

Р.В. Титов, И.А. Соловьев, В.С. Свирида,
И.А. Шперлинг, А.А. Галака

Определение порогов травмобезопасности и летальности при подрыве бронетехники

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

Резюме. Особенностью современного высокоманевренного боя является широкое применение бронетехники, позволяющей защитить личный состав воинских подразделений от минно-взрывного оружия. В военных конфликтах второй половины XX – начала XXI в. ранения и травмы, имеющие взрывной генез, составляют значительную часть в структуре боевых санитарных потерь хирургического профиля. На основании проведенных экспериментальных исследований установлены типичные особенности повреждений у личного состава экипажа бронетехники при ее подрыве. В качестве экспериментальной модели использовались свиньи и кролики. Экспериментальные животные размещались в обитаемом отделении на местах расположения механика-водителя и сапера. На сиденьях экипажа и саперов, а также основаниях корпуса устанавливались тензометрические датчики и датчики ударных ускорений. Для измерения параметров воздушной ударной волны устанавливались сферические пьезоэлектрические датчики давления. Изучен ведущий механизм повреждающего действия минно-взрывных боеприпасов при непробитии днища бронетехники. Определены пороги травмобезопасности и летальности человека, разработаны рекомендации по диагностике минно-взрывных повреждений указанного генеза. Выявлены наиболее информативные клинико-инструментальные показатели, позволяющие судить о тяжести минно-взрывных повреждений, развивающихся уже в первый час после подрыва бронетехники. Проанализированы критерии возможных повреждений у личного состава экипажа бронетехники при воздействии ударных ускорений. Разработаны медико-технические требования к образцам бронетехники. Установлено, что множественность и разнообразие повреждений, которые развиваются вследствие подрыва в бронетехнике, требуют применения комплексного мультидисциплинарного подхода.

Ключевые слова: минно-взрывная травма, особенности минно-взрывных повреждений при подрыве в бронетехнике, пороги травмобезопасности и летальности экипажа при подрыве бронетехники, медико-технические требования к образцам бронетехники.

Введение. Одной из наиболее характерных черт современных локальных войн и вооруженных конфликтов является широкое применение минно-взрывных боеприпасов, и как следствие, особенностью современного высокоманевренного боя является широкое применение бронированной техники, позволяющей защитить личный состав воинских подразделений от минно-взрывного оружия. Тем не менее, в военных конфликтах второй половины XX – начала XXI в. количество ранений и травм, имеющих взрывной генез, в структуре боевых санитарных потерь хирургического профиля постоянно нарастает. Однако работы, направленные на изучение особенностей минно-взрывных повреждений при подрыве бронетехники, крайне немногочисленны. Не проведен анализ особенностей минно-взрывных повреждений у личного состава экипажей бронетехники при ее пробитии и непробитии. Не обобщен опыт хирургического лечения данной категории раненых, полученный в ходе вооруженных конфликтов конца XX – начала XXI в.

Минно-взрывные повреждения относятся к числу наиболее тяжелых видов боевой хирургической патологии. Их особенностью является то, что, не имея практически аналогов среди традиционных механических повреждений, они представляют собой сложный, специфический вид политравмы, характеризующийся

одновременным воздействием на пострадавшего совокупности механических, термических и химических поражающих факторов. Пострадавшие при взрывах составляют категорию наиболее тяжелых на всех этапах эвакуации. Они становятся «многопрофильными» пациентами из-за возникновения тяжелых сотрясений, ушибов и разрывов внутренних органов с развитием разных осложнений. Такой характер повреждений обуславливает значительные диагностические сложности при определении характера повреждений и оптимального плана оказания медицинской помощи. При этом наиболее важным является исключение повреждений важных анатомических образований, что требует выработки определенного алгоритма лечебно-диагностического процесса с использованием современных методов диагностики.

Цель исследования. Определить пороги травмобезопасности и летальности человека, на основании изучения механизма и особенностей повреждений у биологических объектов, развивающихся при подрыве в бронетехнике.

Задачи исследования: 1. Определить основные повреждающие факторы, воздействующие на личный состав экипажей бронетехники при ее подрыве.

2. Выявить особенности минно-взрывных повреждений, развивающихся у размещенных в бронетехнике экспериментальных животных при подрыве.

3. Определить пороги травмобезопасности и летальности человека в зависимости от величины ударных ускорений.

Материалы и методы. В рамках государственных испытаний нового образца бронированной машины разминирования БМР-ЗМА проведены два этапа экспериментов.

На первом этапе исследовались особенности повреждений макета бронированной машины разминирования БМР-ЗМА при подрыве под ее днищем различных боеприпасов. Регистрировались и анализировались параметры ударных ускорений опоры (днища и сидений), параметры затекающей воздушной ударной волны, а также исследовались повреждения макета корпуса БМР-ЗМА.

На втором этапе исследовались особенности минно-взрывных повреждений, полученных экспериментальными животными – свиней и кроликов. Основанием для выбора свиней явилась их сопоставимость по массе, строению внутренних органов, а также морфофункциональным особенностям со взрослым человеком. Основанием для выбора кроликов явилось сходство строения органа слуха человека и кролика.

При этом свиньи помещались в специальных станках на местах расположения механика-водителя и сапера, которые позволяли сохранять вертикальное положение тела и штатно фиксировались ремнями безопасности к подressоренным сиденьям. Для оценки возможной баротравмы вследствие затекания воздушной ударной волны внутрь обитаемого отделения на уровне расположения головы личного состава

экипажа и саперов в специальных клетках помещались кролики (рис. 1).

На подressоренных сиденьях экипажа и саперов, а также корпусных основаниях (днище) устанавливались датчики ударных ускорений «ДУ-5С» (4 шт.) и на стенки корпуса – тензометрические датчики давления «ТМД-60» (4 шт.). Для измерения параметров затекающей воздушной ударной волны устанавливались сферические пьезоэлектрические датчики давления.

Всего было выполнено 16 подрывов – по 8 с участием и без участия экспериментальных животных. Условия закладки боеприпасов в экспериментах были одинаковыми (табл. 1).

В течение трех суток после подрывов проводились регулярные осмотры и наблюдение за поведением животных, выполнялись клинические исследования крови, оценивались показатели гемодинамики, газообмена, измерялась ректальная температура, проводились инструментальные исследования.

Таблица 1

Условия закладки боеприпасов

Наименование БП	Количество подрывов	Место закладки БП
ПТМ-3	2 по 2 шт.	под днищем
		под гусеницей
ТМ-72	2 по 2 шт.	под днищем
		под гусеницей
ТМ-62М(МС)	2 по 2 шт.	под днищем
		под гусеницей
ОФ-29	2 по 2 шт.	под днищем
		под гусеницей



Рис. 1. Расположение экспериментальных животных в макете корпуса БМР-ЗМА

Наиболее достоверными показателями, позволяющими судить о тяжести состояния экспериментальных животных и опосредованно о возможной тяжести состояния членов экипажа при подрыве в бронетехнике, являются частота сердечных сокращений, артериальное давление, частота дыхательных движений, насыщение крови кислородом и ряд показателей variability сердечного ритма.

Результаты и их обсуждение. Подрывы противотанковых мин сопровождались повреждением ходовой части машины в виде сдвигов или вырывания одного или нескольких катков бронемшины. При этом повреждения днища ограничивались ударной деформацией и трещинами наружного листа брони БРМ-ЗМА. Подрыв двух 152-мм осколочно-фугасных артиллерийских снарядов под днищем привел к полному пролому днища (2 листа разнесенной брони и пола), под гусеницей – к трещине наружного листа брони (рис. 2).

Учитывая механогенез повреждений при минно-взрывном подрыве бронетехники, параметры удар-



Рис. 2. Повреждение (разрыв) внутреннего металлического листа пола около места механика-водителя после подрыва под днищем двух ОФС

ных ускорений (мощность и время воздействия) регистрировались в 6 точках: на раме и сиденьях БРМ-ЗМА – механика-водителя, командира и одного из саперов.

Показано, что использование поддресоренных сидений приводит к значительному снижению величины ударных ускорений (в среднем в 5 раз по сравнению с величиной ударных ускорений, воздействующих на днище и раму бронемшины). Максимальные величины ударных ускорений на местах расположения личного состава экипажа зафиксированы при подрыве двух осколочно-фугасных снарядов ОФ-29. На местах расположения механика-водителя и командира они составляли от 11,5 до 15,3 g при экспозиции от 2,2 до 2,7 мс, на месте расположения сапера – 8,2 g при экспозиции 2 мс. При подрыве противотанковых мин разброс значений величин ударных ускорений составил от 4 до 8 g при экспозиции от 1,5 до 2,5 мс (табл. 2).

Вторым повреждающим фактором при подрывах бронетехники на противотанковых минах и фугасах является затекающая внутрь обитаемого отделения воздушная ударная волна (ВУВ). Выявлены достоверные различия затекающей внутрь обитаемого отделения ударной волны по отношению к проходящей ударной волне. В частности, время действия импульса воздушной ударной волны при затекании внутрь обитаемого отделения в 2–3 раза больше, чем при подрыве взрывчатых веществ на открытом грунте.

При подрывах противотанковых мин величина избыточного давления была невысокой – порядка 40–70 кПа, что соответствует порогу повреждения барабанных перепонок. В то же время, за счет длительности действия воздушной ударной волны (примерно в 3 раза большей, чем при подрыве на открытом грунте), можно ожидать и баротравму легких (табл. 3).

В опытах с использованием осколочно-фугасных снарядов все животные после подрыва погибли (располагавшиеся на месте механика-водителя – спустя 7 и 15 мин, а расположенные на месте сапера – спустя 3 и 5 ч).

Таблица 2

Значения величин ударных ускорений и время их воздействия при подрыве боеприпасов разного типа

Наименование боеприпаса	Величина ударных ускорений (g) и времени их воздействия (мс)											
	на месте механика-водителя				на месте командира				на месте сапера			
	рама		сиденье		рама		сиденье		рама		сиденье	
	g	t	g	t	g	t	g	t	g	t	g	t
ПТМ-3 (2 шт.)	35,3	2,0	5,7	2,0	35,0	2,2	5,0	2,2	32,5	1,8	4,2	1,8
	–	–	–	–	32,5	2,0	4,5	2,0	30,0	1,8	4,0	1,5
ТМ-72 (2 шт.)	40,0	2,4	7,3	2,4	37,2	2,5	7,0	2,4	31,0	2,0	4,1	2,0
	37,3	2,0	6,9	1,9	39,0	2,3	7,3	2,2	34,0	2,0	5,2	1,9
ТМ-62М(МС) (2 шт.)	–	–	–	–	48,0	2,6	8,0	2,3	37,0	2,5	6,6	2,2
	43,2	2,2	7,5	2,0	–	–	–	–	35,7	2,0	6,0	2,0
ОФ-29 (2 шт.)	61,0	3,0	15,3	2,7	56,0	2,4	14,9	2,4	–	–	–	–
	56,4	2,7	11,9	2,5	50,1	2,2	11,5	2,2	47,6	2,0	9,2	2,0

Примечание: g – величина ударного ускорения; t – время воздействия.

Таблица 3

Величины избыточного давления во фронте ВУВ и времени его воздействия

Наименование боеприпаса	Место закладки БП	На месте механика-водителя		На месте командира		На месте сапера	
		ΔP	t	ΔP	t	ΔP	t
ПТМ-3 (2 шт.)	под днищем	40	1,6	41	1,6	40	1,6
	под гусеницей	42	1,7	41	1,8	42	1,7
ТМ-72 (2 шт.)	под днищем	53	2,0	53	2,0	52	2,0
	под гусеницей	51	1,9	50	1,9	50	1,9
ТМ-62М(МС) (2 шт.)	под днищем	69	1,8	70	1,8	69	1,8
	под гусеницей	67	1,7	67	1,9	67	1,9
ОФ-29 (2 шт.)	под днищем	102	2,0	100	2,0	100	2,0
	под гусеницей	97	1,9	97	1,9	97	1,9

Примечание: ΔP – величина избыточного давления во фронте ВУВ, кПа; t – время его воздействия, мс.

Все животные, которые были задействованы в экспериментах с использованием противотанковых мин, остались живы и были распределены на 4 группы в зависимости от тяжести их состояния.

Порог травмобезопасности вертикального снизу вверх воздействия ударных ускорений равен 4 g, порог летальности – более 10 g при экспозиции 2 мс (табл. 4).

При легкой степени тяжести минно-взрывного повреждения частота сердечных сокращений (ЧСС) резко повышается сразу после подрыва и нормализуется в течение первых суток. При средней степени нормализация показателя происходит лишь к исходу вторых суток, а при тяжелой – остается повышенным и спустя 3 суток после подрыва (табл. 5).

Понижение артериального давления (АД) при легкой степени минно-взрывных повреждений является

незначительным. Показатель приходит в норму спустя несколько часов после подрыва. При средней степени тяжести происходит более существенное понижение АД, при этом показатель приходит в норму спустя сутки после подрыва. При тяжелой степени тенденция к нормализации АД возникает лишь на вторые сутки (табл. 6).

Изменения частоты дыхательных движений (ЧДД) у пострадавших с легкой степенью тяжести крайне незначительны. При средней степени тяжести наблюдается подъем показателя сразу после подрыва, однако к исходу первых суток происходит его нормализация. При тяжелой степени повреждения выраженный подъем ЧДД сменяется через час тенденцией к снижению, однако нормализации показателя к исходу третьих суток не наблюдается (табл. 7).

При подрыве в бронетехнике у пострадавших развиваются многочисленные повреждения внутренних органов груди и живота. Тяжесть этих повреждений варьирует в зависимости от величины и времени воздействия вертикальных ударных ускорений.

Для легкой степени тяжести бронезащитного минно-взрывного повреждения характерны единичные поверхностные субплевральные кровоизлияния в легких, единичные кровоизлияния в ткань печени, возможно образование подкапсульной гематомы (рис. 3).

При средней степени тяжести бронезащитного минно-взрывного повреждения наблюдаются начальные морфологические проявления контузионного повреждения сердца. В нижних отделах обоих легких

Таблица 4

Распределение животных в зависимости от тяжести их состояния

Состояние экспериментальных животных	Величина ударных ускорений, g	Количество животных в группе
Удовлетворительное	4–4,5	3
Средней тяжести	4,5–6	4
Тяжелое	6–9	5
Крайне тяжелое/гибель на месте	>9	4

Динамика ЧСС в зависимости от тяжести повреждения

Таблица 5

Степень тяжести минно-взрывных повреждений	До подрыва	После подрыва				
		сразу после	спустя 1 час	спустя 1 сутки	спустя 2 суток	спустя 3 суток
Легкое	69±1	91±1	79±2	75±1	70±2	69±2
Среднее	70±2	119±5	116±6	97±10	79±2	72±1
Тяжелое	69±2	135±9	124±13	101±7	96±5	80±7
Крайне тяжелое	68±1	155±9	154±13	–	–	–

Таблица 6

Динамика САД в зависимости от тяжести повреждения

Степень тяжести минно-взрывных повреждений	До подрыва	После подрыва				
		сразу после	спустя 1 час	спустя 1 сутки	спустя 2 суток	спустя 3 суток
Легкое	124±4	117±8	119±4	124±7	120±5	123±2
Среднее	126±1	91±6	113±7	118±5	124±5	124±6
Тяжелое	123±2	84±2	100±7	89±1	107±13	113±5
Крайне тяжелое	125±2	94±2	80±7	-	-	-

Таблица 7

Динамика ЧДД в зависимости от тяжести повреждения

Степень тяжести минно-взрывных повреждений	До подрыва	После подрыва				
		сразу после	спустя 1 час	спустя 1 сутки	спустя 2 суток	спустя 3 суток
Легкое	26±1	28±1	28±2	25±1	24±1	25±2
Среднее	26±1	42±1	39±4	29±2	29±4	26±1
Тяжелое	25±1	97±4	90±3	53±5	44±4	32±4
Крайне тяжелое	25±1	97±4	100±3	-	-	-

отмечаются субплевральные кровоизлияния. В брюшной полости обнаружены повреждения печени (подкапсульные гематомы и разрывы), многочисленные субсерозные и субмукозные кровоизлияния в стенку кишечника (рис. 4).

При тяжелой и крайне тяжелой степени заброневой минно-взрывного повреждения наблюдаются многочисленные обширные травмы внутренних органов груди и живота с массивными кровоизлияниями, приводящими к гибели животных в первые часы после получения травмы (рис. 5).

Наиболее характерными особенностями минно-взрывных повреждений, вызванных воздействием вертикальных ударных ускорений при подрыве в бронетехнике, явились повреждения позвоночника

– от компрессионных до нестабильных переломов позвонков нижнегрудного и верхнепоясничного отделов с кровоизлиянием в спинной мозг, а также кровоизлияния в мышцы поясничного отдела и таза (рис. 6).

Считаем, что у человека, находящегося в сидячем положении, повреждения позвоночника при воздействии ударных ускорений снизу вверх могут затронуть и шейный отдел. Кроме того, высока вероятность повреждений стоп и нижней трети голени.

Таким образом, минно-взрывные повреждения при подрыве в бронетехнике – это сложный комплекс повреждений внутренних органов груди и живота, каждый из которых может быть жизнеугрожающими, а также явиться причиной травмы позвоночника.

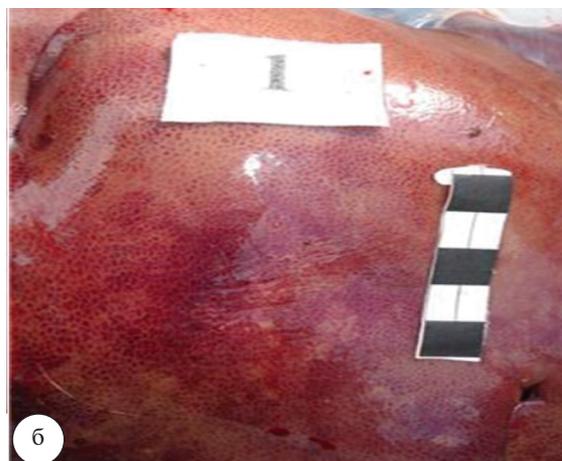
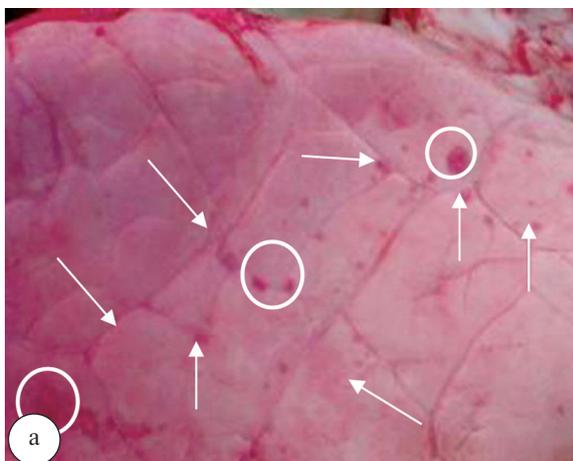


Рис. 3. Повреждения внутренних органов при заброневой травме лёгкой степени тяжести: а – единичные субплевральные кровоизлияния в легких; б – подкапсульная гематома печени

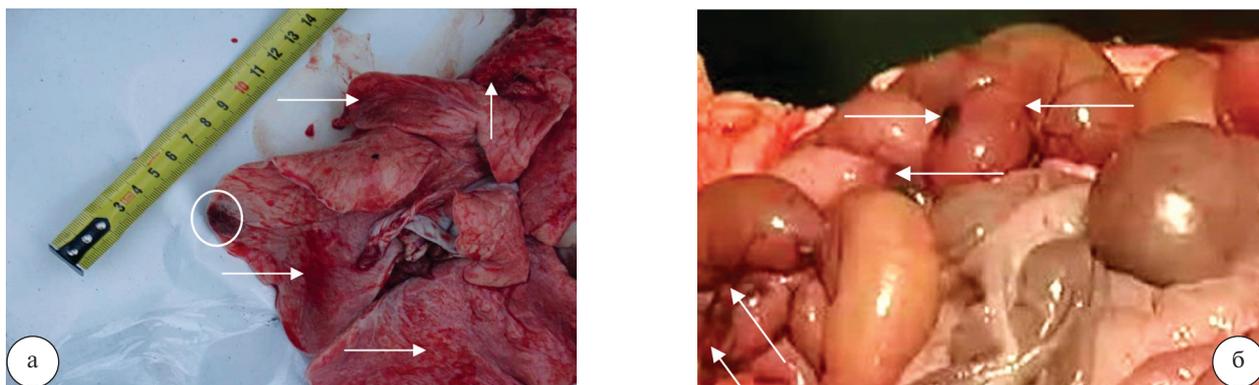


Рис. 4. Повреждения внутренних органов при заброневой травме средней степени тяжести: а – множественные субплевральные кровоизлияния в легких; б – множественные субсерозные и субмукозные кровоизлияния в стенку кишечника

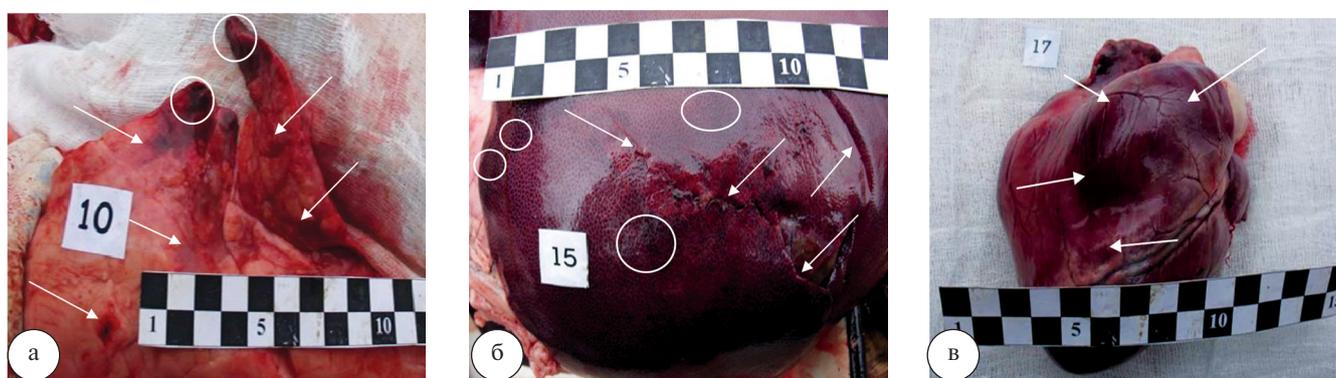


Рис. 5. Повреждения внутренних органов при заброневой травме тяжелой степени тяжести: а – массивные множественные кровоизлияния в легких; б – массивные кровоизлияния в ткань печени с разрывами ее паренхимы; в – множественные массивные кровоизлияния в стенке сердца

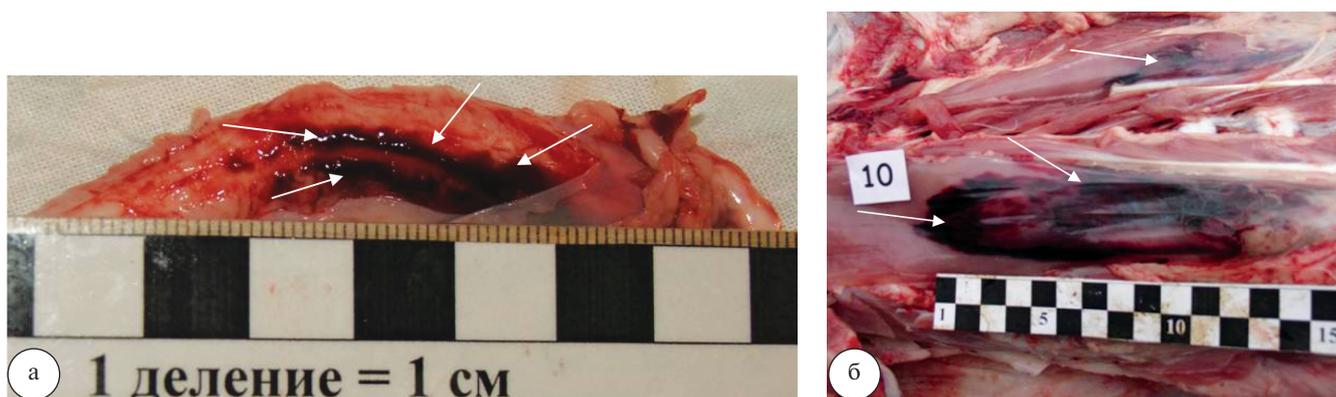


Рис. 6. Повреждения позвоночника и таза при тяжелой заброневой травме: а – кровоизлияния в спинной мозг; б – массивные кровоизлияния в мышцы поясничного отдела и таза

Выводы

1. Основным повреждающим фактором при подрыве в бронетехнике при условии ее непробития являются вертикальные ударные ускорения, направленные снизу вверх. Наибольшим нагрузкам подвергается личный состав экипажей бронетехники,

располагающийся на местах механика-водителя и командира.

2. Порог травмобезопасности человека при подрывах в бронетехнике составляет 4 g при экспозиции не более 2, мс, порог летальности – 10 g при экспозиции 2 мс.

3. Характерными особенностями минно-взрывных повреждений экспериментальных животных при подрыве бронетехники являются множественность и разнообразие закрытых повреждений органов груди и живота с высокой вероятностью внутренних кровотечений, повреждения позвоночника и кровоизлияния в мышцы поясничной области и таза, а также баротравма органов слуха.

Литература

1. Алисов, П.Г. Статистика - о боевых потерях / П.Г. Алисов, [и др.] // Защита и безопасность. – 2001. – № 1. – С. 24–25.
2. Анисин, А.В. Повреждения нижних конечностей при контактных подрывах / А.В. Анисин, М.В. Тюрин, И.В. Кондратьев // Вестн. нац. медико-хирург. центра – 2011. – Т. 6, № 2. – С. 96–100.
3. Аруин, А.С. Эргономическая биомеханика / А.С. Аруин, В.М. Защиорский. – М.: Машиностроение, 1989. – 256 с.
4. Баевский, Р.М. Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе / Р.М. Баевский, О.И. Кириллов, С.З. Клецкин. – М.: Наука, 1984. – 221 с.
5. Бисенков, Л.Н. Хирургия минно-взрывных ранений / Л.Н. Бисенков, Г.В. Акимов, Л.А. Глазников. – СПб.: Акрополь, 1993. – 320 с.
6. Бородулин, Ю.И. Противотанковые и противопехотные мины / Ю.И. Бородулин, А.В. Маркеленко. – Пенза, 1999. – 94 с.
7. Быков, И.Ю. Военно-полевая хирургия. Национальное руководство / И.Ю. Быков, Н.А. Ефименко, Е.К. Гуманенко. – СПб.: ГЭОТАР-Медиа, 2009. – 816 с.
8. Кирячков, Ю.Ю. Компьютерный анализ variability сердечного ритма: методики, интерпретация, клиническое применение / Ю.Ю. Кирячков, Я.М. Хмелевский, Е.В. Воронцова // Анестезиология и реаниматология. – 2000. – № 2. – С. 56–62.
9. Колтович, А.П. Тяжелые сочетанные, множественные и комбинированные минно-взрывные ранения (диагностика и хирургическое лечение): дис. ... д-ра мед. наук / А.П. Колтович. – М., 2011. – 252 с.
10. Миннуллин, И.П. Минно-взрывные поражения: глобальная проблема человечества / И.П. Миннуллин, Н.Ф. Фомин, Э.А. Нечаев // Мед. катастроф. – 2010. – № 2. – С. 34–36.
11. Нечаев, Э.А. Взрывные поражения / Э.А. Нечаев, А.И. Грицианов, И.П. Миннуллин. – СПб.: Фолиант, 2002. – 656 с.
12. Albert-Weissenberger, C. Experimental traumatic brain injury / C. Albert-Weissenberger, A.-L. Sirin // Exp. transl. stroke med. – 2010. – № 2. – P. 16.
13. Bhatanagar, A. Lightweight ballistic composites. Military and law-enforcement application / A. Bhatanagar. – Cambridge, London: Woodhead Publishing Ltd., 2006. – 429 p.
14. Moore, D.F. Computational biology – modeling of primary blast effects on the central nervous system / D.F. Moore, [et al.] // NeuroImage. – 2009. – Vol. 47, suppl. – P. 10–20.
15. Wolf, S.J. Blast injuries / S.J. Wolf, [et al.] // Lancet. – 2009. – Vol. 374. – P. 405–415.

R.V. Titov, I.A. Soloviyev, V.S. Svirida, I.A. Shperling, A.A. Galaka

Defining thresholds of injury and fatality at undermining of armored vehicles

Abstract. A feature of the modern battlefield is highly maneuverable widespread use of armored vehicles, helps to protect military personnel impersonate-divisions of the mine-explosive weapons. The armed conflicts of the second half of XX – beginning of XXI century were injured with an explosive origin, constitute a significant part in the structure of sanitary losses combat surgical. On the basis of experimental studies established the typical features of injuries in the personnel of the crew of armored vehicles in its undermining. As an experimental model were used pigs and rabbits. Experimental animals were placed in the crew compartment on the location of the driver and the sapper. On the seat of the crew and combat engineers, as well as the housing base installed strain gauges and sensors of shock acceleration. To measure the parameters of air shock wave installed spherical piezoelectric pressure sensors. Studied the mechanism of the damaging effect of lead mines and explosive ordnance at the bottom no penetration of armor. Thresholds of injury and mortality of man, developed recommendations for the diagnosis of mine-explosive genesis of this damage. The most informative clinical and instrumental indicators to judge the severity of mine-explosive damage developing in the first hour after the explosion armor. Criteria analyzed possible damage from personnel the crew of armored vehicles under the influence of shock acceleration. Developed medical and technical requirements to the samples of armored vehicles. It is found that, the multiplicity and diversity of lesions that develop as a result of blasting in armored vehicles, require an integrated multidisciplinary approach.

Key words: mine-blast trauma, features of mine-explosive damage by blasting in armored vehicles, the thresholds of injury and fatality while blasting of the crew of armored vehicles, medical and technical requirements to the samples of armored vehicles.

Контактный телефон: +79112572325; e-mail: andrey_galaka@mail.ru