

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ МИННО-ОСКОЛОЧНО-НАПРАВЛЕННОГО ДЕЙСТВИЯ ТРАВМЫ МЯГКИХ ТКАНЕЙ И ОРГАНОВ МАЛОГО ТАЗА У ЛАБОРАТОРНЫХ ЖИВОТНЫХ

## EXPERIMENTAL SUBSTANTIATION OF MODELING OF MINE AND SHRAPNEL DIRECTED TRAUMA OF SOFT TISSUES AND PELVIC ORGANS IN LABORATORY ANIMALS

**S. Kapralov  
M. Polidanov  
R. Petrunkin  
A. Kashikhin  
K. Volkov  
V. Maslyakov**

*Summary.* The aim of the study is to experimentally substantiate a new method of modeling the mine-axillary action of soft tissue and pelvic organ trauma in laboratory animals. *Materials and Methods.* The studies were carried out on 20 female laboratory rats of «Standard» breed weighing  $200 \pm 50$  g. *Results of the study.* It was found out that the mine-shrapnel injuries received with the use of the developed method in all experimental animals were identical by the nature and severity of soft tissue injuries, their localization, shape, area and depth. In each laboratory animal there was a complete rupture of the uterine wall with its separation from the ligaments and from the aponeurosis of Denon-Willier, limiting the vagina from the rectum. Morphologic evaluation performed during the experiment allowed to establish that the edges of the rupture were uneven, with signs of smearing and hemorrhage. In the surrounding tissue there was pronounced acute inflammation with many bacillary leukocytes and observed foci of coagulation necrosis. *Conclusions.* Thus, the obtained experimental data confirm that the developed method provides obtaining of reproducible model of mine- and fragmentation-directed trauma action, will allow to use it for modeling of lesions corresponding to mine- and fragmentation-directed trauma action (by shock wave and damage by impacting fragments) of soft tissues and pelvic organs in rats.

**Keywords:** mortar fragmentation injury, strikeball grenade, experimental modeling, female rats.

**Капралов Сергей Владимирович**

Доктор медицинских наук, доцент,  
Саратовский государственный медицинский  
университет им. В.И. Разумовского  
sergejkapralov@yandex.ru

**Полиданов Максим Андреевич**

специалист научно-исследовательского отдела,  
Университет «Реавиз», г. Санкт-Петербург  
maksim.polidanoff@yandex.ru

**Петрунькин Родион Павлович**

Университет «Реавиз», г. Санкт-Петербург

**Кашихин Андрей Андреевич**

Университет «Реавиз», г. Санкт-Петербург

**Волков Кирилл Андреевич**

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский  
университет им. В.И. Разумовского»

**Масляков Владимир Владимирович**

Доктор медицинских наук, профессор,  
Саратовский государственный медицинский  
университет им. В.И. Разумовского;  
Доктор медицинских наук, профессор,  
Медицинский университет «Реавиз»  
maslyakov@inbox.ru

**Аннотация.** Цель исследования — экспериментально обосновать новый способ моделирования минно-осколочно-направленного действия травмы мягких тканей и органов малого таза у лабораторных животных. **Материалы и методы.** Исследования проводились на 20 лабораторных крысах-самках породы «Стандарт» массой  $200 \pm 50$  г. **Результаты исследования.** Было установлено, что минно-осколочно-направленного действия травмы, полученные с использованием разработанного способа, у всех подопытных животных были идентичны по характеру и степени тяжести повреждений мягких тканей, их локализации, форме, площади и глубине. У каждого лабораторного животного произошел полный разрыв стенок матки с отделением ее от связок и от апоневроза Денон-Виллье, ограничивающего влагалище от прямой кишки. Проведенная в ходе эксперимента морфологическая оценка позволила установить, что края разрыва неровные, с признаками разможенности и кровоизлияния. В окружающей ткани выраженное острое воспаление с большим количеством палочкоядерных лейкоцитов и наблюдающимися очагами коагуляционного некроза. **Выводы.** Таким образом, полученные экспериментальные данные подтверждают, что разработанный способ обеспечивает получение воспроизводимой модели минно-осколочно-направленного действия травмы, позволит использовать ее для моделирования поражений, соответствующих минно-осколочно-направленного действия травмы (ударной волной и повреждения поражающими осколками) мягких тканей и органов малого таза у крыс.

**Ключевые слова:** минно-осколочно-направленного действия травма, страйкбольная граната, экспериментальное моделирование, самки-крысы.

## Введение

**М**оделирование минно-осколочно-направленного действия травм (МОНТ) в эксперименте на лабораторных животных, является необходимым условием для разработки новых, а также усовершенствования существующих способов лечения МОНТ. Однако наиболее существенным недостатком имеющихся моделей МОНТ является их труднодоступность, что обусловлено тем, что для их воспроизведения необходимы использование специальных средств в условиях военного полигона [1], электродетонаторов [2], гранат или самодельных взрывных устройств на основе пластида [3] и специальные разрешения. Кроме того, существующие способы, как правило, предполагают использование крупных экспериментальных животных (свиньи, собаки). Все указанное значительно суживает область их применения в экспериментальной медицине.

Известен способ моделирования минно-взрывного ранения [2]. Согласно способу ранения наносят электродетонатором ЭДП-р, создающим взрывную газовую струю, вызывающую повреждения кожи и мышц задней поверхности бедра у крыс. Электродетонатор устанавливают на расстоянии 11 см от места поражения, используя полиуретановый блок. Входное повреждение составляет  $10 \pm 2$  мм, раневой канал —  $18 \pm 3$  мм. Взрыв вызывает разрушение мягких тканей, кровотечение и общий коммоционно-контузионный синдром. При правильном расположении удаётся избежать переломов костей.

К недостаткам указанного способа моделирования, предусматривающего проведение взрывных работ, относятся не только необходимость его реализации в условиях специального полигона, получение особого разрешения, но и высокая трудоемкость подготовительных работ.

Из уровня техники известен способ моделирования [4]. Минно-взрывную травму наносят с помощью строительно-монтажных пистолетов «СМП-3М» калибром 12 мм и «ПЦ-84» калибром 6,8 мм без поршня. В ствол СМП размещают пыж в виде бумажной салфетки со стальными осколками размером  $3-5 \times 1,5$  мм общей массой 0,2 г. Это позволяет обеспечить воздействие направленной ударной волны с вторичными ранящими агентами и имитировать взрыв.

Однако данный способ требует нескольких вмешательств, что увеличивает срок моделирования. К тому же для реализации способа требуется применение специально-разработанной стойки, состоящей из металлической пластины и закрепленного на ней диска с углублением под прижимную часть.

Известно нанесение огнестрельных ран, произведенных снарядами ручного огнестрельного оружия,

и ран, произведенных в результате подрыва снарядами артиллерийского оружия. Ручное оружие заряжается пулями различных систем, и характер ранения находится в чрезвычайно большой зависимости от системы пули [5]. Пулевая рана похожа на колотую и ушибленную рану, но имеет характерные особенности. Вокруг входного отверстия огнестрельной раны присутствуют следы ожога и импрегнация частицами пороха. Сквозная огнестрельная рана имеет два отверстия — входное и выходное, а пуля может пробить тело насквозь или остаться в глубине тканей, в последнем случае рана называется слепой. Выходное отверстие всегда больше входного, нередко с разорванными вывороченными краями. Величина выходного отверстия в значительной мере зависит и от мышечной массы, через которую проходит снаряд (чем больше масса, тем большая сопротивляемость тканей боковому удару пули, тем больший разрыв тканей), и от характера (структуры) поражаемой ткани. Иногда выходных отверстий два или больше, что зависит от дробления пули на два или несколько кусков, из которых каждый может дать свое отверстие.

Однако механизм огнестрельного повреждения следует строго разграничивать. В то время как пули современного оружия обладают строго определенными баллистическими свойствами (форма, род движения, живая сила, масса) и при прочих равных условиях вызывают одинаковые по интенсивности повреждения; баллистические свойства осколков непостоянны, вследствие чего действие их на ткани варьирует в широких пределах.

Наиболее близким к заявляемому является способ моделирования взрывной травмы мягких тканей конечности с переломом бедренной кости [6], включающий нанесение травмы на предварительно выстриженную поверхность бедра находящегося под наркозом мелкого лабораторного животного — крысы. Травму наносят за счет организации взрыва путем подрыва взрывного заряда, в качестве которого используют пиротехническое изделие бытового назначения — обыкновенную терочную петарду Корсар-2, которую устанавливают в бедре крысы в непосредственной близости от кости — на расстоянии 0,5–0,8 см от нее, в канале длиной 2,0–2,5 см, сформированном в области расположения полусухожильной, полуперепончатой и двуглавой мышц бедра, через линейный разрез кожи длиной 0,8–1,0 см, выполненный в средней трети латеральной поверхности бедра крысы параллельно длиннику бедренной кости, для чего тупым способом, с помощью зажима, минимально травмируя ткани, раздвигают кожу и расслаивают мышцы бедра. Петарду Корсар-2 устанавливают таким образом, чтобы ее часть от места запала выступала на 2 см над поверхностью кожи, а оставшаяся часть располагалась в сформированном канале и частично, а именно на 0,3–1,0 см, выступала из контрапертуры на противоположной поверхности бедра. Для модели-

рования изолированной взрывной травмы мягких тканей конечности с переломом бедренной кости используют крыс с массой тела  $320 \pm 30$  г.

Однако данный способ требует проведения нескольких оперативных вмешательств, подбора взрывчатых элементов, что увеличивает срок моделирования.

В связи с вышеперечисленным, цель исследования: экспериментально обосновать новый способ моделирования минно-осколочно-направленного действия травмы мягких тканей и органов малого таза у лабораторных животных.

### Материалы и методы исследования

Исследования проводились на 20 лабораторных крысах-самках породы «Стандарт» массой  $200 \pm 50$  г. Все манипуляции и содержание животных было регламентировано локальным этическим комитетом Медицинского университета «Реавиз» (протокол № 10, 10.10.2024). Условия содержания в виварии лабораторных животных регламентированы РД-АПК 3.10.07.02-09 «Методические рекомендации по содержанию лабораторных животных в вивариях научно-исследовательских институтов и учебных заведений», приказом Министерства здравоохранения Российской Федерации от 01.04.2016 г. № 199н «Об утверждении правил надлежащей лабораторной практики», ГОСТ 33216-2014 «Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила содержания и ухода за лабораторными грызунами и кроликами» (актуализированным от 01.01.2021).

### Результаты и их обсуждение

Способ осуществляется следующим образом. По стандартной методике проводили общую анестезию лабораторных животных за 30 минут до начала реализации заявляемого способа. Затем на области промежности лабораторного животного выстригали шерсть, оставляя шерстяной покров высотой не более 1–2 мм. МОНТ моделировали с помощью страйкбольной гранаты М67 RS (СГ) (рис. 1), выпускающей в качестве условно-поражающего элемента пластиковые шары диаметром 2 мм, выполняющие роль осколочных снарядов, содержащиеся внутри корпуса СГ.

Условная мощность взрыва составляет до 0,5 граммов пороха. Корпус СГ выполнен из пластика. Диаметр гранаты 6,35 см, длина по запалу 9,2–9,25 см, масса около 115 ( $\pm 5-10$ ) граммов. Радиус поражения осколками гранаты 15 метров, радиус возможного поражения 25 метров. Производство ООО «Страйком» (г. Москва, Россия).

Для моделирования МОНТ, лабораторное животное размещают в закрытом пространстве, в контейнере

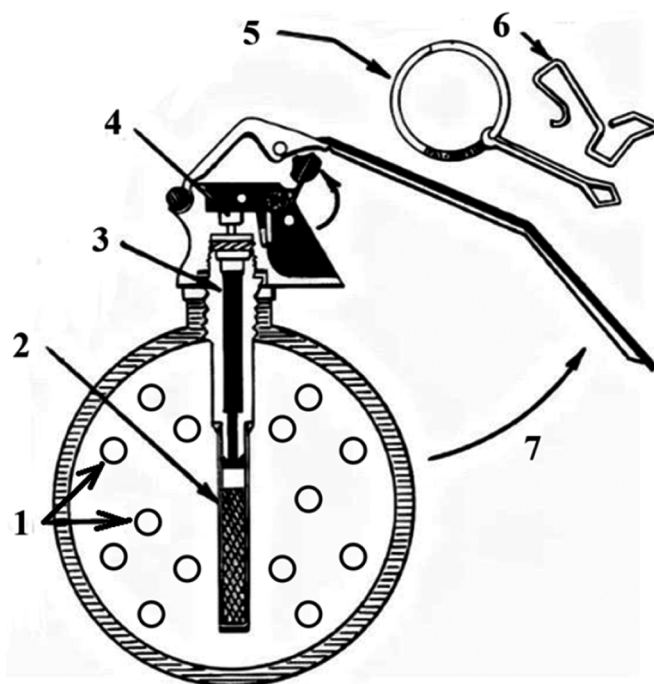


Рис. 1. Модель страйкбольной гранаты М67 RS

Примечание: Позициями на рисунке обозначены: 1 — поражающие элементы (шары) в корпусе страйкбольной гранаты; 2 — детонационная часть, состоящая из порошкового магния и перхлората калия; 3 — запал; 4 — корпус запала; 5 — предохранительная скоба; 6 — усики предохранительной скобы; 7 — спусковой рычаг

(оцинкованном баке с закрывающейся крышкой, диаметром 51 см, объемом 100 л) лежа на спине с разведенными и фиксированными задними лапами. Лапы фиксируют таким образом, чтобы участок промежности, подлежащий травматизации, находился на уровне разлета и ricocheta поражающих элементов в виде пластиковых шаров диаметром 2 мм, выполняющих роль осколочных снарядов, содержащихся внутри корпуса СГ на расстоянии  $\pm 50$  см. Пусковое устройство ориентируют по вектору действия на промежность. Для приведения устройства в рабочее положение СГ фиксировали к внутренней части бака. Отворачивали усики предохранительной скобы, устанавливали на ней шнур для извлечения предохранительной скобы и срабатывания детонационной части СГ, состоящей из порошкового магния и перхлората калия. Находясь в безопасном месте, на расстоянии 2 м от оцинкованного бака тянули за шнур для извлечения предохранительной скобы устройства, тем самым отпустив спусковой рычаг, приведший в действие запал, находящийся в корпусе.

После детонации проводили макроскопическую оценку поражения путем осмотра наружной поверхности области промежности: края множественных мелких ран были неровными, в связи с чем сопоставить края ран не представлялось возможным (дефект «минус-

ткань» по М.И. Райскому). После проведения наружного осмотра места поражения проводили рассечение мягких тканей таким образом, чтобы плоскость сечения была перпендикулярна поверхности кожи и проходила через центр области травмы. В ходе препарирования тканей, было установлено, что множественные входные отверстия продолжались слепым раневым каналом глубиной около 1/3 толщи мышечно-фасциального слоя. Дефект мышечно-фасциального слоя отличался звездчатой формой и соответствовал размеру кожного дефекта. В множестве раневых каналах были обнаружены поражающие элементы, образовавшиеся при разлете поражающих элементов взрывного устройства и участок миометрия с осколочно-рваным дефектом стенки матки и отделением её от связок и от апоневроза Денон-Виллье, ограничивающего влагалище от прямой кишки. Таким образом, использование СГ, выпускающих в качестве условно-поражающего элемента пластиковые шары диаметром 2 мм, выполняющих роль осколочных снарядов, содержащихся внутри корпуса СГ, условной мощностью до 0,5 грамм пороха, радиусом поражения осколками гранаты 15 метров, позволяет получить множественные мелко-осколочные ранения, формирующиеся в результате детонирования порохового заряда, состоящего из порошкового магния и перхлората калия детонационной части устройства, разлета поражающих элементов, рикошета части поражающих элементов о стенки оцинкованного бака, которые являются в данном случае травмирующими агентами.

Проведенная в дальнейшем морфологическая оценка позволила установить, что края разрыва неровные, с признаками размозженности и кровоизлияния. В окружающей ткани выраженное острое воспаление с большим количеством палочкоядерных лейкоцитов с наблюдающимися очагами коагуляционного некроза (рис. 2).

Кроме того, было установлено, что МОНТ, полученные с использованием разработанного способа, у всех подопытных животных были идентичны по характеру и степени тяжести повреждений мягких тканей, их локализации, форме, площади и глубине. У каждого лабораторного животного произошел полный разрыв стенок матки с отделением ее от связок и от апоневроза

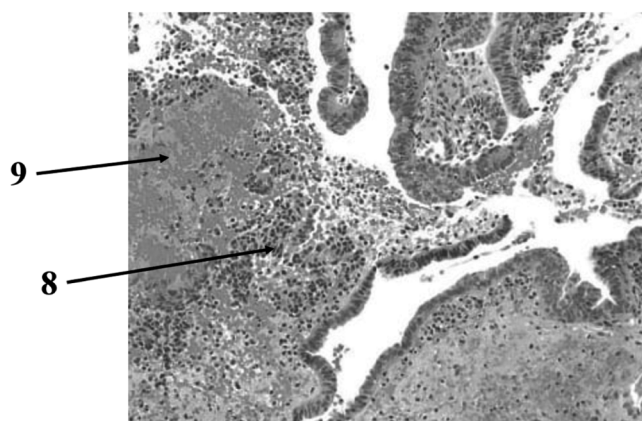


Рис. 2. Результаты микроскопического исследования области таза лабораторных животных

*Примечание:* Позициями на рисунке обозначены: 8 — палочкоядерные лейкоциты; 9 — очаги коагуляционного некроза.

Денон-Виллье, ограничивающего влагалище от прямой кишки.

Характеристики полученной МОНТ у каждого лабораторного животного, в том числе размеры раны кожи и подкожно-жировой клетчатки (ПЖК), размеры мышечных ран и фасций, глубина ран, были фиксированы, а их средние значения в группе (М) и стандартные отклонения (m) представлены в таблице 1.

### Заключение

Таким образом, полученные экспериментальные данные подтверждают, что разработанный способ позволяет получать у мелких лабораторных животных (крыс) МОНТ мягких тканей, в виде неровных, с мелкими надрывами ран кожи, подкожно-жировой клетчатки, фасций и мышц с повреждениями органов малого таза, в виде полного разрыва стенок матки с отделением ее от связок и от апоневроза Денон-Виллье, ограничивающего влагалище от прямой кишки, т.е. идентичных по характеру и степени тяжести, локализации, форме, площади и глубине у всех экспериментальных животных, что весьма актуально в настоящее время и определяет перспективы его широкого использования в исследовательских целях [7].

Таблица 1.

Размеров площади ран у лабораторных животных, полученных в результате моделирования МОНТ ( $M \pm m$ )

| Номер животного | Характеристика взрывной травмы области промежности |                               |                               |                               |                 |
|-----------------|----------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|
|                 | Размеры ран кожи и подкожно-жировой клетчатки      | Площадь раны, см <sup>2</sup> | Размеры мышечных ран и фасций | Площадь раны, см <sup>2</sup> | Глубина ран, см |
| 1               | 5,0±0,5                                            | 6,2±0,5                       | 0,8±0,5                       | 6,2±0,5                       | 1,9±0,5         |
| 2               | 4,8±0,5                                            | 5,8±0,5                       | 1,1±0,5                       | 5,9±0,5                       | 1,8±0,5         |
| 3               | 4,9±0,5                                            | 5,9±0,5                       | 1,2±0,5                       | 6,1±0,5                       | 1,7±0,5         |
| 4               | 5,2±0,5                                            | 6,1±0,5                       | 1,3±0,5                       | 6,0±0,5                       | 2,0±0,5         |
| 5               | 4,8±0,5                                            | 6,0±0,5                       | 1,3±0,5                       | 5,8±0,5                       | 1,8±0,5         |
| 6               | 4,7±0,5                                            | 5,8±0,5                       | 1,0±0,5                       | 5,9±0,5                       | 1,9±0,5         |
| 7               | 4,9±0,5                                            | 5,9±0,5                       | 0,9±0,5                       | 5,9±0,5                       | 1,9±0,5         |
| 8               | 4,8±0,5                                            | 6,0±0,5                       | 0,8±0,5                       | 6,1±0,5                       | 1,8±0,5         |
| 9               | 5,0±0,5                                            | 6,2±0,5                       | 1,1±0,5                       | 6,0±0,5                       | 1,9±0,5         |
| 10              | 5,1±0,5                                            | 5,8±0,5                       | 1,2±0,5                       | 5,8±0,5                       | 1,8±0,5         |
| 11              | 5,0±0,5                                            | 5,9±0,5                       | 1,3±0,5                       | 5,9±0,5                       | 1,7±0,5         |
| 12              | 4,8±0,5                                            | 6,1±0,5                       | 1,3±0,5                       | 6,2±0,5                       | 2,0±0,5         |
| 13              | 4,9±0,5                                            | 6,0±0,5                       | 1,0±0,5                       | 5,9±0,5                       | 1,8±0,5         |
| 14              | 5,2±0,5                                            | 5,8±0,5                       | 0,8±0,5                       | 6,1±0,5                       | 1,9±0,5         |
| 15              | 4,8±0,5                                            | 5,9±0,5                       | 1,2±0,5                       | 6,0±0,5                       | 1,8±0,5         |
| 16              | 4,7±0,5                                            | 6,0±0,5                       | 0,8±0,5                       | 6,2±0,5                       | 1,9±0,5         |
| 17              | 4,9±0,5                                            | 5,9±0,5                       | 1,1±0,5                       | 5,9±0,5                       | 1,8±0,5         |
| 18              | 4,8±0,5                                            | 6,1±0,5                       | 1,2±0,5                       | 6,1±0,5                       | 1,7±0,5         |
| 19              | 5,0±0,5                                            | 6,0±0,5                       | 1,1±0,5                       | 6,0±0,5                       | 2,0±0,5         |
| 20              | 5,1±0,5                                            | 5,8±0,5                       | 1,3±0,5                       | 5,8±0,5                       | 1,8±0,5         |

## ЛИТЕРАТУРА

1. Соловьев И.А., Титов Р.В., Шперлинг И.А. и др., Особенности взрывной травмы при использовании отдельных видов средств индивидуальной бронезащиты. Вестник Российской Военно-медицинской академии. 2015; 3 (51): 128–132.
2. Венгерович Н.Г., Шперлинг И.А., Юркевич Ю.В. и др., Морфологическая характеристика посттравматической регенерации скелетных мышц при экспериментальной взрывной травме. Бюллетень сибирской медицины. 2015; 14 (4): 17–24.
3. Mykhailusov R.N., Negoduiko V.V., Prikhodko Yu.V. Biological layer design of fire wounds of soft tissues. Eksperimentalna i klinichna meditsyna. 2016; 4: 144–147.
4. Чиж Н.А., Ковалев Г.А., Белочкина И.В., Михайлова И.П. Модель минно-взрывной травмы. Клиническая хирургия. 2019; 86 (1): 61–64.
5. Бабушкин В.А., Рыхлов А.С. Общая хирургия. Ветеринария. 2016; 71–80.
6. Патент РФ на изобретение № 2748384, МПК А61В5/00, опубл. 25.05.2021. Шперлинг И.А., Шперлинг Н.В., Шулепов А.В., Романов П.А., Крупин А.В., Заргарова Н.И., Шперлинг М.И., Юркевич Ю.В., Серебряков В.А., Арутюнян А.А. Способ моделирования взрывной травмы мягких тканей конечности с переломом бедренной кости.
7. Заявка на патент РФ на изобретение № 2024138938 от 23.12.2024. Полиданов М.А., Капралов С.В., Кашихин А.А., Волков К.А., Петрунькин Р.П., Юанов А.А., Масляков В.В., Греков В.В., Сафронов Д.В., Амиров Э.В., Данилов А.Д., Пригородов М.В., Емельянова И.П., Щербакова Н.С. Способ моделирования минно-осколочно-направленного действия травмы мягких тканей и органов малого таза у лабораторных животных.

© Капралов Сергей Владимирович (sergejkapralov@yandex.ru); Полиданов Максим Андреевич (maksim.polidanoff@yandex.ru);

Петрунькин Родион Павлович; Кашихин Андрей Андреевич; Волков Кирилл Андреевич; Масляков Владимир Владимирович (maslyakov@inbox.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»