

ПОДХОДЫ К ВНЕДРЕНИЮ КОНЦЕПЦИИ ИНТЕРНЕТА МЕДИЦИНСКИХ ВЕЩЕЙ В СИСТЕМУ МЕДИЦИНСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОРГАНИЗОВАННЫХ КОЛЛЕКТИВОВ В АСПЕКТЕ ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ИНФЕКЦИОННОЙ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ

С.А. Парфенов, А.А. Кузин, А.Е. Зобов*, Р.И. Глушаков, Г.Г. Кутелев, К.В. Сапожников

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

APPROACHES TO THE IMPLEMENTATION OF INTERNET OF MEDICAL THINGS SYSTEMS INTO ORGANIZED MEDICAL COLLECTIVES FOR THE EPIDEMIOLOGICAL CONTROL OF INFECTIOUS MORBIDITY

S.A. Parfenov, A.A. Kuzin, A.E. Zobov*, R.I. Glushakov, G.G. Kutelev, K.V. Sapozhnikov

Military Medical Academy, St. Petersburg, Russia

*E-mail: dr.andrey98@yandex.ru

Аннотация

Необходимость раннего выявления респираторных инфекций в среде организованных коллективов является острой потребностью ежедневной деятельности медицинских специалистов. При этом применение интернета медицинских вещей позволяет оптимизировать систему оказания медицинской помощи благодаря реализации возможности дистанционной и непрерывной ранней диагностики заболеваний. **Цель исследования** – на основе анализа данных научной литературы изучить современный уровень и диагностические возможности технических средств, обеспечивающих дистанционный мониторинг состояния здоровья членов организованных коллективов. **Материалы и методы.** Исследование проведено с использованием сведений из рецензируемых научных изданий, входящих в российские и международные реферативные базы данных и системы цитирования, и с применением реферирования, аннотирования и контент-анализа. **Результаты и заключение.** Продемонстрировано, что перспективной и наиболее пригодной архитектурой для эпидемиологического контроля и диагностики инфекционных заболеваний в условиях организованных коллективов является система, интегрирующая комплекс биометрической видеоаналитики, автоматической классификации и сверки информации с помощью искусственного интеллекта. Сформулирован перечень принципиальных биоэтических требований к биомедицинским устройствам, используемым в системах интернета медицинских вещей.

Ключевые слова: интернет медицинских вещей, эпидемиологический контроль.

Abstract

Introduction. In their daily activities, medical specialists face a need to detect respiratory infections in medical establishments as soon as possible. And the "Internet of Medical Things" optimizes the system of medical care by its potentials to provide distant and continuous early diagnostics. **Purpose.** To analyze literature research data and to study the current level and diagnostic capabilities of technical means that provide remote monitoring of the health status of members of organized collectives. **Materials and methods.** The authors used information from peer-reviewed scientific publications including Russian and international abstract databases and citation systems. Abstracts, annotations and content-analyses were studied too. **Results and conclusion.** It has been shown that the most suitable architecture for epidemiological control and detection of infectious diseases in organized collectives is the system integrating a complex of biometric video analytics, automatic classification and reconciliation of information using artificial intelligence. A list of fundamental bioethical requirements for biomedical devices used in the "Internet of Medical Things" systems is formulated.

Keywords: Internet of medical things, epidemiological control.

Ссылка для цитирования: Парфенов С.А., Кузин А.А., Зобов А.Е., Глушаков Р.И., Кутелев Г.Г., Сапожников К.В. Подходы к внедрению концепции интернета медицинских вещей в систему медицинского обеспечения организованных коллективов в аспекте эпидемиологического контроля инфекционной заболеваемости. *Кремлевская медицина. Клинический вестник.* 2024; 3: 96–102.

Введение

Инфекционные заболевания, в частности острые респираторные инфекции (ОРИ), не теряют актуальности в среде организованных коллективов, а необходимость их раннего выявления обуславливает острую потребность ежедневной деятельности медицинских специалистов, поскольку выработка и проведение профилактических

мероприятий могут способствовать сохранению здоровья лиц, входящих в организованную группу (коллектив) [1, 2]. Вместе с тем на сегодняшний день фазу активного развития переживает концепция интернета медицинских вещей (ИМВ), представляющая собой динамично развивающуюся систему, прочно занимающую свою нишу в сфере профилактической и клинической медицины [3–5].



Рис. 1. Наиболее популярная схема устройства интернета портативных медицинских вещей

Данный подход открывает новые возможности для здравоохранения, представляя возможности формирования единой информационной базы данных, непрерывно пополняющейся в режиме реального времени. Применение ИМВ позволяет совершенствовать систему оказания медицинской помощи путем реализации возможности дистанционной и непрерывной ранней диагностики заболеваний [2, 6, 7]. Внедрение решений, основанных на ИМВ, способствует экономии времени врачей за счет дистанционных консультаций, становится возможным удаленно контролировать показатели здоровья человека в течение всего дня, а благодаря ранней диагностике заболеваний и незамедлительному началу терапии снижаются затраты на лечение пациентов. Во время пандемии новой коронавирусной инфекции (COVID-19) решения ИМВ способствовали поддержанию режима самоизоляции, снижая таким образом риски распространения инфекции по целым регионам [6, 7].

Однако данная концепция описана зачастую лишь теоретически и не реализована ни на практическом, ни на законодательном уровнях, что, несомненно, представляет серьезную научную проблему. Настоящий обзор литературы посвящен анализу диагностических возможностей технических средств и разработке подходов к внедрению концепции дистанционного мониторинга состояния здоровья членов организованных коллективов на основе методов ИМВ с целью усовершенствования способов раннего выявления инфекционных больных.

Цель исследования – на основе анализа данных научной литературы изучить современный уровень и диагностические возможности технических средств, обеспечивающих дистанционный мониторинг состояния здоровья членов организованных коллективов.

Материалы и методы

В работе использовали результаты анализа сведений из рецензируемых научных изданий, входящих в российские и международные реферативные базы данных и системы цитирования, с применением реферирования, аннотирования и контент-анализа.

Результаты и обсуждение

Современные возможности систем дистанционного мониторинга состояния здоровья людей достаточно обширны. Однако зачастую в ходе использования таких систем пациенты могут испытывать дискомфорт из-за размера модулей, прикрепляемых к телу, и необходимости подзарядки или замены аккумуляторов. По мнению некоторых авторов, вышеупомянутые проблемы могут быть решены путем разработки компактных сенсорных устройств со сверхнизким энергопотреблением и облегченных протоколов связи [5, 8]. В обобщенном виде система удаленного мониторинга состояния здоровья состоит из портативного устройства наблюдения за пациентом (на дому у пациента, на улице, в автомобилях скорой медицинской помощи и др.) и системы поддержки принятия врачебных решений на основании технических средств мониторинга в режиме реального времени. Врач может просмотреть состояние пациента с помощью графического пользовательского интерфейса. Портативное устройство мониторинга пациента состоит в основном из датчиков и электронных схем, которые способны регистрировать жизненно важные параметры (частоту сердечных сокращений и дыхания, вариабельность сердечного ритма, артериальное давление, насыщение кислородом, температуру тела, уровень сознания, мышечную активность, дыхательный объем легких, уровень глюкозы в крови, состав мочи), а также блока обработки полученных данных и сетевого устройства загрузки на сервер для дальнейшего анализа [9]. Принципиальная схема наиболее распространенных решений ИМВ представлена на рис. 1.

Архитектура ИМВ – это система, состоящая из физических, виртуальных или гибридных объектов, а также каналов связи и протоколов, сетевых устройств, серверов для хранения, анализа и представления данных, приложений или интерфейсов. Физические объекты, как правило, состоят из датчиков, исполнительных механизмов, RFID-меток и смартфонов, в то время как виртуальные объекты состоят из компьютерных приложений, промежуточного программного обеспечения приложений, мультимедийного контента и веб-сервисов [10, 11].

В литературе существуют разные определения термина «интернет медицинских вещей» (англ. Internet of Medical Things, IoMT), однако выполненный анализ ряда публикаций на данную тему позволяет считать уместным следующее определение. ИМВ – это концепция сети передачи данных от физических объектов («вещей»), оснащенных диагностическими средствами и технологиями, для взаимодействия друг с другом или с внешней средой с целью охраны здоровья людей [3–5]. На сегодняшний день концепция ИМВ в основном подразумевает применение индивидуальных датчиков, передающих информацию о конкретных параметрах состояния здоровья пациента (биомедицинских сигналов) от пациента, блока обработки биомедицинских сигналов, сетевого устройства для передачи биомедицинских данных по сети, блока временного или постоянного хранения, платформы визуализации со схемами искусственного интеллекта (ИИ) для принятия решений с целью повышения эффективности работы врача [3, 11]. Считается, что интеллектуальное здравоохранение на основе ИМВ исключает человеческие ошибки и облегчает врачу задачу по точной диагностике заболеваний, соединяя все устройства мониторинга жизненно важных параметров по сети с системой поддержки принятия решений [3].

Сегодня научное сообщество пришло к пониманию, что биомедицинские устройства в составе ИМВ должны строго соответствовать биоэтическим принципам и отвечать следующим требованиям [5]:

- надежность: надежная система должна постоянно достигать своих функциональных целей, то есть она не должна быть подвержена неожиданным отказам при нормальных условиях эксплуатации. Для потенциального диагностического характера систем, основанных на ИМВ, требуется надежность каждого компонента системы, чтобы гарантировать правильность собранной информации;
- безопасность: безопасная система не должна причинять вреда рабочей среде. В контексте ИМВ, особенно с учетом принимаемых медицинских решений, необходимо быть уверенным в том, что система не причинит вреда своему пользователю;
- кибербезопасность: медицинские системы должны быть устойчивы к внешним угрозам и атакам из-за конфиденциальной и личной информации, которую они собирают.

Чтобы выполнить все эти требования к ИМВ, их необходимо учитывать с самого начала процесса проектирования, и с ростом сложности вычислительных систем этого можно достичь благодаря использованию набора методов и философии проектирования, которую обычно применяют для киберфизических систем (КФС). КФС – это сочетание вычислительных аспектов с физическими процессами посредством теории, предназначенной для эффективного построения крупномасштабных систем, управляемых компьютером [5]. Эта вычислительная абстракция может быть использована в различных потенциальных медицинских приложениях, таких как высоконадежные биомедицинские устройства, содействие жизни лицам с ограниченными возможностями или телемедицина.

Важным элементом КФС является ИИ, который представляет собой технологию анализа данных ИМВ с целью помощи медицинским работникам практически

во всех областях их профессиональной деятельности, в частности в принятии клинических решений [12, 13]. С помощью машинного обучения и методов глубокого обучения компьютеры могут принимать решения о нормальном и ненормальном состоянии пациента, используя данные, сгенерированные медицинскими работниками, и результаты опроса пациентов. Собранные данные зачастую исследуются и классифицируются ИИ как неотъемлемым компонентом поддержки принятия решения современным медицинским специалистом [13]. Огромное значение в исследовании и диагностике заболеваний отводится системам, включающим искусственные нейронные сети, хорошо зарекомендовавшие себя в диагностике и предсказании развития заболеваний различных классов: сердечно-сосудистой системы, новообразований, инфекционных болезней, травм и т.д. [14, 15]. Исследователю предлагается либо дихотомический ответ («болезнь есть/будет» или «болезни нет / не будет»), либо вероятность наличия (развития) заболевания. Для обучения алгоритмов используются как поведенческие и анамnestические предикторы (наследственность, вредные привычки и т.д.), так и лабораторно-инструментальные показатели, получаемые при помощи периферических устройств. Сегодня уже очевидно, что устройства ИМВ, поддерживаемые ИИ, могут непрерывно отслеживать состояние здоровья людей [4].

За рубежом современный технический уровень решений ИМВ быстро повышается. За последние 20 лет на рынок выведено множество систем, которые способны собирать информацию с портативных устройств, мониторить состояние пациентов, оценивать вероятность распространения инфекций на основании данных о местоположении человека и т.д. Усилия значительно меньшего числа исследователей сосредоточены на изучении компьютерных технологий для эффективного выявления эпидемий [10]. В табл. 1 критически проанализированы основные принципы работы систем обнаружения эпидемических вспышек с помощью технологий ИМВ, описаны их сильные и слабые стороны.

По данным анализа базы данных Web of Science, на начало 2020 г. Россия занимала 27-ю строчку в мировом рейтинге по числу публикаций, описывающих применение ИИ в здравоохранении, а на долю российских исследователей приходилось менее 1% проиндексированных публикаций [25]. Тем не менее в России существует ряд исследований по применению ИИ, в том числе систем ИМВ, в области мониторинга здоровья человека и разработки алгоритмов машинного обучения для нужд здравоохранения. Ниже приведены некоторые из таких систем, описанные в доступных медиаресурсах.

В Воронежской области внедрена система диагностики «Флюорография-DL», предназначенная для анализа результатов, полученных при флюорографии грудной клетки. Нейросеть, лежащая в основе программы, позволяет анализировать результаты исследований с постановкой диагноза «болен» или «здоров», что делает ее высокоэффективным методом скрининга заболеваний дыхательной системы. В Калужской области на основе нейросетей разработана система Celsus, которая детектирует и выделяет на рентгеновских снимках признаки патологических изменений, характерные для инфекционных, онкологических и других заболеваний

Таблица 1

Краткое сравнение исследований технологий ИМВ в области профилактики инфекционных болезней

Источник литературы	Преимущества	Недостатки
[16]	Обеспечивает эффективный эпидемиологический надзор за заболеваниями с помощью выявления тенденций	Не может быть интегрирован с другими системами и обеспечивает недостаточную обратную связь. Нуждается в дальнейшем совершенствовании для эффективного использования инструментов своевременного сбора и анализа данных для точного прогнозирования эпидемий
[17]	Современная сетевая архитектура ИМВ в здравоохранении с решениями по обеспечению безопасности и конфиденциальности	Отсутствует возможность постоянного мониторинга. Также требуются протоколы с низким энергопотреблением, для защиты данных необходимы отдельные решения
[18]	Сбор временных данных в социальных сетях с использованием временных масштабов для обнаружения и сдерживания распространения эпидемии	Необходимы большие объемы данных. Пропущенные значения и выбросы влияют на точность прогнозов
[19]	Диагностика вируса Чикунгунья в соответствии с симптомами, состоянием здоровья пациента и окружающими условиями	Предназначен только для обнаружения вируса Чикунгунья. Обнаружение новой угрозы может оказаться невозможным
[20]	Более раннее прогнозирование случаев инфицирования гриппом H1N1 и предоставление других профилактических стратегий, которые помогают снизить уровень инфицирования	Точность и надежность прогноза не были подтверждены
[21]	Идентификация на основе радиочастот для уменьшения числа медицинских ошибок наряду с ИМВ и с мультиагентными технологиями по доступной цене. Повышает безопасность и оптимизирует процесс оказания медицинской помощи	Высокие риски безопасности и проблемы с конфиденциальностью. Различные типы стандартов связи могут повлиять на реализацию. Трудности масштабирования до крупных сетей
[22]	Эффективно предотвращает распространение вируса Зика и контролирует его	Не хватает обобщаемости для выявления будущих всплеск неизвестных типов заболеваний
[23]	Стратегия выявления передачи инфекции, основанная на социальных сетях	Обработка данных и прогнозирование передачи являются очень дорогостоящими с точки зрения требуемых ресурсов
[24]	Математическая модель распространения инфекций на основании восьми наборов эмпирических данных о контактах между людьми	Пренебрежение временной информацией приводит к завышенным результатам оценки вероятности инфицирования

с интерпретацией выявленной патологии в соответствии с Международной классификацией болезней [26]. В Республике Карелия разработан проект MeDiCase для внедрения телемедицинских услуг в отдаленных населенных пунктах. В данном проекте организовано обучение немедицинских специалистов для проведения первичной диагностики с помощью смартфона с предустановленным одноименным приложением и периферическим оборудованием для измерения артериального давления, гликемии, сатурации и температуры тела. Полученные показатели анализируются программой с формированием заключения и рекомендаций с отправкой врачам-специалистам для принятия окончательного решения. В Мурманской области разработан проект Botkin.Ai – система медицинской диагностики для раннего выявления онкологических заболеваний при помощи скрининга компьютерных томограмм с последующим анализом полученных данных и выдачей заключения. В Санкт-Петербурге и Ленинградской области разработан проект Dostor AIzimov – интеллектуальная система для ранней диагностики опухолей в легких. В Новосибирской об-

ласти создан проект CheckMelanoma, который позволяет с помощью нейросетей обнаруживать меланому на ранних стадиях. В Пермском крае создан ассистент BIOT, который широко применяется и в других регионах страны. Он представляет собой сервис для суточного контроля показателей здоровья человека (пульс, величина пройденной дистанции с мониторингом работы сердца в зависимости от интенсивности ходьбы, подсчет калорий). Полученная информация считывается с помощью фитнес-браслета, обрабатывается системой и передается врачу-специалисту, который принимает окончательное решение в отношении пациента. Помимо вышеперечисленных регионов разработкой ИМВ в здравоохранении активно занимаются в Екатеринбурге, Томской, Ярославской и многих других областях [27].

Анализ литературных данных показал, что, несмотря на значительное число доступных публикаций по теме ИМВ, изучению инфекционных заболеваний посвящено единичное количество работ. Многие исследователи подчеркивали, что основная часть работ сосредоточена на анализе индивидуального мониторинга заболеваний [10, 17, 21]. При этом авторы не смогли найти никакой



Рис. 2. Внешний вид функционального прототипа системы биометрической аналитики для дистанционного мониторинга инфекционных заболеваний: А – спереди; Б – сзади

литературы ни в одной из баз данных, анализирующих работу по обнаружению эпидемических вспышек с помощью ИМВ.

Представляя перспективный облик системы эпидемиологического контроля в организованных коллективах, необходимо отметить, что с целью обеспечения универсальности в наиболее общем виде комплекс дистанционной диагностики инфекционных заболеваний в организованных коллективах с помощью технологий ИМВ должен соответствовать следующим требованиям:

- отсутствие необходимости постоянного подключения к сети Интернет;
- отсутствие необходимости облачного хранения данных;
- отсутствие потребности в носимых мультимедийных устройствах;
- максимально централизованная архитектура системы с целью обеспечения качественной защиты информации.

Приведенные ограничения значительно сужают широкий спектр разрабатываемых ныне систем ИМВ, отмечая абсолютное большинство из них. Вместе с тем по данным анализа публикационной активности в рамках кластера «искусственный интеллект в медицине» было установлено, что наибольший интерес мирового научного сообщества привлекают так называемые сверхточные нейронные сети, представляющие собой современную технологию компьютерного зрения и распознавания изображений [25]. Чаще всего с помощью этой технологии выполняют анализ медицинских изображений,

например рентгенограмм, компьютерных и магнитно-резонансных томограмм. Однако значительное число работ также посвящено и биометрической видеоаналитике [28].

Перспективной и наиболее пригодной архитектурой для эпидемиологического контроля и диагностики инфекционных заболеваний в условиях организованных коллективов выглядит система, совмещающая комплекс биометрической видеоаналитики, автоматической классификации и сверки информации с помощью ИИ [29]. Такой подход позволит связать информацию о пациенте, находящуюся в медицинской информационной системе, и получаемые в режиме реального времени видеоаналитические данные. Результаты работы такой системы, помимо основной задачи, пригодны для оценки качества деятельности медицинской службы и получения качественно новой, систематизированной и однородной информации для эпидемиологических исследований на уровне отдельных организаций или ведомств. Использование КФС на основе методов компьютерного зрения с целью автоматизированного сбора и анализа первичной видеоинформации в реальном времени (видеоанализа) выглядит перспективным направлением, обеспечивающим возможность непрерывного массового эпидемиологического мониторинга в организованных коллективах. Удаленная и бесконтактная регистрация ранних признаков ОРИ в автоматическом режиме на основании анализа потокового видео будет способствовать раннему выявлению, изоляции, тестированию и карантинированию заболевших, что замедлит или вовсе нивелирует распространение инфекции. Оптимальной выглядит реализация предлагаемой системы биометрической видеоаналитики в виде распределенной стационарной сети видеомониторинга, совмещенной с локальным сервисом эффективного статистического анализа поступающей видеоинформации (например, на основе машинного обучения) из разных точек в пределах охваченной территории. Несомненным плюсом такого варианта является возможность интеграции предлагаемой КФС в уже имеющуюся сеть, например в общественных местах или на транспорте. Вместе с тем реалии повседневной деятельности организованных коллективов позволяют считать оптимальной разработку системы локального широкоформатного мониторинга личного состава в местах максимального скопления (например, в столовых или местах построений), что позволит увеличить охват личного состава. Внешний вид функционального прототипа такого технического средства, разработанного в рамках настоящего исследования, представлен на рис. 2.

Исходными биометрическими данными для диагностики инфекционных заболеваний с помощью видеоанализа могут служить внешние дискретные параметры индивидуального состояния человека, позволяющие при их интегральной оценке выявить заболевание у конкретного человека [29–31]. Эти данные представляют принципиально другой подход к диагностике заболеваний, который отличается от классических подходов к клинко-инструментальной диагностике тех или иных патологических состояний [32, 33]. На основании анализа литературы и собственных данных установлено, что наибольшей достоверностью и клинической значимостью в отношении дистанционного выявления ран-

них симптомов ОРИ следует рассматривать следующие биометрические признаки: прикосновения к носу по типу растирания, прикосновения к передней поверхности шеи по типу обхвата, растирание глаз, гиперемия носа, гиперемия лица, кашель, насморк, сплевывание или сглатывание мокроты. При помощи расширения технических возможностей системы видеоаналитики с помощью инфракрасной съемки возможно выявление такого важного признака, как лихорадка. Указанные симптомы носят характер маркеров, отражающих неспецифические поведенческие паттерны, свойственные острой фазе воспалительного процесса при ОРИ, и представляют собой основные исходные данные для разрабатываемой системы биометрической видеоаналитики.

Заключение

С медицинской точки зрения появление ИМВ представляет собой невероятное поле возможностей для широкого спектра применений: от ранней диагностики хронических заболеваний [34] до удаленного мониторинга пациентов из группы риска для оказания срочной медицинской помощи, если это будет необходимо. Однако, чтобы обеспечить по-настоящему широкое применение ИМВ в здравоохранении, все еще необходимо изучить некоторые практические проблемы.

Следует ожидать, что применение автоматизированных систем обнаружения эпидемий на базе технологий ИМВ, которые непрерывно собирают данные о многих аспектах поведения человека и окружающей среды, а затем анализируют их с использованием математических или статистических моделей с минимальным вмешательством человека, смогут обрабатывать большой объем данных различных типов, повышая вероятность обнаружения эпидемических вспышек, и изучать особенности их распространения [9].

На протяжении многих десятилетий подтверждают свою высокую эпидемиологическую значимость ОРИ, в связи с чем общепризнана необходимость постоянного медицинского мониторинга для улучшения состояния здоровья и предотвращения эпидемических вспышек. В настоящей публикации сформулирован перечень основных требований к такой системе и предложена принципиальная схема реализации комплекса технических средств и организационных решений в рамках концепции ИМВ, способных повысить эффективность санитарно-противоэпидемических мероприятий.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Исследование не имело финансовой поддержки.

Литература

1. Панов А.А. и др. Особенности формирования заболеваемости разных категорий военнослужащих острыми респираторными инфекциями верхних дыхательных путей // Журнал инфектологии. – 2020. – Т. 12. – № 4. – С. 87–92. [Panov A.A. et al. Features of the formation of morbidity of different categories of military personnel with acute respiratory infections of the upper respiratory tract // Journal of Infectology. – 2020. – V. 12. – No 4. – P. 87–92. In Russian]. DOI: 10.15789/2220-7619-FOF-1428.
2. Allam Z. et al. On the coronavirus (COVID-19) outbreak and the smart city network: Universal data sharing standards coupled with artificial intelligence (AI) to benefit urban health monitoring and management // Healthcare. – 2020. – V. 8. – No 1. – P. 46–55. DOI: 10.3390/healthcare8010046.
3. Vishnu S. et al. Internet of medical things (IoMT) – an overview // 2020 5th international conference on devices, circuits and systems (ICDCS). – 2020. – P. 101–104. DOI: 10.1109/ICDCS48716.2020.243558.
4. Al-Turjman F. et al. Intelligence in the Internet of Medical Things era: a systematic review of current and future trends // Computer Communications. – 2020. – V. 150. – P. 644–660. DOI: 10.1016/j.comcom.2019.12.030.
5. Gatouillat A. et al. Internet of medical things: A review of recent contributions dealing with cyber-physical systems in medicine // IEEE internet of things journal. – 2018. – V. 5. – No 5. – P. 3810–3822. DOI:10.1109/jiot.2018.2849014.
6. Ndiaye M. et al. IoT in the wake of COVID-19: A survey on contributions, challenges and evolution // IEEE Access. – 2020. – V. 8. – P. 186821–186839. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3030090.
7. Singh R.P. et al. Internet of things (IoT) applications to fight against COVID-19 pandemic // Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews. – 2020. – V. 14. – No 4. – P. 521–524. DOI: 10.1016/j.dsx.2020.04.041.
8. El-Wakeel A.S. et al. Towards a practical crowdsensing system for road surface conditions monitoring // IEEE Internet of Things Journal. – 2018. – V. 5. – No 6. – P. 4672–4685. DOI: 10.1109/JIOT.2018.2807408.
9. Jain S. et al. Internet of medical things (IoMT)-integrated biosensors for point-of-care testing of infectious diseases // Biosensors and Bioelectronics. – 2021. – V. 179. – P. 113074. DOI: 10.1016/j.bios.2021.113074.
10. Kaushalya S. Internet of things for epidemic detection: A critical review // Advances in Computer Communication and Computational Sciences: Proceedings of IC4S 2018. – 2019. – P. 485–495. DOI: 10.1007/978-981-13-6861-5_42.
11. Elkhodr M. et al. A middleware for the Internet of Things // Int. J. Comput. Netw. Commun. (IJCNC). – 2016. – V. 8. – No 2. – P. 159–178. DOI: 10.5121/ijcnc.2016.8214.
12. Goergen C.J. et al. Detection and monitoring of viral infections via wearable devices and biometric data // Annual review of biomedical engineering. – 2022. – V. 24. – P. 1–27. DOI: 10.1146/annurev-bioeng-103020-040136.
13. Garattini C. et al. Big data analytics, infectious diseases and associated ethical impacts // Philosophy & technology. – 2019. – V. 32 – No 1. – P. 69–85. DOI: 10.1007/s13347-017-0278-y.
14. Выучейская М.В. и др. Нейросетевые технологии в диагностике заболеваний (обзор) // Журнал медико-биологических исследований. – 2018. – Т. 6. – № 3. – С. 284–294. [Vyucheyanskaya M.V. et al. Neural network technologies in the diagnosis of diseases (review) // Journal. med.-biol. research. –

2018. – V. 6. – No 3. – P. 284–294. In Russian]. DOI: 10.17238/issn2542-1298.2018.6.3.284.
15. Колесниченко О.Ю. и др. Искусственный интеллект в здравоохранении: системные проблемы // Ремедиум. – 2018. – № 4. – P. 24–28. [Kolesnichenko O.Yu. et al. Artificial intelligence in healthcare: systemic problems // Remedium. – 2018. – No 4. – P. 24–28. In Russian]. DOI: 10.21518/1561-5936-2018-4-24-30.
 16. Mathew F.A. et al. Smart disease surveillance based on Internet of Things (IoT) // International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering. – 2015. – V. 4. – No 5. – P. 180–183.
 17. Islam S.M.R. et al. The internet of things for health care: a comprehensive survey // IEEE access. – 2015. – V. 3. – P. 678–708. DOI: 10.1109/ACCESS.2015.2437951.
 18. Masuda N. et al. Predicting and controlling infectious disease epidemics using temporal networks // F1000prime reports. – 2013. – No 5. – P. 6. DOI: 10.12703/P5-6.
 19. Sood S.K. et al. Wearable IoT sensor based healthcare system for identifying and controlling chikungunya virus // Computers in Industry. – 2017. – V. 91. – P. 33–44. DOI: 10.1016/j.compind.2017.05.006.
 20. Sandhu R. et al. Smart monitoring and controlling of Pandemic Influenza A (H1N1) using Social Network Analysis and cloud computing // J. Computat. Sci. – 2016. – V. 12. – P. 11–22. DOI: 10.1016/j.jocs.2015.11.001.
 21. Turcu C.E. et al. Internet of things as key enabler for sustainable healthcare delivery // Procedia-Social and Behavioral Sciences. – 2013. – V. 73. – P. 251–256. DOI: 10.1016/j.sbspro.2013.02.049.
 22. Sareen S. et al. Secure internet of things-based cloud framework to control zika virus outbreak // International journal of technology assessment in health care. – 2017. – V. 33. – No 1. – P. 11–18. DOI: 10.1017/S0266462317000113.
 23. Huang J. et al. Detecting flu transmission by social sensor in China // 2013 IEEE International Conference on Green Computing and Communications and IEEE Internet of Things and IEEE Cyber, Physical and Social Computing. – 2013. – P. 1242–1247. DOI: 10.1109/GreenCom-iThings-CPSCoM.2013.216.
 24. Holme P. Temporal network structures controlling disease spreading // Physical Review E. – 2016. – V. 94. – No 2. – P. 022305. DOI: 10.1103/PhysRevE.94.022305.
 25. Куракова Н.Г. и др. Технологии искусственного интеллекта в медицине и здравоохранении: позиции России на глобальном патентном и публикационном ландшафте // Врач и информационные технологии. – 2020. – № 2. – С. 81–100. [Kurakova N.G. et al. Artificial intelligence technologies in medicine and healthcare: Russia's positions on the global patent and publication landscape // Doctor and Information Technologies. – 2020. – No 2. – P. 81–100. In Russian]. DOI: 10.37690/18П-0193-2020-2-81-100.
 26. Павлович П.И. и др. Сравнительное исследование результатов анализа данных цифровой маммографии системы на основе искусственного интеллекта «Цельс» и врачей-рентгенологов // Digital Diagnostics. – 2021. – Т. 2. – № 2S. – С. 22–23. [Pavlovich P.I. et al. Comparative study of the results of data analysis of digital mammography system based on artificial intelligence “Cels” and radiologists // Digital Diagnostics. – 2021. – V. 2. – No 2S. – P. 22–23]. DOI: 10.17816/DD83184.
 27. Дурнева Е.Ю. Развитие мирового и национального рынков искусственного интеллекта в медицине [Durneva E.Yu. Development of the world and national markets of artificial intelligence in medicine. In Russian]. URL: <https://vital.lib.tsu.ru/vital/access/services/Download/vital:12710/SOURCE01>.
 28. Benali Amjoud A. et al. Convolutional neural networks backbones for object detection // Image and Signal Processing: 9th International Conference, ICISP 2020. – Morocco: Springer International Publishing, 2020. – P. 282–289. DOI: 10.1007/978-3-030-51935-3_30.
 29. Кузин А.А. и др. Острые респираторные вирусные инфекции военнослужащих: аспекты ранней диагностики с помощью методов биометрической видеоаналитики // Медицинский алфавит. – 2023. – № 11. – С. 44–49. [Kuzin A.A. et al. Acute respiratory viral infections of military personnel: aspects of early diagnosis using biometric video analytics methods // Medical Alphabet. – 2023. – No 11. – P. 44–49. In Russian]. DOI: 10.33667/2078-5631-2023-11-44-49.
 30. Fairhurst M. et al. Predictive biometrics: a review and analysis of predicting personal characteristics from biometric data // IET Biometrics. – 2017. – V. 6. – No 6. – P. 369–378. DOI: 10.1049/iet-bmt.2016.0169.
 31. Tot Ivan A. et al. Biometric standards and methods // Vojnoteh. glas. – 2021. – No 4. – P. 963–976. DOI: 10.5937/vojtehg69-32296.
 32. Пугач В.А. и др. Перспективы применения биомаркеров для диагностики острого респираторного дистресс-синдрома (обзор литературы) // Военно-медицинский журнал. – 2020. – Т. 341. – № 11. – С. 23–28. [Pugach V.A. et al. Prospects for the use of biomarkers for the diagnosis of acute respiratory distress syndrome (literature review) // Military Medical Journal. – 2020. – V. 341. – No 11. – P. 23–28. In Russian].
 33. Литвиненко И.В. и др. Нейровизуализационные основы патологических рефлексов на 2–3 стадиях (по Хён и Яру) болезни Паркинсона // Вестник Российской военно-медицинской академии. – 2012. – Т. 4. – № 40. – С. 116–120. [Litvinenko I.V. et al. Neuroimaging fundamentals of pathological reflexes at stages 2-3 (according to Hyun and Yar) of Parkinson's disease // Bulletin of the Russian Military Medical Academy. – 2012. – V. 4. – No 40. – P. 116–120. In Russian].
 34. Montero-Odasso M.M. et al. Association of dual-task gait with incident dementia in mild cognitive impairment: Results from the gait and brain study // JAMA neurology. – 2017. – V. 74. – P. 857–865. DOI: 10.1001/jamaneurol.2017.0643.