

УДК: 340.624.3

О. В. Филипчук, заведующий отделением судебно-медицинской криминалистики ГУ «Главное бюро судебно-медицинской экспертизы» МЗ Украины, доктор медицинских наук,
А. М. Гуров, заведующий кафедрой судебно-медицинской экспертизы Харьковской медицинской академии последипломного образования, доктор медицинских наук, профессор

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БАЛЛИСТИЧЕСКОГО ЖЕЛАТИНА КАК ИМИТАТОРА БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ ЧЕЛОВЕКА

Представлены современные возможности применения баллистического желатина как наиболее репрезентативного по отношению к тканям живого человека биологического имитатора. Предложены приоритетные методики приготовления блоков желатина, условия проведения эксперимента и способы математической обработки данных с позиций раневой баллистики.

Ключевые слова: огнестрельное ранение, раневая баллистика, баллистический желатин, имитатор тканей человека, временная пульсирующая полость.

Изучение механизма образования огнестрельных ранений является основной задачей раневой баллистики. Повреждающее действие снаряда в мягких тканях (в частности, закономерности формирования временной пульсирующей полости) наиболее полноценно возможно изучить в условиях эксперимента. Применяемые имитаторы по своим физическим характеристикам (плотности, эластичности и пр.) должны максимально соответствовать тканям живого человека¹. Этические принципы современной науки не позволяют использовать в эксперименте трупы людей. Использование в экспериментальном исследовании подопытных животных не является оптимальным решением, поскольку неоднородность тканей затрудняет получение однотипных повреждений. Для корректной статистической обработки результатов требуется увеличение количества экспериментальных выстрелов, что в свою очередь ведет к неприемлемому росту себестоимости экс-

¹ См.: Попов В. Л. Судебно-медицинская баллистика / В. Л. Попов, В. Б. Шигеев, Л. Е. Кузнецов. — СПб. : Гиппократ, 2002. — 656 с.

перимента¹. Эксперименты с использованием имитаторов хорошо воспроизводимы и позволяют установить системные закономерности в изменении параметров. Также имеется возможность для сравнения результатов экспериментов на имитаторе со случаями из практики судебно-медицинской экспертизы и военной хирургии для проверки свойств имитатора. Имитаторы должны отвечать следующим основным требованиям:

- репрезентативность по отношению к живым тканям;
- воспроизводимость в статистически достоверном объеме;
- доступность, простота в использовании, невысокая себестоимость.

Наибольшее признание среди имитаторов получили 10 и 20 % водные растворы желатина в виде геля, прозрачное глицериновое мыло и баллистический (скульптурный) пластилин. Следует учесть, что в каждом конкретном случае выбор имитатора зависит от поставленных научных задач. Если есть необходимость длительного хранения результатов эксперимента (например, с целью использования в учебном процессе) предпочтительнее использовать баллистическое мыло, поскольку желатин для этого непригоден. Кроме того, не каждый имитатор может полноценно отображать динамику физических процессов, происходящих в тканях. В частности, баллистический пластилин и мыло не позволяют проследить формирование временной пульсирующей полости (ВПП), но подходят для количественных исследований, таких как измерение кинетической энергии, переданной в ткани.

В настоящее время в США и странах Европейского Союза среди известных имитаторов биологических тканей в раневой баллистике наибольшее распространение получил желатин, который, благодаря своей достаточной прозрачности, позволяет непосредственно наблюдать и фиксировать весь процесс взаимодействия с огнестрельным снарядом. Благодаря эластическим свойствам желатина, возникающая в нем ВПП после прохождения огнестрельного снаряда, подобно живым тканям спадается, оставляя после себя постоянный раневой канал.

Желатин получают путем обработки сырья кислотой (свиного сыря) или щелочью (говяжьего и прочих видов сыря) с последующей экстракцией. При обработке кислотой изоэлектрическая точка желатина лежит между pH 7 и 9 (желатин типа А), при обработке щелочью (желатин типа В) – между pH 4,7 и 5,4. Важным является такой параметр, как прочность геля желатина, который измеряется в Bloom. Для его определения проводят тест на образце геля с концентрацией $6\frac{2}{3}\%$ при температуре $10 \pm 0,1$ °С. Bloom определяется как масса цилиндрического поршня диаметром 12,7 мм, которая необходима для отклонения поверхности геля на 4 мм². Для баллистических экспериментов обычно используется свиной желатин типа А от 250 до 300 Bloom.

На протяжении многих лет предметом дискуссии остается вопрос о том, какая концентрация желатина является лучшим имитатором мягких тканей.

¹ См.: *Понов В. Л.* Раневая баллистика (судебно-медицинские аспекты) / В. Л. Попов, Е. А. Дыскин. — СПб.: Изд-во ВМедА, 1994. — 163 с.

² См.: *Wound Ballistics: basics and applications* / [В. Р. Kneubuehl, R. М. Coupland, М. А. Rothschild, М. J. Thali]. — Berlin: Springer-Verlag, 2011. — 496 p.

Поскольку удельный вес 10 % желатина составляет 1,03, именно он наиболее близок к мышечной ткани человека (1,02–1,04, табл. 1), а удельный вес 20 % желатина (1,06) приближается к мышечной ткани бедра живой свиньи (Peters, 1990)¹. Учитывая, что разница не очень велика, выбор остается за исследователем. Однако следует учитывать, что с увеличением концентрации снижается прозрачность желатина, а себестоимость каждого блока повышается в два раза.

Т а б л и ц а 1

Удельный вес тканей человека (W. E. Demuth, 1966)

Ткань	Удельный вес
Жир	0,8
Печень	1,01–1,02
Кожа	1,09
Мышца	1,02–1,04
Легкое	0,4–0,5
Кость	1,11

Желатин, используемый в баллистических целях, нуждается в стандартизации для гарантированной сопоставимости результатов, полученных в различных лабораториях. Впервые желатин 20 % концентрации при температуре 24 °С, как баллистический имитатор, использовал Nagvey в 40-х гг. XX в. В настоящее время существуют различные международные стандарты, касающиеся концентрации и температуры желатина для проведения экспериментов². Fackler и Malinowski представили 10 % желатин при 4 °С в качестве стандарта, НАТО – 20 % при температуре 10 °С, а RUAG Ammotec, Fürth также предлагают использовать 20 % желатин, но при температуре 15 °С. Желатин спецификации Fackler используется, в частности, в США и в ряде баллистических лабораторий Европы.

Приготовление блоков желатина давно считается трудоемким процессом и требует крайней осторожности. Первая попытка количественной оценки влияния различных параметров подготовки желатина была сделана Post и Johnson в 1995 г., однако из-за отсутствия статистической верификации результаты были неубедительны. Ряд источников предупреждает о негативном влиянии на свойства желатина чрезмерного нагревания. Однако некоторые производители желатина, в частности Gelita, указывают, что гелеобразующие свойства существенно не снижаются после нагревания в течении нескольких часов до температуры 60–80 °С.

¹ См.: Jussila J. Wound ballistic simulation: Assessment of the legitimacy of law enforcement firearms ammunition by means of wound ballistic simulation / J. Jussila. — Helsinki, 2005. — 112 p.

² См.: Jussila J. Preparing ballistic gelatine — review and proposal for a standard method / J. Jussila // Forensic Sci. Int. — 2004. — Vol. 141. — P. 91–98.

Классический и часто используемый рецепт желатина предложен Fackler и Malinowski¹. Они рекомендуют использовать 10 % раствор, например, 1000 г желатина на 9 л воды. Порошок желатина высыпают в холодную воду (7–10 °С), смешивают и выдерживают в холодильнике в течение двух часов. Затем смесь медленно перемешивают, постепенно нагревая на водяной бане до 40 °С, пока весь желатин не растворится. Добавляют пропионовую кислоту из расчета 5 мл на литр раствора для подавления активности микробной флоры. Раствор выливают в формы и выдерживают в холодильнике (7–10 °С) в течение ночи. Затем блоки удаляют из пресс-форм, плотно обертывают в пластиковые пакеты и хранят в холодильнике при температуре 4 °С по меньшей мере 36 ч до использования для стабилизации температуры на всю толщину желатинового блока. Этот рецепт используют также Sellier и Kneubuehl, Томпсон. Блоки желатина транспортируются на место проведения эксперимента в холодильной камере, а сам эксперимент проводят в течение первых 30 мин после извлечения блоков, во избежание их нагревания. Установлено, что при комнатной температуре, внутренняя температура желатинового блока размерами 15×15×40 см на глубине 4 см от поверхности увеличивается более чем на 1 °С через 30 мин.

Существует несколько стандартизованных размеров блоков желатина, используемых в экспериментах. Немецкие ученые рекомендуют для стрельбы из пистолетов размеры 20×20×30 см, для винтовок – 25×25×30 см, но остаются общепринятыми также размеры 15×15×30, 25×25×40 и 25×25×50 см.

Для регистрации динамики формирования ВПП в желатине традиционно применяется импульсная рентгенография и высокоскоростная киносъемка (СКС), позволяющие фиксировать весь процесс от возникновения до ликвидации ВПП, включая внешнюю деформацию объекта. Использование комплекса «желатиновый блок – СКС» как способ регистрации ВПП позволило получить данные о конфигурации ВПП, времени ее существования и подойти к изучению зависимости объема ВПП от баллистических параметров снаряда: скорости и кинетической энергии в момент удара, формы головной части и устойчивости снаряда по ходу раневого канала. Определение объема ВПП производится на импульсных рентгенограммах и кадрах скоростной киносъемки с помощью планиметра или расчетным путем². Указанные методы исследования требуют применения сложной и дорогостоящей аппаратуры. В связи с этим были разработаны альтернативные методики определения размеров ВПП с учетом размеров трещин в желатине, остающихся после ликвидации полости.

Для количественной оценки объема переданной кинетической энергии, потраченной огнестрельным снарядом на преодоление сопротивления имитатора биологической ткани, необходимо провести измерение длины радиальных разрывов на поперечных плоскостных срезах, поскольку разрывы

¹ См.: Fackler M. L. Ordnance gelatin for ballistic studies / M. L. Fackler, J. A. Malinowski // Am. J. Forensic Med. Pathol. — 1988. — Vol. 9. — № 3. — P. 218–219.

² См.: Озерецковский Л. Б. Раневая баллистика / Л. Б. Озерецковский, Е. К. Гуманенко, В. В. Бояринцев. — СПб. : Журнал «Калашников», 2006. — 374 с.

формируются соответственно направлению вращения пули и продольное рассеечение блока неэффективно. Блок желатина разрезается на отдельные секции минимально возможной толщины. Некоторые авторы признают достаточной толщину среза 2,5 см, однако на современном этапе многие исследователи рекомендуют принимать оптимальной толщину 1 см, что также подтверждается нашей практикой, поскольку сделать более тонкие срезы из-за тенденции к фрагментации, крайне затруднительно. Измерение линейных величин проводят после предварительного сканирования или масштабного фотографирования поперечных срезов. Обработка экспериментальных данных проводится с помощью специального программного обеспечения.

Существуют следующие основные методы оценки результатов эксперимента на желатине, широко применяемые в мировой практике¹.

1. The Fissure Surface Area (FSA) метод. Исследования (проведенные, в основном, Knappworst, Dynamit Nobel AG) показали, что подобно спаданию в мышце, ВПП в желатине сокращается, оставляя после себя постоянный раневой канал. Решающим для экспериментального исследования, является то, что в желатине остаются радиальные трещины, отходящие от раневого канала, длина которых пропорциональна объему временной полости и, следовательно, энергии, которую пуля передает блоку на единицу длины, E'_{ab} .

Knappworst продемонстрировал, что при постоянных условиях можно применить формулу

$$\sum r_i = c \times (E'_{ab})_i, \quad (1)$$

где $\sum r_i$ – сумма всех длин трещин в данном поперечном сечении одного блока; c – константа, значение которой должно быть определено.

Для раневого канала длиной l_w общий объем энергии рассчитывается по формуле

$$RE_{FSA} = \sum RE_i, \quad (2)$$

где RE_i – объем энергии, затраченной в секции i , и рассчитывается по формуле

¹ См.: Schyma C. Evaluation of the temporary cavity in ordnance gelatine / C. Schyma, B. Madea // Forensic Sci. Int. — 2012. — Vol. 214. — P. 82–87; Gunshot energy transfer profile in ballistic gelatin, determined with computed tomography using the total crack length method / [S. A. Bolliger, M. J. Thali, M. J. Bolliger, B. P. Kneubuehl] // Int. J. Legal Med. — 2010. — Vol. 124. — P. 613–616; Analysis of temporary cavity produced by high velocity missile in gelatin blocks / [Ž. Korać, D. Kelenc, D. Mikulić, J. Hančević] // Acta Clin. Croat. — 2000. — Vol. 39. — № 4. — P. 211–214; Bresson F. Comparing ballistic wounds with experiments on body simulator / F. Bresson, O. Franck // Forensic Sci. Int. — 2010. — Vol. 198. — P. 23–27; Schyma C. W. Colour contrast in ballistic gelatine / C. W. Schyma // Forensic Sci. Int. — 2010. — Vol. 197. — P. 114–118; Jussila J. Measurement of kinetic energy dissipation with gelatine fissure formation with special reference to gelatine validation / J. Jussila // Forensic Sci. Int. — 2005. — Vol. 150. — P. 53–62.

$$RE_i = \sum r1_i \times l_{wi} + \left(\left| \sum r1_i - \sum r2_i \right| \times \frac{l_{wi}}{2} \right), \quad (3)$$

где $r1$ и $r2$ – сумма $\sum r$ для входной и выходной поверхности отдельной секции соответственно.

2. The Total Crack Length Method (TCLM) [Ragsdale and Josselson, 1988]. Данный метод оценки размера временной полости предполагает, что трещины были сформированы в пределах окружности максимального расширения, т. е. временной полости раневого канала. Поэтому радиус временной пульсирующей полости вычисляется по формуле

$$r_{\text{ВПП}} = \sum r / (2 \times \pi), \quad (4)$$

и энергия RE_{TCLM} может быть выражена как сумма всех объемов энергии в каждой секции (RE_i)

$$RE_i = \pi \times l_w \times (r1_{\text{ВПП}}^2 + r1_{\text{ВПП}} \times r2_{\text{ВПП}} + r2_{\text{ВПП}}^2) / 3. \quad (5)$$

3. The Wound Profile Method (WPM) [Fackler and Malinowski, 1985] предусматривает измерение длины двух наибольших разрывов для расчета диаметра ВПП

$$r_{\text{ВПП}} = (r_{\text{max1}} + r_{\text{max2}}) / 2. \quad (6)$$

Общая затраченная энергия RE_{WPM} определяется с использованием формулы (5).

Таким образом, использование баллистического желатина в качестве биологического имитатора с применением современных расчетных методик позволяет изучить закономерности формирования ВПП и количественные характеристики повреждающего действия огнестрельного снаряда в теле человека.

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ БАЛІСТИЧНОГО ЖЕЛАТИНУ ЯК ІМІТАТОРА БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИН ЛЮДИНИ

Филипчук О. В., Гуров О. М.

Представлено сучасні можливості застосування балістичного желатину як біологічного імітатора, який найбільш репрезентативний щодо тканин живої людини. Запропоновано пріоритетні методики виготовлення блоків желатину, умови проведення експерименту та способи математичного оброблення даних із позиції ранової балістики.

Ключові слова: вознепальне поранення, ранова балістика, балістичний желатин, імітатор тканин людини, тимчасова пульсуюча порожнина.

**PECULIARITIES OF APPLYING BALLISTIC GEL AS
A SIMULATOR OF HUMAN BIOLOGICAL TISSUES**

Filipchuk O. V., Gurov O. M.

The study of a mechanism of gunshot wound formation is the main task of wound ballistics. The damaging effect of the wounding projectile (the regularities in the formation of a temporary pulsating cavity) can be studied the most effectively as part of an experiment on simulators whose physical properties (density, elasticity, the capacity to absorb energy) resemble the tissues of a living human. The article presents modern capacities of applying ballistic gel as the most representative biological simulator of a living human's tissues. The article suggests priority methods of making blocks of gel, the conditions of conducting the experiment and mathematic processing of data from the perspective wounding ballistics. Due to the elastic properties of gel, the temporary pulsating cavity that emerges in the course of the wounding projectile in the same way as the living tissues collapse with the permanent wound tract. In order to evaluate the volume of the damaging effect of the wounding projectile there are used standard calculation methods: the fissure surface area (FSA), wound profile method (WPM), the total crack length method (TCL).

Keywords: gunshot injury, wound ballistic, ballistic gelatin (gel), human tissue simulator, temporary pulsating cavity.

УДК 340.6:616.711.1-001-005-079

В. О. Ольховський, завідувач кафедри судової медицини, медичного правознавства Харківського національного медичного університету, доктор медичних наук, професор,

М. В. Губін, доцент кафедри судової медицини, медичного правознавства Харківського національного медичного університету, кандидат медичних наук, доцент,

О. М. Пешенко, асистент кафедри судової медицини, медичного правознавства Харківського національного медичного університету

**СУДОВО-МЕДИЧНА ОЦІНКА
ТРАВМ ШИЙНОГО ВІДДІЛУ ХРЕБТА
З УРАХУВАННЯМ ЗМІН ЦЕНТРАЛЬНОЇ ГЕМОДИНАМІКИ**

Досліджено стан центральної гемодинаміки в постраждалих із травмами шийного відділу хребта. За результатами порівняльного аналізу доведено, що судово-медична оцінка травм шийного відділу хребта має враховувати доплерографічні показники, серед яких найбільш інформативними є функціональні зміни загальної мозкової й хребцевої артерій.