

А.В. Денисов, А.В. Анисин, С.М. Логаткин,
К.Н. Демченко, Л.Б. Озерцовский

Экспериментальное моделирование в современной раневой баллистике

Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург

Резюме. Рассмотрены основные медико-биологические аспекты проведения экспериментов в раневой баллистике. Установлено, что в настоящее время в исследованиях, посвященных изучению раневой баллистики боеприпасов огнестрельного оружия, широко применяется метод экспериментального моделирования с использованием имитаторов различного происхождения. Дана подробная характеристика основным имитаторам, применяемым ведущими отечественными исследователями в настоящее время с отражением их положительных и отрицательных свойств. Рассмотрен вопрос выбора оптимального лабораторного животного для решения определенных задач баллистического эксперимента. Мировая практика изучения проблем раневой баллистики доказала, что из всех известных животных наиболее близкими к органам и тканям человека по целому ряду морфофункциональных свойств являются органы и ткани свиньи. Сходство в строении органов животных с человеком может в некоторых отношениях быть довольно поразительным, что используется в экспериментальной хирургии, особенно для изучения сердечно-сосудистых заболеваний и в исследованиях по трансплантации органов. Для переноса экспериментальных данных с модели (имитатора) на человека необходимо соблюдение главного условия моделирования, а именно принципа подобия экспериментальной модели процессу, который она должна воспроизвести. Отражена проблема использования человеческих трупов и трупного материала, а также уделено внимание необходимости соблюдения этических правил и норм при проведении данного рода экспериментов. В целом, несмотря на обширный перечень имеющихся материалов небиологического происхождения, полностью отказаться от использования лабораторных животных и трупного материала на данном этапе развития науки не представляется возможным, однако их использование должно проводиться с обязательным соблюдением определенных норм этического и правового характера.

Ключевые слова: временная пульсирующая полость, имитаторы мягких тканей, лабораторные животные, раневая баллистика, ранящий снаряд, раневой канал, экспериментальная модель.

Механизм образования огнестрельного повреждения является сложным процессом взаимодействия факторов выстрела с тканями живого организма. Изучением особенностей этого взаимодействия занимается раневая баллистика (РБ), которая сформировалась как частный раздел терминальной баллистики.

Раневая баллистика опирается в своих исследованиях на комплекс физико-технических и медицинских дисциплин и развивается под влиянием практических запросов военно-полевой хирургии, криминалистики и судебной медицины [9, 10, 15].

В настоящее время для моделирования процессов, происходящих при огнестрельном ранении, и изучения повреждений, возникающих от действия повреждающих факторов взрыва и выстрела, применяется принцип натурального моделирования с использованием в качестве имитаторов объектов как биологической, так и небиологической природы. К первой группе можно отнести различные имитаторы тканей организма человека – мыльные и желатиновые блоки, деревянные доски, листы железа, различные виды тканей одежды и прочее. Вторая группа включает в себя объекты биологического происхождения. Это прежде всего биоманекены – трупы людей и их от-

дельные части, а также биообъекты – различные виды млекопитающих животных [2, 4, 6, 7, 13].

По мнению большинства авторов, выбор оптимального объекта для проведения баллистического эксперимента должен в первую очередь диктоваться принципом его максимальной близости по совокупности физических свойств к организму живого человека [6, 10, 15].

Несомненно, что теоретически в данном аспекте преимущество имеют опыты со стрельбой по живым или трупам. Однако в процессе развития РБ как науки выявился и ряд объективных оснований для отказа от использования объектов данной группы. Эта позиция диктуется не только этическими соображениями, но и требованием воспроизводимости результатов исследований при выполнении предписанных методических условий проведения экспериментов, что обусловлено сложностью строения и неоднородностью анатомических структур организма человека и подопытных животных. В данном отношении имитаторы небиологической природы состоят из материалов, имеющих определенные качественные и количественные характеристики, тогда как любая биологическая модель индивидуальна и в той или иной степени всегда отличается по статусу питания,

массе, расположению и размерам внутренних органов, толщине подкожно-жировой клетчатки, развитию мышечной ткани, прочности костей и т. д. Поэтому с применением таких моделей никакой речи о достаточной степени воспроизводимости результатов испытаний, обеспечении принципа единства методов измерений и контроля быть не может [4, 8, 14, 16].

С точки зрения требований РБ, имитаторы – это материалы, которые при воздействии поражающих факторов различных видов оружия обладают такими же или близкими свойствами (эластичность, поглощение энергии, сопротивляемость, плотность и т. д.), как живые ткани. В настоящее время для создания имитаторов используется целый ряд различных материалов (пищевой желатин, глицериновое мыло, продукты перегонки нефти – петролатум и баллистический гель), каждый из которых имеет индивидуальную ценность при проведении разных типов экспериментов.

Желатиновые блоки (ЖБ), содержащие, как правило, 20% желатина и 80% воды, являются средой с выраженными эластическими свойствами, поэтому после прохождения ранящего снаряда (РС) в них образуется временная пульсирующая полость (ВПП), которая, как в живых тканях, после нескольких затухающих пульсаций исчезает, оставляя после себя постоянный раневой (пулевой) канал. В ЖБ ВПП регистрируется с помощью импульсной рентгенографии или скоростной киносъемки. Для изготовления ЖБ используют фотожелатин или пищевой желатин. Отечественная методика изготовления ЖБ является многоэтапным процессом, включающим проверку исходного сырья, подбор концентрации желатина для обеспечения требуемой плотности (1,04–1,06 г/см³), проведение пробной варки с определением вязкости и плотности, рабочую варку и разлив в матрицы требуемых размеров. Желатин застывает и затвердевает при комнатной температуре в течение не менее 12 ч и после извлечения из матрицы блоки маркируются и заворачиваются в мягкую фольгу, чтобы избежать испарения воды. Блоки хранятся при температуре 18°C не более 2–3 суток. Допускается однократная переварка блоков. Рекомендуются добавление в желатиновый гель бактерицидных препаратов для предотвращения гниения. Несмотря на короткий срок хранения и необходимость применения сложного технического оборудования, желатиновые блоки эффективно используются не только для изучения особенностей огнестрельных ранений, но и для оценки тяжести заброневого тупой травмы при непробитии бронезилов [9, 16].

Мыльные блоки (МБ) изготавливаются из глицеринового мыла, обладающего преимущественно свойствами пластического материала, поэтому в нем при прохождении РС происходит практически только первоначальное расширение временной полости без её последующего сокращения, а возникающий в нём пулевой канал только незначительно подвергается обратному развитию. Тем самым получается прямое изображение остаточной полости (ОП), объём которой может быть измерен различными способами. Оценоч-

ным критерием повреждающего действия РС, как и в опытах с другими имитаторами, является объём ОП пулевого канала. Физические свойства мыла изменяются очень медленно в процессе хранения, поэтому в период от нескольких месяцев – до одного года можно его применять для опытов без ущерба для достоверности результатов. Поведение пули (ход движения, деформации, фрагментации) при этом не претерпевает существенных изменений. Преимуществами глицеринового мыла считаются длительность сроков хранения и простота регистрации ОП после ранения. Вышеуказанные свойства баллистического мыла (прозрачность, пластичность) позволили изучить не только результат (повреждение), но и процесс взаимодействия огнестрельного снаряда с поражаемым объектом методами высокоскоростной киносъемки и импульсной рентгенографии [4, 7, 9, 15].

Мишени на основе петролатума («мишень П.В. Панкратова») состоят из смеси петролатума (75%) и парафина (25%). Петролатум (от ср.-век. лат. *petroleum* – нефть) – смесь парафина, церезина и масла (7–38%), получаемая при депарафинизации остаточных нефтяных масел серноокислотной или селективной очистки. Особым свойством материала данного имитатора является возможность сопоставить не только размеры пулевых каналов, входных и выходных отверстий, но и сравнивать зоны бокового действия пуль. На основе данного имитатора была разработана методика оценки повреждающего действия пуль без использования биологических объектов. Основным недостатком данного имитатора является его высокая чувствительность к инсоляции и температуре окружающей среды и невозможность воспроизведения основных физических параметров, присущих живым тканям, – плотности, вязкости, прочности и др. [7, 10].

Пластилин (скульптурная глина) также нашел достаточно широкое применение в качестве имитатора в методиках, посвященных как изучению повреждающего действия боеприпасов, так и оценке заброневого ударного воздействия. Основным недостатком данного материала является то, что он обладает более высокой плотностью и не обладает упруго-эластическими свойствами, свойственными мягким тканям человека. По имеющимся данным, плотность пластилина составляет 1,4–1,6 г/см³, в то время как плотность мягких тканей человека находится в пределах от 1,02 до 1,04 г/см³ [9, 10, 15].

В зарубежных методиках в качестве имитаторов широко применяются также блоки из баллистического геля, изготавливаемого из особого синтетического материала (*Ballistic Gel*). По мнению В. Кнеубюхль et al. [15], с положительной стороны данного материала можно отнести его прозрачность, эластичность и устойчивость к влиянию факторов внешней среды. Однако блоки-мишени из синтетического геля являются достаточно дорогими, что тормозит их распространение в отечественных исследованиях.

Хотя вышеупомянутые свойства «небиологических» имитаторов обеспечивают возможность (при

проведении испытаний стрельбой) получения достаточно полной характеристики повреждающего действия боеприпасов, именно их гомогенность не позволяет изучить механизм и последствия огнестрельного ранения для живого организма. Для решения данного вопроса в опытах используются экспериментальные животные с последующей экстраполяцией полученных данных на человека [1, 3, 5, 11].

Вопрос о возможности проведения экспериментальных исследований на животных и переносе полученных данных на человека волновал учёных с древних времён. Так, автор обстоятельного сочинения «Demedicine», состоящего из 8 книг, древнеримский патриций и врач-любитель Карнелий Цельс пришел к отрицательному ответу на этот вопрос, полагая, что насильственное принуждение и болезненность экспериментальных процедур при вивисекции не дают основания для правильной оценки функций нормального живого организма. Иной точки зрения придерживался крупнейший античный врач и ученый – Клавдий Гален (130–200 гг. н. э.), который наряду с практической врачебной деятельностью много занимался анатомией и физиологией человека, широко используя для своих заключений вивисекцию на животных. Много позднее это дало основание для иронического замечания Андрея Везалия (1514–1564) о том, что «анатомия человека Галена – это анатомия обезьяны и собаки». Выдающийся вклад Фрэнсиса Бэкона (1561–1626), по выражению Ф. Энгельса, «истинного родоначальника опытных наук новейшего времени», а также А. Везалия, В. Гарвея (1518–1657) и других замечательных ученых-естествоиспытателей способствовал ускоренному накоплению опытных знаний и развитию наук о жизни. Среди многих ученых, открытия которых были связаны с экспериментами на животных, специального упоминания заслуживает Клод Бернар (1813–1878), который с 1860 г. являлся иностранным членом Петербургской Академии наук и которого И.П. Павлов ценил как «гениального физиолога, объединившего в гармоничное целое физиологию, патологию и терапию» [10, 12].

В настоящее время в исследованиях по боевой травме и раневой баллистике уделяется значительное внимание оценке различных подходов к экспериментальному воспроизведению в лабораторных условиях реальных (или близких по характеру к боевым) огнестрельных ранений. В истории раневой баллистики в качестве биологических объектов находили применение трупы людей (биоманекены) и животных, живые лошади, телята, быки, козы, овцы, собаки и такие мелкие подопытные животные, как кошки и кролики. Однако успешное решение задач эксперимента во многом зависит от правильного выбора подопытного животного, оружия и ранящего снаряда, а также от адекватной методики постановки эксперимента. Поэтому для проведения данного рода экспериментов предпочтительно использование животных, которые без излишней агрессии могут переносить все необходимые манипуляции, удобны для последующего наблюдения, достаточно неприхотливы в содержании

и относительно недороги, таких как крупные собаки, овцы и свиньи [7, 10, 12, 18].

Для переноса экспериментальных данных с модели (имитатора) на человека необходимо соблюдение главного условия моделирования, а именно принципа подобия экспериментальной модели процессу, который она должна воспроизвести. Принцип подобия должен реализовываться через критерии подобия: сходство морфофизиологических характеристик у человека и выбранной модели, общность метаболизма веществ, единство критических органов и систем, реагирующих на то или иное воздействие, и, как следствие, воспроизводимость симптомов процесса. Поэтому в зависимости от характера и задач исследования в каждом конкретном случае необходимо выбирать такую модель, которая наиболее адекватно позволит воссоздать соответствующий процесс у человека. Предпочтительным является выбор животных, наиболее близких по строению к человеку. Любое животное имеет отличительные от человека черты в анатомии, физиологии, в поведении, и чем больше этих различий, тем менее точной является попытка экстраполяции экспериментальных данных [2, 3, 6, 11, 18].

В изучении повреждающего (преимущественно останавливающего) действия пуль и осколков в качестве биообъектов изначально стали широко использовать лошадей и крупный рогатый скот. Оба вида имеют массивную мышечную массу, что является необходимым при моделировании длинного раневого канала. Однако опыты с использованием взрослых животных из-за их крупного размера очень трудоёмки и для их проведения необходимы специально оборудованные лаборатории и обученный персонал. Лошади являются сложным объектом для проведения общей анестезии, так как из-за низкого стояния купола диафрагмы и тяжести внутренних органов у животных в лежачем положении происходит сдавление нижних долей легких с развитием гипоксии. Поэтому общая анестезия длительностью более 30 мин потребует применения дорогостоящей и сложной анестезиологической аппаратуры. С другой стороны, крупный рогатый скот является жвачным животным со сложной пищеварительной системой. В бессознательном состоянии они склонны к регургитации и аспирации полужидкого содержимого рубца. У лошадей и особенно у крупного рогатого скота очень толстая и упругая кожа. К тому же они достаточно дорогостоящие и не могут быть широко использованы в качестве имитаторов человеческого тела [11, 12].

Некоторые виды мелкого рогатого скота, а именно крупные породы коз и овец, ввиду сопоставимости с человеком по размерам и близости строения кожи, также активно используются в опытах по РБ. Для выполнения анестезии у этих животных вполне применимы аппаратура и медикаменты, используемые в медицине. Однако помехой для их успешного применения в экспериментах может стать развитый шерстный покров, а также выраженное отличие в топографии внутренних органов [4, 18].

Собаки на протяжении многих лет являлись животными выбора для экспериментальной хирургии. Они демонстрируют чрезвычайно широкие различия по размеру и телосложению. Масса тела различных пород может варьировать в пределах от 1 до 90 кг. Собаки хорошо подходят для проведения экспериментов в стандартных лабораторных условиях: в основном они достаточно послушны и легко дрессируются для послеоперационного лечения, контроля и наблюдения. Периферические артерии и вены у собак хорошо доступны через кожу для пункций и инъекций. Можно успешно применять обычные методы общей анестезии, используемые у человека, и стандартное оборудование, такое как эндотрахеальные трубки и аппараты искусственной вентиляции лёгких. Однако существуют определенные недостатки, связанные с использованием собак для моделирования огнестрельной раны. Если требуется большая мышечная масса, то должны использоваться очень крупные собаки весом более 40 кг. Кожа собаки обычно покрыта густым шерстяным покровом и, хотя она эластичная и довольно тонкая, очень слабо связана с подлежащими тканями. Она всегда разрывается на большой площади, даже при незначительных травматических повреждениях с образованием глубоких карманов [10, 11, 18].

Мировая практика изучения проблем РБ доказала, что из всех известных животных наиболее близкими к органам и тканям человека по целому ряду морфофункциональных (в том числе и биохимических) свойств являются органы и ткани свиньи. Некоторые работы иностранных авторов выполнены именно с использованием этой биологической модели [26, 27]. Сходство в строении органов животных с человеком может в некоторых отношениях быть довольно поразительным, что используется в экспериментальной хирургии, особенно для изучения сердечно-сосудистых заболеваний и в исследованиях по трансплантации органов. Многие специалисты по РБ также применяли в своих исследованиях именно свиней в качестве биообъектов. Свиньи достаточно легко привыкают к жизни в лабораторных условиях, но в отличие от собак с ними всегда будут возникать некоторые сложности даже при выполнении самых простых процедур, таких как забор крови или внутривенное введение препаратов. Периферические вены у свиней легко доступны только на наружной поверхности ушной раковины. Свиньи являются хорошими объектами для всех видов общей анестезии. Однако из-за воронкообразной полости рта, расположения гортани и трахеи под углом и того факта, что свиньи склонны к развитию спазма гортани, интубация трахеи может быть довольно сложной и требует специальной подготовки. Как уже упоминалось ранее, довольно легко получить достаточно длинные раневые каналы даже у свиней средних размеров. Кожа у наиболее распространенных пород непигментирована и имеет относительно тонкий волосяной покров. Это значительно облегчает демонстрацию типичных кожных изменений огнестрельных ран и дает детальную оценку наружных отверстий раневого кана-

ла (входного и выходного). Таким образом, несмотря на некоторые недостатки, такие как большие размеры взрослых животных и отсутствие легко катетеризируемых кровеносных сосудов, свиньи, по мнению многих ученых, являются наиболее подходящим экспериментальным животным для изучения РБ. Они имеют много преимуществ перед собаками и во всех отношениях превосходят мелких жвачных животных, лошадей и крупный рогатый скот [1, 5, 10, 15, 18].

Наиболее спорным и резонансным является вопрос о необходимости использования в экспериментах по РБ трупов людей и их частей. Несмотря на то, что теоретически трупный материал морфологически является наиболее близким к живому человеку, использование его как модели для изучения процессов, происходящих в человеческом теле, должно происходить с соблюдением некоторых правил. Прежде всего, у трупов в зависимости от сроков после смерти достаточно сильно изменяются механические свойства тканей, поэтому необходимо использовать только свежие трупы. Возможно применение отдельных частей трупов, в частности – конечностей, для экспериментов на мягких тканях (мышцах, жире, печени и т. д.). При этом важна температура, при которой проводятся исследования – температура должна быть не ниже точки замерзания. Если на трупах проводятся какие-либо измерения, например, глубины проникновения крупных пуль, то следует учитывать, что эти результаты могут несколько отличаться от таковых повреждений уживых лиц. Также очевидно, что с помощью трупного материала невозможно изучение физиологических реакций, возникающих при ранениях [2, 10, 17].

Общепризнано, что исследования с использованием экспериментальных животных должны проводиться с соблюдением определенных нравственных норм. Требование этичности эксперимента стало обязательным условием проведения экспериментов на животных во всех странах мира.

В 1985 г. Советом международных медицинских научных организаций (СММНО) был опубликован «Этический кодекс», который содержит «международные рекомендации по проведению медико-биологических исследований с использованием животных». В этическом кодексе сформулированы приемлемые для научных работников и для общественных групп защитников животных теоретические принципы и этические правила, которые могут быть приняты за основу при разработке регламентирующих мер и нормативных документов в разных странах мира в отношении использования животных для биомедицинских исследований. Рекомендации составлены на основе следующих положений.

Каждый исследователь должен помнить, что на нем лежит ответственность за общее состояние экспериментальных животных. Они должны содержаться в хороших условиях, получать достаточное количество нужного корма и обслуживаться квалифицированными специалистами. При планировании экспериментов вначале нужно четко определить, действительно ли необходимы эти опыты на животных. Требуется тща-

тельное изучение литературы, чтобы определить, не сделано ли это другими исследователями [3, 11, 12, 16, 17].

Существуют методы сравнительной оценки важности проекта и тех страданий, которые при выполнении его будут испытывать животные, позволяющие сказать, насколько оправдан проект (полностью, частично или вовсе не оправдан). В 1959 г. английские исследователи Рассел и Берч предложили концепцию «трех R» («The three Rs»), которой следует придерживаться при проведении экспериментов на животных. Она включает три составляющие: *replacement* – замена, *reduction* – уменьшение и *refinement* – повышение качества [17].

Принцип замены подразумевает, что по возможности необходимо заменять животных другими моделями и приемами, например культурами клеток тканей или математическими моделями; вместо млекопитающих использовать животных с менее развитой нервной системой, а вместо живых животных – изолированные органы.

Принцип уменьшения требует, чтобы при отсутствии возможности заменить животных в болезненных экспериментах иными моделями эксперимент был построен с использованием минимального количества животных. Этого можно достигнуть путем правильного планирования эксперимента и использования здоровых животных нужного стандарта по экологическому и генетическому статусам.

Третий принцип – повышения качества – предполагает, что страдания животных будут меньше, если в работе применяется высококачественная хирургическая техника и если операции выполняются опытными специалистами с использованием нужной анестезии, анальгезии и обеспечением хорошего ухода за животными в период до и после хирургических вмешательств. Выводить из эксперимента животных следует специальными безболезненными методами, чтобы минимизировать их страдания.

Следует отметить, что часто все три правила «R» связывают с термином «альтернативы», а не только первое правило, рекомендующее заменять болезненные эксперименты на животных другими методами.

В Российской Федерации (РФ) для регулирования и контроля отношений «человек – эксперимент», «животное – эксперимент» созданы специализированные этические комитеты, на которые возложена функция рассмотрения проблем этики и морали, касающихся исследований с привлечением людей и животных, главным образом в тех ситуациях, которые не описаны или нечетко описаны в законе. При этом ни прямое нарушение закона, ни общечеловеческие вопросы и проблемы морали не являются предметом для обсуждения этическим комитетом, так как он является рекомендательным и консультативным органом.

Современные международные стандарты проведения и представления результатов исследовательских проектов с участием людей и животных в качестве обязательного требования включают экспертизу исследования в этическом комитете, име-

ющем международную аккредитацию. Например, в Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова (Санкт-Петербург) существует независимый комитет по этике. Он является общественным объединением, которое своей основной целью провозглашает защиту прав, психического и физического здоровья людей, порядок использования лабораторных животных при проведении биомедицинских исследований с участием человека и (или) лабораторных животных.

В настоящее время в российском законодательстве использование лабораторных (экспериментальных) животных регламентировано достаточно большим перечнем правовых актов и норм, таких как статья 245 Уголовного кодекса РФ «Жестокое обращение с животными»; «Правила проведения работ с использованием экспериментальных животных», утв. приказом Министерства здравоохранения Союза Советских Социалистических Республик (СССР) № 755 от 12.08.1977 г.; «Правила по обращению, содержанию, обезболиванию и умерщвлению экспериментальных животных», утв. Министром здравоохранения Российской Социалистической Федеративной Советской Республики в 1977 году; «Правила проведения научных исследований с использованием экспериментальных животных» (Распоряжение Президиума Академии наук СССР № 120002496 от 02.04.1980 г.); Приказ № 742 от 13.11.1984. «Об утверждении Правил проведения работ с использованием экспериментальных животных»; закон Российской Федерации «О ветеринарии» № 4979-1 от 14.05.1993 г.; «Правила проведения научных качественных клинических испытаний в Российской Федерации», утвержденные Министерством здравоохранения РФ 29.12.1998 г.; «Рекомендации комитета по этике, проводящего экспертизу биомедицинских исследований» (Всемирной организации здравоохранения, 2000 г.) и др.

Но, несмотря на это, приходится с сожалением констатировать, что многие исследователи только слышали о том, что те или иные этические нормы существуют, но никогда их не читали. Россия до сих пор не имеет закона о защите животных, в нашей стране отсутствует лицензирование работ с экспериментальными животными, и государство не может эффективно влиять на учреждения, в которых нарушаются этические и правовые нормы проведения работ с экспериментальными животными. В дополнение к этому в нашей стране в учебных заведениях биомедицинского и ветеринарного профиля крайне мало внимания уделяется преподаванию биоэтики и этики эксперимента на животных, что делает уровень этической подготовки выпускников не вполне соответствующим общемировым стандартам [10, 11, 12].

Таким образом, в настоящее время в исследованиях, посвященных изучению РБ боеприпасов огнестрельного оружия, широко применяется метод экспериментального моделирования с использованием имитаторов различного происхождения. Несмотря на довольно обширный перечень имеющихся в арсенале исследователей материалов небиологического происхождения, полностью отказаться от использования

лабораторных животных и трупного материала на данном этапе развития науки по целому ряду причин не представляется возможным. Однако использование биообъектов в экспериментальных исследованиях должно проводиться с обязательным соблюдением определенных норм этического и правового характера.

Литература

1. Анисин, А.В. Особенности минно-взрывных повреждений при использовании специальных средств защиты сапера: дис. ... канд. мед. наук / А.В. Анисин. – СПб., 2011. – 123 с.
2. Гальцев, Ю.В. Моделирование ранений из огнестрельного оружия в медицине / Ю.В. Гальцев // Мат. межвед. межрегион. науч.-практич. конф. 20–21 ноября 1997 г. – СПб., 1997. – С. 195–197.
3. Даренская, Н.Г. Экстраполяция экспериментальных данных на человека в физиологии и радиобиологии: принципы, подходы, обоснование методов и их использование в физиологии и радиобиологии: руководство / Н.Г. Даренская [и др.]. – М.: Истоки, 2004. – 232 с.
4. Денисов, А.В. Глицериновое мыло в качестве имитатора биологических мягких тканей в экспериментах по раневой баллистике / А.В. Денисов [и др.] // Судебная экспертиза. – 2016. – № 1 (45). – С. 73–83.
5. Денисов, А.В. Особенности поражения живых целей в зоне рикошета пуль при стрельбе по твердым преградам / А.В. Денисов [и др.] // Вестн. Росс. воен.-мед. акад. – 2014. – № 1 (45). – С. 179–183.
6. Денисов, А.В. Ультраструктурные изменения костной ткани при огнестрельных ранениях и пути их коррекции: автореф. дис. ...канд. мед. наук / А.В. Денисов. – СПб.: ВМА, 2010. – 20 с.
7. Караваева, И.Е. К вопросу моделирования огнестрельных повреждений / И.Е. Караваева // Мат. междунар. науч.-практ. конф., посвящ. памяти В.О. Плаксина. – М.: ЮИнфоЗдрав, 2011. – С. 129–132.
8. Кобылкин, И.Ф. Биомеханическая модель взаимодействия непроникающих поражающих элементов с биообъектом / И.Ф. Кобылкин, А.Ю. Летников // Вопросы оборонной техники. – 2003. – Сер. 16, вып. 11–12. – С. 46–51.
9. Логаткин, С.М. О целесообразности применения термина «заброневаемая контузионная травма» при оценке качества бронеодежды / С.М. Логаткин // Вопросы оборонной техники. Сер. 16: Технические средства противодействия терроризму. – 2011. – № 7-8. – С. 77–80.
10. Озерцовский, Л.Б. Раневая баллистика: история и современное состояние огнестрельного оружия и средств индивидуальной бронезащиты / Л.Б. Озерцовский, Е.К. Гуманенко, В.В. Бояринцев. – СПб.: Журнал Калашников, 2006. – 374 с.
11. Храмова, Ю.Р. Экспериментальное животное: основы правового регулирования / Ю.Р. Храмова // Мед. право. – 2004. – № 2. – С. 20–24.
12. Шалимов С.А. Руководство по экспериментальной хирургии / С.А. Шалимов, А.П. Радзиховский, Л.В. Кейсевич. – М.: Медицина, 1989. – 271 с.
13. Штейнле, А.В. Методология моделирования огнестрельных ранений конечностей / А.В. Штейнле [и др.] // Сиб. мед. журн. – 2008. – Т. 23, № 1. – С. 74–81.
14. Berlin, R., Janzon B., Rybeck B. Local effect of assault rifle bullets / R. Berlin, B. Janzon, B. Rybeck // Acta Chir. Scand. – 1977. – Suppl. 477. – P. 5–48.
15. Kneubuehl, B. Wundballistik: Grundlagen und Anwendungen / B. Kneubuehl [et al.] – Berlin: Springer Medizin Verlag Heidelberg, 2008. – 492 p.
16. Kokinakis, W., Neadles D., Piddington M., Roecker E. A gelatin energy methodology for estimating vulnerability of personnel to military rifle systems / W. Kokinakis [et al.] // Acta Chir. Scand. – 1979. – Suppl. 489. – P. 35.
17. Russell, W.M.S. The Principles of Humane Experimental Technique / W.M.S. Russell, R.L. Burch // Methuen. – London: 1959. – P. 88–91.
18. Schantz, B. Aspects on the choice of experimental animals when reproducing missile trauma / B. Schantz // Wundballistik: Acta Chir. Scand. Suppl. – 1979. – Vol. 489. – P. 121–130.

A.V. Denisov, A.V. Anisin, S.M. Logatkin, K.N. Demchenko, L.B. Ozeretskovsky

Experimental simulation in the modern wound ballistics

Abstract. *The main medical and biological aspects of conducting experiments in wound ballistics are considered. It is established, that currently in the studies devoted to the study of wound ballistics of firearms ammunition, the method of experimental modeling using simulators of various origins is widely used. A detailed description of the main simulators used by the leading domestic researchers is given now with a reflection of their positive and negative properties. The question of choice of an optimal laboratory animal for the solution of certain problems of ballistic experiment is considered. The world practice of studying the problems of wound ballistics has shown that the organs and tissues of a pig are the closest, of all known animals, to organs and tissues of man in a whole series of morphofunctional properties. The similarity in the structure of organs with a human can in some respects be quite striking, which is used in experimental surgery, especially for studying cardiovascular diseases and in organ transplantation studies. To transfer experimental data from a model (simulator) to a human, it is necessary to observe the main condition of modeling, namely, the principle of similarity of the experimental model to the process that should be reproduced. The problem of use of human corpses and corpse material is reflected, and also attention is paid to a need of observance of ethical rules and norms at carrying out this kind of experiments. It is concluded that despite the extensive list of available materials of non-biological origin, it is not possible to completely abandon the use of laboratory animals and corpse material at this stage of development of science, and their use should be carried out with mandatory compliance with certain norms of ethical and legal nature.*

Key words: *temporary pulsating cavity, soft tissue simulators, laboratory animals, wound ballistics, wounding shell, wound tract, experimental model.*

Контактный телефон: 8-911-757-81-68; e-mail: denav80@mail.ru