

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

EXPERIMENTAL STUDIES

<https://doi.org/10.33266/2070-1004-2023-1-77-82>
УДК 616-005.1+615.4+614.88

Оригинальная статья
© ФМБЦ им. А.И. Бурназяна

ПРИМЕНЕНИЕ САМОРАСШИРЯЮЩЕЙСЯ ПОЛИУРЕТАНОВОЙ ПЕНЫ ДЛЯ ОСТАНОВКИ ПРОДОЛЖАЮЩЕГОСЯ ВНУТРИБРЮШНОГО КРОВОТЕЧЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ВОЕННЫХ КОНФЛИКТОВ И ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ: ИЗ ОПЫТА ПРОВЕДЕНИЯ ТАКТИКО-СПЕЦИАЛЬНЫХ УЧЕНИЙ

В.А.Рева^{1,2}, С.Ф.Гончаров^{3,4}, В.Д.Потемкин¹, М.И.Баранов¹, А.В.Жабин¹, С.В.Чепур⁵

¹ ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» Минобороны России, Санкт-Петербург, Россия

² ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет», Москва, Россия

³ ФГБУ «ГНЦ – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна» ФМБА России, Москва, Россия

⁴ ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, Москва, Россия.

⁵ ФГБУ «Государственный научно-исследовательский испытательный институт военной медицины» Минобороны России, Санкт-Петербург, Россия

Резюме. Цель исследования – оценить возможность, эффективность и безопасность применения отечественной пенополиуретановой композиции (ППК) в остром эксперименте, выполненном в рамках проведения тактико-специальных учений (ТСУ).

Материалы и методы исследования. Тактико-специальные военно-медицинские учения «Очаг», ежегодно проводящиеся в учебном центре Военно-медицинской академии (ВМА) им. С.М. Кирова, направлены на апробацию передовых технологий здравоохранения, применение которых перспективно в плане сохранения жизни и здоровья военнослужащих. Для моделирования тактической обстановки формируют скординированную по времени систему войсковых этапов эвакуации раненых – от оказания медицинской помощи на условном поле боя в рамках концепции тактической медицины до оказания первичной врачебной медико-санитарной помощи в медицинском взводе и выполнения оперативных вмешательств в рамках тактики контроля повреждений в операционной, развернутой в палатке медицинской роты.

Результаты исследования и их анализ. Все животные дожили до окончания эксперимента, внутреннее кровотечение было остановлено. В серии анализов крови, к 90-й минуте эксперимента, было отмечено появление небольшого количества веществ, входящих в состав разработанной пены.

Таким образом, был получен первый опыт применения данной технологии при оказании медицинской помощи в тактическом временному диапазоне. Для оценки эффективности и безопасности данной ППК спланировано проведение доклинических и клинических исследований.

Ключевые слова: военные конфликты, гемостаз, животные, лапаротомия, продолжающееся внутрибрюшное кровотечение, саморасширяющаяся полиуретановая пена, тактико-специальные учения, чрезвычайные ситуации, эксперимент

Конфликт интересов. Авторы статьи подтверждают отсутствие конфликта интересов

Для цитирования: Рева В.А., Гончаров С.Ф., Потемкин В.Д., Баранов М.И., Жабин А.В., Чепур С.В. Применение саморасширяющейся полиуретановой пены для остановки продолжающегося внутрибрюшного кровотечения в условиях военных конфликтов и чрезвычайных ситуаций: из опыта проведения тактико-специальных учений // Медицина катастроф. 2023. №1. С. 77-82. <https://doi.org/10.33266/2070-1004-2023-1-77-82>

<https://doi.org/10.33266/2070-1004-2023-1-77-82>
UDC 616-005.1+615.4+614.88

Original article

© Burnasyan FMBC FMBA

USAGE OF SELF-EXPANDING POLYURETHANE FOAM FOR RESOLVING OF ONGOING INTRA-ABDOMINAL HEMORRHAGING IN CONDITIONS OF MILITARY CONFLICT AND EMERGENCY SITUATIONS BASING ON AN EXPERIENCE OF TACTICAL-SPECIAL EXERCISES

V.A.Reva^{1,2}, S.F.Goncharov^{3,4}, V.D.Potemkin¹, M.I.Baranov¹, A.V.Zhabin¹, S.V.Chepur⁵

¹ S.M. Kirov Military Medical Academy of the Russian Ministry of Defense, St. Petersburg, Russia

² Russian Biotechnological University, Moscow, Russia

³ State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russian Federation

⁴ Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation

⁵ State Research and Testing Institute of Military Medicine of the Ministry of Defense of Russia, St. Petersburg, Russia

Summary. Investigation purpose – to evaluate the opportunity, efficiency and safety of usage of national polyurethane foam composition (PFC) during acute experiment taken in the frameworks of conducting of tactical-special exercises (TSE).

Materials and methods of the investigation. Tactical-special military-medical exercises "Ochag" are conducted annually and directed to testing of advanced health care technologies which are perspective for saving soldiers life and health. For modeling of tactical conditions a time coordinate system of troop system of evacuation of injured was created – from the time of provision medical treatment on artificial battlefield on the frameworks of tactical medicine till the time of provision of primary medical-sanitary treatment in medical platoon and providing of surgery in the frameworks of tactical control of injuries in surgical room deployed in a tent of medical company.

Investigation results and their analysis. All animals survived till the end of the experiment, internal hemorrhaging was resolved. Till the 90th minute of experiment an appearance of small values of substances included in the developed foam was noticed in a series of blood analyzes.

This way the first experience of this technology usage during medical treatment provision in tactical time range was got. For assess of this PFC a conducting of pre-clinical and clinical researches was planned.

Key words: animals, emergency situations, experiments, hemostasis, laparotomy, military conflicts, ongoing intra-abdominal hemorrhaging, self-expanding polyurethane foam, tactical-special exercises

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest

For citation: Reva V.A., Goncharov S.F., Potemkin V.D., Baranov M.I., Zhabin A.V., Chepur S.V. Usage of Self-Expanding Polyurethane Foam for Resolving of Ongoing Intra-Abdominal Hemorrhaging in Conditions of Military Conflict and Emergency Situations Basing on an Experience of Tactical-Special Exercises. *Meditina Katastrof = Disaster Medicine*. 2023;1:77-82 (In Russ.). <https://doi.org/10.33266/2070-1004-2023-1-77-82>

Контактная информация:

Рева Виктор Александрович – докт. мед. наук;
преподаватель кафедры военно-полевой хирургии Военно-медицинской академии им. С.М.Кирова Минобороны России

Адрес: Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. акад. Лебедева, д. 6

Доцент кафедры Российского биотехнологического университета

Адрес: Россия, 125080, Москва, Волоколамское ш., 11

Тел.: +7 (921) 374-99-67

E-mail: vreva@mail.ru

Contact information:

Viktor A. Reva – Dr. Sc. (Med.); Assistant Professor at the Department of War Surgery of Kirov Military Medical Academy of the Ministry of Defence of Russia

Address: 6, Akad. Lebedeva str., St. Petersburg, 194044, Russia

Phone: +7 (921) 374-99-67

E-mail: vreva@mail.ru

Введение

Продолжающееся внутреннее кровотечение – одна из основных причин смерти раненых и пострадавших в военных конфликтах и чрезвычайных ситуациях (ЧС). Две трети раненых на войне погибают от продолжающегося внутриполостного кровотечения (ПВПК), которое невозможно остановить средствами внешней компрессии или другими доступными средствами гемостаза [1, 2]. Столько же пострадавших погибают от внутреннего кровотечения в техногенных ЧС. Так, например, 68% пострадавших, получивших травмы живота во время землетрясения в Китае (2008), умерли от ПВПК [3].

Оказание помощи при таких кровотечениях подразумевает по возможности быструю медицинскую эвакуацию на этап хирургической помощи с выполнением неотложного хирургического вмешательства. При этом, как в ходе военных действий, так и в ЧС, медицинская эвакуация проходит, как правило, недостаточно быстро, что обуславливает довольно высокую летальность. В настоящее время для снижения интенсивности ПВПК в догоспитальном периоде предусмотрена реализация следующих возможностей: «допустимая» гипотензия; рестириктивная инфузционная терапия; раннее вливание крови и ее компонентов, включая лиофилизированную плазму; раннее введение транексамовой кислоты; при внутритазовом кровотечении – наложение противовошкового тазового пояса [4].

За последние двадцать лет проведено большое количество экспериментальных исследований, направленных на разработку и внедрение средств внутриполостного гемостаза, основанных как на принципе механического сдавления поврежденных органов путем повышения внутрибрюшного давления, так и на принципах контактного гемостаза за счет химических свойств вводимых препаратов. Смысл внутриполостного гемостаза – введение в брюшную полость посредством лапароцентеза специальной композиции, которая за счет

своих физико-химических свойств оказывает прямое или косвенное влияние на источник кровотечения, приводя тем самым к его остановке. Извлекают введенный препарат на этапе хирургической помощи в ходе выполнения лапаротомии. Тогда же выполняют окончательную остановку кровотечения из поврежденного органа или сосуда.

Наряду с такими наиболее известными зарубежными средствами внутриполостного гемостаза, как ResQFoam (Arsenal Medical, США), F.O.A.M. (Critical Innovations, США), находящимися в фазе доклинических и клинических испытаний, появились отечественные аналоги, перспективные для применения в сложных условиях военных конфликтов и ЧС, т.е. в тех случаях, когда сроки доставки пострадавшего к хирургу могут существенно превышать «золотой час».

До настоящего времени возможности применения средств внутриполостного гемостаза в условиях имитации ЧС изучены не были.

Цель исследования – оценка возможности, эффективности и безопасности применения отечественной пенополиуретановой композиции (ППК) в остром эксперименте, выполненном в рамках проведения тактико-специальных учений (ТСУ).

Материалы и методы исследования. Тактико-специальные военно-медицинские учения «Очаг», ежегодно проводящиеся в учебном центре (нас. пункт Красное Село) Военно-медицинской академии (ВМА) им. С.М. Кирова, направлены на апробацию передовых технологий здравоохранения, применение которых перспективно в плане сохранения жизни и здоровья военнослужащих. Для моделирования тактической обстановки формируют скоординированную по времени систему войсковых этапов эвакуации раненых: от оказания медицинской помощи на условном поле боя в рамках концепции тактической медицины до оказания первичной врачебной медико-санитарной помощи в медицинском

взводе и выполнения оперативных вмешательств в рамках тактики контроля повреждений в операционной, развернутой в палатке медицинской роты.

В контексте данной работы подыгрыш учений, проводившихся с 23 по 27 мая 2022 г., включал: нанесение ранения в живот седатированному животному (свинья); его доставку в медицинский взвод; введение в брюшную полость животного ППК; эвакуацию животного в медицинскую роту (этап хирургической помощи) санитарным автомобилем с последующей хирургической остановкой кровотечения.

В медицинском взводе, развернутом в палатке медпункта батальона на базе защищенного санитарного автомобиля «Линза» в варианте комплектации ЗСА-П, помочь животным оказывали врачи-ординаторы по разработанному на кафедре военно-полевой хирургии (ВПХ) протоколу «КАРТА» (Кровотечение, Асфиксия, Респираторные нарушения, Транспортная иммобилизация и Температура, Аптечка), а функции санитаров-носильщиков, операционных медсестер и ассистентов хирургов выполняли курсанты ВМА. Диагностику продолжающегося внутрибрюшного кровотечения проводили с помощью беспроводного ультразвукового аппарата ЕЛС-МЕД (Россия). Для удаленного консультирования врача медицинского взвода использованы очки дополненной реальности (HoloLens, США), позволяющие специалистам Центра координации медицинского обеспечения (в нашем случае – профессор кафедры военно-полевой хирургии ВМА) в режиме реального времени видеть и слышать все происходящие перед оператором события, подсказывать и корректировать его действия (рис. 1).

После оказания помощи и введения в брюшную полость ППК животных эвакуировали в медицинскую роту, где слушателями ординатуры в рамках обучающего цикла СМАРТ первому животному выполнили лапаротомию с извлечением пены и окончательной остановкой

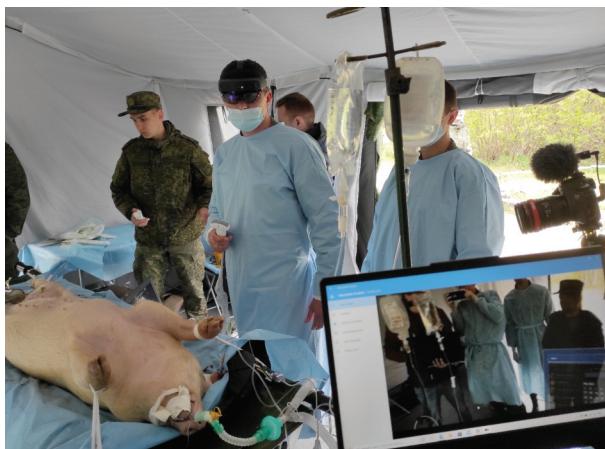


Рис. 1. Оказание помощи условно раненному (свинья с нанесенным пулевым ранением живота) в палатке медпункта батальона на базе защищенного санитарного автомобиля «Линза» в варианте комплектации ЗСА-П в ходе проведения ТСУ «Очаг-2022». Диагноз проникающего ранения живота поставлен с помощью беспроводного аппарата УЗИ. Ведущий хирург реаниматочно-хирургической группы оснащен очками дополненной реальности для проведения телемедицинской консультации из Центра

Fig. 1. Providing medical care to a simulated wounded person (a pig suffered from a gunshot wound to the abdomen) in a frame tent of the battalion's aid station on the basis of a medical armored vehicle «Lens» in its full version during the military medical exercises «Hearth-2022». A penetrating abdominal wound was diagnosed by using wireless ultrasound. The leading surgeon of the resuscitation and surgical group is equipped with augmented reality glasses for telemedicine consultation from the Center

кровотечения. Одному из животных, через 60 мин после введения ППК, в медроте с исследовательской целью дополнительно вводили через ранее осуществленный лапароцентезный доступ 1 баллон монтажной пены Макрофлекс (Makroflex, Эстония). Исследование проводилось двукратно в течение двух дней учений.

Токсикологический анализ образцов венозной крови выполняли методом обращено-фазовой жидкостной хромато-масс-спектрометрии (ЖХМС) с регистрацией положительных ионов.

Подготовка животных

После голодаания накануне дня эксперимента трем животным (свинья породы крупная белая, масса 35–47 кг) внутримышечно (в/м) вводили тилетамин и золазепам (Zoletil®, Франция) в дозе 10 мг/кг. После доставки на условное поле боя ранение наносили в область живота (правый верхний квадрант) из травматического пистолета ПБ-4-1МЛ «Оса» («Новые оружейные технологии», Россия) с расстояния 1 м патроном мощностью 91 Дж.

Животных на носилках доставляли в медицинский взвод, постоянно оценивая адекватность обезболивания и седации на протяжении всего эксперимента и по мере необходимости осуществляя дополнительное введение препарата. Проходимость дыхательных путей была восстановлена путем интубации трахеи. Дыхательную функцию поддерживали с помощью аппарата искусственной вентиляции легких (ИВЛ) МА-110 (Mirasco, Япония). Для поддерживающей инфузионной терапии и введения лекарственных препаратов под УЗИ-навигацией катетеризировали яремную вену. После выполнения сокращенного ультразвукового исследования живота и подтверждения наличия жидкости в брюшной полости выполняли введение ППК.

Краткие сведения о пенополиуретановой композиции

Оригинальная ППК разработана ООО «Локус» (г. Саров) в рамках научно-исследовательской работы, проводимой под эгидой программы академического стратегического лидерства «Приоритет-2030». При разработке пены соблюдали следующие требования: невысокая температура (<42 °C) на поверхности пены в процессе ее образования; низкая токсичность; самостерилизация в момент смешивания компонентов; высокий процент (70–80%) закрытоячеистой структуры, обеспечивающей достаточную упругость и коэффициент расширения; контролируемый процесс смешивания компонентов.

Пенополиуретановой композиция состоит из двух компонентов – полиольного (А) и изоцианатного (Б). Последний представлен эфирами изоциановой кислоты R-N=C=O, где R – алифатический, ароматический, алкил-ароматический или гетероциклический радикал. Среди изоцианатов наиболее широко применяют толуилидендиизоцианат (ТДИ) и метилендифенилдиизоцинат (МДИ). Толуилидендиизоцинат широко используют в строительных технологиях в качестве наполнителя или технического клея – ТДИ формирует твердую пенную, но обладает токсичностью, а потому исключен из выбора при создании испытываемой ППК. Взамен ТДИ в состав матрицы включен эластичный пенополиуретан на основе менее токсичного МДИ.

В состав полиольного компонента входят полиолы (полиэфиры), вспенивающие агенты, катализаторы и пенорегуляторы. Полиэфиры служат источниками гидроксильных (-OH) групп, которые, реагируя с изоцианатом, образуют полиуретановую структуру. Выбор структуры исходного полиола или смеси полиолов определяет



Рис. 2. Отечественная саморасширяющаяся пенополиуретановая композиция для остановки продолжающегося внутрибрюшного кровотечения: А – внешний вид на этапе подготовки к введению (шприцы различной емкости, содержащие 2 основных компонента полипиуретановой пены); Б – введение *ex tempore* приготовленной смеси в брюшную полость животного путем лапароцентеза

Fig. 2. Russian prototype of self-expanding polyurethane foam composition to control ongoing intra-abdominal bleeding: A – appearance at the stage of preparation (syringes of various capacities containing 2 main components of polyurethane foam); B – intraabdominal injection of the *ex tempore* prepared mixture via laparacentesis

конечные свойства пены. В качестве вспенивающего агента выбран газообразный диоксид углерода (CO_2), образующийся при реакции воды с изоцианатом (химическое вспенивание). Преимущество вспениваемых водой ППК заключено в более низкой температуре кипения газа внутри ячеек пены по сравнению с пеной, вспененной летучими жидкостями. Катализаторы ускоряют реакции между изоцианатом и полиолом и между изоцианатом и водой, они также важны для полного завершения реакции (отверждение пены). Пенорегуляторы (компонент А) позволяют поддерживать поднятую пену в оптимальном состоянии за счет регулирования размера ячеек; пеностабилизаторы (компонент Б) – стабилизируют образовавшиеся ячейки. Соотношение компонентов А и Б, необходимое для оптимального расширения пены при смещивании, составляло 3,75:1.

В процессе формирования ППК важны временные характеристики. Перемешивание компонента А и компонента Б производят непосредственно перед применением в течение около 10 с. Время образования пены составляет (40 ± 10) с, время полимеризации – (20 ± 5) мин.

Техника введения саморасширяющейся ППК

Введение ППК в брюшную полость осуществляли посредством лапароцентеза. В эксперименте его выполняли в срединной области живота, на 2 см ниже и левее препуциального мешка, путем разреза длиной 2 см со

вскрытием брюшины под визуальным контролем. После этого в брюшную полость вводили систему доставки.

Средство доставки представляет собой комплекс из одного шприца 320 мл (или двух шприцов по 160 мл) компонента А и двух шприцов по 20 мл компонента Б с адаптером-проводником, обеспечивающим доставку ППК в брюшную полость через вышеописанный доступ. Шприц дополнительно оборудован системой для смещивания компонентов ППК (рис. 2). После введения ППК в брюшную полость на область разреза накладывали бельевую цапку для герметизации. В последующем осуществляли забор венозной крови для оценки токсикокинетики элементов полимерной матрицы пены. Забор крови, регистрацию показателей артериального давления (АД) и температуры осуществляли каждые 30–60 мин. Для измерения температуры ядра использовали ректальный датчик.

Медицинская эвакуация

После внутрибрюшного введения ППК животное помещали в санитарный автомобиль «Линза», на котором в сопровождении анестезиолога его транспортировали на следующий этап медицинской эвакуации – в медицинскую роту бригады, где выполняли лапаротомию, извлечение пены, ревизию брюшной полости, оценку гемостатического эффекта и степени адгезии к органам, проверяли однородность пены, степень фрагментации при извлечении из брюшной полости (рис. 3). Измеряли объем извлеченной пены, вычисляли коэффициент ее расширения и гигроскопичности. Животное выводили из эксперимента по окончании дня практических занятий, в ходе которых ординаторы кафедр хирургического профиля отрабатывали приемы и технику выполнения различных хирургических вмешательств.

Результаты исследования и их анализ. Всем животным удалось выполнить полный протокол исследования. При выполнении лапароцентеза в брюшной полости было отмечено поступление жидкой крови, что говорило о проникающем характере ранения с вероятным повреждением паренхиматозных органов. Несмотря на это во время оказания помощи гемодинамика оставалась стабильной с систолическим АД на уровне не ниже 100–110 мм рт. ст. После введения пены в брюшную полость значения АД колебались в пределах прежних значений. Температура ядра на всем протяжении эксперимента также сохранялась неизменной на уровне 36,3–36,5 °C.

Время, затраченное на подготовку к введению ППК, составило 3–4 мин; на выполнение лапароцентеза (без местной анестезии) – до 5 мин; на введение самой пены – менее 1 мин (задержка в скорости перемешивания и введения могла привести к застыванию пены в шприце). После введения пены происходило значительное увеличение окружности живота биообъекта не только из-за расширения самой пены, но также из-за значительного газообразования при реакции компонентов пены. Итоговое время экспозиции пены в брюшной полости составило 180 мин. Коэффициент расширения пены – 1:5. На момент лапаротомии признаков продолжающегося кровотечения выявлено не было. Отмечено краевое ранение правой доли печени, в одном случае – петли тонкой кишки. Коэффициент гигроскопичности составил 20%; объем эксплантированной пены из брюшной полости – 1200–1450 мл; наблюдалась слабовыраженная адгезия к органам брюшной полости – пена извлекалась единственным блоком без травматизации органов и без десерозирования кишки. Значительной фрагментации пены



Рис. 3. Эвакуация животного после введения пенополиуретановой композиции в защищенном санитарном автомобиле «Линза»

Fig. 3. Simulated casualty evacuation by an armored medical vehicle «Lens» after intraabdominal polyurethane foam injection

не наблюдалось, но в одном из трех случаев фрагмент пены объемом 50 мл оказался между петлями тонкой кишки, что повлияло на трудоемкость и время его извлечения. В другом случае пуля от травматического пистолета оказалась захваченной пеной и была удалена вместе с ней (рис. 4).

По результатам ЖХМС в исследуемых образцах крови обоих животных был обнаружен быстрый прирост уровня ацилированного продукта МДИ (MDI-NH₂-Ac) с последующим плавным спадом. Однако его концентрация при использовании ППК была минимальной и в 6,5 раз меньше, чем у животного, которому дополнительно вводили монтажную пену (контроль). Пик концентрации МДИ в крови животного наблюдался к 90-й минуте от момента внутрибрюшного введения пены. Быстрый подъем уровня МДИ, возможно, стал следствием контакта еще неполимеризованной пены с кровью в брюшной полости и ее попадания в системный кровоток. По мере затвердевания пены и начала фазы ее размягчения с потерей упругости происходит постепенное всасывание оставшихся непрореагировавших компонентов.

Обсуждение

Данное экспериментальное исследование, проведенное впервые в условиях военно-медицинских учений, продемонстрировало возможность и перспективы применения методов внутриполостного гемостаза на этапах медицинской эвакуации. Было показано, что при наличии специального шприца, подготовленных ампул с компонентом А и компонентом Б введение ППК в брюшную полость можно осуществить в течение 10 мин. Достижение внутриполостного гемостаза в эти сроки (оптимальный вариант – в догоспитальном периоде оказания медицинской помощи) позволит значительно сократить летальность при ПВПК, которое в настоящее время можно остановить только посредством лапаротомии на хирургическом этапе оказания медицинской помощи. Подобный подход к достижению внутриполостного гемостаза может быть применен в случае массовых санитарных потерь во время ведения боевых действий и в условиях техногенных и природных ЧС. Он представляет собой реализацию в чистом виде концепции контроля повреждений *damage control*, подразумевающей врем-

менное закрытие кровоточащей раны с последующей скорейшей доставкой пациента к хирургу [5].

Концепция раннего внутриполостного гемостаза была впервые описана 20 лет назад J. Holcomb с соавт., изучавшими возможности достижения гемостаза на мелких животных путем внутрибрюшного введения фибринового клея [6]. Среди разработок в этой области наибольший резонанс получила саморасширяющаяся ППК ResQFoam (Arsenal Med., США) и отечественная пена, состоящая из полиольного и изоцианатного компонентов (тестированы более 1300 различных модификаций), которая в экспериментах (более 600 свиней) показала отличные результаты в плане выживаемости на разных летальных моделях повреждений: тяжелая травма печени, селезенки, повреждение подвздошной артерии и др. В моделях тяжелого повреждения печени была показана 70–90%-ная трёхчасовая выживаемость по сравнению с 8%-ной в контрольной группе [7, 8]. На модели артериального повреждения подвздошной артерии пена показала >50% выживаемости по сравнению с нулевой выживаемостью в контрольной группе [9]. Помимо положительного эффекта был отмечен ряд нежелательных последствий: значимое повышение внутрибрюшного давления, что может потенциально привести к гипоперфузии органов живота за счет развития абдоминального компартмент-синдрома; формирование локальных участков повреждения тонкой кишки (по типу внутристеночных кровоизлияний); повышение внутрибрюшной температуры >42 °C; остаточный полиуретан в брюшной полости после извлечения единого конгломерата из брюшной полости [5]. Кроме того, по-видимому, данная пена обладает также повышенной токсичностью, поскольку срок начала клинического исследования REVIVE по изучению эффективности и безопасности применения ResQFoam постоянно переносится.

Используемая нами ППК обладает системным реорбтивным эффектом, что требует дополнительного изучения в рамках полноценных лабораторных испытаний и модификации ее структуры. Наши ранние исследования первой модификации ППК на кроликах не показали достаточного уровня эффективности [10].

Таким образом, несмотря на серьезные разработки в этой области ни одно из внутриполостных средств гемостаза в мире не применяется по причине или недостаточной эффективности, или недостаточной безопасности. В одной из недавних работ международная группа экспертов рекомендовала применять для остановки ПВПК в сложных условиях, начиная с момента получения травмы или ранения, только противошоковый тазовый пояс – 92,6% экспертов и реанимационную эндоваскулярную баллонную окклюзию аорты (РЭБОА) – 75,0% экспертов. В то же время за применение ППК высказались только 14,8% экспертов. Ни один из 27 экспертов не высказался за инсуффляцию углекислого газа в брюшную полость как за один из возможных методов достижения внутриполостного гемостаза [11]. В 78,6% случаев эксперты сошлись во мнении, что инвазивные средства внутриполостного гемостаза, к которым относятся РЭБОА и ППК, должны применяться только подготовленным врачебным персоналом. В рекомендациях по оказанию догоспитальной помощи раненым на войне (США, 2018 г.) указано, что несмотря на высокий потенциал для клинического применения в будущем использование ППК нуждается в дальнейшем серьезном изучении [12].

В целом, несмотря на ряд ограничений, связанных с малым количеством животных и отсутствием должного



Рис. 4. Внешний вид пенополиуретановой композиции, извлеченной из брюшной полости животного в ходе лапаротомии. В центре полиретанового блока видна пуля от пистолета «Оса», которой было нанесено ранение

Fig. 4. The appearance of a polyurethane foam composition, extracted from the abdominal cavity of an animal during laparotomy. There is a bullet from the «Osa» pistol seen in the center of the polyurethane block

лабораторного мониторинга, проведенное исследование продемонстрировало возможность применения гемостатической композиции для остановки ПВПК, что важно для спасения жизни пациентов при длительной медицинской эвакуации в условиях военных действий и чрезвычайных ситуаций.

Заключение

Ввиду высокой клинической значимости проблемы ПВПК, обусловленной высокой частотой летальных исходов среди пострадавших и раненых в догоспитальном периоде, требуется поиск новых путей достижения раннего внутриполостного гемостаза. Саморасширяющаяся ППК, вводимая через прокол брюшной

стенки, может стать эффективным перспективным средством достижения временного гемостаза при ПВПК в сложных условиях, когда быстрая доставка пациента в хирургический стационар невозможна. В перспективе введенная пена позволит увеличить продолжительность «безопасной» транспортировки пострадавшего за счет остановки кровотечения и временной стабилизации гемодинамики. Многочисленные особенности и возможные неблагоприятные последствия применения подобных композиций требуют дальнейшего проведения исследований и поиска оптимального – эффективного и безопасного – химического состава применяемых средств.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Самохвалов И.М., Гончаров А.В., Чирский В.С. и др. "Потенциально спасаемые" раненые – резерв снижения догоспитальной летальности при ранениях и травмах // Скорая медицинская помощь. 2019; Т.20, № 3. С. 10–17.
2. Eastridge B.J., Mabry R.L., Seguin P., et al. Death on the Battlefield (2001-2011): Implications for the Future of Combat Casualty Care // J. Trauma Acute Care Surg. 2012; V.73, № 6, Suppl 5. P. S431-437.
3. Xu Y., Huang J., Zhou J., et al. Patterns of Abdominal Injury in 37 387 Disaster Patients from the Wenchuan Earthquake // Emerg. Med. 2013; V.30, № 7. P. 538–542.
4. Рева В.А. Damage Control Resuscitation: что это и зачем? // Практическое руководство по Damage Control. СПб.: Р-Копи, 2018. С. 27–50.
5. Rago A.P., Sharma U., Sims K., King D.R. Conceptualized Use of Self-Expanding Foam to Rescue Special Operators from Abdominal Exsanguination: Percutaneous Damage Control for the Forward Deployed // J. Spec. Oper. Med. Peer Rev. J. SOF Med. Prof. 2015; V.15, № 3. P. 39–45.
6. Holcomb J.B., McClain J.M., Pusateri A.E., et al. Fibrin Sealant Foam Sprayed Directly on Liver Injuries Decreases Blood Loss in Resuscitated Rats // J. Trauma. 2000; V.49, № 2. P. 246–250.
7. Duggan M., Rago A., Sharma U., et al. Self-Expanding Polyurethane Polymer Improves Survival in a Model of Noncompressible Massive Abdominal Hemorrhage // J. Trauma Acute Care Surg. 2013; V.74, № 6. P. 1462–1467.
8. Peev M.P., Rago A., Hwabejire J.O., et al. Self-Expanding Foam for Prehospital Treatment of Severe Intra-Abdominal Hemorrhage: Dose Finding Study // J. Trauma Acute Care Surg. 2014; V.76, № 3. P. 619–623.
9. Rago A., Duggan M.J., Marini J., et al. Self-Expanding Foam Improves Survival Following a Lethal, Exsanguinating Iliac Artery Injury // J. Trauma Acute Care Surg. 2014; V.77, № 1. P. 73–77.
10. Рева В.А., Литинский М.А., Денисов А.В. и др. Первый опыт применения вспененной пенополиуретановой композиции "Локус" для остановки внутривисцального кровотечения при повреждении печени V степени (экспериментальное исследование) // Военно-медицинский журнал. 2015; Т.336, № 4. С. 32–39.
11. Vrancken S.M., Borger van der Burg B., DuBose J.J., et al. Advanced Bleeding Control in Combat Casualty Care: An International, Expert-Based Delphi Consensus // J. Trauma Acute Care Surg. 2022; V.93, № 2. P. 256–264.
12. Butler F.K., Holcomb J.B., Shackelford S., et al. Advanced Resuscitative Care in Tactical Combat Casualty Care: TCCC Guidelines Change 18-01:14 October 2018 // J. Spec. Oper. Med. Peer Rev. J. SOF Med. Prof. 2018; V.18, № 4. P. 37–55.
1. Samokhvalov I.M., Goncharov A.V., Chirskiy V.S., et al. "Potentially Survivable" Casualties - Reserve to Reduce Pre-Hospital Lethality in Injuries and Traumas. Skoraya Meditsinskaya Pomoshch' = Emergency Medical Care. 2019;20;3:10–17 (In Russ.).
2. Eastridge B.J., Mabry R.L., Seguin P., et al. Death on the Battlefield (2001-2011): Implications for the Future of Combat Casualty Care. J. Trauma Acute Care Surg. 2012;73;6;Suppl 5:431-437.
3. Xu Y., Huang J., Zhou J., et al. Patterns of Abdominal Injury in 37 387 Disaster Patients from the Wenchuan Earthquake. Emerg. Med. 2013;30;7:538–542.
4. Reva V.A. Damage Control Resuscitation: what Is it and why? Prakticheskoye rukovodstvo po Damage Control = A Practical Guide to Damage Control. St. Petersburg, R-Kopi Publ., 2018. P. 27–50 (In Russ.).
5. Rago A.P., Sharma U., Sims K., King D.R. Conceptualized Use of Self-Expanding Foam to Rescue Special Operators from Abdominal Exsanguination: Percutaneous Damage Control for the Forward Deployed. J. Spec. Oper. Med. Peer Rev. J. SOF Med. Prof. 2015;15;3:39–45.
6. Holcomb J.B., McClain J.M., Pusateri A.E., et al. Fibrin Sealant Foam Sprayed Directly on Liver Injuries Decreases Blood Loss in Resuscitated Rats. J. Trauma. 2000;49;2:246–250.
7. Duggan M., Rago A., Sharma U., et al. Self-Expanding Polyurethane Polymer Improves Survival in a Model of Noncompressible Massive Abdominal Hemorrhage. J. Trauma Acute Care Surg. 2013;74;6:1462–1467.
8. Peev M.P., Rago A., Hwabejire J.O., et al. Self-Expanding Foam for Prehospital Treatment of Severe Intra-Abdominal Hemorrhage: Dose Finding Study. J. Trauma Acute Care Surg. 2014;76;3:619–623.
9. Rago A., Duggan M.J., Marini J., et al. Self-Expanding Foam Improves Survival Following a Lethal, Exsanguinating Iliac Artery Injury. J. Trauma Acute Care Surg. 2014;77;1:73–77.
10. Reva V.A., Litinskii M.A., Denisov A.V., et al. First Experience of a Polyurethane foam Composition "Locus" Use to Stop Intra-Abdominal Hemorrhage as a Result of Liver Damage of V Degree. (An Experimental Study). Voyenno-Meditsinskiy Zhurnal = Russian Military Medical Journal. 2015;336;4:32–39 (In Russ.).
11. Vrancken S.M., Borger van der Burg B., DuBose J.J., et al. Advanced Bleeding Control in Combat Casualty Care: An International, Expert-Based Delphi Consensus. J. Trauma Acute Care Surg. 2022;93;2:256–264.
12. Butler F.K., Holcomb J.B., Shackelford S., et al. Advanced Resuscitative Care in Tactical Combat Casualty Care: TCCC Guidelines Change 18-01:14 October 2018. J. Spec. Oper. Med. Peer Rev. J. SOF Med. Prof. 2018;18;4:37–55.

REFERENCES