



Многофункциональная роботизированная медицинская система для эвакуации раненых, больных и пораженных: обоснование и перспективы разработки

ЮДИН А.Б., кандидат медицинских наук, полковник медицинской службы (yudin_a73@mail.ru)¹

ПРИГОРЕЛОВ О.Г., доцент, полковник (oleg76-06@mail.ru)¹

СОХРАНОВ М.В., кандидат медицинских наук, подполковник медицинской службы¹

ЛОПОТА А.В., доктор технических наук²

ЯКОВЕЦ Д.А., капитан¹

КОЖЕВНИКОВА А.В.¹

¹Государственный научно-исследовательский испытательный институт военной медицины МО РФ, Санкт-Петербург; ²Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики, Санкт-Петербург

В статье изложены результаты исследований по созданию семейства многофункциональных роботизированных медицинских систем для эвакуации раненых и пораженных на перспективных наземных, морских и воздушных носителях в части разработки автоматизированного (роботизированного) эвакуационного модуля. Представлен состав функциональных блоков разрабатываемого комплекса. Установлена экономическая целесообразность производства и эксплуатации роботизированного модуля. Показана возможность автоматизации алгоритма сердечно-легочной реанимации.

К л ю ч е в ы е с л о в а: медицинская робототехника, эвакуация тяжелораненых, автоматизация, медицинская система управления, автоматизированный (роботизированный) модуль для эвакуации тяжелораненых.

Yudin A.B., Prigorelov O.G., Sokhranov M.V., Lopota A.V., Yakovets D.A., Kozhevnikova A.V. – Multifunctional robotic medical system for the evacuation of the wounded, sick and injured: the rationale and development prospects. The article presents the results of research on the development of a set of multifunctional robotic medical systems for the evacuation of wounded and injured in perspective land, sea and air carriers in the development of an automated (robotic) evacuation module. The composition of the functional blocks of the developed complex is presented. The economic feasibility of the production and operation of the robotic module has been established. The possibility of automation of the cardiopulmonary resuscitation algorithm is shown.

K e y w o r d s: medical robotics, evacuation of seriously wounded, automation, medical control system, automated (robotic) module for evacuation of seriously wounded.

Удаленность лечебных учреждений от очагов санитарных потерь обуславливает этапность оказания медицинской помощи и эвакуации раненых. Для тяжелораненых процесс транспортировки является дополнительным стрессовым фактором, при этом во время эвакуации в значительной степени ограничивается возможность оказания полноценной медицинской помощи. Наиболее сложной задачей является эвакуация раненых непосредственно из района боевых действий. Для вывоза тяжелораненых в основном используется автосанитарный транспорт,

однако, как показал опыт локальных войн, можно широко использовать авиацию, имеющую большие преимущества перед автомобильным способом эвакуации. Тяжелораненых в автосанитарном транспорте из района «передний край – медицинский взвод – медицинская рота» должны сопровождать санитарный инструктор и санитар, в авиационном – врачебно-сестринская бригада с предусмотренным для них оснащением. Задачами медицинских работников являются наблюдение за состоянием эвакуируемых и, при необходимости, оказание им неотложной помощи.



Особое внимание должно уделяться раненым в бессознательном состоянии. Эвакуация тяжелораненых по воздуху транспортными самолетами или вертолетами создает для них дополнительную нагрузку, связанную с разрежением воздуха на высоте, шумом и вибрацией. В полете крайне ограничена возможность наблюдения и оказания медицинской помощи. В связи с этим большое значение приобретает качество предполетной подготовки тяжелораненых и их размещение в салоне. Такие раненые должны сосредотачиваться в одном месте таким образом, чтобы сопровождающий медицинский работник имел возможность наблюдать за их состоянием во время полета и в случае ухудшения состояния провести лечебные пособия [1].

Учитывая, что 20–60% летальных исходов происходят на передовых этапах медицинской эвакуации, особое значение имеет устранение жизнеугрожающих последствий на этих этапах. Основным направлением улучшения исходов лечения тяжелораненых является совершенствование догоспитальной помощи и максимальное приближение адекватных хирургических пособий к раненым [2].

В современных условиях, когда все больше делается упор на приумножение человеческого фактора в вооруженных конфликтах, создание медицинских робототехнических комплексов становится очевидным этапом развития военно-медицинской техники. Данное направление уже реализуется в армиях развитых стран для медицинского обеспечения войск (сил) и оказания медицинской помощи пострадавшим в чрезвычайных ситуациях.

В пилотных исследованиях показано, что применение медицинской робототехники позволяет повысить уровень безопасности для медицинского состава и других военнослужащих при оказании медицинской помощи и в ходе эвакуации. Кроме того, появляются новые возможности в диагностике, мониторинге состояния, лечении военнослужащих на этапах медицинской эвакуации и в технических средствах эвакуации, где зачастую трудно обеспечить сопровождение раненых (пострадавших) медицинским персоналом [3].

В настоящее время не только назрела необходимость, но и появились технологические предпосылки для создания автономного автоматизированного (роботизированного) модуля для эвакуации. Основными задачами автоматизированного модуля для эвакуации являются:

– безопасная эвакуация раненых (защита от неблагоприятных факторов, непрерывный мониторинг основных физиологических параметров, продолжение оказания медицинской помощи в процессе транспортировки) [4];

– снижение нуждаемости в сопровождающих (автоматизация контроля состояния раненых и выполнения медицинских процедур в ходе транспортировки).

В настоящее время создаются и уже эксплуатируются в Вооруженных Силах следующие отечественные разработки: устройство медицинской эвакуации тяжелораненых и тяжелопораженных (на стадии разработки), многофункциональное эвакуационно-транспортировочное имобилизирующее устройство, модуль медицинский вертолетный и модуль медицинский самолетный с модификациями. Данные системы способны осуществлять непрерывный мониторинг состояния пострадавшего с выводом информации на встроенный монитор образца, поддержание жизненно важных функций организма и проведение медицинской бригадой интенсивной терапии во время эвакуации. Однако возможность удаленного мониторинга и диагностики основных неотложных состояний пациента, автоматизация оказания элементов медицинской помощи в них не реализованы.

На сегодняшний день определены основной и дополнительный составы оборудования, функциональных блоков автоматизированного модуля для эвакуации тяжелораненых (табл. 1, 2).

Для защиты тяжелораненого корпус модуля планируется оборудовать защитным съемным кожухом из прозрачного стекла защитного. Также конструкция модуля должна быть устойчива к воздействию низких и высоких температур, высокой влажности и пыли. Габаритные размеры модуля по ширине и длине должны соответствовать габаритам штатных носилок (2200×560 мм).



Для комфортного нахождения тяжелораненого внутри модуля предусмотрены системы отопления, кондиционирования, фильтрации и увлажнения воздуха. С целью сохранения устойчивого по-

ложения раненого на платформе внутри модуля предусмотрена система акселерометров и амортизаторов, компенсирующих любые внешние воздействия при транспортировке.

Таблица 1

Основной состав оборудования модуля для эвакуации

Наименование блока	Назначение	Состав оборудования	Количество
Блок реанимационного оборудования	Поддержка функционирования основных жизненно важных систем раненого в ходе эвакуации	Аппарат искусственной вентиляции легких	1 шт.
		Дефибриллятор	1 шт.
		Автоматизированный комплекс компрессии грудной клетки	1 к-т
		Модуль инфузионных шприцевых дозаторов (3 – анестезия, 1 – адреналин, 1 – атропин)	1 к-т
		Система иммобилизации раненого (ремни цветные, липучки)	1 к-т
		Система вытяжения нижних конечностей раненого	1 к-т
		Носилки штатные	1 шт.
Диагностический блок	Мониторинг физиологических показателей раненого в ходе эвакуации	Аппарат ЭКГ, 4 отведения	1 к-т
		Пульсоксиметр	1 шт.
		Газоанализатор, капнограф, совмещенные с ИВЛ	1 к-т
		Аппарат неинвазивного измерения давления (манжета)	1 к-т
		Аппарат инвазивного измерения давления (2 канала)	1 к-т
		Датчик измерения температуры кожи и ядра тела	2 шт.
Блок микроклимата	Обеспечение комфортного пребывания раненого внутри модуля	Приточный вентилятор	1 шт.
		Вытяжной вентилятор	1 шт.
		Нагревательный тэн	2 шт.
		Компрессор охлаждения	1 шт.
		Терморегулятор, датчики температуры	1 к-т
Система питания	Обеспечение электроэнергией блоков и систем модуля	Плата распределения питания	1 шт.
		Аккумуляторная батарея	1 шт.
Блок связи	Передача информации о состоянии раненого, его местоположении	Модуль связи	1 к-т
Блок стабилизации	Стабилизация платформы с раненым в процессе транспортирования	Акселерометры	8 шт.
		Амортизаторы	4 шт.
		Блок управления	1 к-т



Для передачи информации о состоянии тяжелораненого и его местоположении на пульт оператора рассматривается возможность использования комплекса разведки, управления и связи «КРУС-Стрелец». Также планируется разработка системы мониторинга состояния жизненно важных показателей у нескольких тяжелораненых при эвакуации авиационным транспортом [5]. Для хранения и перевозки личного оружия и обмундирования военнослужащего предусмотрен специальный отсек. Конструкция образца должна соответствовать современному уровню микроэлектроники и микроминиатюризации, обеспечивать удобство транспортировки на наземных, воздушных и морских носителях.

Для обеспечения высокой надежности работы модуля предполагается использовать систему с замкнутым контуром обратной связи. Контроллер системы непрерывно следит за выходным сигналом и вносит коррективы во входные данные. Это достигается путем регулярного сравнения значения на выходе с желаемым. Здесь реальный отклик, измеренный с помощью датчика, непрерывно подается обратно и сравнивается с желаемой реакцией системы. Разницу в сигналах обрабатывает контроллер, который вносит соответствующие коррективы во входные данные. Применение технологии с замкнутым циклом в различных системах управления медицинских устройств и комплексов имеет большой потенциал и крайне необходимо при работе в экстремальных условиях в период вооруженных конфликтов и ликвидации последствий стихийных бедствий.

Особое внимание заслуживает разработка системы управления комплексом. Предполагается реализация четырех

основных программно-аппаратных модулей:

- модуль управления функциональными блоками, позволяющий медицинскому специалисту удаленно осуществлять настройку блоков основного и дополнительного оборудования в каждом конкретном случае с помощью планшета или через монитор, установленный в корпусе комплекса;

- модуль мониторинга и диагностики физиологических показателей раненого;

- модуль базы данных первичной информации о раненом, поступившем в пункт оказания медицинской помощи (форма 100);

- модуль проведения сердечно-легочной реанимации раненого в случаях асистолии и фибрилляции сердца.

При оказании доврачебной и первой врачебной помощи в полном объеме наиболее вероятной причиной смерти является остановка сердечной деятельности. Алгоритмы проведения сердечно-легочной реанимации имеют ряд схожих действий и подразумевают оперативное использование имеющихся в распоряжении медицинских специалистов технических средств и медикаментов. Состав основного оборудования разрабатываемого модуля позволяет осуществить на практике весь комплекс реанимационных мероприятий в автоматическом режиме. В случае асистолии система может использовать автоматизированный комплекс компрессии грудной, модуль инфузионных шприцевых дозаторов (адреналин и атропин). В случае фибрилляции сердца – дефибрилятор. Контроль изменения состояния раненого в ходе проведения реанимационных мероприятий осуществляется

Таблица 2

Дополнительный состав оборудования модуля для эвакуации

Наименование блока	Состав оборудования	Количество
Дополнительное оборудование	Аппарат экстракорпоральной мембранной оксигенации	1 к-т
	Аспирационный отсос	1 шт.
	Пневматический кровоостанавливающий жгут	2 шт.
	Система баллонной окклюзии аорты	1 к-т



модулем мониторинга физиологических показателей.

Для повышения качества медицинской помощи, мониторинга и определения неотложных (критических) состояний тяжелораненого в процессе транспортирования в условиях дефицита сопровождающего медицинского персонала и выбора безошибочного алгоритма оказания медицинской помощи планируется разработка динамической экспертной медицинской системы.

Базу знаний *экспертной системы* (ЭС) предусматривается формировать из клинических рекомендаций по интенсивной терапии, руководств по военно-полевой хирургии и терапии, рекомендаций по проведению реанимационных мероприятий Европейского совета по реанимации. Управление ЭС планируется через планшет медицинского работника. Система должна в режиме реального времени отслеживать изменение состояния раненого, диагностировать и выдавать рекомендации медицинскому работнику по использованию аппаратно-приборной базы модуля.

ЭС должна разрабатываться с использованием методов машинного обучения. Для классификации различных неотложных состояний тяжелораненого предлагается использовать наивный классификатор Байеса со строгими (наивными) предположениями о независимости переменных. Классификатор Байеса использует оценку апостериорного максимума для определения наиболее вероят-

ного класса. Использование этого метода позволит быстро обучать ЭС новым диагнозам на больших наборах данных. Метод достаточно прост в реализации и требует небольших вычислительных затрат. Экспертная медицинская система должна обеспечивать универсальность представления знаний и универсальность функционирования.

Заключение

Таким образом, создание автономного автоматизированного (роботизированного) модуля для эвакуации тяжелораненых с возможностью дистанционного мониторинга, автоматизации элементов медицинской помощи позволит повысить качество медицинской помощи в условиях военных конфликтов.

Универсальность разрабатываемого модуля обеспечит его мобильность и удобство транспортирования имеющихся средств эвакуации.

Возможность одновременного мониторинга нескольких тяжелораненых снизит риск несвоевременного оказания медицинской помощи при массовой эвакуации.

Применение технологии с замкнутым циклом обратной связи повысит надежность работы модуля при автоматизации элементов медицинской помощи.

Разработка динамической экспертной системы позволит проводить мониторинг и определение неотложных состояний у раненого в процессе транспортировки и безошибочно выбирать алгоритм оказания медицинской помощи.

Литература

1. Богомолов Б.Н. Эвакуация тяжелораненых и пострадавших // *Анестезиология и реаниматология: Руководство* / Под ред. Ю.С.Полушина. — СПб: «ЭЛБИ-СПб», 2004. — С. 693–696.
2. Самохвалов И.М., Гончаров А.В., Головкин К.П., Гаврилин С.В., Северин В.В. и др. Проблемы организации оказания хирургической помощи тяжелораненым в современной гибридной войне // *Воен.-мед. журн.* — 2017. — Т. 338, № 8. — С. 4–11.
3. Самохвалов И.М., Гаврилин С.В., Мешаков Д.П., Недомолкин С.В., Бадалов В.И. и др. Особенности мониторинга гемодинами-

- ки у пострадавших с тяжелой сочетанной травмой // *Вестник анестезиологии и реаниматологии.* — 2015. — Т. 12, № 3. — С. 37–38.
4. Самохвалов И.М., Головкин К.П., Сохранов М.В., Пичугин А.А., Розов А.И. Перспективы реализации концепции дистанционной роботхирургии в современной военной медицине // *Экстремальная робототехника.* — 2013. — Т. 1, № 1. — С. 188.
5. Тюрин М.В., Сохранов М.В., Ивченко Е.В., Цыган В.Н., Голицын В.М. и др. Совершенствование оказания медицинской помощи при боевых действиях: мониторинг физиологического состояния военнослужащего // *Воен.-мед. журн.* — 2014. — Т. 335, № 1. — С. 45–47.