



Копылов Р.Р. 1(8884-4294), Здоровцов Д.Р. 1(5753-3051)

## ИЗУЧЕНИЕ РАНЕВОЙ БАЛЛИСТИКИ И МАКРОСКОПИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ПРИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОТКРЫТОЙ ТРАВМЕ ГЛАЗА С ПОМОЩЬЮ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ВИДЕО- И ФОТОФИКСАЦИИ

<sup>1</sup> ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» МО РФ, г. Санкт-Петербург, 194044, ул. Ак. Лебедева, д.6

**Резюме.** В работе указана актуальность огнестрельной открытой травмы глаза во время боевых действий [6], в быту [7] и на производстве [3]. Обозначена значимость поднятого вопроса для военных офтальмологов, поскольку среди огнестрельных поражений органа зрения по частоте преобладает открытая травма глаза [2,5]. Для исследования особенностей данной травмы в ВМедА им. С.М. Кирова была разработана экспериментальная воспроизводимая стандартизованная модель огнестрельной открытой травмы глаза типа В (без инородного тела) [1]. В связи с большим разнообразием огнестрельных повреждений глаза по типам, зоне, тяжести, по повреждению внутренних структур [4,8] возникла необходимость фиксации изменений при создании модели. Это позволит поэтапно документировать динамику быстротекущего процесса. Для этого было продолжено использовать высокоскоростную фото/видео съемку. Таким образом, в настоящее время существует необходимость в разработке методики фото/видео захвата изображений моделирования огнестрельной открытой травмы глаза. Исследование было разделено на несколько этапов, каждый из которых включал в себя определенные задачи. В процессе работы были проведены анализ литературы, моделирование огнестрельной открытой травмы глаза различных типов, визуализация изменений посредством скоростной фото/видео фиксации. В результате была разработана методика высокоскоростной фото/видео фиксации, а также выполнено описание макроскопических изменений огнестрельной открытой травмы глаза различных типов. Исследование выполнено на базе двух учреждений. Часть работ - в Государственном научно-исследовательском испытательном институте военной медицины МО РФ, другая часть проводилась на кафедре офтальмологии им. проф. В.В. Волкова Военно-медицинской академии имени С.М. Кирова в 2018–2020 гг.

**Ключевые слова:** огнестрельная открытая травма глаза, высокоскоростная фото/видео фиксация, модель, методика.

Kopylov R.R. 1(8884-4294), Zdorovtsov D.R. 1(5753-3051)

## STUDY OF WOUND BALLISTICS AND MACROSCOPIC CHANGES IN EXPERIMENTAL OPEN GLOBE TRAUMA USING HIGH-SPEED VIDEO AND PHOTO RECORDING OF VIOLATIONS

<sup>1</sup> S.M. Kirov Military Medical Academy of the Ministry of Defense, St. Petersburg, 194044, Academica Lebedeva str., 6, Russia

**Abstract.** This study focuses on such an important topic as gunshot open globe injury received in the course of combat operations [6], at home [7] and at work [3]. This topic is relevant because gunshot open globe injury is the most common injury for military ophthalmologists [2, 5]. An experimental reproducible standardized model of a type B gunshot open globe injury (without a foreign body) was developed to study the features of this injury in S.M. Kirov Military medical academy [1]. Due to the wide variety of gunshot injuries to the eye in appearance and internal structure [4, 8], it became necessary to record changes during the experiment. Therefore, it was decided to use high-speed photo and video shooting. Thus, it is possible to conclude that there is currently a need to develop a technique for photo and video recording of an image of a gunshot open globe injury. The study is divided into several stages, including specific tasks. The study includes literature analysis, modeling of various types of gunshot open eye injury, and visualization of changes using high-speed photo and video fixation. The result of this study is the developed method of high-speed photo and video fixation and description of macroscopic changes in various types of gunshot open globe injury. The study was carried out on the basis of two institutions. The first part of the work was carried out in Institute of military medicine, the other part was conducted at the Department of ophthalmology named after Professor V.V. Volkov, S.M. Kirov Military medical academy in 2018-2020 years.

**Keywords:** gunshot open globe injury, high-speed photo / video fixation, model, technique.

**Цель работы.** Разработать методику фото/видео фиксации стандартизованных, воспроизводимых моделей ООТГ различных типов, нанесенных снарядом из пневматического оружия в эксперименте. Определить необходимый перечень оборудования, уточнить их параметры.

**Материалы и методы.** В процессе работы были проведены анализ русскоязычной и англоязычной литературы, интернет ресурсов eLIBRARY.RU и PubMed., моделирование огнестрельной открытой травмы глаза различных типов, визуализация изменений посредством скоростной фото/видео фиксации. Для моделирования огнестрельной открытой травмы глаза использовались мультикомпрессионная установка, снаряды типа Gamo Hunter и модифицированные дротики, баллистический хронограф, живые кролики и кролики-кадаверы. Для съемок использовались осветительная система из 5 светодиодных ламп Gauss elementary 150 Вт, камеры Iphone 7, Sony RX100 V, Phantom Miro 310.

Высокоскоростная съемка проводилась при следующих параметрах:

- Расстояние от дульного среза винтовки до объекта составляло 25 см (расстояние выбрано в процессе практических испытаний на основании минимального количества отклонений снаряда от его изначальной траектории);

- ООТГ тип А: воспроизводилась на 3 кроликах (6 глаз), используемый снаряд: стальной шарик, накачка баллона винтовки: 1 компрессия, средняя скорость снаряда: 46 м/с. Остальные параметры унифицированы;

- ООТГ тип В: воспроизводилась на 3 кроликах (6 глаз), используемый снаряд: модифицированный дротик, накачка баллона винтовки: 1 компрессия, средняя скорость снаряда: 24 м/с. Остальные параметры унифицированы (приведены выше);

- ООТГ тип С: воспроизводилась на 3 кроликах (6 глаз), используемый снаряд: Gamo Hunter, накачка баллона винтовки: 2 компрессии, скорость снаряда: 68 м/с. Остальные параметры унифицированы (приведены выше);

- ООТГ тип D: воспроизводилась на 3 кроликах (6 глаз), используемый снаряд: стальной шарик, накачка баллона винтовки: 3 компрессии, скорость снаряда: 92 м/с. Остальные параметры унифицированы (приведены выше);

- Баллистический тахометр устанавливался на максимально близко к объекту и максимально далеко от дула винтовки (объяснение в тексте);



- Освещение обеспечивалось 5 светодиодными лампами с суммарным световым потоком 8000 лм (объяснение в тексте);

- Камера Phantom Miro 310 фиксировалась на штативе, объектив был направлен на объект, расстояние 40 см, между объектом и объективом – защитный экран, скорость съемки – 10000 fps;

- Камера была подключена к компьютеру с программным обеспечением.

**Результаты.** Сравним камеры в процессе съемок при стрельбе по глазам кроликов-кадаверов в количестве 6 штук (12 глаз), т.е. по 4 глаза для съемки на каждую камеру, с использованием ранее подобранного оборудования были получены следующие результаты:

1) iPhone 7 (240 fps): траектория полета снаряда и сам снаряд не видны, кинетику и вид полученной травмы (контузионный разрыв или проникающее ранение без инородного тела) определить по видео невозможно.

2) Sony RX100 V (960 fps): траектория полета снаряда и сам снаряд практически не видны (слабый след), возможно дифференцировать вид травмы (контузионный разрыв или проникающее ранение без инородного тела), но скорость съемки недостаточна для визуализации кинетики травмы глаза.

3) Phantom Miro 310 (650 000 fps): траектория полета снаряда и сам снаряд отчетливо видны, возможно дифференцировать вид травмы (контузионный разрыв или проникающее ранение без инородного тела), детально прослеживается кинетика травмы глаза.

На основе полученных данных можно сделать вывод, что изначальный выбор камеры Phantom Miro 310 для съемок такого быстропротекающего процесса как формирование ООТГ является обоснованным и оптимальным.

На основе информации полученной в процессе съемок было проведено описание раневой баллистики и макроскопических изменений при экспериментальной открытой травме глаза:

ООТГ тип А. На видео можно увидеть следующие процессы: в момент контакта ранящего снаряда происходит сжатие и декомпрессия глаза, возникают контузионные волны. При контакте снаряда с роговицей она деформируется и теряет прозрачность. Снаряд двигался прямолинейно, без отклонения от первоначальной траектории до попадания. В следствие недостаточной кинетической энергии, эластических свойств глаза, формы снаряда он ударяется о поверхность глазного яблока, «проскальзывает» по нему и проходит по касательной. Но за счет передачи глазу своей кинетической энергии, что заметно по сниженной скорости снаряда после попадания, и возникновения затухающих колебаний (продолжительность 0,096 секунды) происходит и формируется разрыв в параоптической зоне роговицы (на 12 часов). Разрыв произошел в месте контакта. В результате высокого ВГД через дефект стенки глаза происходит выброс хрусталика и одновременно: жидкого содержимого влаги передней камеры и вязкого стекловидного тела, жидкости с примесью крови и пигмента. Траектория снаряда изменилась после контакта с глазом: снаряд приобрёл вращательные движения. После проведения съемки было проведено макроскопическое исследование, показавшее: глаз сохранил свою форму, на 12 часов нелинейный разрыв роговицы в параоптической диаметром 3 мм. Повреждения внутренних структур: разрыв капсулы хрусталика, разрушение передней камеры глаза, повреждение роговицы, излитие стекловидного тела в заднюю капсулу.

ООТГ тип В. На видео можно увидеть следующие процессы: сжатие и декомпрессия глаза, выброс внутриглазного содержимого и кратковременные колебания. Снаряд двигался прямолинейно, без отклонения от первоначальной траектории до попадания. В следствие низкой кинетической энергии и эластических свойств глаза только наконечник снаряда перфорирует склеру. Объем глаза не изменился. В момент контакта наконечника снаряда со склерой кинетическая энергия снаряда равномерно распределяется во все стороны по поверхности глаза в виде ударной волны различной амплитуды волны зависит от уровня ВГД, если низкое – хорошо визуализируется, высокое – плохо, но она всегда есть. После перфорации наконечником стенки глаза и воздействия юбки ранящего снаряда – происходит четко распознаваемое сотрясение и смещение всего глаза с последующим возвращением к исходному положению. Глаз действует как пружина, выталкивая снаряд наружу за счет градиента давления, вызванного внутриглазными тканями и жидкостью, и напряжением склеры в области лимба. Кинетическая энергия, переданная глазу, создает быстро затухающие колебания (по сравнению с ООТГ тип А – 0,076 сек.) и обеспечивает отбрасывание снаряда в обратную сторону. Пробоитие склеры произошло в месте контакта. Траектория снаряда изменилась после попадания, в ряде случаев снаряд начинал вращаться, в других – летел по прямой траектории в обратном направлении без вращения. Была визуализирована «нить» стекловидного тела, тянущаяся за отскокившим снарядом, что подтверждает наличие ОТГ. Стекловидное тело содержало элементы крови и пигмента. После проведения съемки было проведено макроскопическое исследование, показавшее: глаз сохранил свою форму, ВГД Тп -2, в 2 мм от лимба определялась линейная рана с рваными адаптированными краями протяженностью до 2 мм. В передней камере гифема, хрусталик прозрачный, частичный гемофтальм, в продолжении траектории движения ранящего снаряда трассирующий след гема. В месте ранения локальная отслойка сетчатки с разрывом.



ООТГ тип С. На видео можно увидеть следующие процессы: сжатие и декомпрессия глаза, выброс внутриглазного содержимого и затухающие колебания. Снаряд двигался прямолинейно, без отклонения от первоначальной траектории. Снаряд ударяется о поверхность глазного яблока, пробивает стенку глаза, погружается внутрь и остается там. Быстрое расширение передних отделов глаза компенсирует уменьшение объема, вызванное вдавлением снарядом участка в области лимба. Последующее погружение снаряда в полость компенсируется импульсным выходом большого количества содержимого полости глаза через раневой дефект. В момент начала контакта снаряда и потока воздуха перед ним со склерой кинетическая энергия снаряда распределяется во все стороны по поверхности глаза в виде однонаправленной ударной волны. После погружения в полость глаза происходит четко распознаваемое сотрясение и смещение всего глаза, образование множества разнонаправленных ударных волн на поверхности вследствие образования временно пульсирующей полости, сжимание и деформация глаза с уменьшением его размера. По этой причине образуется поток клеточного детрита, частей стекловидного тела, брызг крови («извергающихся») через раневой дефект, что подтверждает наличие ОТГ. Снаряд останавливается в полости посредством градиента давления, вызванным внутриглазными тканями и жидкостью, и потерей кинетической энергии в результате контакта со склерой в области лимба. После угасания колебаний глаза (0,2 секунды), он возвращается к исходному положению, с восстановлением формы. Через раневой дефект продолжается истечение внутриглазного содержимого. Разрыв произошел в месте контакта. После проведения съемки было проведено макроскопическое исследование. Глаз сохранил свою форму, ВГД Тп -3. Хрусталик вывихнут в переднюю камеру. Рана на лимба с рваными неадаптированными краями 2x2 мм. При вскрытии глазного яблока определяется отслойка сосудистой оболочки, сетчатки, гемофтальм.

ООТГ тип D. Снаряд двигался прямолинейно, без отклонения от первоначальной траектории. За счет достаточной кинетической энергии снаряд ударяется о поверхность глазного яблока, пробивает стенку глаза, погружается внутрь и пробивает противоположную стенку глаза. В момент начала контакта снаряда со склерой кинетическая энергия снаряда равномерно распределяется во все стороны по поверхности глаза в виде ударной волны. После погружения снаряда в полость глаза – происходит четко распознаваемое сотрясение и смещение всего глаза. При проникновении снаряда в полость и пробиении капсулы с противоположной стороны – образуются разнонаправленные ударные волны, гасящие друг друга. В последствии глаз возвращается к исходному положению. Кинетическая энергия, переданная глазу, создает затухающие колебания (продолжительностью 0,09 секунд) и значительно смещает глазное яблоко кзади от первоначальной точки. Разрыв произошел в месте контакта.

Выделены этапы взаимодействия снаряда с глазом испытуемого животного: 1 – деформация снарядом стенки глаза и начало формирования гидродинамических волн, сопровождается снижением прозрачности роговицы по мере её деформации, заканчивается перфорацией глаза снарядом; 2 – движение в полости глаза, в момент достижения снарядом противоположной стенки глаза из входного отверстия (в результате резкого повышения ВГД) начинается экспульсия крови, пигмента и стекловидного тела; 3 – формирование выходного отверстия: энергия переданная снарядом глазу (в момент формирования отверстий) приводит к продолжающемуся истечению СТ до момента снижения ВГД и наступления состояния энергетического покоя, тем временем снаряд продолжает движение под действием собственной кинетической энергии в зависимости от контактирующих тканей.

После проведения съемки было проведено макроскопическое исследование, показавшее: глаз сохранил свою форму, Тп-3, входное и выходное отверстия – рваные раны с неадаптированными краями до 4 мм, в стекловидной камере тотальный гемофтальм. После вскрытия глазного яблока – массивная отслойка сосудистой оболочки, отслойка сетчатки.

**Выводы.** Была разработана методика фото/видео фиксации стандартизированных воспроизводимых моделей ООТГ различных типов, нанесенных снарядом из пневматического оружия по глазам кроликов-кадаверов и живых кроликов. Эта методика высоко информативна, легко воспроизводима и может быть использована для изучения не только ООТГ, но и других травм глаза. Также появилась возможность дальнейшего не эмпирического, а научно-обоснованного изучения патогенеза данных травм.

На экспериментальных животных с помощью разработанной методики фото/видео регистрация изучили раневую баллистику и макроскопические изменения в разных моделях ООТГ. По данным фото- и видеозаписей детализированы траектория полёта снаряда и особенности раневой баллистики при каждой воспроизведённой модели ООТГ. Описаны характерные макроскопические изменения глаза: форма глаза после ранения; наличие, форма, размер и локализация входного и выходного отверстия, адаптированность краев раны, величина ВГД, повреждение роговицы, повреждения внутренних структур – состояние передней и задней капсулы, состояние хрусталика (наличие разрыва капсулы, помутнение, разрушение) и его локализация, излитие стекловидного тела (во внешнюю среду или структуры глаза), состояние сетчатки и сосудистой оболочки (наличие, протяженность отслойки).

Полученные данные доказали эффективность методики моделирования ООТГ.

#### Литература:

1. Каневский, Б.А. Стандартизированная экспериментальная модель огнестрельной открытой травмы глаза / Б.А. Каневский, С.В. Чурашов, А.Н. Куликов, С.И. Грабовецкий, А.А. Суетов // Современные технологии в офтальмологии. – 2018. – №4. – С.33-37.



2. Леонгардт, Т.А. Совершенствование организации специализированной офтальмологической помощи в ходе медицинского обеспечения объединенной группировки войск (сил) в вооруженном конфликте: автореф. дисс. ... канд. мед. наук (14.01.07) / Т.А. Леонгардт. – СПб. – 2011.
3. Ранения глаз на производстве. URL: <https://opervisus.ru/proizvodstvo.htm> (06.10.19)
4. Khalaily Airsoft gun-related ocular injuries: Long-term follow-up / Khalaily, Soltan, Tsumi, Erez, Lifshitz, Tova, Kratz, Assaf, Levy, Jaime // Journal of AAPOS: the official publication of the American Association for Pediatric Ophthalmology and Strabismus. – 2018. – №4. – P.107-109.
5. Mader T. Ocular and ocular adnexal injuries treated by United States military ophthalmologists during Operations Desert Shield and Desert Storm / T. Mader, J. Aragones, A. Chandler, J. Hazlehurst, J. Heier, J. Kingham, E. Stein // Ophthalmology. – 1993. – №10. – P.1462-1467.
6. Mader T. Ocular war injuries of the Iraqi Insurgency / T. Mader, R. Carroll, C. Slade, R. George, J. Ritchey, S. Neville // Ophthalmology. – 2006. – №1. – P.97-104.
7. Sponsel W.E. Blunt eye trauma: empirical histopathologic paintball impact thresholds in fresh mounted porcine eyes / W.E. Sponsel, W. Gray, F.W. Scribbick, A.R. Stern, C.E. Weiss, S.L. Groth, J.D. Walker // Investigative Ophthalmology Visual Science. – 2011. – №8. – P.5157-5166.
8. Ramstead C. Ocular injuries associated with Airsoft guns: A case series / C. Ramstead, N. Mancho, C. Rudnisky // Canadian journal of ophthalmology. – 2008. – №10. – P.584-587.

**Криволапов Д.С.** <sup>1(2195-5001)</sup>, **Айвазова Т.И.** <sup>1(7611-2302)</sup>

## **МЕСТО ЭНДОСКОПИЧЕСКИХ ВМЕШАТЕЛЬСТВ В ХИРУРГИИ ЩИТОВИДНОЙ И ОКОЛОЩИТОВИДНЫХ ЖЕЛЕЗ**

<sup>1</sup> ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации, г. Санкт-Петербург, 194044, ул. Академика Лебедева, д. 6, Россия

**Резюме.** К настоящему времени в хирургии щитовидной железы накоплен большой опыт применения различных вариантов минимально инвазивных вмешательств, в том числе с применением эндовидеохирургических и робот-ассистированных технологий. Однако, утвержденных рекомендаций (протоколов) по применению данных вмешательств, по-прежнему, нет, а показания и противопоказания к ним остаются предметом дискуссии и опираются на опыт отдельных авторов. Исходя из обозначенных позиций, целью нашего исследования явилось определение критериев отбора больных хирургическими заболеваниями щитовидной и околощитовидных желез для обоснованного выполнения оптимальных минимально инвазивных оперативных вмешательств. В статье проанализированы результаты комплексного обследования и лечения 417 пациентов с хирургическими заболеваниями щитовидной и околощитовидных желез, которые были прооперированы с применением различных минимально инвазивных доступов. Обследование больных проводили в рамках международных протоколов и клинических рекомендаций. По характеру применяемых минимально инвазивных методик пациенты были разделены на четыре группы: 1-ю (n = 151) составили прооперированные с использованием минимально инвазивного неэндоскопического доступа; 2-ю (n = 141) – с применением минимально инвазивного эндоскопически-ассистированного доступа; 3-ю (n = 110) – трансаксиллярного трансареолярного эндоскопического доступа; 4-ю (n = 15) – трансорального трансвестибулярного доступа. Установлено, что основными критериями, обуславливающими выбор рационального минимально инвазивного вмешательства, являются: размер узловых образований и объем щитовидной железы; аутоиммунное воспаление тиреоидной ткани на фоне узлового токсического и диффузного токсического зоба; загрудинное расположение зоба; необходимость выполнения центральной лимфаденэктомии при метастатическом поражении лимфатических узлов. Применение установленных критериев на основе комплексного использования современных диагностических методик у больных хирургическими заболеваниями щитовидной и околощитовидных желез позволяет обосновать выбор оптимальных оперативных вмешательств, избежать неоправданных операций, уменьшить частоту специфических осложнений, минимизировать операционную травму, снизить сроки пребывания больных в стационаре, улучшить косметические результаты и повысить качество жизни больных.

**Ключевые слова:** щитовидная железа, околощитовидные железы, заболевания щитовидной и околощитовидных желез, хирургия щитовидной и околощитовидных желез, минимально инвазивная хирургия, эндоскопическая тиреоидэктомия, видеоассистированная тиреоидэктомия.

**Krivolapov D.S.**<sup>1</sup>, **Ajvazova T.I.**<sup>1</sup>

## **THE ROLE OF ENDOSCOPIC INTERVENTIONS IN THE THYROID AND PARATHYROID SURGERY**

<sup>1</sup> S.M. Kirov Military Medical Academy of the Ministry of Defense, St. Petersburg, 194044, Academica Lebedeva str., 6, Russia

**Abstract.** Nowadays, in the thyroid surgery a great experience of using different variants of minimally invasive approaches, including endovideosurgical and da Vinci surgical robotic technologies. However, there are still no approved recommendations (protocols) for the application of these approaches; indications and contraindications remain the subject of debate and rely on the experience of the individual authors. Based on the indicated positions the purpose of our study was to determine the criteria for selecting patients with surgical diseases of the thyroid and parathyroid glands for the reasonable implementation of optimal minimally invasive surgical interventions. The article analyzes the results of a comprehensive medical examination and treatment of 417 patients with surgical diseases of the thyroid and parathyroid glands, who were operated by using various minimally invasive procedures. The medical examination of patients was conducted under international protocols and management guidelines. The patients were divided into four groups based on the nature of the minimally invasive techniques used: the 1st (n = 151) includes the patients, who underwent minimally invasive nonendoscopic thyroidectomy; the 2nd (n = 141) – is a minimally invasive video-assisted thyroidectomy; the 3rd (n = 110) – is an endoscopic thyroidectomy with the use of axillo-bilateral-breast approach; the 4th (n = 15) – is a transoral endoscopic thyroidectomy vestibular approach. It was stated that the main criteria that determine the rationale for minimally invasive interventions on the thyroid gland are: the nodule size and the thyroid volume; hyperfunctioning thyroid and clinical thyroiditis; substernal extension; extrathyroid extension and the necessity of implementation of central neck dissection due to central and laterocervical lymph node metastases. The application of the determined criteria based on the integrated use of modern diagnostic techniques for patients with surgical diseases of the thyroid and parathyroid glands can justify the selection of optimal surgical interventions, avoid unreasonable operations, to avoid increasing of the frequency of specific complications, reduces surgical trauma and duration of stay in hospital, improves cosmetic outcome and enhances the quality of life of the patients.

**Keywords:** thyroid gland, parathyroid glands, thyroid diseases, thyroid surgery, minimally invasive surgery, endoscopic thyroidectomy, video-assisted thyroidectomy.

Развитие эндовидеохирургической техники и желание хирургов улучшить качество жизни прооперированных, ускорить их трудовую и социальную реабилитацию на фоне увеличения числа больных фолликулярными неоплазиями, ранними стадиями рака щитовидной железы (ЩЖ) и первичным гиперпаратиреозом привели к широкому распространению в хирургии ЩЖ и околощитовидных желез (ОЩЖ) минимально инвазивных вмешательств с использованием эндоскопических и роботизированных технологий [1, 12, 15, 16, 17]. Общеизвестными доступами к ЩЖ и ОЩЖ в последние 20 лет стали минидоступы на передней поверхности шеи, подмышечные, передние грудные, параареолярные, позадиушные, трансоральные, различные варианты робот-ассистированных [2, 3, 4, 5, 11, 14]. Наибольшее при-