

П.А. Селиверстов, Ю.Г. Шапкин

ВОЗМОЖНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕЛЕМЕДИЦИНСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ В УСЛОВИЯХ БОЕВЫХ ДЕЙСТВИЙ (обзор литературы)Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского
(Россия, г. Саратов, ул. Б. Казачья, д. 112)

Актуальность. В крупномасштабных военных конфликтах с технологически равным противником увеличивается риск задержки эвакуации раненых, возникает потребность расширения объема медицинской помощи на передовых этапах эвакуации при отсутствии или недостатке медицинских специалистов, обладающих необходимыми знаниями и навыками. Одним из путей преодоления сложностей оказания помощи в этих условиях является использование телемедицинских технологий.

Цель – рассмотреть возможности и эффективность применения телемедицинских технологий для обеспечения современных боевых действий.

Методология. Проведен поиск научных статей в базе данных PubMed и Научной электронной библиотеке (eLIBRARY.ru), опубликованных с 2014 по 2024 г. и посвященных использованию телемедицинских технологий в условиях боевых действий.

Результаты и их анализ. Основной технологией оказания телемедицинской помощи в условиях боевых действий остается консультация по телефонной связи, дополненная передачей фотографий и текстовых сообщений. Наиболее перспективным способом коммуникации признана двусторонняя аудио- и видеосвязь с передачей данных в режиме реального времени в формате видеотелеконференции. Возможности телемедицины могут быть расширены за счет технологий дополненной и смешанной реальности, искусственного интеллекта, дронов и роботизированной хирургии. Применение телемедицины в боевых условиях ограничивается проблемами кибербезопасности и полосой пропускания сигнала современных систем связи. Военная телемедицина эффективна при наличии единой централизованной системы с опытными специалистами различного профиля, готовыми оказывать круглосуточную неотложную и плановую телемедицинскую помощь подразделениям и частям, участвующим в боевых действиях.

Заключение. Применение телемедицинских технологий в боевых условиях возможно и может способствовать принятию объективных решений по медицинской сортировке и эвакуации, оптимизировать распределение сил и средств медицинской службы и улучшить результаты лечения раненых. Телемедицина не заменяет повышение квалификации военных медиков, а предоставляет дополнительные возможности в ситуациях, когда требуется оказать помощь в объеме, выходящем за границы базовой подготовки специалистов.

Ключевые слова: военная медицина, военнослужащие, раненые, пораженные, первая помощь, догоспитальная помощь, Интернет, телемедицинские технологии, телемедицинское наставничество, искусственный интеллект, дроны, НАТО.

Введение

В настоящее время в странах НАТО открыто заявляют о подготовке к крупномасштабным военным конфликтам с технологически равным противником. Ведение боевых действий на обширной территории, ограниченные возможности воздушной транспортировки раненых из-за широкого применения современных поражающих средств, массовые санитарные потери вследствие применения высокоэнергетического оружия увеличивают риск задержки эвакуации в условиях отсутствия или недостатка медицинских специалистов [34]. В связи

с этим в странах НАТО актуализируется концепция «продолженной» догоспитальной помощи (Prolonged Field Care, PFC), продолжительность оказания которой вынужденно превышает «золотой час» и установленные нормативы сроков медицинской эвакуации.

«Продолженную» догоспитальную помощь оказывают на поле боя, в пункте сбора раненых, на медицинском посту роты, в медицинском пункте батальона (0–1-й уровень медицинской помощи или Role 1 по классификации НАТО) по принципам тактики дистанционного контроля повреждений (Remote

✉ Селиверстов Павел Андреевич – канд. мед. наук доц., каф. общ. хирургии, Саратовский гос. мед. ун-т им. В.И. Разумовского (Россия, 410012, г. Саратов, ул. Б. Казачья, д. 112), ORCID: 0000-0002-3416-0470, e-mail: seliwerstov.pl@yandex.ru;

Шапкин Юрий Григорьевич – д-р. мед. наук проф., зав. каф. общ. хирургии, Саратовский гос. мед. ун-т им. В.И. Разумовского (Россия, 410012, г. Саратов, ул. Б. Казачья, д. 112), ORCID: 0000-0003-0186-1892, e-mail: shapkin Yuri@mail.ru

Damage Control Resuscitation, RDCR), подразумевается выполнение сложных неотложных манипуляций: интубация трахеи или коникотомия для восстановления проходимости дыхательных путей, пункция или дренирование плевральной полости при напряженном пневмотораксе, противошоковые мероприятия с применением инфузионной терапии по принципам «гемостатической реанимации» и управляемой гипотензии.

Мероприятия PFC должны выполнять стрелки-санитары, фельдшера и врачи, которые могут не обладать необходимыми знаниями и навыками [33]. В случаях задержки эвакуации более 2–4 ч потребуются расширение объема первой врачебной помощи до квалифицированной хирургической помощи по неотложным и срочным показаниям [3]. При этом сложная тактическая обстановка может не позволить усилить передовые этапы медицинской эвакуации хирургами, травматологами и анестезиологами-реаниматологами. Эксперты Вооруженных сил Великобритании пришли к выводу, что на этапе оказания квалифицированной хирургической помощи при задержке эвакуации более 8 ч возникнет наибольшее количество проблем в диагностике и лечении, увеличится летальность и ухудшатся исходы лечения. При отсрочке эвакуации более 24 ч возникнут потребность в дополнительном диагностическом оборудовании и необходимость владения хирургами общего профиля навыками выполнения оперативных вмешательств второго этапа тактики контроля повреждений (Damage Control) [39]. Одним из основных путей преодоления проблем оказания помощи в этих условиях является применение телемедицинских технологий.

Анализ структуры научных статей по телемедицине, опубликованных за период с 2008 по 2017 г., выявил 13641 зарубежную и 706 отечественных публикаций, из которых только 4 % посвящены организации и оказанию телемедицинской помощи специалистам экстремальных профессий и пострадавшим в чрезвычайных ситуациях, что свидетельствует о недостаточном внимании российской науки к данной проблеме. Отечественные научные статьи, в которых изучались бы возможности и результаты применения телемедицинских технологий в боевых условиях, вовсе отсутствуют [1]. Зарубежный опыт использования телемедицины в вооруженных конфликтах может быть полезен для совершенствования оказания медицинской помощи пострадавшим в боевых действиях и чрезвычайных ситуациях.

Цель – рассмотреть возможности и эффективность применения телемедицинских технологий для обеспечения современных боевых действий.

Материал и методы

Проведен поиск научных статей в базе данных PubMed и Научной электронной библиотеке (eLIBRARY.ru), опубликованных с 2014 по 2024 г. и посвященных использованию телемедицинских технологий в условиях боевых действий.

Обобщены результаты экспериментальных исследований, проведен анализ эффективности применения телемедицины на поле боя и передовых этапах медицинской эвакуации в вооруженных конфликтах последних двух десятилетий.

В соответствии с определением Всемирной организации здравоохранения под телемедициной понимают метод предоставления медицинской помощи, основанный на использовании информационных и коммуникационных технологий в случаях, когда расстояние между пациентом и медицинским работником является решающим фактором для диагностики, лечения и профилактики заболеваний и травм [43].

Результаты и их анализ

Телемедицинские технологии и опыт их применения в боевых условиях. Применение телемедицинских консультаций включено в перечень 10 основных рекомендаций по оказанию «продолжительной» догоспитальной помощи и закреплено в клиническом руководстве Prolonged Casualty Care Guidelines (2021 г.), разработанном Объединенной системой травм (Joint Trauma System, JTS) Министерства обороны США в качестве одного из стандартов медицинского обеспечения боевых действий для стран НАТО [9, 33].

Перед развертыванием в зоне боевых действий медицинской службе рекомендуется разработать план проведения телеконсультаций, включающий основной и альтернативные его варианты на случаи изменения медико-тактической обстановки; провести проверки связи и обучить военных медиков своевременно и обоснованно запрашивать телемедицинскую помощь для решения вопросов, выходящих за рамки их подготовки [33, 41].

Телемедицинские технологии могут быть реализованы с использованием общевойсковых средств связи, имеющихся на снабжении у медицинской службы, а также специально разра-

ботанных устройств (смартфонов, видеокамер, планшетов) и программного обеспечения к ним. Беспроводная передача данных может осуществляться с помощью Bluetooth, Wi-Fi, сетей сотовой и спутниковой связи. Оборудование для применения телемедицины на поле боя и передовых этапах медицинской эвакуации должно быть портативным, легким и компактным, многофункциональным и автономным, недорогим и простым в использовании [16, 42]. Анкетирование медиков сил специальных операций армии США показало, что только 16% респондентов получили телемедицинское оборудование, из них 51% прошли обучение работе с ним. Устройства с массой не более 2,7 кг (6 фунтов) с возможностью передачи видеосигнала в режиме реального времени признаны наиболее оптимальными [11].

Для телеконсультаций могут применяться асинхронные и синхронные технологии связи. Асинхронная связь осуществляется путем передачи фотографий, текстовых и видеозаписей через службу коротких сообщений или по электронной почте. Синхронные технологии используют телефонную или видеосвязь в режиме реального времени.

Телефонная связь наиболее надежна, не требует широкой полосы пропускания сигнала и дополнительного оборудования, проста в использовании. За 10–15 мин до общения по телефону рекомендуется отправить по электронной почте или через службу коротких сообщений основную информацию о пациенте, обстановке, обеспеченности средствами оказания помощи и порядке дальнейшей коммуникации [9, 33, 41].

Наиболее технологичным и эффективным вариантом коммуникации признана двусторонняя аудио- и видеосвязь с передачей данных в режиме реального времени в формате видеотелеконференции. Синхронная двусторонняя аудио- и видеосвязь необходима для дистанционного руководства выполнением манипуляций и хирургических операций менее опытным специалистом (телемедицинского наставничества), а также для непрерывного контроля за лечением пациентов в течение длительного времени (расширенной телеконсультации) [41]. Для расширенных телеконсультаций необходимы также портативные устройства мониторинга основных физиологических показателей пациента с возможностью непрерывной передачи данных удаленному консультанту. Так, портативный монитор Tempus Pro, сконструированный при участии специалистов догоспитальной помощи и служб специаль-

ных операций армии США, имеет массу 2,9 кг и позволяет проводить мониторинг пульса, артериального давления, частоты дыханий, температуры тела, капнографию, пульсоксиметрию, электрокардиограмму, ультразвуковую диагностику. Устройство имеет встроенную видеокамеру с возможностью видеотрансляции, средства шифрования и передачи данных по защищенным каналам. Дисплей монитора совместим с приборами ночного видения [15]. Специалистами Арлингтонского центра медицинских инновационных исследований (США) создан и испытан в полевых учениях прототип смартфона военного медика (Military Medic Smartphone). Смартфон обеспечивает связь для телемедицинских консультаций и имеет компактный монитор, позволяющий собирать и передавать данные о частоте сердечных сокращений, SpO₂, индексе компенсаторного резерва и артериальном давлении одновременно от трех раненых [44].

Телемедицинские технологии с использованием видеосвязи и непрерывного мониторинга данных могут быть ненадежны в боевых условиях, так как требуют стабильного, широкополосного кибербезопасного соединения, специального и дорогого оборудования, технической поддержки для его обслуживания. Беспроводная видео- и аудиосвязь может быть легко обнаружена и заблокирована противником. В связи с этим разрабатываются и тестируются специальные защищенные компьютерные системы, обеспечивающие надежную аудио- и видеосвязь для расширения возможностей телемедицины в боевых условиях [8]. Так, компания Architecture Technology Corporation при финансовой поддержке специалистов по исследованиям в области военной телемедицины и передовых технологий (Army's Telemedicine & Advanced Technology Research, TATRC) армии США разработала систему многоуровневой безопасности DroidChamber, работающую на смартфонах и планшетах Android. Мобильное устройство с приложением DroidChamber предназначено для телемедицинской поддержки военных медиков, позволяет получать и передавать данные разных уровней секретности в широком диапазоне доступа к информации без риска ее утечки [25].

Опыт медицинского обеспечения специальных операций США и других стран НАТО показал, что 41–98% военных медиков нуждались в телеконсультациях во время боевых действий, в основном в условиях оказания «продолжительной» догоспитальной помощи

[11, 12]. Анализ 54 случаев применения PFC в ходе 46 военных операций армии США в Тихоокеанском регионе, на Ближнем Востоке и в Афганистане показал, что длительность оказания догоспитальной помощи варьировала от 4 до 120 ч, в среднем 10 ч. Военные медики присутствовали на месте получения травмы только в 41 % случаев, врач участвовал в лечении 24 % пациентов. Телеконсультации были проведены в 15 % случаев оказания PFC и сыграли важную роль в проведении диагностических и лечебных мероприятий [15]. Примерно 15 % телеконсультаций имели значение для предотвращения ухудшения состояния или смерти раненых военнослужащих армии США в Ираке и Афганистане [30].

Консультация по телефонной связи, дополненная передачей фотографий и текстовых сообщений, являлась основной технологией оказания телемедицинской помощи в условиях боевых действий [26, 30]. В 70 % случаев телемедицинских консультаций возникшие вопросы были решены с использованием только технологий асинхронной связи. Неотложные и срочные консультации в режиме реального времени составляли 15 % от всех телеконсультаций. Непрерывный мониторинг основных физиологических показателей был необходим в 4 % консультаций, телемедицинское руководство выполнением медицинских манипуляций по видеосвязи осуществлено в 1 % случаев [27]. Между тем, в современных и будущих военных конфликтах увеличивается количество тяжелораненых, состояние которых может требовать срочной консультации для принятия решений по оказанию неотложной помощи. Срочность консультации может быть продиктована не только состоянием пострадавшего, а также сложной тактической обстановкой, которая ограничит время для отправки и получения сообщений. В этих условиях увеличится потребность в телемедицинских технологиях с коммуникацией в режиме реального времени.

Срочная телемедицинская помощь возможна при условии постоянной готовности опытных консультантов различных специальностей к ее оказанию.

В 2015 г. Медицинским департаментом армии США организована служба телеконсультаций по интенсивной терапии Virtual Critical Care Consultation (VC3), которая обеспечивала круглосуточную телемедицинскую помощь тяжелораненым подразделений сил специальных операций армии США, находящихся в зоне боевых действий по всему миру. В 2018 г.

служба VC3 была дополнена двумя армейскими медицинскими центрами. Сеть нескольких функционально совместимых центров была способна быстро адаптироваться к изменениям медико-тактической обстановки в зонах боевых действий для оптимизации использования ресурсов телемедицинской системы и координации действий консультантов. Служба VC3 предоставляла военным медикам по телефону или электронной почте телеконсультации опытных врачей-реаниматологов. При необходимости связь по телефону преобразовывалась в видеосвязь в формате видеоконференции в режиме реального времени, если позволяли местные сетевые коммуникации. Служба VC3 была испытана в ходе полевых учений и проверена в реальных боевых действиях в странах Африки, Ближнего Востока и Афганистане. Применение телеконсультаций в реальных боевых условиях во всех случаях повысило уверенность медперсонала при оказании помощи и улучшило результаты лечения пациентов [30]. Полевые учения показали, что телемедицинская поддержка, оказываемая специалистами службы VC3, может расширить объем, повысить качество и безопасность интенсивной терапии, проводимой на передовых этапах медицинской эвакуации. Консультанты смогли осуществлять мониторинг состояния и помощь в лечении одновременно нескольких пациентов, позволяя избежать перегрузки медперсонала в смоделированной ситуации с массовым поступлением раненых на этап медицинской эвакуации [18].

В последующем служба VC3 была увеличена, и на ее основе создана система расширенной телемедицинской поддержки оперативных сил (Advanced Virtual Support for Operational Forces, ADVISOR), которая в настоящее время предоставляет телеконсультации не только Силам специальных операций, а всем подразделениям и частям, участвующим в боевых действиях. Список консультантов увеличен и включает, помимо врачей-реаниматологов, хирургов, травматологов, токсикологов и комбустиологов. Служба ADVISOR предоставляет круглосуточно консультации профильных военных врачей с использованием синхронных и асинхронных технологий связи. Военные медики по телефону связываются с системой автоматического распределения вызовов, которая перенаправляет звонки дежурному консультанту по выбранной специальности или резервным врачам, если основной дежурный врач занят. Консультации по срочности подразделяются на неот-

ложные, которые оказываются немедленно врачами-реаниматологами при угрожающих жизни состояниях, срочные – предоставляются специалистами в течение нескольких минут и плановые – осуществляются в течение 24 ч при стабильном состоянии пациента. Опрос специалистов службы ADVISOR показал, что в 85 % случаев клинические вопросы требовали телемедицинской помощи, и консультант смог предоставить соответствующие рекомендации, которые были реализованы в 89 % случаев [24].

Установлено, что телемедицинские консультации способны сократить число необоснованных эвакуаций, предупреждая, тем самым, неоправданные затраты сил и средств медицинской службы и сокращение численности личного состава в районах боевых действий. Так, консультации службы ADVISOR в 40 % случаев повлияли на решение об эвакуации и позволили сэкономить за три года более 1 млн долларов США за счет понижения степени срочности эвакуации или предотвращения ненужных эвакуаций [24]. Служба Health Experts onLine Portal (HELP) армии США – телемедицинская система, которая специально создана для координации медицинской эвакуации и предоставляет телеконсультации военным медикам подразделений и частей, дислоцированных в зонах боевых действий на Ближнем Востоке и Африке [27]. Внедрение и использование системы HELP позволило уменьшить количество необоснованных эвакуаций раненых из района боевых действий в Ираке и Сирии на 57 % за 3 мес. В годовом исчислении за счет использования телемедицины предсказано сокращение количества медицинских эвакуаций на 328 на каждые 10 тыс. личного состава с экономией средств в размере 1,2 млн долларов в год [29].

В Вооруженных силах России в период с 2016 по 2021 г. в результате поэтапного внедрения телемедицинских технологий в повседневную деятельность медицинских воинских частей и медицинских подразделений сформировалась отечественная система удаленных телемедицинских консультаций, которая включает в себя более 50 военно-медицинских организаций, оснащенных 63 телемедицинскими комплексами. За 6 лет функционирования системы проведено более 4 тыс. телемедицинских мероприятий, в том числе, более 3 тыс. консультаций [2].

Таким образом, телемедицинская поддержка медицинской службы в боевых условиях является технически осуществимой и эффектив-

ной. Между тем, большинство (80%) экспертов считают, что никакие телемедицинские технологии не смогут заменить подготовку и опыт военных медиков и не решат всех проблем, связанных с задержкой эвакуации [27, 39].

Инновационные технологии телемедицинского наставничества. Проведены ряд экспериментальных исследований с целью определения возможности и эффективности применения в боевых условиях телемедицинских технологий наставничества военных медиков с использованием аудио- и видеосвязи. Основной принцип этих технологий заключается в следующем. Наставляемый передает с помощью видеокамеры изображение пострадавшего или операционного поля на компьютер или планшет удаленного консультанта и получает от него в режиме реального времени голосовые и/или графические инструкции по выполнению манипуляции или хирургической операции.

Установка видеокамеры над пациентом требует специального оборудования и может быть осуществлена только в закрытом помещении [16]. Современные боевые шлемы уже оснащены средствами аудио- и видеосвязи, которые могут использоваться для телемедицины. Беспроводные видеокамеры и наушники/микрофоны, закрепленные на голове медика, освобождают его руки для выполнения манипуляций. Консультант видит изображения, попадающие в поле зрения наставляемого: операционное поле, пациента и руки медика. Лазерная указка, прикрепленная к видеокамере, позволяет наставнику точнее определять место, на которое смотрит медик. Микрофоны и наушники, фиксированные на голове наставляемого и наставника, обеспечивают постоянную двустороннюю аудиосвязь между ними [17, 20, 21].

Международная исследовательская группа Damage Control Surgery in Austere Environments Research Group (DCSAERG), включающая медработников, военных, инженеров и государственных чиновников США и Канады, провела ряд экспериментальных исследований возможности использования подобных телемедицинских технологий для наставничества медиков, не являющихся врачами, и врачей, не имеющих хирургической подготовки, при выполнении ими мероприятий расширенной догоспитальной помощи по принципам RDCR в боевых условиях. В качестве удаленных наставников выступали опытные военные врачи. В большинстве исследований наставляемые более уверенно, безопасно и правильно вы-

полняли манипуляции, чем медики, не получавшие телемедицинской поддержки [16, 17, 37]. Так, военные медики Армии обороны Израиля (ЦАХАЛ), имеющие только базовую подготовку по оказанию догоспитальной помощи, успешно и правильно выполняли пункцию, торакоцентез и дренирование плевральной полости на симуляторах-тренажерах, имитирующих пострадавшего с боевой травмой и напряженным пневмотораксом. Удаленное руководство позволяло немедленно устранять ошибки при установке дренажной трубки в режиме реального времени. Между тем, наставляемые затрачивали значительно больше времени на оказание помощи пострадавшему [20, 28]. Военные медики Вооруженных сил Канады, не имевшие хирургической подготовки, смогли выполнить лапаротомию и остановить массивное кровотечение из разрыва печени тапонадой на манекене человека с возможностью измерения кровопотери. Однако дистанционное наставничество не уменьшило интраоперационную и общую кровопотерю из-за затрат времени на общение с наставником [21]. Телемедицинская поддержка не сокращала или увеличивала продолжительность выполнения манипуляций, которые были простыми для наставляемых [42]. Например, удаленное наставничество оказалось контрпродуктивным и в 2,7 раза увеличило время, затраченное на остановку кровотечения из раны с помощью простого в применении раневого зажима iTClamp на манекене человека [19]. Вероятно, телемедицину с применением сложных технологий видеосвязи нецелесообразно предусматривать для помощи в выполнении манипуляций, которые легко освоить и произвести самостоятельно.

Технологии дополненной реальности, позволяющие наносить графические метки поверх реального видеоизображения, могут сократить время на разъяснение инструкций. Наставник с помощью сенсорного пользовательского интерфейса добавляет к видеозаписи, получаемой от наставляемого, графические изображения, обозначающие анатомические ориентиры; линии, указывающие место, форму и длину разреза кожи; значки хирургических инструментов, которые необходимо применить в ходе операции, и др. Видеозапись с графическими схемами отправляют в режиме реального времени к наставляемому. Телеконсультации с технологией дополненной реальности в экспериментах позволили военным врачам общей практики Вооруженных сил Канады удачно выполнить коникотомию, дренирование

плевральной полости и реанимационную тораотомию на живых тканях свиньи без каких-либо осложнений. Врачи получали от наставника устные инструкции и графические указания в режиме видеоконференции на платформе планшета iPad [13].

Использование наставляемым планшета вынуждает его регулярно отвлекаться от операционного поля, чтобы увидеть на дисплее графические инструкции консультанта, что может привести к увеличению продолжительности операции и ошибочным действиям. Данную проблему могут решить головные дисплеи (head-mounted display, HMD) или очки дополненной/смешанной реальности, фиксированные на голове или боевом шлеме. На дисплее данных устройств комбинируется реальное и виртуальное изображение за счёт линз или полупрозрачных зеркал. Графические инструкции, созданные и отправленные консультантом, отображаются в поле зрения наставляемого, автоматически привязываются к элементам операционного поля и не ограничивают свободу движений медика. Телемедицинская технология с использованием очков дополненной реальности значительно повысила в эксперименте правильность и точность действий студентов-медиков при выполнении ими торакоцентеза и дренирования плевральной полости у свиньи *ex vivo* в полевых условиях. При этом длительность операции значительно не увеличилась [17].

Специалисты Университета Пердью и медицинского факультета Университета Индианы (США) разработали систему телемедицинского наставничества с дополненной реальностью System for Telementoring with Augmented Reality (STAR). Особенностью системы STAR является то, что специально разработанное программное приложение для головного дисплея Microsoft HoloLens реконструирует графические инструкции, получаемые от наставника, из формата 2D в 3D и проецирует их непосредственно на тело пациента в правильном положении и нужную глубину по принципу стереоскопической визуализации. Графика в формате 3D дает восприятие глубины пространства и рельефности поверхности (стереопсиса). Кроме того, система STAR способна стабилизировать на компьютере наставника видеосигнал, принимаемый от инструктируемого, устраняя прерывистость изображения из-за движений его головы, что особенно важно в боевой обстановке. Система STAR опробована в учениях санитаров Военно-морских сил США, которые оказывали помощь

в смоделированной боевой обстановке, в условиях задымленности помещения, шума от двигателей вертолетов, выстрелов и взрывов. Санитары, наставляемые с использованием системы STAR с двусторонней аудио- и видеосвязью, более точно и безопасно выполняли коникотомию на манекене, чем санитары, получавшие телеконсультации только по аудиосвязи. Студенты-медики, получавшие телемедицинскую помощь через систему STAR, совершали меньше ошибок при выполнении лапаротомии на манекене и фасциотомии на голени трупа человека, на 88–93 % реже отвлекались от операционного поля [36–38].

С 2018 г. в армии США внедряется система визуального дополнения (Integrated Visual Augmentation System, IVAS). Система включает дисплей, компьютер и сетевой радиопередатчик, которые входят в снаряжение пехотинца. На дисплей очков смешанной реальности Microsoft HoloLens в поле зрения бойца выводится различная информация, например, ситуация за пределами укрытия или бронетехники, схемы секторов обстрела, карты местности, интерьеров зданий и др. В Научно-исследовательском институте экологической медицины армии США (г. Натик, штат Массачусетс) разрабатывают программное обеспечение, которое интегрировано в систему IVAS и предназначено для телемедицинской поддержки военных медиков. Графические схемы внутренних органов конкретных военнослужащих, созданные до их отправки в зону боевых действий, выводят на дисплей дополненной реальности и накладывают на видеоизображение раненого, что дает представление об особенностях анатомии данного бойца и может помочь в выполнении медицинских манипуляций. В рамках данного проекта построена компьютерная графика дополненной реальности с голосовыми командами для выполнения коникотомии, оказания помощи при пневмотораксе, боевых травмах конечностей и таза. Тестируемые варианты программы имели ограничения возможности распознавания позы тела пострадавшего и голосовых команд в условиях шума [22].

Специалисты медицинской службы Военно-морского флота армии США разработали систему телемедицинского наставничества, использующую технологию смешанной реальности. Консультанты получали информацию от наставляемого об окружающей обстановке с помощью шлема HTC-Vive. Голографические инструкции наставника выводили на дисплей очков Microsoft HoloLens обучаемого медика.

Дополнительные видеокамеры и программное обеспечение создавали общую для наставляемого и консультанта трехмерную среду смешанной реальности. Данная телемедицинская система в 85 % случаев способствовала правильному выполнению хирургами общего профиля фасциотомии голени, экстренных нейрохирургических и сосудистых операций на трупе человека с искусственным кровообращением [40].

Результаты экспериментальных исследований эффективности телемедицинских технологий следуют оценивать с осторожностью, так как манипуляции и операции проводились на животных, муляжах и трупах человека при отсутствии влияния факторов стресса и реальной боевой обстановки.

Роботизированная хирургия по заявлению Всемирного общества неотложной хирургии (World Society of Emergency Surgery, WSES) в ближайшем будущем может сыграть решающую роль в применении телемедицины при оказании хирургической помощи в чрезвычайных ситуациях и условиях боевых действий [14]. Современные технологии позволяют выполнять роботизированные операции дистанционно, но наиболее надежные аппараты имеют сложную конструкцию, большие размеры и не применимы на передовых этапах медицинской эвакуации. В связи с этим ведутся исследования по созданию малогабаритных роботов, которых военный врач устанавливает на пациенте, после выполнения хирургического доступа ими управляет дистанционно опытный хирург по беспроводной связи [32]. Высокоскоростные каналы связи способны облегчить внедрение роботизированной хирургии в военную медицину.

Между тем, в реальной боевой обстановке связь может быть нарушена средствами радиоэлектронной борьбы, и сетевые ресурсы станут недоступны. Технологии искусственного интеллекта дают возможность использовать телемедицину в условиях ограниченности или отсутствия связи. Наставником становится искусственный интеллект, который обеспечивает поддержку в принятии клинических решений.

Исследовательской группой Департамента неотложной медицины США разрабатывается автономная телемедицинская система оперативной поддержки выполнения медицинских вмешательств при травмах – Trauma TeleHelper for Operational Medical Procedure Support and Offline Network (THOMPSON), использующая технологию искусственного интеллекта. На основе видеозаписей выполнения манипуля-

ций догоспитальной помощи, оказываемой по принципам RDCR, создан алгоритм машинного обучения, который распознает и прогнозирует «следующий шаг» действий. Ход манипуляции, выполняемой медиком, записывает видеокамера головного дисплея дополненной реальности. Система искусственного интеллекта автономно анализирует видеозапись манипуляции и подсказывает медику в режиме реального времени следующие действия с помощью графических инструкций и голосовых команд. В экспериментах система показала высокую точность распознавания манипуляций и прогнозирования дальнейших действий [10].

Дистанционная медицинская сортировка. Поиск и медицинская сортировка раненых на поле боя еще до прибытия медиков в зону санитарных потерь позволяют сократить время реагирования медицинской службы в сложной боевой обстановке, когда доступ к пострадавшим затруднен, например, из-за огневого воздействия противника, ограниченной видимости, радиоактивного или химического заражения местности.

Для оценки состояния и удаленной медицинской сортировки раненых в боевых действиях разрабатывают системы непрерывного мониторинга и оценки физиологических показателей военнослужащих. Бойцы могут носить как часть экипировки датчики, фиксирующие основные физиологические показатели. Данные с датчиков непрерывно передаются по беспроводной связи на мобильные устройства военных медиков и анализируются алгоритмами искусственного интеллекта [35]. Так, специалистами Военной академии Македонии представлена телемедицинская система с алгоритмом автоматизированной удаленной сортировки раненых. Каждый военнослужащий оснащен малозаметными датчиками для непрерывного определения частоты сердечных сокращений, систолического артериального давления, частоты дыханий, температуры тела, оценки уровня сознания по шкале AVPU (alert, verbal, pain, unresponsive). Результаты измерений передаются по сети подразделения в тактический оперативный центр медицинской службы на расстояние до 3 км на открытой местности и до 1 км в городской черте. Данные анализируются с помощью алгоритма нечеткой логики искусственного интеллекта, который обеспечивает автоматизированную сортировку раненых по системе Simple triage and rapid treatment (START), определяя срочность эвакуации и оказания медицинской помощи. Алгоритм искусственного интеллекта

показал высокую точность (93 %) сортировки при проверке системы на случайных данных [4].

Использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) признано многообещающим для оценки медико-тактической обстановки, поиска и удаленной сортировки раненых в зоне санитарных потерь. Международные эксперты выделили следующие основные критерии, по которым следует проводить дистанционную сортировку пострадавших с использованием дронов: наличие у раненых наружного кровотечения, сознания и признаков жизни, способности передвигаться [7]. Предложены системы сортировки пострадавших при чрезвычайных ситуациях на основе данных, собираемых видеокамерой беспилотного летательного аппарата в режиме реального времени. Видеоизображения анализируют с помощью алгоритмов искусственного интеллекта, способных идентифицировать человека, определять признаки жизни и тяжесть состояния пострадавших на основе распознавания их позы, неподвижности тела, наличия дыхательных движений [6, 23, 31]. Разработан и опробован в эксперименте метод дистанционного измерения частоты сердечных сокращений и дыхания на основе анализа видеофотоплетизмографии, снятой видеокамерой зависшего над раненым дрона [5].

Поскольку решения искусственного интеллекта не всегда верны, важно правильно их интерпретировать и соотносить с фактическими данными и реальной обстановкой.

Заключение

Применение телемедицинских технологий в боевых условиях возможно и может способствовать принятию объективных решений по медицинской сортировке и эвакуации, оптимизировать распределение сил и средств медицинской службы и улучшить результаты лечения раненых.

Консультация по телефонной связи, дополненная передачей фотографий и текстовых сообщений, остается основной технологией оказания телемедицинской помощи в условиях боевых действий. В современных военных конфликтах увеличивается потребность в телемедицинских технологиях с применением двусторонней аудио- и видеосвязи в режиме реального времени. Возможности телемедицины могут быть расширены за счет технологий дополненной и смешанной реальности, искусственного интеллекта, дронов и роботизированной хирургии.

Применение телемедицины в боевых условиях ограничивается проблемами кибербезопасности и полосой пропускания сигнала современных систем связи.

Военная телемедицина эффективна при наличии единой централизованной системы с подготовленными опытными специалистами различного профиля, способными оказывать круглосуточную неотложную и плановую кон-

сультативную помощь медицинской службе подразделений и частей, участвующих в боевых действиях.

Телемедицина не заменяет повышение квалификации военных медиков, а предоставляет дополнительные возможности в ситуациях, когда требуется оказать помощь в объеме, выходящем за границы базовой подготовки специалистов.

Литература / References

1. Евдокимов В.И., Есауленко И.Э., Алексанин С.С. [и др.]. Развитие и анализ научных исследований по телемедицине (2008–2017 гг.). М. : Науч. книга, 2019. 120 с.
2. Калачёв О.В., Овечкин В.Б., Першин И.В. [и др.]. Опыт применения телемедицинских технологий в системе медицинского обеспечения Вооруженных сил // Воен.-мед. журн. 2022. Т. 343, № 9. С. 4–8. DOI: 10.52424/00269050_2022_343_9_04.
3. Тришкин Д.В., Крюков Е.В., Чуприна А.П. [и др.]. Методические рекомендации по лечению боевой хирургической травмы. Министерство обороны Российской Федерации / Гл. воен.-мед. упр. Минобороны России. М., 2022. 373 с.
4. Achkoski J., Koceski S., Bogatinov D. [et al.]. Remote triage support algorithm based on fuzzy logic. *J. R. Army Med. Corps.* 2017; 163(3):164–170. DOI: 10.1136/jramc-2015-000616.
5. Al-Naji A., Perera A.G., Chahl J. Remote monitoring of cardiorespiratory signals from a hovering unmanned aerial vehicle. *Biomed. Eng. Online.* 2017; 16(1):101. DOI: 10.1186/s12938-017-0395-y.
6. Al-Naji A., Perera A.G., Mohammed S.L., Chahl J. Life Signs Detector Using a Drone in Disaster Zones. *Remote Sens.* 2019; 11:2441. DOI:10.3390/rs11202441.
7. Blvarez-Garcna C., Cbmaranguita S., Lypez-Hens J.M. [et al.]. Development of the Aerial Remote Triage System using drones in mass casualty scenarios: A survey of international experts. *PLoS One.* 2021; 16(5):e0242947. DOI: 10.1371/journal.pone.0242947.
8. April M.D., Stednick P.J., Landry C. [et al.]. Telemedicine at the Joint Readiness Training Center: Expanding Forward Medical Capability. *Med. J. (Ft. Sam. Houst. Tex.).* 2021; (PB 8-21-04/05/06):9-13.
9. Ball J.A., Keenan S. Prolonged Field Care Working Group Position Paper: Prolonged Field Care Capabilities. *J. Spec. Oper. Med.* 2015 Fall; 15(3):76–77. DOI: 10.55460/B3NN-SY8Y.
10. Birch E., Couperus K., Gorbatskin C. [et al.]. Trauma THOMPSON: Clinical Decision Support for the Frontline Medic. *Mil. Med.* 2023; 188 (Suppl 6):208–214. DOI: 10.1093/milmed/usad087.
11. Carlton D.M., Lowery D., Woodard C. [et al.]. Project Reach: A Pilot Cross-Sectional Study of the Telemedical Capabilities of Special Operations Medical Personnel. *J. Spec. Oper. Med.* 2021. 21(2):54–60. DOI: 10.55460/T8U3-GQG3.
12. Cetin M., Yildirim M. Survey of Military Physician Receptivity to Telemedicine and Perceived Telemedicine-Amenable Conditions in Turkey. *J. Spec. Oper. Med.* 2023; 23(3):13–17. DOI: 10.55460/TAYD-HUT5.
13. Dawe P., Kirkpatrick A., Talbot M. [et al.]. Tele-mentored damage-control and emergency trauma surgery: A feasibility study using live-tissue models. *Am. J. Surg.* 2018; 215(5):927–929. DOI: 10.1016/j.amjsurg.2018.01.016.
14. DeAngelis N., Khan J., Marchegiani F. [et al.]. Robotic surgery in emergency setting: 2021 WSES position paper. *World J. Emerg. Surg.* 2022; 17(1):4. DOI: 10.1186/s13017-022-00410-6.
15. DeSoucy E.S., Shackelford S.A., DuBose J.J. [et al.]. Review of 54 Cases of Prolonged Field Care. *J. Spec. Oper. Med.* 2017; 17(1):121–129. DOI: 10.55460/OAL4-CBRC.
16. Gerhardt R.T., Berry J., Mabry R.L. [et al.]. Evaluation of Contingency Telemedical Support to Improve Casualty Care at a Simulated Military Intermediate Resuscitation Facility: The EM-ANGEL Study. *J. Spec. Oper. Med.* 2014; 14(1):50–57. DOI: 10.55460/G0D7-OBXG.
17. Glick Y., Avital B., Oppenheimer J. [et al.]. Augmenting prehospital care. *BMJ Mil. Health.* 2021; 167(3):158–162. DOI: 10.1136/jramc-2019-001320.
18. Ieronimakis K.M., Colombo C.J., Valovich J. [et al.]. The Trifecta of Tele-Critical Care: Intrahospital, Operational, and Mass Casualty Applications. *Mil. Med.* 2021; 186(Suppl 1):253–260. DOI: 10.1093/milmed/usaa298.

19. Kirkpatrick A.W., McKee J.L., Netzer I. [et al.]. A Randomized Trial of Mentored vs Nonmentored Military Medics Compared in the Application of a Wound Clamp Without Prior Training: When to Shut Up and Just Watch! *Mil. Med.* 2020; 185(Suppl 1):67–72. DOI: 10.1093/milmed/usz251.
20. Kirkpatrick A.W., McKee J.L., Netzer I. [et al.]. Transoceanic Telementoring of Tube Thoracostomy Insertion: A Randomized Controlled Trial of Telementored Versus Unmentored Insertion of Tube Thoracostomy by Military Medical Technicians. *Telemed. J. E. Health.* 2019; 25(8):730–739. DOI: 10.1089/tmj.2018.0138.
21. Kirkpatrick A.W., Tien H., LaPorta A.T. [et al.]. The marriage of surgical simulation and telementoring for damage-control surgical training of operational first responders: A pilot study. *J. Trauma Acute Care Surg.* 2015; 79(5):741–747. DOI: 10.1097/TA.0000000000000829.
22. Leuze C., Zoellner A., Schmidt A.R. [et al.]. Augmented reality visualization tool for the future of tactical combat casualty care. *J. Trauma Acute Care Surg.* 2021; 91(2S Suppl 2):S40–S45. DOI: 10.1097/TA.00000000000003263.
23. Lu J., Wang X., Chen L. [et al.]. Unmanned aerial vehicle based intelligent triage system in mass-casualty incidents using 5G and artificial intelligence. *World J. Emerg. Med.* 2023; 14(4):273–279. DOI: 10.5847/wjem.j.1920-8642.2023.066.
24. McLeroy R.D., Kile M.T., Yourk D. [et al.]. Advanced Virtual Support for Operational Forces: A 3-Year Summary. *Mil. Med.* 2022; 187(5–6):742–746. DOI: 10.1093/milmed/usab388.
25. McVearry K.A. DroidChamber: Multilevel Security for Mobile Devices to Support Telemedicine on the Battlefield. *Mil. Med.* 2023; 188(Suppl 6):192–198. DOI: 10.1093/milmed/usad084.
26. Naumann D.N., McMenemy L., Beaven A. [et al.]. Secure app-based secondary healthcare clinical decision support to deployed forces in the UK Defence Medical Services. *BMJ Mil. Health.* 2024; 170(3):207–211. DOI: 10.1136/military-2022-002172.
27. Nettesheim N., Powell D., Vasios W. [et al.]. Telemedical Support for Military Medicine. *Mil Med.* 2018; 183(11–12):e462–e470. DOI: 10.1093/milmed/usy127.
28. Netzer I., Kirkpatrick A.W., Nissan M. [et al.]. Rubrum Coelis: The Contribution of Real-Time Telementoring in Acute Trauma Scenarios-A Randomized Controlled Trial. *Telemed. J. E. Health.* 2019; 25(11):1108–1114. DOI: 10.1089/tmj.2018.0173.
29. Nguyen C., Mbuthia J., Dobson C.P. Reduction in Medical Evacuations from Iraq and Syria Following Introduction of an Asynchronous Telehealth System. *Mil. Med.* 2020; 185(9–10):e1693–e1699. DOI: 10.1093/milmed/usaa091.
30. Powell D., McLeroy R.D., Riesberg J.C. [et al.]. Telemedicine to Reduce Medical Risk in Austere Medical Environments: The Virtual Critical Care Consultation (VC3) Service. *J. Spec. Oper. Med.* 2016 Winter; 16(4):102–109. DOI: 10.55460/6TPC-K6KL.
31. Queirys Pokee D., Barbosa Pereira C., Mutsch L. [et al.]. Consciousness Detection on Injured Simulated Patients Using Manual and Automatic Classification via Visible and Infrared Imaging. *Sensors (Basel).* 2021; 21(24):8455. DOI: 10.3390/s21248455.
32. Reichenbach M., Frederick T., Cubrick L. [et al.]. Telesurgery With Miniature Robots to Leverage Surgical Expertise in Distributed Expeditionary Environments. *Mil. Med.* 2017; 182(S1):316–321. DOI: 10.7205/MILMED-D-16-00176.
33. Remley M.A., Loos P.E., Riesberg J.C. Prolonged Casualty Care Guidelines 21 December 2021. *J. Spec. Oper. Med.* 2022; 22(1):18–47. DOI: 10.55460/8IUQ-907J.
34. Remondelli M.H., Remick K.N., Shackelford S.A. [et al.]. Casualty care implications of large-scale combat operations. *J. Trauma Acute Care Surg.* 2023; 95(2S Suppl 1):S180–S184. DOI: 10.1097/TA.00000000000004063.
35. Rickards C.A., Vyas N., Ryan K.L. [et al.]. Are you bleeding? Validation of a machine-learning algorithm for determination of blood volume status: application to remote triage. *J. Appl. Physiol.* 2014; 116(5):486–494. DOI: 10.1152/jappphysiol.00012.2013.
36. Rojas-Mucoz E., Andersen D., Cabrera M.E. [et al.]. Augmented Reality as a Medium for Improved Telementoring. *Mil. Med.* 2019; 184(Suppl 1):57–64. DOI: 10.1093/milmed/usy300.
37. Rojas-Mucoz E., Cabrera M.E., Lin C. [et al.]. Telementoring in Leg Fasciotomies via Mixed-Reality: Clinical Evaluation of the STAR Platform. *Mil. Med.* 2020; 185(Suppl 1):513–520. DOI: 10.1093/milmed/usz234.
38. Rojas-Mucoz E., Lin C., Sanchez-Tamayo N. [et al.]. Evaluation of an augmented reality platform for austere surgical telementoring: a randomized controlled crossover study in cricothyroidotomies. *NPJ Digit. Med.* 2020; 3:75. DOI: 10.1038/s41746-020-0284-9.
39. Scallan N.J., Keene D.D., Breeze J. [et al.]. Extending existing recommended military casualty evacuation timelines will likely increase morbidity and mortality: a UK consensus statement. *BMJ Mil Health.* 2020; 166(5):287–293. DOI: 10.1136/bmj-military-2020-001517.
40. Tadlock M.D., Olson E.J., Gasques D. [et al.]. Mixed reality surgical mentoring of combat casualty care related procedures in a perfused cadaver model: Initial results of a randomized feasibility study. *Surgery.* 2022; 172(5):1337–1345. DOI: 10.1016/j.surg.2022.06.034.
41. Vasios W.N. 3rd, Pamplin J.C., Powell D. [et al.]. Teleconsultation in Prolonged Field Care Position Paper. *J. Spec. Oper. Med.* 2017; 17(3):141–144. DOI: 10.55460/MGJ0-L27W.

42. Weymouth W., Thaut L., Olson N. Point of View Telemedicine at Point of Care. *Cureus*. 2018; 10(11):e3662. DOI: 10.7759/cureus.3662.

43. WHO Group Consultation on Health Telematics. A health telematics policy in support of WHO's Health-for-all strategy for global health development: report of the WHO Group Consultation on Health Telematics, 11–16 December, Geneva, 1997. World Health Organization. 1998. 39 p. URL: <https://iris.who.int/handle/10665/63857>.

44. Wong K.H., Bayarsaikhan S., Levine B.A., Mun S.K. Prototype of a Military Medic Smartphone Medical Graphical User Interface for Use by Medics in Deployed Environments. *Mil. Med.* 2020; 185(Suppl 1):536–543. DOI: 10.1093/milmed/usz225.

Поступила 05.07.2024 г.

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией статьи.

Участие авторов: П.А. Селиверстов – разработка концепции и дизайна статьи, сбор данных и их анализ, написание статьи; Ю.Г. Шапкин – разработка концепции, редактирование и утверждение окончательного варианта статьи.

Для цитирования. Селиверстов П.А., Шапкин Ю.Г. Возможности и эффективность применения телемедицинских технологий в условиях боевых действий (обзор литературы) // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. 2024. № 3. С. 66–76. DOI: 10.25016/2541-7487-2024-0-3-66-76.

Telemedicine technologies in combat settings: efficiency and prospects (literature review)

Seliverstov P.A., Shapkin Y.G.

Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky (112, B. Kazach'ya, Str., Saratov, 410012, Russia)

✉ Pavel Andreevich Seliverstov – PhD Med. Sci. Associate Prof., General Surgery Department of the Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky (112, B. Kazach'ya Str., Saratov, 410012, Russia), ORCID: 0000-0002-34160470, e-mail: seliverstov.pl@yandex.ru;

Yuriy Grigor'evich Shapkin – Dr. Med. Sci. Prof., Head of the General Surgery Department of the Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky (112, B. Kazach'ya Str., Saratov, 410012, Russia), ORCID: 0000-0003-0186-1892, e-mail: shapkin Yuri@mail.ru

Abstract

Relevance. Large-scale military conflicts involving a technically well-equipped peer enemy are associated with a higher risk of delayed evacuation of the wounded which therefore requires extended medical care at advanced medical evacuation stages, especially amid absence or shortage of skillful medical professionals. Telehealth can offer solutions to overcome the difficulties in medical care provision amid combat settings.

The objective is to study the prospects and efficiency of telemedicine technologies in enhancing availability of medical care during modern military operations.

Methods. The PubMed database and the Scientific Electronic Library (eLIBRARY.ru) were used to collect research papers published from 2014 to 2024 studying the development and implementation of telemedicine technologies to backup combat operations.

Results and discussion. Consultations by phone together with transfer of photos and text messaging remain the most common technology to provide telehealth assistance in combat settings. Teleconference connection allowing for two-way audio and video communication involving real-time data transfer is a most promising telecommunication format. Telehealth capacities can be expanded by augmented and mixed reality technologies, AI, drones, or robotic surgery. In combat environments, however, using telemedicine is limited by cybersecurity concerns and the signal bandwidth of modern communications systems. An efficient military telemedicine requires an integral centralized system involving multidisciplinary teams of experienced medical consultants providing round-the-clock emergency and routine telemedicine care to military units, including those engaged in combat operations.

Conclusion. In combat settings telemedicine technologies have great untapped potential and can contribute largely in terms of evidence-based decision-making in process of medical triage and evacuation, thus optimizing the distribution of medical capacities and resources and improving the results of injury treatment. Although unfit to replace advanced combat medicine training, telemedicine can reinforce existing capacities by providing specialized medical advice to combat medics.

Keywords: military medicine, the military, the injured, disaster affected, first aid, pre-hospital aid, the Internet, telemedicine technologies, telementoring, AI, drones, NATO.

Received 05.07.2024

For citing: Seliverstov P.A., Shapkin Y.G. Vozmozhnosti i jeffektivnost' primenenija telemedicinskih tehnologij v usloviyah boevykh dejstvij (obzor literatury). *Mediko-biologicheskie i sotsial'no-psikhologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychaynykh situatsiyakh*. 2024; (3):66–76. (In Russ.)

Seliverstov P.A., Shapkin Y.G. Telemedicine technologies in combat settings: efficiency and prospects (literature review). *Medico-Biological and Socio-Psychological Problems of Safety in Emergency Situations*. 2024; (3):66–76. DOI: 10.25016/2541-7487-2024-0-2-66-76.