

СТАНДАРТИЗИРОВАННАЯ ВОСПРОИЗВОДИМАЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ОГНЕСТРЕЛЬНОЙ ОТКРЫТОЙ ТРАВМЫ ГЛАЗА ТИПА С

Кольбин А.А.*¹, Чурашов С.В.¹, Куликов А.Н.¹, Шамрей Д.В.¹,
Трояновский Р.Л.¹, Мальцев Д.С.¹, Качерович П.А.¹, Суетов А.А.²

¹ ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова»,
Санкт-Петербург

² ФГБУ «Государственный научно-исследовательский институт
военной медицины», Санкт-Петербург

DOI: 10.25881/BPNMSC.2021.63.36.023

Резюме. На кафедре офтальмологии им. профессора В.В. Волкова ВМедА несколько лет проводится работа по созданию модели огнестрельной открытой травмы глаза (ООТГ), которая бы позволила глубже изучить особенности патологического процесса при таком виде боевого повреждения и могла бы стать основой для оценки и сравнения различных методов лечения в зависимости от объема хирургического лечения и времени его выполнения.

Цель: разработка экспериментальной стандартизированной модели огнестрельной открытой травмы глаза типа С (с внутриглазным инородным телом), выполненной с использованием помпового оружия.

Методы: Эксперимент выполнен в ВМедА им. С.М. Кирова на кафедре офтальмологии им. профессора В.В. Волкова. Использованы: помповая винтовка Crosman 2100, набор снарядов диаметром 4,5 мм, хронограф HLF-2 (рамочного типа), видеокамера Phantom Miro M 310, аналитические весы. Отработка предварительных параметров модели выполнялась на пластилиновом блоке, промежуточных — на головах кроликов-кадаверов, окончательных — на живых кроликах. По результатам видеозаписей серий эксперимента и вскрытия удаленного глазного яблока проанализированы терминальная баллистика и вид полученной травмы.

Результаты. Нами создана стандартизированная (воспроизводимая в 90%) модель огнестрельной ОТГ (ООТГ) типа С (с внутриглазным инородным телом), которая по своим свойствам характеристикам аналогична огнестрельному поражению.

Ключевые слова: помповая винтовка, стандартизированная воспроизводимая экспериментальная модель, огнестрельная открытая травма глаза, раневая баллистика.

Обоснование

Последствия глазной травмы являются одной из главных причин необратимой слепоты и инвалидности по зрению во всём мире [1–3]. Профилактика глазного травматизма в мирное время регламентируется законодательно, но несмотря на это частота ОТГ мирного времени по данным разных авторов, составляет от 44 до 54,1% [1; 2].

Массовый источник огнестрельной ОТГ (ООТГ) — это боевые действия, но и в мирное время эта травма не является редкостью [4].

Хотя большая часть «не боевой» ОТГ связана с бытовыми условиями, доля спортивной, производственной также не уменьшается. Чаще страдают дети и мужчины трудоспособного возраста [1–4].

Ввиду непрерывного совершенствования современного огнестрельного оружия и в силу его энергетических особенностей ООТГ часто является сочетанной [5], поэтому требует, наряду с использованием современных микрохирургических технологий привлечения смежных

STANDARDIZED EXPERIMENTAL MODEL OF GUNSHOT OPEN GLOBE INJURY TYPE C

Kol'bin A.A.*¹, Churashov S.V.¹, Kulikov A.N.¹, Shamrej D.V.¹, Troyanovskij R.L.¹,
Mal'cev D.S.¹, Kacherovich P.A.¹, Suetov A.A.²

¹ S.M. Kirov Military medical academy, St. Petersburg

² State Research Institute of Military Medicine, St. Petersburg

Abstract. At the V.V. Volkov Ophthalmology Department of the S.M. Kirov Military Medical Academy for several years, work has been carried out to create a model of gunshot open globe injury, which would allow a deeper study of the features of the pathological process in this type of combat damage and could become the basis for evaluating and comparing various methods of treatment depending on the volume of surgical treatment and the time of its implementation.

Aim: the purpose of the research is to development experimental standardized model of gunshot open globe injury type C (with an intraocular foreign body) inflicted with a pump-action weapon.

Materials and methods: The experiment was performed at the V.V. Volkov Ophthalmology Department of the S.M. Kirov Military Medical Academy. The used tools: Crosman 2100 pump-action rifle, a number of bullets with a diameter of 4.5mm, HLF-2 chronograph (frame type), Phantom Miro M 310 video camera, analytical scales. The preliminary parameters were checked on the plasticine block, intermediate parameters — on the heads of cadaver rabbits and final — on live rabbits. The results of video recorded models and autopsy of the removed eyeball helped to examine terminal ballistics and the type of injury.

Keywords: pump-action weapon, standardized experimental model, gunshot open globe injury, wound ballistics.

специалистов. Сроки выздоровления увеличиваются в связи с длительной реабилитацией пострадавших. Всё вышесказанное определяет высокие финансовые затраты на лечение.

Необходимо отметить ряд тактических вопросов оказания хирургической помощи при ООТГ, которые остаются нерешёнными до настоящего времени. Прежде всего это сроки и объём первичной хирургической обработки (ПХО), витреоретинальной оптикореconstructивной хирургии, показания к выполнению кругового пломбирования и многое другое [6; 7].

На эти вопросы могут дать ответ результаты многоцентровых клинических ретроспективных исследований. Но отобрать однородный по структуре, сопоставимый для сравнения клинический материал при ОТГ, а тем более при ООТГ — сложная задача. Дополнительным источником информации могут стать экспериментальные исследования по моделированию травмы глаза. Для этого используются тематические модели, моделирование *in vitro* и *in vivo* [8].

* e-mail: kolba81@yandex.ru

Для экспериментального исследования, в котором можно сформировать большую по численности выборку клинически однородных случаев, необходимо применить метод моделирования *in vivo* на животных. Для регистрации наносимой животному травмы глаза необходимо использование высокоскоростной съёмки [9].

На кафедре офтальмологии им. профессора В.В. Волкова ВМедА несколько лет проводится работа по созданию модели ООТГ, которая бы позволила глубже изучить особенности патологического процесса при таком виде боевого повреждения и могла бы стать основой для оценки и сравнения различных методов лечения в зависимости от объема хирургического лечения и времени его выполнения.

Цель исследования. Разработка экспериментальной стандартизированной модели ООТГ типа С (с внутриглазным инородным телом), выполненной с использованием помпового оружия.

Материалы и методы

Работа выполнена на кафедре офтальмологии им. профессора В.В. Волкова ВМедА. Применялось помповое нарезное ружьё (Crosman 2100), энергетические характеристики снаряда напрямую зависели от давления в мультимодальном (за счёт изменения числа компрессий) насосе. Известная масса и измеряемая скорость снаряда позволяли рассчитать энергетические характеристики моделируемой ООТГ. Скорость полета снаряда измерялась с использованием оптического рамочного хронографа (HLF-2). Использовались стандартные снаряды для пневматической винтовки. Съёмка модели осуществлялась посредством высокоскоростной камеры (Miro M 310) со скоростью 10 000 кадров в секунду. Перед началом эксперимента подопытным животным выполнялась сочетанная анестезия. Глазное яблоко вывихивалось из глазницы и фиксировалось общепринятым методом. Перед выстрелом обеспечивали («кадаверная модель») и контролировали («кадаверная модель» и живые кролики) нормальный уровень внутриглазного давления (ВГД). Нормотензия достигалась варьированием отверстия в перчаточной резинке, в которое вывихивалось глазное яблоко и ретробульбарным введением растворов. ВГД контролировалось по Маклакову и пальпаторно.

Предварительно пристрелка проводилась на бруске пластилина, далее отработывались параметры на кроликах-кадаверах и окончательно — на живых кроликах.

Выбор животных для эксперимента был обусловлен не только простотой в уходе и отсутствием у них агрессии, но и схожестью структур глаза кролика и человека.

Расчет дульной (начальной кинетической) энергии пули, при известных массе и скорости снаряда выполнен по формуле:

$$E_{кин} = \frac{mV^2}{2};$$

где: $E_{кин}$ — кинетическая энергия, m — масса снаряда, V — скорость полёта снаряда.

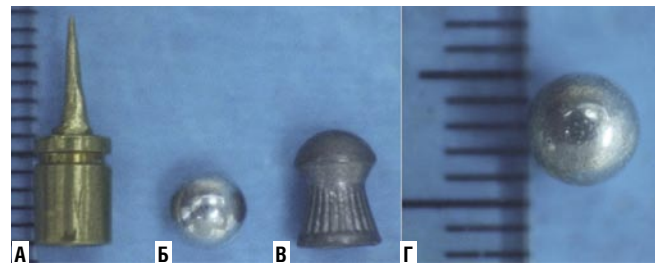


Рис. 1. Снаряды, использованные в 1-й серии экспериментов.

Выполнено три серии экспериментов.

В первой серии экспериментов предварительно проведена пристрелка и юстировка лазерного указателя целика. Было использовано расстояние 0,3–1 м с шагом 0,1 м, накачка помпового насоса составила 8–12 компрессий с шагом в 2 компрессии. Цель — блок пластилина. Оценивали расстояние, при котором отклонение от цели было наименьшим.

Далее серия состояла из трёх групп экспериментов, которые отличались по ранящему снаряду

- «Дротик» 0,61 г (Рис. 1А);
- омеднённые стальные шарики массой 0,34 г (Рис. 1Б, Г);
- «Gamo Hunter» (свинец) массой 0,49 г (Рис. 1В).

Изучали траекторию полёта (по видеозаписям) и конечный результат (тип травмы).

Для продолжения работы в качестве ранящего снаряда отобран стальной шарик.

По данным литературы [11] кинетическая энергия снаряда при моделировании ООТГ типа С составляет 5 Дж. При известных кинетической энергии (5 Дж) и массе (0,34 г) — скорость снаряда равна 171,5 м/с.

Затем в первой серии экспериментов выполнили расчёт кинетической энергии стального шарика в зависимости от скорости полёта. Использовали фиксированное количество накачек: 6, 8, 10 и 12 (группы I, II, III и IV, соответственно). Анализировали результаты 25 выстрелов.

Вторая серия экспериментов была направлена на отработку модели ООТГ С на 9 головах (18 глаз) кроликов-кадаверов. Головы животных хранились в холодильнике при температуре +4 °С не более суток до начала эксперимента с момента декапитации. Выстрел наносился в зону II в 1–3 мм от лимба, перпендикулярно поверхности глаза. После моделирования травмы входное отверстие осматривалось, при необходимости зондировалось.

Серия сгруппирована по количеству накачек. Произведено четыре группы экспериментов по 5 глаз (5 выстрелов) в каждой. Использовали фиксированное количество накачек: 6, 8, 10 и 12 (группы 1, 2, 3 и 4, соответственно).

В результате — 8 накачек поршневого насоса явились оптимальными.

В третьей серии экспериментов отработана модель ООТГ типа С на 5 живых кроликах (10 глаз). Используются параметры, полученные в 1-й и 2-й сериях экспериментов

(расстояние — 0,3 м; снаряд — стальной шарик; количество накачек поршневого насоса — 8 компрессий).

По видеозаписям детально изучалась раневая баллистика модулируемой травмы.

В работе использовали международную классификацию травмы глаза 1996 г. — Birmingham Eye Trauma terminology (BETT) [10].

Исследование выполнялось в соответствии с «Правилами проведения работ с использованием экспериментальных животных» (Приложение к приказу Министерства здравоохранения СССР от 12.08.1977 г. №755).

Результаты

При пристрелке в первой группе экспериментов выверена дистанция, при которой пуля не давала кручения. Достигнуто совпадение лазера прицела и цели на расстоянии 0,3 м.

По результатам 1–3 серий: снаряды «Дротик» и «Gamo Hunter» были выведены из эксперимента. Анализ видеоизображений показал: ось ранящего снаряда не всегда совпадает с траекторией выстрела (Рис. 2). Отсутствие геометрической симметрии создавало предпосылки и для изменения линейности движения в тканях. Это наносило дополнительную непрогнозируемую травму и, следовательно, нарушало воспроизводимость конечного результата эксперимента.

Напротив, стальной шарик создавал самую высокую кучность, при этом даже при кручении снаряда и неоднородности сред вероятность отклонения от траектории у него была минимальной.

Таким образом, для моделирования ООТГ типа С стальной шарик оказался оптимальным.

По результатам I–IV серий: при 6, 8, 10 и 12 накачках насоса винтовки определены скорость и кинетическая энергия искомого снаряда (табл. 1).

Эти параметры имеют строгую зависимость от количества накачек поршневого насоса винтовки. Так, в I группе при 6 накачках скорость снаряда колебалась от 43 до 55,2 Дж, а его кинетическая энергия — от 0,31 до 0,52 м/с.

Во II группе при 8 накачках скорость колебалась от 65,8 до 79,3 Дж, а кинетическая энергия — от 0,73 до 1,07 м/с.

В III группе при 10 накачках скорость колебалась от 87 до 150 Дж, а кинетическая энергия — от 1,29 до 3,83 м/с.

В IV группе при 12 накачках скорость колебалась от 171,4 до 205 Дж, а кинетическая энергия — от 4,99 до 7,14 м/с.

По результатам 4-х серий 2-й группы экспериментов определены: скорость снаряда (65,8–79,3 м/с) и количество накачек насоса винтовки (8 компрессий), необходимых для моделирования ООТГ типа С (табл. 1 и 2).

Табл. 1. Результаты замеров скоростей и расчет кинетической энергии ранящего снаряда (1-я группа экспериментов)

Серия	Кол-во накачек	Снаряд	Масса (м, кг)	Диапазон скорости (Уср.), м/с	Екин., Дж				
I	6	Стальной шарик	0,00034	43	0,31				
				48	0,39				
				50,1	0,43				
				54,4	0,5				
				55	0,51				
				55,2	0,52				
				II	8			65,8	0,73
								70	0,83
								70,3	0,84
								73,8	0,93
75,5	0,97								
77,5	1,02								
79,3	1,07								
III	10							87	1,29
								89	1,35
								95,8	1,6
				100	1,7				
				102,1	1,77				
				120,2	2,46				
				150	3,83				
				IV	12			171,4	4,99
								179,2	5,46
								187,5	5,98
192	6,27								
205	7,14								

Табл. 2. Результаты 2-й группы экспериментов

Серия	Кол-во накачек поршневого насоса	Снаряд	Выполнено выстрелов	Результат ранения
1	6	Стальной шарик	5	ЗТГ типа А (80%)
2	8	омеднённый шарик	5	ОТГ типа С (с ВГИТ) (100%)
3	10		5	ОТГ типа D (инородное тело в глазнице) (100%)
4	12		5	ОТГ типа D (инородное тело в полости черепа) (80%)

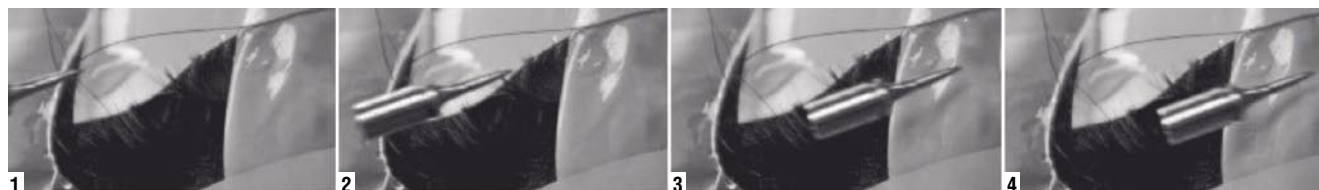


Рис. 2. Стоп-кадры (1–4), демонстрирующие отклонение оси снаряда «Дротик» от траектории полёта.

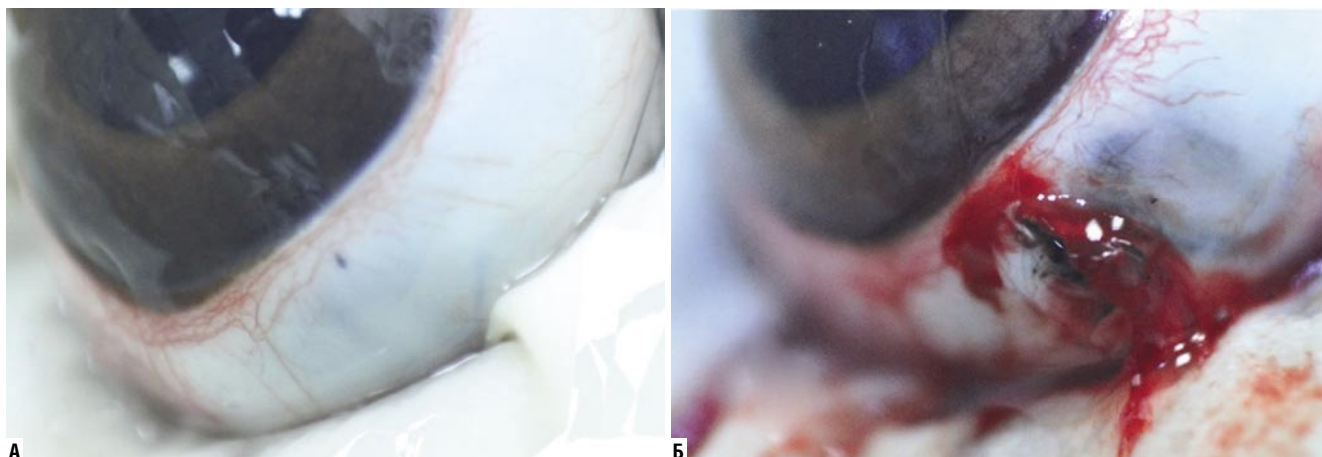


Рис. 3. Глаз животного до моделирования ООТГ типа С (А) и после (Б).

На глазах кроликов-кадаверов в 1-й группе, использовали 6 накачек, в 80% случаев была получена закрытая травма глаза (ЗТГ) типа А.

Во 2-й группе (8 накачек), в 100% случаев — ОТГ типа С (с ВГИТ).

В 3-й группе (10 накачек), в 100% случаев — ОТГ типа D (инородное тело в глазнице).

В 4-й группе (12 накачек), в 80% случаев — ОТГ типа D (инородное тело в полости черепа).

Третья группа экспериментов.

Используя рассчитанный снаряд (стальной шарик) и количество накачек (8 компрессий) произведено 10 выстрелов. В 9 (90%) случаях получена ОТГ типа С (Рис. 3), в 1 (10%) — ЗТГ.

Этапы взаимодействия снаряда с глазом (Рис. 3) можно разделить на следующие:

1-й этап — начало деформации снарядом стенки глаза и формирования гидродинамических волн. Заканчивается 1 этап перфорацией фиброзной капсулы глаза («eye wall» — по используемой нами международной классификации);

2-й этап — дальнейшее движение снаряда в полости глаза сопровождается распространением гидродинамических волн от места контакта со снарядом и до места его противоудара (зоны рикошета). В этот момент начинается продолжительный выброс содержимого глаза (кровь, стекловидное тело, пигмент);



Рис. 4. Этапы раневой баллистики ООТГ типа С (описание в тексте).

3-й этап — по мере ослабления гидродинамических волн оканчивается выброс стекловидного тела и наступает фаза покоя.

Обсуждение

По результатам анализа отечественной и зарубежной литературы мы нашли только 2 публикации, посвящённые моделированию ООТГ [12; 13].

Военно-полевые хирурги выделяют огнестрельную травму в особый вид, вследствие специфического патогенеза и, следовательно, необходимости применения нестандартного лечения. Мы придерживаемся аналогичной точки зрения. Огнестрельная травма глаза, в силу своей этиологии (одномоментное наличие полнослойного дефекта стенки глаза и формирование гидродинамических волн), требует дополнительного углубленного изучения патогенеза и особенностей раневой баллистики.

Модели ОТГ созданные ранее не воспроизводили все патогенетические звенья ООТГ. В работах по моделированию ОТГ отсутствует контузионный компонент, что полностью не воспроизводило патогенез, характерный для ООТГ. В других моделях авторы [8] использовали искусственное введение в стекловидное тело экзогенных факторов (солевые растворы, культуры фибробластов, тромбоциты, эритроциты, кровь), которые провоцировали травматическую пролиферативную витреоретинопатию. Известные модели ООТГ [12] разобщали во времени этиологические факторы, что могло нарушить последовательность развития этапов патогенеза. Разработанная нами модель в этом отношении является более приближенной к реальной ООТГ.

Высокоскоростная съёмка уже около 70 лет используется для видеофиксации раневой баллистики. Прежде она применялась для изучения ЗТГ на живых экспериментальных животных [8] или ОТГ на кадаверах животных [11; 14]. В современной литературе мы не нашли публикаций об использовании её с целью изучения ООТГ.

Заключение

Разработанная нами модель позволяет в эксперименте воспроизводить стандартную модель ООТГ типа С. Моделирование с высокоскоростной видеофиксацией способствует анализу деталей раневой баллистики, а пролонгирование эксперимента во времени позволяет изучить патогенез посттравматических изменений в оболочках глаза, стекловидном теле и хрусталике. Все это даёт возможность проводить сравнительные исследования эффективности и безопасности различных методов лечения ООТГ.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов (The authors declare no conflict of interest).

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Cao H, Li L, Zhang M, Li H. Epidemiology of pediatric ocular trauma in the Chaoshan Region, China, 2001–2010. *PLoS One*. 2013 Apr 8; 8(4): e608–44.
2. Beshay N, Keay L, Dunn H, Kamalden TA, Hoskin AK, Watson SL. The epidemiology of Open Globe Injuries presenting to a tertiary referral eye hospital in Australia. *Injury*. 2017 Jul; 48(7): 1348–1354.
3. Fujikawa A, Mohamed YH, Kinoshita H, Matsumoto M, Uematsu M, Tsuiki E, et al. Visual outcomes and prognostic factors in open-globe injuries. *BMC Ophthalmol*. 2018 Jun 8; 18(1): 138.
4. Scott R. The injured eye. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*. 2011 V. 366: 251–260.
5. Куликов А.Н., Чурашов С.В., Николаев С.Н., и др. Структура, особенности и исходы современной боевой травмы глаза в ходе вооружённых конфликтов с мировым терроризмом // Вестник Российской Военно-медицинской академии. — 2019. — №5. — С. 310–313. [Kulikov AN, Churashov SV, Nikolaev SN, et al. Structure, features and outcomes of modern military eye injury in the course of armed conflict with global terrorism. *Vestnik of Russian Military medical Academy*. 2019; 5: 310–313. (In Russ).]
6. Brnieteanu D, Moraru A. Surgery for posterior segment intraocular foreign bodies — anatomical and functional results. *Oftalmologia*. 2013; 57(4): 51–60.
7. Banerjee PJ, Cornelius VR, Phillips R, Lo JW, Bunce C, Kelly J, et al. Adjunctive intraocular and peri-ocular steroid (triamcinolone acetonide) versus standard treatment in eyes undergoing vitreoretinal surgery for open globe trauma (ASCOT): study protocol for a phase III, multi-centre, double-masked randomised controlled trial. *Trials*. 2016 Jul 22; 17(1): 339.
8. Hou H, Nudleman E, Weinreb RN. Animal Models of Proliferative Vitreoretinopathy and Their Use in Pharmaceutical Investigations. *Ophthalmic Res* 2018; 60: 195–204.
9. Kratz A, Levy J, Cheles D, Ashkenazy Z, Tsumi E, Lifshitz T. Airsoft gun-related ocular injuries: novel findings, ballistics investigation, and histopathologic study. *Am J Ophthalmol*. 2010 Jan; 149(1): 37–44.
10. Kuhn F, Morris R, Witherspoon CD, Mester V. The Birmingham Eye Trauma Terminology system (BETT). *J Fr Ophtalmol*. 2004 Feb;27(2):206–10.
11. Sponset WE, Gray W, Scribbick FW, Stern AR, Weiss CE, Groth SL, et al. Blunt eye trauma: empirical histopathologic paintball impact thresholds in fresh mounted porcine eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2011 Jul 15; 52(8): 5157–66
12. Шишкин М.М., Миронов А.В. Вариант экспериментальной модели открытой травмы глазного яблока / Сборник тезисов по материалам 10-й научно-практической конференции «Актуальные проблемы офтальмологии». — М., 2007. [Shishkin MM, Mironov AV. An option of the experimental model of open injury of the eyeball. In: *sbornik tezisov po materialam 10-y nauchno-prakticheskoy konferentsii «Aktual'nyye problemy oftalmologii»*. Moscow, 2007. (In Russ).] Доступно по: <http://www.ophtalmology.ru/variant-eksperimental1>. Ссылка активна на 10.12.2020.
13. Каневский Б.А., Чурашов С.В., Куликов А.Н., и др. Стандартизированная экспериментальная модель огнестрельной открытой травмы глаза // Современные технологии в офтальмологии. — 2018. — № 4. — С. 147–149. [Kanevskiy BA, Churashov SV, Kulikov AN, et al. Standardized experimental model of gunshot open globe injury. *Modern technologies in ophthalmology*. 2018; 4: 147–149. (In Russ).]
14. Boyko EV, Grabovetskiy SI, Churashov SV, Sazhin TG, Kulikov AN, Sukhinin MV. Comparative pathophysiological characteristic of intraocular immunological changes in open globe injury in the experiment at intravitreal and periocular administration of depot glucocorticoids. *Ophthalmology journal*. 2013; (6)3: 26–31.
15. Powley KD, Dahlstrom DB, Atkins VJ, Fackler ML. Velocity necessary for a BB to penetrate the eye: an experimental study using pig eyes. *Am J Forensic Med Pathol*. 2004 Dec; 25(4): 273–5.