

В.В. Хоминец¹, А.Л. Кудяшев¹, А.С. Дресвянников¹,
А.В. Денисов¹, А.В. Миляев²,
Е.Д. Куринной², А.Н. Гребенюк^{1,2}

Экспериментальная оценка степени тяжести контузионной травмы коленного и локтевого суставов

¹ Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург

² Общество с ограниченной ответственностью «Специальная и медицинская техника», Санкт-Петербург

Резюме. Статистика мировых войн прошлого столетия свидетельствует о том, что огнестрельные ранения суставов составляют значительную часть в структуре ранений конечностей (5,7–10%) и формируют основную группу увольняемых из рядов Вооруженных сил. Разработка средств индивидуальной защиты коленных и локтевых суставов, необходимых для сохранения здоровья военнослужащих в ходе учебно-боевой деятельности, является актуальной проблемой военной медицины. В серии опытов на животных смоделирована контузионная травма коленных и локтевых суставов, определены степени ее тяжести, получены различные типы повреждений. Установлено, что для одинаковых по морфологической картине повреждений коленных и локтевых суставов необходима разная кинетическая энергия, отличающаяся в большую сторону для коленных суставов. Так, ушиб мягких тканей локтевого сустава возникает при воздействии ранящего снаряда, обладающего энергией более 14 Дж, а мягких тканей коленного сустава – более 29 Дж. Выраженный ушиб локтевого сустава с гематомами возможен при воздействии энергии ранящего снаряда более 29 Дж, коленного сустава – более 33,5 Дж. Гемартроз коленного и локтевого суставов получен при воздействии энергии ранящего снаряда от 33,5 Дж и более, но для локтевого сустава общая частота случаев гемартроза была выше. Переломы надколенника были получены в опыте с ранящим снарядом, обладающим кинетической энергией, равной 33,5 Дж, переломы плечевой кости – 45 Дж. Разработанная модель воздействия ранящим снарядом, выпущенным с различной кинетической энергией из метательной установки, может использоваться для оценки степени тяжести контузионной травмы. Выявлено, что средства индивидуальной защиты коленных и локтевых суставов должны выдерживать прямые удары с кинетической энергией 5, 15 и 30 Дж для уровней защиты 1, 2 и 3, соответственно. Для налокотников соответствующие значения энергии удара составляют 2,5; 7,5 и 15 Дж. В качестве предельно допустимых средних значений передаваемой силы приняты: для налокотников – не более 5 кН, для наколенников – не более 10 кН.

Ключевые слова: коленный сустав, локтевой сустав, огнестрельная травма, средства индивидуальной защиты, моделирование, военная медицина.

Введение. Поражающие факторы современного боя (пули, осколки, ударная волна и др.), как и особенности повседневных занятий по боевой подготовке в мирное время (падения на колено или локоть при занятии позиции для стрельбы или на бронетехнике) являются весьма травмоопасными, особенно для коленного и локтевого суставов. Статистика мировых войн прошлого столетия и многочисленных локальных военных конфликтов последних десятилетий свидетельствует, что огнестрельные ранения суставов конечностей достигают 5,7–10% от всех ранений конечностей и формируют основную группу увольняемых из рядов Вооруженных сил [2].

В ходе войны в Афганистане и вооруженных конфликтов на Северном Кавказе, из общего числа повреждений опорно-двигательного аппарата доля осколочных ранений конечностей составляла в среднем около 60%, а пулевых – около 40% [5, 7–9]. По частоте повреждений огнестрельные ранения суставов распределились следующим образом: коленный сустав – 38,9%; локтевой – 20,7%; голеностопный – 11,8%; плечевой – 11,7%; тазобедренный – 8,7%; лучезапястный

– 8% [3]. Проникающие ранения в сустав выявлены у 79% раненых, непроникающие – у 21% [4]. Сквозные ранения отмечены у 62,4% пострадавших в Афганистане, слепые – у 34,2%, причем у 8,9% раненых были слепые множественные ранения конечностей [2, 7].

Механические травмы и огнестрельные ранения суставов, за исключением лёгких по тяжести повреждений, требуют проведения высокотехнологичных оперативных вмешательств, длительного лечения и весьма дорогостоящей реабилитации пострадавших [1, 11]. Это обстоятельство потребовало разработки и внедрения в практику Вооруженных сил средств индивидуальной защиты конечностей у военнослужащих [12]. Наиболее важными анатомическими структурами, обеспечивающими целостность и сохранение функции конечностей, являются надколенник для коленного сустава и локтевой отросток для локтевого сустава. Защиту этих структур обеспечивают современные средства индивидуальной бронезащиты – наколенники и налокотники, составляющие неотъемлемую часть боевой экипировки военнослужащих.

Однако до настоящего времени не разработаны критерии, позволяющие оценить эффективность средств индивидуальной защиты крупных суставов. Связано это, в том числе, с отсутствием четких критериев, позволяющих разграничить различные степени тяжести повреждения этих анатомических структур. Для определения таких критериев необходимо создать модель контузионной травмы коленных и локтевых суставов, что и послужило основанием для проведения настоящего исследования.

Цель исследования. Выявить особенности контузионной травмы коленных и локтевых суставов и определить пороговые уровни их повреждения ранящими снарядами с высокой кинетической энергией.

Материалы и методы. Для проведения экспериментального исследования были выбраны 20 баранов породы «Эдильбаевская» и «Цигайская» в возрасте от 6 до 18 месяцев с массой тела 45–70 кг. Животные предварительно были обследованы ветеринаром, в эксперимент отбирались только бараны, не имеющие заболеваний и видимых травм. За 20 мин до проведения эксперимента животных погружали в наркоз путем внутримышечного введения 10 мг/кг раствора золетила-100. Указанная доза препарата обеспечивала надежное обездвиживание, а контролем глубины наркоза служило угасание роговичных, мигательных рефлексов и тонуса скелетных мышц.

Затем наркотизированных баранов располагали в горизонтальном положении, подвешивая на ляжочном устройстве из брезента. Моделирование контузионной травмы суставов осуществляли с использованием пневматической метательной установки, состоящей из ствола и электромагнитного пневматического клапана, ресивера для сжатого воздуха и регулируемого основания. Использовали стволы с диаметром канала 20 и 40 мм и ресиверы объемом от 500 до 5000 см³. В качестве ранящих снарядов применяли стальные шары диаметром 20 и 40 мм.

Измерение скорости ранящего снаряда производили с помощью высокоскоростной камеры «Phantom MiGo 320». Скорость определяли по среднему значению серии из 20 выстрелов в уловитель, проведенных с одинаковыми параметрами. В дальнейшем высокоскоростную камеру использовали для фиксации момента попадания снаряда, что позволяло более точно интерпретировать характер и точность попадания. Точками воздействия снарядов были выбраны центр надколенника и центр верхушки локтевого отростка, как наиболее уязвимые части суставов.

Функцию конечностей оценивали на протяжении 24 ч после воздействия. Проводили визуальный контроль активности животного, оценивали характер походки. Для контроля костно-травматических изменений выполняли рентгенограммы до и после проведения воздействия. Характер повреждений кровных тканей и костей оценивали морфологически при макроскопическом секционном исследовании. Полученные в ходе экспериментальных исследова-

ний данные подвергали стандартной статистической обработке.

Результаты и их обсуждение. Типы повреждений, степени тяжести контузионной травмы коленных и локтевых суставов, а также обобщенные результаты экспериментов приведены в таблицах 1 и 2.

Установлено, что ушиб мягких тканей локтевого сустава возникает при воздействии ранящего снаряда, обладающего энергией более 14 Дж, а мягких тканей коленного сустава – более 29 Дж. Выраженный ушиб локтевого сустава с гематомами возможен при воздействии энергии ранящего снаряда более 29 Дж, коленного сустава – более 33,5 Дж. Гемартроз коленного и локтевого суставов был получен при воздействии энергии ранящего снаряда от 33,5 Дж и более, но для локтевого сустава общая частота случаев гемартроза была выше. Переломы надколенника были получены в опыте с ранящим снарядом, обладающим кинетической энергией, равной 33,5 Дж (рис. 1). Переломы плечевой кости были получены при воздействии снарядом, обладающим кинетической энергией 45 Дж (рис. 2).

С точки зрения оценки эффективности существующих и разрабатываемых средств индивидуальной защиты крупных суставов полученные результаты можно интерпретировать, используя классификацию степени тяжести заброневой контузионной травмы, изложенную в приложении Б к ГОСТ Р 50744-95 «Бронеодежда. Классификация и общие технические требования» [6]. В соответствии с этим документом, морфологическими признаками, свидетельствующими о наличии заброневой контузионной травмы легкой (I) степени, являютсяссадины, кровоподтеки, ограниченные подкожные гематомы, а также единичные очаговые субплевральные кровоизлияния. Для контузионной травмы средней (II) степени тяжести характерны ушибленные раны, очаговые внутримышечные кровоизлияния, единичные кровоизлияния в брыжейку кишечника. Тяжелая (III степень) заброневая контузионная травма характеризуется наличием закрытых и открытых переломов ребер, разрывов плевры, кровоизлияний в ткань легких, под оболочки сердца, под капсулу внутренних органов. Однако все вышеперечисленные признаки разработаны для закрытой контузионной травмы области грудной клетки и живота, которая может возникнуть при воздействии ранящего снаряда на бронежилет, что не позволяет прямо аппроксимировать их для оценки степени тяжести повреждения крупных суставов.

В соответствии со стандартом Великобритании BS 7971:2002 «Защитная одежда и оборудование для использования в ситуациях применения силы и при боевой подготовке», часть 1 «Общие требования» и часть 4 «Протекторы для конечностей – требования и тестовые методики», средства противоударной защиты конечностей для полиции подразделяются на три уровня: 1 – низкий, предназначен для полицейских дополнительно снабженных длинным щитом, а нарушители находятся на удалении и не имеют в руках

Таблица 1

Зависимость характера повреждений коленного сустава от кинетической энергии и диаметра ранящего снаряда

Характер повреждения	Кинетическая энергия, Дж	Диаметр ранящего снаряда, мм	Абсолютное число зарегистрированных случаев / общее число наблюдений	Относительное число зарегистрированных случаев, %
Повреждение кожи	29,5	20	4 / 6	66,7
	45	20	4 / 8	50
	69	40	2 / 5	40
	102,7	40	2 / 6	33,3
	242	40	1 / 1	100
	315	40	1 / 1	100
Ушиб	29,5	20	4 / 6	66,7
	33,5	40	5 / 14	35,7
	37	20	1 / 1	100
	45	20	4 / 8	50
	69	40	2 / 5	40
	102,7	20	2 / 6	33,3
Выраженный ушиб с гематомой	33,5	40	2 / 14	14,3
	69	40	1 / 5	20
	242	40	1 / 1	100
	315	40	1 / 1	100
Гемартроз	33,5	40	4 / 14	28,6
Перелом надколенника	33,5	40	2 / 14	14,3
Перелом мыщелков бедра	315	40	1 / 1	100

Таблица 2

Зависимость характера повреждений локтевого сустава от кинетической энергии и диаметра ранящего снаряда

Характер повреждения	Кинетическая энергия, Дж	Диаметр ранящего снаряда, мм	Абсолютное число зарегистрированных случаев / общее число наблюдений	Относительное число зарегистрированных случаев, %
Повреждение кожи	29,5	20	4 / 6	66,7
	45	20	4 / 8	50
	69	40	2 / 5	40
	102,7	40	2 / 6	33,3
Ушиб	33,5	40	4 / 14	28,6
	45	20	1 / 8	12,5
	69	40	2 / 4	50
Выраженный ушиб с гематомой	29,5	20	4 / 6	66,7
	33,5	40	2 / 14	14,3
	45	20	3 / 8	37,5
	102,7	40	2 / 6	33,3
Гемартроз	33,5	40	3 / 14	21,4
	45	20	2 / 8	25
	102,7	40	2 / 6	33,3
Перелом плечевой кости	45	20	2 / 8	25

каких бы то ни было подручных предметов (камней, палок и т.п.); 2 – средний, предназначен для ситуаций, когда предполагается тесный контакт с нарушителями порядка; 3 – высокий, так же для ситуаций с тесным контактом с нарушителями при отсутствии щита [15]. При проведении испытаний на прочность наколенники должны выдерживать прямые удары с кинетической

энергией 5, 15 и 30 Дж для уровней защиты 1, 2 и 3, соответственно. Для налокотников соответствующие значения энергии удара составляют 2,5; 7,5 и 15 Дж. В качестве предельно допустимых средних значений передаваемой силы приняты: для налокотников – не более 5 кН, для наколенников – не более 10 кН [15]. Эти же значения кинетической энергии и силы удара



Рис. 1. Повреждения коленного сустава при воздействии ранящего снаряда, обладающего кинетической энергией 33,5 Дж: а – ушиб мягких тканей, перелом нижнего полюса надколенника; б – гемартроз коленного сустава. Макроскопическое секционное исследование



Рис. 2. Повреждения локтевого сустава при воздействии ранящего снаряда, обладающего кинетической энергией 45 Дж: а – рентгенограмма перелома плечевой кости; б – ушиб мягких тканей, гематома, перелом правой плечевой кости. Макроскопическое секционное исследование

Таблица 3

Морфологические признаки контузионной травмы коленных и локтевых суставов различной степени тяжести в зависимости от кинетической энергии ранящего снаряда

Степень тяжести контузионной травмы	Классифицирующий морфологический признак травмы	Кинетическая энергия ранящего снаряда, Дж	
		коленный сустав	локтевой сустав
1 – легкая	Ссадины, кровоподтеки, ушибы и ограниченные подкожные гематомы	5–29,5	2,5–14
2 – средняя	Глубокие ссадины, ушибы с очаговыми внутримышечными кровоизлияниями	29,5–45	14–33,5
3 – тяжелая	Рвано-ушибленные раны кожи, гемартроз суставов, повреждения капсульно-связочного аппарата, переломы костей	45 и более	33,5 и более

приняты для оценки защитных свойств наколенников и налокотников, используемых польской полицией [13, 14].

Полученные результаты проведенных нами экспериментальных исследований, соотнесенные с данными литературы [6, 10, 12–15], позволяют выделить три степени тяжести контузионной травмы коленных и локтевых суставов, общая характеристика которых представлена в таблице 3.

Выводы

1. Для одинаковых по морфологической картине повреждений коленных и локтевых суставов необходима разная кинетическая энергия, отличающаяся в большую сторону для коленных суставов.

2. Разработанная модель воздействия ранящим снарядом, выпущенным с различной кинетической энергией из метательной установки, может использоваться для оценки степени тяжести контузионной травмы.

3. В ходе проведенных экспериментов получены все типы морфологических повреждений коленных и локтевых суставов.

Литература

- Абрамов, Г.Г. Профилактика и лечение контрактур коленного сустава после огнестрельных ранений: дис. ... канд. мед. наук / Г.Г. Абрамов. – СПб., 2001. – 142 с.
- Аверкиев, В.А. Огнестрельные ранения суставов / В.А. Аверкиев, В.М. Шаповалов, Д.В. Аверкиев. – СПб.: Интерлайн, 2000. – 130 с.
- Аверкиев, В.А. Огнестрельные ранения суставов: дис. ... д-ра мед. наук / В.А. Аверкиев. – Л., 1988. – 484 с.
- Аверкиев, Д.В. Особенности огнестрельных ранений плечевого сустава, нанесенных современными ранящими снарядами, и способы фиксации отломков: дис. ... канд. мед. наук / Д.В. Аверкиев. – СПб., 1997. – 158 с.
- Гирголав, С.С. Огнестрельные раны: опыт советской медицины в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг. / С.С. Гирголав. – М., 1950. – Т. 1. – С. 15–63.
- ГОСТ Р 50744-95. Бронеодежда. Классификация и общие технические требования. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 11 с.
- Ерюхин, И.А. Организация и содержание хирургической помощи / И.А. Ерюхин [и др.] // Опыт медицинского обеспечения войск в Афганистане 1979–1989 гг. Т. II. – М.: ГВКГ им. Н.Н. Бурденко, 2002. – С. 16–67.
- Озерецковский, Л.Б. Раневая баллистика: история и современное состояние огнестрельного оружия и средств индивидуальной бронезащиты / Л.Б. Озерецковский, Е.К. Гуманенко, В.В. Бояринцев. – СПб.: Калашников, 2006. – 374 с.
- Озерецковский, Л.Б. Механизм огнестрельных ранений и особенности повреждений современными ранящими снарядами: дис. ... д-ра мед. наук / Л.Б. Озерецковский. – Л., 1989. – 349 с.
- Соловьев, И.А. Особенности взрывной травмы при использовании отдельных видов средств индивидуальной бронезащиты / И.А. Соловьев [и др.] // Вестн. Росс. воен.-мед. акад. – 2015. – № 3 (51). – С. 128–132.
- Хоминец, В.В. Значение ранней диагностики в лечении нестабильности коленного сустава у военнослужащих / В.В. Хоминец [и др.] // Воен.-мед. журн. – 2015. – Т. 336, № 3. – С. 26–31.
- Шаповалов, В.М. Взрывные повреждения конечностей и их профилактика. Обоснование и внедрение индивидуальных средств защиты ног военнослужащих: дис. ... д-ра мед. наук / В.М. Шаповалов. – Л., 1989. – 325 с.
- Czerwi ski, K. Comparative analysis of impact strength tests of the anti-blow multilayer textile lower limb protectors devoted for the police / K. Czerwi ski [et al.] // FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe. – 2015. – Vol. 23, № 2 (110). – P. 84–89.
- Fortuniak, K. Optimizing the design of impact-resistant limb protectors / K. Fortuniak, G. Redlich // Proceedings of Personal Armour Systems Symposium (PASS 2008). – Brussels (Belgium), 2008. – P. 1/8–8/8.
- Standard BS 7971:2002. Protective clothing and equipment for use in violent situations and in training. Personal defence shields. Requirements and test methods / Part 1: General requirements. Part 4: Limb protectors – requirements and test methods. – British Standard, 2002. – 30 p.

V.V. Khominets, A.L. Kudyashev, A.S. Dresvyannikov, A.V. Denisov, A.V. Milyaev, E.D. Kurinnoy, A.N. Grebenyuk

Experimental evaluation of severity of contusion injuries of knee and elbow joints

Abstract. Statistics of the world wars of the past century indicates that the gunshot wounds of the joints make up a significant part in the structure of the limb injuries (5,7–10%), forming the main group of people dismissed from the Armed Forces. Development of personal protective knee and elbow joints, necessary to preserve the health of military personnel in the course of combat practice and training activities, is an urgent problem of military medicine. In a series of experiments were obtained various types of damage, determined the severity of contusion injuries of the knee and elbow joints. It was found that for the same picture on the morphological damage to the knee and elbow joints require different kinetic energy, which is bigger for the knee. Thus, the elbow joint injury soft tissue occurs under the influence of wounding projectile with an energy of more than 14 J, and the knee joint soft tissue – more than 29 J. Severe injury to the elbow joint with hematomas possible when exposed to the energy of the wounding projectile more than 29 J, the knee – more than 33,5 J. Hemarthrosis of the knee and elbow joints was obtained at the influence of the energy of the wounding projectile of 33,5 J or more, but for the elbow joint common incidence of hemarthrosis was higher. Fractures of the patella were obtained in the experiment with wounding projectile with a kinetic energy equal to 33,5 J, fractures of the humerus – 45 J. impact model was developed with wounding shells fired with different kinetic energy from throwing installation, it can be used to assess the degree of severity of the contusion injury. It was revealed that personal protective knee and elbow joints have to withstand direct hits from the kinetic energy of the 5, 15 and 30 J for the protection levels 1, 2 and 3, respectively. Elbow pads for the corresponding values of impact energy of 2,5; 7,5 and 15 J as a maximum allowable average transmit power values are accepted: for elbow pads – not more than 5 kN, for knee pads – not more than 10 kN.

Key words: knee, elbow, gunshot injury, personal protective equipment, modeling, military medicine.

Контактный телефон: +7-981-958-50-04; e-mail: alexdrdre@gmail.com