягкие ткани бедра на площади 5 см² металлическими тисками с силой 8–10 кг/см² в течение 4 ч [10]. Далее по собственной, оригинальной методике⁴, на площади 10, 20, 30, 40, 50 и 60 см² воспроизводили глубокие ожоги кожи III степени. Перед моделированием ожоговой раны выполняли депиляцию кожного покрова спины животного подогретым до 36°C раствором сернистого натрия. Далее на выбранную область наносили асбестовый трафарет, площадь которого рассчитывали по формуле М. Лее [11]:

$$S=12,54 \times M \times 0,66,$$

где S — поверхность тела, см²; M — масса тела, кг.

Ожог наносили световым излучением лампы «КДБ-22» (мощностью 500 Вт), расположенной на расстоянии 2,5 см от кожи животного в течение 20 с при температуре 85–90°C. Контроль последней осуществляли датчиком электротермопары мультиметра. Оценку глубины поражения проводили визуально с оценкой сосудистой реакции. При внешнем осмотре в области ожога отмечали белесый цвет дермы с выраженным отеком тканей и четкой границей с интактными кожными покровами. Сосудистую реакцию определяли путем давления на раневую поверхность

до формирования «белого пятна». Его возникновение свидетельствует о спазме микроциркуляторного русла. При поверхностных поражениях прекращение воздействия приводит к расширению артериол и капилляров, быстрому восстановлению микроциркуляции и, как следствие, артериальной гиперемии. Замедление процесса заполнения микроциркуляторного русла, которое проявляется длительным сохранением «белого пятна», свидетельствует о пограничном ожоге кожи. Отсутствие сосудистой реакции — критерий глубокого поражения (рис. 1).

Общее обезболивание животных перед моделированием травмы проводили с помощью внутримышечного введения в область бедра 2% раствора ксилазина в дозировке 0,1 мл на 100 г массы тела крысы. Анестезию поддерживали путем ингаляции паров эфира. Противошоковую терапию осуществляли путем инфузии кристаллоидных и коллоидных растворов, антигипоксантов, антиоксидантов. Иглу вводили внутрибрюшинно через парентеральный доступ в области бедра. Объем растворов рассчитывали по формуле Паркланда [12]:

$$V=4 \times M \times \%,$$

где V — объем инфузии, мл; M — масса тела животного, кг; % — площадь ожога, абс. ед.

В ходе наблюдения с учетом выбранного состава противошоковой терапии оценивали летальность (%). Продолжительность исследования составила 7 сут.

Статистическую обработку полученных данных осуществляли с помощью компьютерных программ MS Excel и SPSS Statistics 17.0. Работу с базами данных проводили по общепринятым методам вариационной статистики в 3 этапа: разработка модели исследования, составление плана и его реализация, сбор материала. Количественные показатели оценивали с использованием непараметрического U -критерия Манна–Уитни (попарное сравнение), H -критерия Краскела–Уоллиса для исключения проблемы множественных попарных сравнений, а частотные показатели — с помощью критерия Пирсона (χ^2 -тест). Альтернативную гипотезу принимали при уровне значимости $p < 0,05$.

⁴ Рационализаторское предложение №14287/1 от 19.01.2016 г. Методика воспроизведения ожогов кожи III степени в эксперименте / Е.В. Зиновьев. Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова. 2016 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Исследование летальности крыс в период реперфузии тканей после моделирования синдрома длительного сдавления и нанесения глубокого ожога без проводимой противошоковой терапии представлено на рис. 2.

Установлено, что критическая площадь ожога кожи для крыс составляет 30 см². При этом отмечена гибель всех грызунов, а их средняя продолжительность жизни составляла 64,3±10,7 ч. Увеличение ожоговой поверхности кожи до 60 см² и более также характеризовалось 100% летальностью. Указанные значения не изменялись, несмотря на проводимую инфузионную терапию, в то время как введение 0,9% раствора натрия хлорида в объеме, рассчитанном по формуле Паркланда, грызунам с площадью ожога кожи, равной 30 см², повышало их выживаемость на 19%. Это стало основанием выбора модели 30 см² глубоких ожогов кожи для дальнейшего изучения эффективности предлагаемых схем противошоковой терапии.

Результаты эффективности инфузионного введения различных объемов 0,9% раствора натрия хлорида в качестве противошоковой терапии представлены на рис. 3.

Данные, представленные на рис. 3, свидетельствуют о том, что противошоковая терапия в объеме 25 мл 0,9% раствора натрия хлорида способствовала достижению

минимальной летальности животных (68,2%) в период реперфузии тканей после моделирования синдрома длительного сдавления и нанесения глубоких ожогов кожи на площади 30 см². Уменьшение вводимого раствора до 20 мл или его увеличение до 30 мл способствовало изменению анализируемого показателя до 76,7 и 82,1 соответственно. Таким образом, наибольшая выживаемость животных отмечена при расчете объема 0,9% раствора натрия хлорида по модифицированной формуле Паркланда (мл) $V=6,5 \times M \times \%$, что на 39% больше относительно ее классического представления.

Летальность животных в период реперфузии тканей после моделирования синдрома длительного сдавления и 30 см² глубокого ожога кожи с учетом противошоковой терапии, включающей 0,9% раствора натрия хлорида и 10% раствора альбумина в различных объемах, представлена на рис. 4.

Согласно результатам исследования, приведенным на рис. 4, можно сделать вывод о том, что инфузия 0,9% раствора NaCl в комбинации с 10% раствором альбумина в соотношении 40:60 в объеме, рассчитанном по формуле Паркланда + 40% от рассчитанного объема, способствует достижению минимального показателя летальности среди мелких лабораторных животных — 28,9%. Изолированное введение физиологического раствора и 10% раствора альбумина приводило к повышению частоты летальных

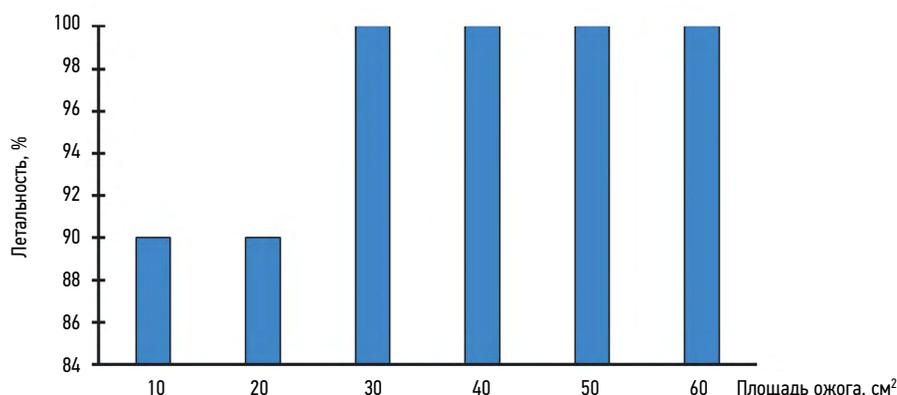


Рис. 2. Летальность животных в период реперфузии тканей после моделирования синдрома длительного сдавления и нанесения ожога кожи с учетом площади глубоких поражений.

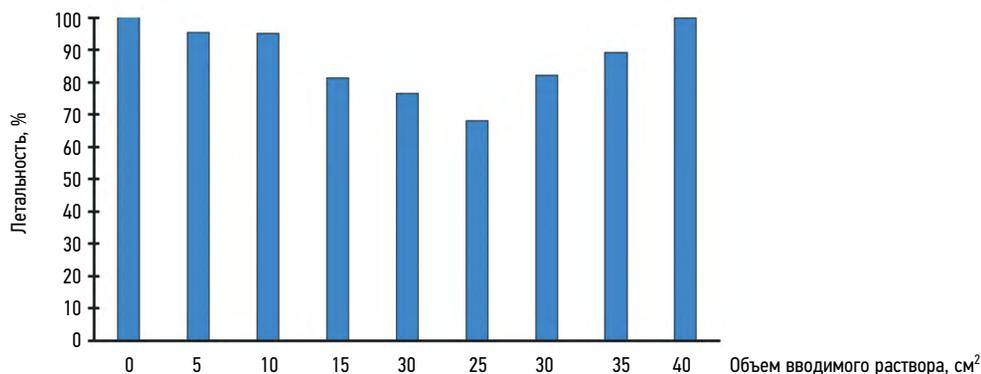


Рис. 3. Летальность крыс в период реперфузии тканей после моделирования синдрома длительного сдавления и нанесения ожога кожи на площади 30 см² с учетом объема инфузии 0,9% раствора натрия хлорида.

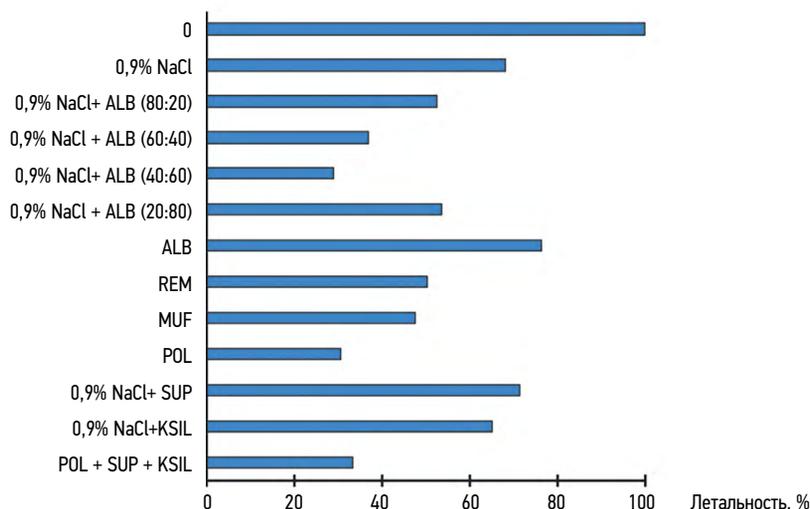


Рис. 4. Летальность крыс в период реперфузии тканей после моделирования синдрома длительного сдавления и нанесения ожога кожи на площади 30 см² с учетом состава инфузионной терапии, рассчитанной по формуле Паркланда + 40% от рассчитанного объема: 0 — контрольная группа (без лечения); NaCl — 0,9% раствор натрия хлорида; ALB — 10% раствор альбумина; REM — Ремаксол®; MUF — Мафусол®; POL — раствор полиоксифумарина; SUP — раствор супероксиддисмутазы; KSIL — 2% раствор ксилазина.

исходов среди грызунов в 2,4 раза ($p < 0,05$) и 2,6 раза ($p < 0,05$) соответственно.

Продемонстрировано, что введение субстратных антигипоксантов также способствовало повышению выживаемости экспериментальных животных. Наибольшей эффективностью среди данной группы лекарственных средств обладал полиоксифумарин. Его инфузия животным с комбинированным поражением приводила к снижению летальности в 2,2 раза ($p < 0,05$) по сравнению с изолированным применением физиологического раствора. При введении Мафусола® и Ремаксолола® анализируемый показатель соответствовал 47,6 и 50,2 %, что также оказалось в 1,4 раза ($p < 0,05$) и в 1,2 раза ($p < 0,05$) меньше результатов использования 0,9 % раствора NaCl (68,2%).

Доказано, что эффективность применения 0,9% раствора NaCl и раствора супероксиддисмутазы была практически сопоставимой с изолированным введением физиологического раствора — летальность 71,3 и 68,2% соответственно. Статистически значимых различий в выживаемости животных между группами, которым вводили 0,9% раствор NaCl+раствор ксилазин и 0,9% раствор NaCl, не отмечено.

Таким образом, наиболее эффективные схемы лечения животных с ожоговым шоком и синдромом длительного сдавления — это 0,9% раствор NaCl + 10% раствор альбумина (40:60), раствор полиоксифумарина, а также сочетание растворов полиоксифумарина, супероксиддисмутазы и ксилазина. Летальность при этом составила 28,9; 30,4 и 33,2% соответственно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что исход тяжелого механо-ожогового шока имеет прямую корреляцию с объемом и составом инфузионной терапии. Расчет объема по общепринятой

методике Паркланда недостаточен и требует его увеличения не менее чем на 40%. С учетом полученных данных классическая формула Паркланда была модифицирована следующим образом: $V=6,5 \times M \times \%$. Это позволило добиться минимальной летальности животных — 68,2%, что на 31,8% меньше ($p < 0,05$) относительно контрольной группы. Важен и состав протившоковой терапии. Основными его компонентами должны быть кристаллоидные и коллоидные растворы в соотношении 40:60%. При этом можно достичь статистически значимого снижения частоты летальных исходов у лабораторных животных до 28,2%. При изолированном введении каждой из указанных выше схем инфузий погибало как минимум 7 из 10 грызунов.

Данные проведенного настоящего исследования обосновывают необходимость дополнения состава протившоковой терапии метаболическими (субстратными) препаратами антигипоксантного действия. Показано, что введение раствора полиоксифумарина в период реперфузии тканей практически в 2 раза снижает летальность крыс — 30,4%. При этом положительного эффекта от использования препаратов антиоксидантного действия не отмечено, а летальность соответствовала 71,3%, что на 3,1% больше ($p > 0,05$) изолированной инфузии аналогичного объема физиологического раствора. Отмечено также отсутствие влияния на частоту гибели грызунов дополнительного введения анальгетиков. Анализируемый показатель был сопоставим с применением 0,9% раствора NaCl — 65,1 и 68,2% ($p > 0,05$) соответственно.

Взаимодействие цепей патогенеза обширных ожоговых повреждений и синдрома длительного сдавления существенно влияет на исход травмы. При этом основная роль отведена гипоксии и ишемии тканей. Проведенное

исследование свидетельствует о перспективности применения метаболических (субстратных) антигипоксантов при оказании помощи пострадавшим с механо-термическим шоком. Однако имеющейся теоретической базы недостаточно для обоснования необходимости их включения в состав противошоковой терапии. Для данного направления исследований необходимо дальнейшее углубленное изучение.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. В.Н. Цыган — разработка общей концепции, дизайн исследования, написание статьи; Е.В. Ивченко — дизайн исследования, внесение окончательной правки; Н.К. Соколов — сбор и обработка материалов, анализ данных, написание статьи; Е.В. Зиновьев — разработка общей концепции, дизайн исследования, написание статьи. Авторы одобрили версию для публикации, а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой ее части.

Этическая экспертиза. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова (протокол № 221 от 23.04.2019).

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Оригинальность. При создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные).

Доступ к данным. Все данные, полученные в настоящем исследовании, доступны в статье.

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовались.

Рассмотрение и рецензирование. Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали два внутренних рецензента.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution: V.N. Tsygan: development of a general concept, research design, writing an article; E.V. Ivchenko: research design, making final edits; N.K. Sokolov: collection and processing of materials, data analysis, writing an article; E.V. Zinoviev: development of a general concept, research design, writing an article. The authors have approved the version for publication and have also agreed to be responsible for all aspects of the work, ensuring that issues relating to the accuracy and integrity of any part of it are properly considered and addressed.

Ethics approval. The study was approved by the local Ethical Committee of the Kirov Military Medical Academy (Protocol No. № 221 from 23.04.2019).

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Disclosure of interests. The authors have no relationships, activities or interests for the last three years 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) to create this paper.

Data availability statement. All the data obtained in this study is available in the article.

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

Provenance and peer review. This work was submitted to the journal on its own initiative and reviewed according to the usual procedure. Two internal reviewers participated in the review.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Mikhin AA, Churashov SV, Kulikov AN, Nikolaev SN. Modern combat eye trauma. Structure, features and treatment outcomes. *Bulletin of the N.I. Pirogov National Medical and Surgical Center*. 2021;16(1):132–134. doi: 10.25881/BPNMSC.2021.61.84.025 EDN: GGPYBQ
2. Nechaev EA, Minnullin IP, Fomin NF. Blast injuries – global issue facing humanity. *Disaster Medicine*. 2010;(2):34–36. EDN: MLIJA
3. Tsema EV, Bepalenko AA, Dinets AV, et al. Study of damaging factors of modern warfare leading to limb loss. *Military field surgery*. 2018;26(3): 321–331. doi: 10.18484/2305-0047.2018.3.321
4. Avazov AA, Sattorov AKh, Zhumanov HA, et al. Pathogenesis, clinical picture, principles of treatment of burn shock. *Bulletin of science and education*. 2021;(3-1):99–102. (In Russ.)
5. Kabartieva YuA, Mollaeva AM. Literature review: Immunopathogenesis of crush syndrome. *Modern science: current problems of theory and practice. Series: Natural and technical sciences*. 2021;(3):270–272. doi: 10.37882/2223-2966.2021.03.16 EDN: UNRVHB
6. Spiridonova TG, Zhirkova EA. Etiology and pathogenesis of burn anemia. The role of blood transfusion in the treatment of burns. *N.V. Sklifosovsky Journal «Emergency Medical Care»*. 2018;7(3):244–252. doi: 10.23934/2223-9022-2018-7-3-244-252 EDN: VJYQTA
7. Magomedov KK, Emirbekov EZ, Bakuev MM, Shakhbanov RK. Influence of perfortan on antioxidant enzymes in the blood of rats during prolonged compression syndrome. *Fundamental research*. 2013;(10-4):781–784. EDN: RCHQIJ
8. Zolotukhina VA, Bezruk EL. Clinical characteristics of burn disease in rats in an experiment. *Problems of modern agricultural science*. 2021;(1):115. (In Russ.)
9. Mikhailenko BS, Shevchenko AA, Istin AA. First and pre-hospital aid for crush syndrome. *Clinical and morphological aspects of fundamental and applied medical research*. 2022;1:63–66. (In Russ.)
10. Kochetygov NI. *On the methods of reproducing thermal burns in an experiment*. Leningrad: Kirov Military Medical Academy; 1964. 38 p. (In Russ.)
11. Ardasheva EI. *Application of perfluorane for the prevention of complications and treatment of compression injury of soft tissues of extremities* [dissertation]. Kemerovo: Kemer State Medical University; 2002. 23 p. (In Russ.)
12. Medical professional non-profit organization "All-Russian public organization "Association of combustologists "World without burns". *Clinical recommendations. Thermal and chemical burns. Sunburns. Burns of the respiratory tract (burn injuries, electrical injuries, inhalation): clinical recommendations*. Moscow: Ministry of Health of the Russian Federation; 2024. 133 p. (In Russ.)

ОБ АВТОРАХ

***Соколов Николай Константинович**, внешний соискатель;
адрес: Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебеде-
ва, д. 6Ж; ORCID: 0009-0006-1627-5414; e-mail: vmeda-nio@mil.ru

Цыган Василий Николаевич, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0003-1199-0911; eLibrary SPIN: 7215-6206

Ивченко Евгений Викторович, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0001-5582-1111; eLibrary SPIN: 5228-1527

Зиновьев Евгений Владимирович, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0002-2493-5498; eLibrary SPIN: 4069-2346

AUTORS INFO

***Nikolay K. Sokolov**, external applicant; address: 6Zh, Akademika
Lebedeva st., Saint Petersburg, 194044, Russia;
ORCID: 0009-0006-1627-5414; e-mail: vmeda-nio@mil.ru

Vasiliy N. Tsygan, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;
ORCID: 0000-0003-1199-0911; eLibrary SPIN: 7215-6206

Evgeniy V. Ivchenko, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;
ORCID: 0000-0001-5582-1111; eLibrary SPIN: 5228-1527

Evgeniy V. Zinoviev, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;
ORCID: 0000-0002-2493-5498; eLibrary SPIN: 4069-2346

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author