

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Научный обзор

УДК 616.1

DOI: 10.17816/pmj4245-19

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НЕПРЕРЫВНОЙ ПУЛЬСОКСИМЕТРИИ В ПРОГРАММАХ КАРДИОРЕАБИЛИТАЦИИ: НАУЧНЫЙ ОБЗОР

**И.Е. Мишина^{1,2}, К.А. Блинова^{1*}, А.С. Парфенов¹, Е.В. Березина¹,
О.В. Хорошилова³, М.В. Жабурина¹**

¹Ивановский государственный медицинский университет,

²Санкт-Петербургский государственный университет,

³Кардиологический диспансер, г. Иваново, Российская Федерация

POTENTIAL APPLICATION OF CONTINUOUS PULSE OXIMETRY IN CARDIAC REHABILITATION PROGRAMS: SCIENTIFIC REVIEW

**I.E. Mishina^{1,2}, K.A. Blinova^{1*}, A.S. Parfenov¹, E.V. Berezina¹,
O.V. Khoroshilova³, M.V. Zhaburina¹**

¹Ivanovo State Medical University,

²Saint Petersburg State University,

³Cardiology Center, Ivanovo, Russian Federation

© Мишина И.Е., Блинова К.А., Парфенов А.С., Березина Е.В., Хорошилова О.В., Жабурина М.В., 2025

e-mail: xenny7@yandex.ru

[Мишина И.Е. – доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры госпитальной терапии, кардиологии и общей врачебной практики, профессор кафедры последипломного медицинского образования, первый заместитель директора Медицинского института, ORCID: 0000-0002-7659-8008; Блинова К.А. (*контактное лицо) – кандидат медицинских наук, доцент кафедры онкологии и лучевой терапии, ORCID: 0000-0002-2896-8764; Парфенов А.С. – кандидат технических наук, доцент кафедры физики, химии и математики, ORCID: 0000-0002-5729-4121; Березина Е.В. – доктор технических наук, доцент, заведующая кафедрой физики, химии и математики, ORCID: 0000-0002-6958-0619; Хорошилова О.В. – врач-кардиолог поликлиники, ORCID: 0000-0003-0487-7697; Жабурина М.В. – кандидат медицинских наук, доцент кафедры оториноларингологии и офтальмологии, ORCID: 0000-0003-4028-0708].

© Mishina I.E., Blinova K.A., Parfenov A.S., Berezina E.V., Khoroshilova O.V., Zhaburina M.V., 2025

e-mail: xenny7@yandex.ru

[Mishina I.E. – DSc (Medicine), Professor, Professor of the Department of Hospital Therapy, Cardiology and General Medical Practice, Professor of the Department of Postgraduate Medical Education, First Deputy Director of the Medical Institute, ORCID: 0000-0002-7659-8008; Blinova K.A. (*contact person) – PhD (Medicine), Associate Professor of the Department of Oncology and Radiation Therapy, ORCID: 0000-0002-2896-8764; Parfenov A.S. – PhD (Technical Sciences), Associate Professor of the Department of Physics, Chemistry and Mathematics, ORCID: 0000-0002-5729-4121; Berezina E.V. – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Physics, Chemistry and Mathematics, ORCID: 0000-0002-6958-0619; Khoroshilova O.V. – Cardiologist, ORCID: 0000-0003-0487-7697; Zhaburina M.V. – PhD (Medicine), Associate Professor of the Department of Otorhinolaryngology and Ophthalmology, ORCID: 0000-0003-4028-0708].

Настоящий обзор посвящен оценке необходимости постоянного мониторинга SpO₂ во время физических упражнений с помощью носимых устройств при проведении дистанционной кардиологической реабилитации. Мониторинг жизненно важных показателей пациентов в режиме реального времени и наличие обратной связи в дистанционной реабилитации возможно обеспечить через применение удаленных технологий. Носимые датчики во время тренировки позволяют контролировать пульс, показатели электрокардиографии, артериального давления. Показатели сатурации измеряются реже, хотя могут обладать большей диагностической ценностью. Поиск проводился в базе данных PubMed, Scopus, Web of Science, PEDro, Google Scholar. На январь 2025 г. было отобрано 62 источника, в том числе Кокрейновские и систематические обзоры.

Сатурация крови может быть измерена только при помощи пульсоксиметра, работа которого основана на законе Бугера – Ламберта – Бера и излучает две длины волны, измерение может проводиться трансмиссионным и рефлективным методами. В медицинских сертифицированных приборах данные передаются в технологическую систему и оцениваются обученным медицинским персоналом. Браслеты и кольца показали наибольшее удобство и надежность для фиксации пульсоксиметра. Непрерывный мониторинг сатурации кислорода во время нагрузочных проб и физической тренировки позволяет обеспечить их безопасность и провести коррекцию нагрузки. При подключении к телемедицинской платформе система должна обеспечивать непосредственное взаимодействие врача и пациента с контролем жизненно важных параметров.

При проведении кардиореабилитации необходимо надежное сертифицированное медицинское изделие, обеспечивающее непрерывный мониторинг. Контроль за жизненно важными параметрами осуществляется при помощи устройства с необходимыми датчиками, системы обратной связи с пациентом и телемедицинской платформы для сохранения и анализа полученных данных, к которой имеет доступ медицинский персонал.

Ключевые слова. Кардиореабилитация, непрерывный мониторинг, сатурация кислорода, телемедицинские технологии.

Real-time monitoring of patients' vital signs and feedback in virtual rehabilitation can be achieved through the use of remote technologies. Wearable sensors during training allow monitoring of heart rate, electrocardiography, and blood pressure. Oxygen saturation indicators are measured less frequently, although they may have greater diagnostic value. The search was conducted in PubMed, Scopus, Web of Science, PEDro, and Google Scholar databases. As of January, 62 sources, including Cochrane and systematic reviews, had been selected.

Blood oxygen saturation can only be measured using a pulse oximeter, which operates on the Bouguer-Lambert-Beer law and emits two wavelengths; the measurement can be carried out by transmission and reflective methods. In medically certified devices, the data are transmitted to the technological system and evaluated by trained medical personnel. Bracelets and rings have shown the greatest convenience and reliability for fixing pulse oximeter. Continuous monitoring of oxygen saturation during stress tests and physical training ensures their safety and allows the load adjustment. When connected to a telemedicine platform, the system should ensure direct interaction between the doctor and the patient with monitoring of vital parameters.

When conducting cardiac rehabilitation, a reliable certified medical device able to provide a continuous monitoring is required. Monitoring of vital parameters is carried out using a device with the necessary sensors, a patient feedback system and a telemedicine platform accessible to medical personnel for storing and analyzing the obtained data.

Keywords. Cardiac rehabilitation, continuous monitoring, oxygen saturation, telemedicine technologies.

ВВЕДЕНИЕ

Сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) являются основной причиной заболеваемости и смертности во всем мире [1]. Кардиологическая реабилитация (КР) рекомендует

ся в качестве ключевого многокомпонентного вмешательства для снижения этих показателей, уменьшения количества повторных госпитализаций и улучшения качества жизни [2; 3]. Программа КР включает физические упражнения, психологическое

консультирование и обучение по модификации факторов риска ССЗ. Но, несмотря на доказанные преимущества, приверженность пациентов к прохождению программ КР остается низкой, что чаще всего связано с ограниченной доступностью реабилитационных центров, расходами на транспорт, нежеланием участвовать в групповых программах, дефицитом времени и карьерными обязательствами.

Альтернативным решением может быть КР с применением телемедицинских технологий [4], которая позволяет пациентам участвовать в программах дистанционно, обеспечивая контроль физиологических параметров, взаимодействие с лечащим врачом и обучение навыкам оценки интенсивности физической нагрузки [5; 6]. Широкая доступность связи и значительный рост использования дистанционных технологий способствуют внедрению сложных персонализированных программ телемедицины у пациентов с ССЗ. Недавно опубликованные результаты Кокрейновского обзора [7], систематических обзоров клинических исследований [8–10] продемонстрировали высокую эффективность и осуществимость цифровой КР в улучшении физической активности (ФА) и качества жизни пациентов. Кроме того, систематический обзор, проведенный V. Antoniou et al. [11], показал, что применение дистанционной КР приводит к снижению частоты нежелательных сердечно-сосудистых событий и показателей повторной госпитализации.

Применение удаленных технологий и носимых датчиков в КР позволило проводить мониторинг показателей пациентов в режиме реального времени, обеспечивая постоянное наблюдение и необходимую обратную связь [12; 13]. При помощи различных датчиков оцениваются характеристики ФА (продолжительность и интенсивность проводимой тренировки, пройденное рас-

стояние), частоты сердечных сокращений (ЧСС), уровня артериального давления (АД), показателей электрокардиографии (ЭКГ), оксигенации крови (SpO_2). Наблюдение за физиологическими параметрами позволяет адаптировать программу реабилитации к индивидуальным возможностям пациента, установить реалистичные цели, а измерение в динамике помогает оценить, насколько эффективно реабилитационные мероприятия помогают улучшить функционирование организма [14; 15].

Применяемые в дистанционной КР носимые датчики могут использоваться в режиме постоянного круглосуточного мониторинга, при проводимой тренировке или в различные ее периоды, а также могут работать автоматически или требуют участия пользователя. В большинстве исследований, посвященных телемедицинской КР, во время тренировки проводилась оценка показателей сердечно-сосудистой системы: контроль ЧСС [16; 17], показателей ЭКГ [18; 19], а до и после физических упражнений измерялось АД [20–22]. Оценка оксигенации крови также проводилась до и после физической активности [23], хотя снижение SpO_2 во время тренировки может обладать большей диагностической ценностью.

Цель исследования – изучение необходимости непрерывного мониторинга SpO_2 во время проведения кардиотренировок и разработка рекомендаций по его практическому применению на основе анализа систематических обзоров и метаанализов рандомизированных контролируемых исследований (РКИ).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Поиск проводился в базе данных PubMed, Scopus, Web of Science, PEDro, Google Scholar, по ключевым словам: «динамическая пульсоксиметрия», «физические

упражнения», «непрерывный мониторинг оксигенации». Всего на январь 2025 г. было отобрано 62 источника, из которых 22 (35,5 %) составили систематические обзоры, 2 (3,2 %) – Кокрейновские обзоры, 38 (61,3 %) – рандомизированные клинические исследования. Временной период публикации статей – последние 15 лет, оцениваемое вмешательство состояло из программы упражнений с контролем сатурации кислорода; выборка включала пациентов, перенесших острый инфаркт миокарда и/или имеющих хроническую сердечную недостаточность; результат вмешательства оценивался по наличию жалоб и клинических проявлений, параметрам оценки функции и/или структуры сердца, кардиореспираторной выносливости, пикового потребления кислорода ($VO_{2\text{пик}}$). Последний поиск осуществлялся 1 февраля 2025 г.

МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЯ ОКСИГЕНАЦИИ КРОВИ ПРИ ПОМОЩИ НОСИМЫХ ДАТЧИКОВ

Оксигенацию крови в КР чаще всего измеряют с помощью пульсоксиметра – небольшого прибора, который крепится на палец руки или мочку уха и определяет уровень насыщения гемоглобина крови кислородом неинвазивным методом.

Принцип работы пульсоксиметра основан на законе Бугера – Ламберта – Бера, который позволяет оценить концентрацию вещества на основе интенсивности поглощенного света. Гемоглобин в зависимости от его оксигенации способен в разной степени поглощать свет определенной длины волны при его прохождении через участок ткани. Датчик фиксируется на участке тела пациента и содержит два диода, которые излучают монохроматический свет с длиной волны 660 и 940 нм соответственно. Указанные параметры выбраны потому, что оксигенированный (HbO_2) и дезоксигенированный ге-

моглобин (Hb) в этих условиях поглощают свет по-разному, и определение SpO_2 происходит при расчете их соотношения. Свет проходит через ткани тела человека и воспринимается фотодетектором (трансмиссионное измерение). Показатель сатурации отражается на дисплее пульсоксиметра [23].

Также существуют устройства, работающие на принципе отражения: источник света и фотодетектор находятся на одной стороне (рефлективное измерение). Для долговременного мониторинга в кардиореабилитации T. Leppänen et al. [24] рекомендуют рефлективную технологию из-за ее универсальности и меньшего числа артефактов при движении. Но при расчете SpO_2 необходимо учитывать, что при любом методе измерения происходит рассеяние света в тканях, которое связано с разницей в показателе преломления между клеточными органеллами и клеточной жидкостью, а также между внутриклеточной, внеклеточной жидкостями и крови. Поэтому связь между физиологическим и измеряемым параметром SpO_2 не может быть получена непосредственно из расчетов, основанных на законе Бугера – Ламберта – Бера о поглощении света в HbO_2 и Hb, а определяется экспериментально для каждого типа датчиков пульсоксиметра путем калибровки: SpO_2 измеряется у здоровых добровольцев одновременно с содержанием кислорода в артериальной крови при помощи газового анализатора [25].

В настоящее время появилось много исследований, предлагающих использование фотоплетизмографии (ФПГ) для измерения оксигенации крови [26; 27]. Метод ФПГ основан на измерении объема крови в тканях через оптическое поглощение света. В наиболее распространенной методике ФПГ (трансмиссионный режим) ткань облучается светоизлучающим диодом, а интенсивность света измеряется фотодатчи-

ком на другой стороне ткани. Ударный объем крови увеличивает оптическую плотность и длину пути через освещенную ткань (из-за внутрисосудистого увеличения количества эритроцитов и светопоглощающего гемоглобина, который они несут), что уменьшает интенсивность света на фотодетекторе. Амплитуда сигнала ФПГ связана с максимальным изменением объема крови во время систолы [25; 28].

При проведении ФПГ обычно используется одна длина волны излучения (чаще всего зеленый свет или волны инфракрасного диапазона). Но для измерения сатурации необходимо использовать две длины волны (красный и инфракрасный свет), так как только с их помощью можно различить HbO_2 и Hb . Одна длина волны при ФПГ позволяет измерять только ЧСС, вариабельность сердечного ритма, характеристики пульсовой волны, но не уровень кислорода в крови [29].

ХАРАКТЕРИСТИКА РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ НОСИМЫХ ДАТЧИКОВ

В настоящее время было разработано и произведено множество носимых датчиков для получения данных о физиологических параметрах. Среди них можно выделить два типа:

1. Коммерческие устройства: смарт-часы, «умные» часы или «фитнес-браслеты», измеряющие SpO_2 при помощи отражения. Такие устройства часто снабжаются функцией контроля ЭКГ, ЧСС и физической активности. Они записывают и контролируют параметры мгновенно или в течение короткого периода (1–2 мин), но круглосуточную непрерывную запись осуществлять не могут. Коммерческие приборы не могут отражать фиксируемые жизненные показатели в едином отчете, чтобы предложить врачу полный набор данных и подробное определение состояния здоровья пациента.

2. Медицинские сертифицированные приборы, которые регистрируют основные показатели жизнедеятельности, передают данные в интегрированную технологическую систему, состоящую из нескольких компонентов: носимого устройства, алгоритмов обработки и фильтрации (обеспечивающие точность и высокое качество полученных данных, а также исключение артефактов) и медицинского отчета, соответствующего международным стандартам. В зависимости от цели применения различается длительность измерения SpO_2 :

1. Мгновенно: общепринятое применение, осуществляемое путем помещения кончика пальца на датчик, в то время как рука пациента находится в состоянии покоя. На дисплее прибора отображаются значения пульса и оксиметрии [30].

2. В течение длительных периодов времени при мониторинге SpO_2 у хронических пациентов в стабильных условиях. Используется обычный пульсоксиметр с пальцевым датчиком или специальный носимый датчик на запястье (груди, мочке уха) пациента, работающих по принципу передачи. Записанные данные затем передаются на персональный компьютер для обработки и анализа данных [31].

3. Удаленный мониторинг в режиме реального времени для контроля состояния здоровья пациента при выполнении программы КР (кардиотренировка, силовые упражнения). Осуществляться может при помощи носимого устройства с несколькими датчиками (АД, ЧСС, SpO_2 , движение и др.), которое обычно размещается на запястье или груди пациента, чтобы не вызывать дискомфорт и избежать ограничения движения. Измерения передаются на специальную платформу и доступны в мобильном приложении и/или на сайте, где оцениваются обученным медицинским персоналом [32; 33].

В настоящем обзоре будут рассмотрены клинические исследования, в которых применялись только медицинские сертифицированные устройства.

Также представляют интерес различные способы фиксации носимого датчика SpO_2 на теле человека при измерении физиологических параметров в течение длительного периода времени. Расположение пульсоксиметра на пальце является стандартным при клинических измерениях из-за простоты использования и высокого качества поступающего сигнала. Но такой метод неудобен для длительного мониторинга при физической активности или при сниженной перфузии крови в периферических тканях [30].

Смарт-часы, или «умные» часы, которые носят на запястье, находятся в разработке и совершенствуются в течение нескольких лет. Одно из первых устройств такого типа – AMON с беспроводным модулем передачи данных, впервые представленное в 2002 г. и обеспечивающее контроль ЧСС, SpO_2 , температуры кожи [34]. Затем появилось новое поколение смарт-часов с беспроводной и мобильной связью. Они удобны и комфортны в ношении, а также способны обеспечить длительный мониторинг жизненно важных функций. Однако точность показаний датчиков при расположении на запястье зависит от плотности прилегания устройства к коже, а также от изменения положения руки при физической активности, когда велика вероятность появления артефактов [35].

Для измерения сатурации крови кислородом трансмиссионным методом стали предлагаться кольцевые датчики. Большинство из них находятся в стадии разработки, но уже имеющиеся устройства показали удобство при ношении и быструю адаптацию пациентов при применении в клинических условиях [36]. J.J. Mastrototaro et al. [37] провели проспективное клиническое исследование, в котором добровольцы были под-

ключены к аппаратам для введения дыхательной смеси, обедненной кислородом. Проводилось параллельное измерение SpO_2 путем введения в плечевую артерию специализированной канюли для анализа газового состава крови и при помощи тестовых датчиков, один из которых был размещен на кончике пальца, а другой в виде кольца. По результатам исследования оба тестовых медицинских устройства показали высокую точность измерения насыщения крови кислородом.

Расположение датчика на мочке уха также позволяет достоверно измерить SpO_2 , так как благодаря высокой плотности расположения сосудов полученные результаты обладают высокой точностью и подходят для пациентов с нарушениями периферического кровообращения. Однако при долговременном размещении такое положение датчика неудобно и может смещаться при физических упражнениях. Некоторые авторы предлагают использовать для этой цели внутриушной датчик [38]. Но применение устройств, которые крепятся к слуховому проходу, осложняется наличием множества артефактов, возникающих при движениях челюсти при жевании, разговоре или физических упражнениях [39]. При фиксации датчика на груди при помощи нагрудной повязки или липкого пластыря полученные результаты могут зависеть от дыхательных движений, а при физической нагрузке отмечается меньшее количество артефактов, при правильном размещении можно получить хороший и устойчивый сигнал. Исследователи отмечают, что при таком расположении устройств может возникнуть неудобство при частом перемещении датчика [40].

Для удобства регистрации жизненно важных показателей во время тренировки были разработаны мультисенсорные футболки, причем может использоваться как рефлективный, так и трансмиссионный ме-

тод фиксации сигнала. В ткань футболки интегрируются светодиодные и фотодиодные полосы с медными проводами для проведения сигнала в текстильном волокне, иногда источник света и детекторы представляют собой оптические волокна, вшитые в ткани [35]. Но в разработанной и представленной на рынке «умной одежде» используется метод ФПГ, который, как было сказано ранее, может применяться для регистрации ЧСС, вариабельности сердечного ритма, характеристик пульсовой волны, но не используется для определения SpO_2 . Также одежда для фиксирования носимых устройств пока не так удобна, поэтому внимание разработчиков направлено на интеграцию неинвазивных и гибких датчиков и уменьшение размера используемой электроники [41].

ПРЕИМУЩЕСТВА, ОБЕСПЕЧИВАЕМЫЕ НЕПРЕРЫВНЫМ МОНИТОРИНГОМ САТУРАЦИИ КИСЛОРОДА

На начальных этапах становления КР с применением телемедицинских технологий измерение физиологических параметров проводилось до и после физической нагрузки. В исследовании R. Hwang et al. [23] программа телереабилитации была реализована с помощью синхронной платформы видеоконференций при помощи сети Интернет в домашних условиях. Пациентам были предоставлены автоматический сфигмоманометр и пульсоксиметр для самостоятельного контроля и устного сообщения уровня АД, ЧСС и SpO_2 в начале и конце каждой сессии физических упражнений. Проводились групповые тренировки под контролем терапевта, двусторонняя аудиовизуальная связь обеспечивала взаимодействие сторон. Применение данной технологии позволило обеспечить правильное выполнение упражнений пациентами в режиме реального времени, а изменения в программе реабилита-

ции могли вноситься с учетом полученных данных. Но для обеспечения безопасности пациента во время проведения кардиотренировок и своевременного выявления ухудшения его состояния необходим непрерывный мониторинг SpO_2 [42; 43].

В опубликованном обзоре P. Agarwala et al. [44] было показано, что применение непрерывного мониторинга SpO_2 во время проведения теста с шестиминутной ходьбой (ТШХ) повышает безопасность осуществления теста для пациентов, позволяя оценить дополнительные параметры. ТШХ был рекомендован для оценки сердечной и дыхательной функции в официальном руководстве ATS statement: guidelines for the six-minute walk test [45]. Его проведение не требует сложного оборудования или технических знаний, в отличие от кардиопульмонального нагрузочного стресс-теста [46]. Пациенту предлагается в течение 6 мин пройти как можно большее расстояние по 30-метровому коридору с максимально возможной скоростью, причем первичным показателем результата является расстояние, пройденное за 6 мин, измеряемое в метрах. Изначально использование непрерывной пульсоксиметрии не предусматривалось во время проведения ТШХ [47]. Но после того как появилась возможность мониторинга ЧСС и SpO_2 во время прохождения теста [40], было доказано, что десатурация кислорода влияет на пройденное расстояние. Также было доказано, что произведение минимального уровня сатурации кислорода и пройденного расстояния прогнозирует заболеваемость и смертность при хронических респираторных заболеваниях [48; 49]. В исследовании Y. Matsuoka et al. [50] применили индексы, которые учитывают десатурацию, вызванную физической нагрузкой при ТШХ у пациентов с ССЗ. Авторы оценили индекс DDR (desaturation distance ratio) – произведение пройденного расстояния и самого низкого показателя са-

турации кислорода во время ТШХ [51; 52], и индекс DSP (distance-saturation product) – отношение площади десатурации (разница между максимально возможным SpO_2 (100 %) и SpO_2 пациента каждые 2 с) к пройденному расстоянию [53; 54]. Было показано, что десатурация кислорода во время прохождения теста влияет на пройденное расстояние у пациентов с ССЗ даже без легочных осложнений, а DDR более подходит, чем DSP, в качестве оценки физической активности. Все вышесказанное подчеркивает важную роль непрерывного мониторинга SpO_2 во время проведения ТШХ.

В работе M. Hermann et al. [55] была рассмотрена кардиореабилитация пациентов после перенесенной инфекции COVID-19. Аэробная программа состояла из дозированной контролируемой ходьбы в помещении или на открытом воздухе, во время выполнения которой проводилась пульсоксиметрия. Начальная интенсивность упражнений определялась при помощи ТШХ, а критериями прекращения или снижения интенсивности были снижение уровня SpO_2 менее 88 %, оценка воспринимаемого напряжения по шкале Борга более 16 баллов (шкала «6–20») и/или достижение субмаксимальной ЧСС. Авторы подчеркивают, что непрерывный мониторинг SpO_2 позволил обеспечить безопасность проведения физических упражнений. Для этой же группы пациентов F. Yang et al. [56] доказали эффективность проведения кардиопульмональной реабилитации в домашних условиях. Физические упражнения выполнялись под контролем физиологических параметров (ЭКГ, ЧСС, SpO_2), результаты измерения которых сообщались при помощи телефонной связи и позволяли лечащему врачу проводить коррекцию назначенной программы. M. Chan et al. [57] предложили для обеспечения непрерывного мониторинга SpO_2 использовать специальный нагрудный биосенсор, способ-

ный фиксировать сигналы ЭКГ и ФПГ с высокой точностью и передавать данные на удаленную платформу для оценки медицинским персоналом.

ПРИМЕНЕНИЕ НЕПРЕРЫВНОГО МОНИТОРИНГА SpO_2 В ТЕЛЕМЕДИЦИНСКИХ СИСТЕМАХ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ПОДДЕРЖКУ ДИСТАНЦИОННОЙ КР

Основополагающую роль в обеспечении сложного и глубокого анализа полученных биоэлектрических и биометрических сигналов с носимых датчиков играют различные инструменты искусственного интеллекта, которые включают предварительную обработку сигнала, извлечение характеристик, их классификацию или кластеризацию, статистический анализ [58]. В недавно опубликованных работах были описаны телемедицинские системы, использующие носимые датчики для регистрации и мониторинга жизненно важных функций. Так, S. Marathe et al. [59] представили использование системы мониторинга пациентов с применением четырех датчиков: ЭКГ, АД, температуры и SpO_2 . Данные, собранные с датчиков, отправляются на модуль Wi-Fi и загружаются в облачное хранилище. Лечащий врач может просматривать их в удобное время, а обратная связь осуществляется при помощи телефонных звонков. I. Joseph et al. [60] в своем исследовании предлагают использовать телемедицинскую систему с фиксацией тех же параметров: ЭКГ, АД, температуры и SpO_2 , датчики которых подключены к сети Интернет. Полученные данные доступны через мобильное приложение или специальный сайт, что позволяет врачам в режиме реального времени контролировать состояние пациента и корректировать программу упражнений. Данную систему авторы предлагают использовать для мониторинга за проведением КР в удаленных районах при нехватке медицин-

ского персонала. С. Nwibor et al. [61] предлагают для проведения дистанционной КР использовать специально разработанный датчик, который получает и измеряет сигнал ФПГ, а затем сохраняет его на удаленной платформе ThinkSpeak. После компьютерной обработки сигнала производится оценка АД, ЧСС и SpO₂ пациента, доступные врачу в режиме реального времени.

НЕОБХОДИМЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К НОСИМОМУ УСТРОЙСТВУ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ SpO₂

В недавно опубликованном обзоре S. Nardini et al. [62] описали необходимые требования к носимому устройству для непрерывной регистрации SpO₂ при дистанционной реабилитации. Это должно быть полностью сертифицированное медицинское устройство, которое могло бы автоматически, без какого-либо вмешательства со стороны пациента, регистрировать пульс, АД, SpO₂, движение, кашель и чихание точно и последовательно, с высокой частотой дискретизации (менее 5 с). Доступ к данным, которые поступают с устройства, осуществляется в режиме реального времени, но также возможна непрерывная запись физиологических параметров для контроля состояния пациента. Оно должно быть простым и удобным для пациента, обладать надежностью, высоким ресурсом, долговечностью и стабильностью работы. Кроме того, устройство должно подключаться к телемедицинской платформе, где эксперт может анализировать данные, предоставлять диагностику, при необходимости корректировать назначенную программу реабилитации. Также система должна обеспечивать непосредственное взаимодействие врача и пациента. Все компоненты системы должны быть классифицированы как медицинское изделие, чтобы их можно было применять в клинических условиях. Вероятно, устройст-

во должно быть оснащено дисплеем для пациента, информируя его об изменениях в показателях, что может играть роль обучающего компонента в программе реабилитации.

Выводы

Измерение насыщения крови кислородом играет критически важную роль в кардиореабилитации. Для контроля могут использоваться только медицинские сертифицированные приборы, которые регистрируют основные показатели жизнедеятельности и формируют медицинский отчет, позволяющий врачу оценить состояние здоровья пациента и при необходимости провести коррекцию программы физических упражнений. Для фиксации датчика на длительный период времени могут использоваться разные устройства: кольцо, браслет, нагрудная повязка или липкий пластырь со встроенной аппаратурой. Мониторинг SpO₂ позволяет адаптировать программу реабилитации к индивидуальным возможностям пациента, установить реалистичные цели, а измерение SpO₂ в динамике помогает оценить, насколько эффективно реабилитационные мероприятия помогают улучшить функцию сердца и легких. При проведении ТШХ снижение уровня насыщения крови кислородом влияет на пройденное расстояние у пациентов с ССЗ даже без легочных осложнений, непрерывный мониторинг SpO₂ позволяет оценить дополнительный индекс: произведение пройденного расстояния и самого низкого показателя сатурации кислорода во время ТШХ более точно оценивает уровень физической активности. Применение телемедицинских систем позволяет использовать данный параметр для проведения дистанционной КР в отдаленных районах. Для обеспечения непрерывного мониторинга

при проведении КР необходимо надежное сертифицированное медицинское изделие, включающее устройство с датчиками жизненно важных параметров, телемедицинскую платформу для сохранения и анализа полученных данных, к которой имеет доступ медицинский персонал, и систему обратной связи с пациентом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

1. Chong B., Jayabaskaran J., Jaubari S.M., Chan S.P., Gob R., Kueh M.T.W., Li H., Chin Y.H., Kong G., Anand V.V., Wang J.W., Muthiab M., Jain V., Mehta A., Lim S.L., Foo R., Figtree G.A., Nicholls S.J., Mamas M.A., Januzzi J.L., Chew N.W.S., Richards A.M., Chan M.Y. Global burden of cardiovascular diseases: projections from 2025 to 2050. *Eur J Prev Cardiol.* 2024; zwae281. DOI: 10.1093/eurjpc/zwae281
2. Dibben G.O., Faulkner J., Oldridge N., Rees K., Thompson D.R., Zwisler A.D., Taylor R.S. Exercise-based cardiac rehabilitation for coronary heart disease: a meta-analysis. *Eur Heart J.* 2023; 44 (6): 452–469. DOI: 10.1093/eurheartj/ehac747
3. Posadzki P., Pieper D., Bajpai R., Makaruk H., Könsigen N., Neubauss A.L., Semwal M. Exercise/physical activity and health outcomes: an overview of Cochrane systematic reviews. *BMC Public Health.* 2020; 20 (1): 1724. DOI: 10.1186/s12889-020-09855-3
4. Даїхес А.Н., Шулаев А.В., Шикалева А.А., Выговская Л.Е., Садыков М.М. Эффективность медицинской реабилитации с использованием телемедицинских технологий (обзор литературы). *Общественное здоровье и здравоохранение* 2023; 1 (76): 13–26. / Daiches A.N., Shulaev A.V., Shikaleva A.A., Vygovskaya L.E., Sadykov M.M. Efficiency of medical rehabilitation using telemedicine technologies (literature review). *Public Health and Healthcare* 2023; 1 (76): 13–26 (in Russian).
5. Dafny H.A., Champion S., Gebremichael L.G., Pearson V., Hendriks J.M., Clark R.A., Pinero de Plaza M.A., Gulyani A., Hines S., Beleigoli A. Cardiac rehabilitation, physical activity, and the effectiveness of activity monitoring devices on cardiovascular patients: an umbrella review of systematic reviews. *Eur Heart J Qual Care Clin Outcomes* 2023; 9 (4): 323–330. DOI: 10.1093/ehjqcco/qcad005
6. Каменская О.В., Логинова И.Ю., Климова А.С., Таркова А.Р., Найденов Р.А., Кретов Е.И., Ломиворотов В.В. Телемедицинские системы в кардиореабилитации: обзор современных возможностей и перспективы применения в клинической практике. *Российский кардиологический журнал* 2020; 25 (6): 3365. DOI: 10.15829/1560-4071-2020-3365 / Kamenskaya O.V., Logina I.Yu., Klimova A.S., Tarkova A.R., Naidenov R.A., Kretov E.I., Lomivorotov V.V. Telemedicine systems in cardiac rehabilitation: a review of modern capabilities and prospects for application in clinical practice. *Russian Journal of Cardiology* 2020; 25 (6): 3365. DOI: 10.15829/1560-4071-2020-3365 (in Russian).
7. McDonagh S.T., Dalal H., Moore S., Clark C.E., Dean S.G., Jolly K., Cowie A., Afzal J., Taylor R.S. Home-based versus centre-based cardiac rehabilitation. *Cochrane Database Syst Rev.* 2023; 10 (10): CD007130. DOI: 10.1002/14651858.CD007130.pub5
8. Golbus J.R., Lopez-Jimenez F., Barac A., Cornwell W.K. 3rd, Dunn P., Forman D.E., Martin S.S., Schorr E.N., Supervia M. Digital technologies in cardiac rehabilitation: a science advisory from the American heart association. *Circulation* 2023; 148 (1): 95–107. DOI: 10.1161/CIR.0000000000001150

9. Dwiputra B., Santoso A., Purwowyoto B.S., Radi B., Ambari A.M., Desandri D.R., Fatrin S., Pandhita B.A.W. Smartphone-based cardiac rehabilitation program improves functional capacity in coronary heart disease patients: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Glob Heart*. 2023; 18 (1): 42. DOI: 10.5334/gh.1253
10. Heimer M., Schmitz S., Teschler M., Schäfer H., Douma E.R., Habibovic M., Kop W.J., Meyer T., Mooren F.C., Schmitz B. eHealth for maintenance cardiovascular rehabilitation: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Prev Cardiol*. 2023; 30 (15): 1634–1651. DOI: 10.1093/eurjpc/zwad145
11. Antoniou V., Kapreli E., Davos C.H., Batalik L., Pepera G. Safety and long-term outcomes of remote cardiac rehabilitation in coronary heart disease patients: A systematic review. *Digit Health*. 2024; 10: 20552076241237661. DOI: 10.1177/20552076241237661
12. Chong M.S., Sit J.W.H., Kartbikesu K., Chair S.Y. Effectiveness of technology-assisted cardiac rehabilitation: A systematic review and meta-analysis. *Int J Nurs Stud*. 2021; 124: 104087. DOI: 10.1016/j.ijnurstu.2021.104087
13. Jones A.K., Yan C.L., Rivera Rodriguez B.P., Kaur S., Andrade-Bucknor S. Role of wearable devices in cardiac telerehabilitation: A scoping review. *PLoS One* 2023; 18 (5): e0285801. DOI: 10.1371/journal.pone.0285801
14. Hu Y., Ding K., Wu G., Li X., Li J., Shang Z. The effect of technology-based home cardiac rehabilitation on risk factor modifications in coronary heart disease patients. A systematic review and meta-analysis. *Rev Cardiovasc Med*. 2024; 25 (2): 59. DOI: 10.31083/j.rcm2502059
15. Pepera G., Antoniou V., Su J.J., Lin R., Batalik L. Comprehensive and personalized approach is a critical area for developing remote cardiac rehabilitation programs. *World J Clin Cases* 2024; 12 (12): 2009–2015. DOI: 10.12998/wjcc.v12.i12.2009
16. Avila A., Claes J., Buys R., Azzawi M., Vanbees L., Cornelissen V. Home-based exercise with telemonitoring guidance in patients with coronary artery disease: Does it improve long-term physical fitness? *Eur J Prev Cardiol*. 2020; 27 (4): 367–377. DOI: 10.1177/2047487319892201
17. Batalik L., Dosbaba F., Hartman M., Batalikova K., Spinar J. Benefits and effectiveness of using a wrist heart rate monitor as a telerehabilitation device in cardiac patients: A randomized controlled trial. *Medicine (Baltimore)* 2020; 99 (11): e19556. DOI: 10.1097/MD.00000000000019556
18. Bravo-Escobar R., González-Represas A., Gómez-González A.M., Montiel-Trujillo A., Aguilar-Jimenez R., Carrasco-Ruiz R., Salinas-Sánchez P. Effectiveness and safety of a home-based cardiac rehabilitation programme of mixed surveillance in patients with ischemic heart disease at moderate cardiovascular risk: A randomised, controlled clinical trial. *BMC Cardiovasc Disord*. 2017; 17 (1): 66. DOI: 10.1186/s12872-017-0499-0
19. Cai C., Bao Z., Wu N., Wu F., Sun G., Yang G., Chen M. A novel model of home-based, patient-tailored and mobile application-guided cardiac telerehabilitation in patients with atrial fibrillation: A randomised controlled trial. *Clin Rehabil*. 2022; 36 (1): 40–50. DOI: 10.1177/026921552111032372
20. Gordon N.F., English C.D., Contractor A.S., Salmon R.D., Leighton R.F., Franklin B.A., Haskell W.L. Effectiveness of three models for comprehensive cardiovascular disease risk reduction. *Am J Cardiol*. 2002; 89 (11): 1263–8. DOI: 10.1016/s0002-9149(02)02323-8
21. Varnfield M., Karunanithi M., Lee C.K., Honeyman E., Arnold D., Ding H., Smith C., Walters D.L. Smartphone-based home care model improved use of cardiac rehabilitation in post-

myocardial infarction patients: results from a randomised controlled trial. *Heart* 2014 Nov; 100 (22): 1770–9. DOI: 10.1136/heartjnl-2014-305783

22. Maddison R., Rawstorn J.C., Stewart R.A.H., Benatar J., Whittaker R., Rolleston A., Jiang Y., Gao L., Moodie M., Warren I., Meads A., Gant N. Effects and costs of real-time cardiac telerehabilitation: randomised controlled non-inferiority trial. *Heart* 2019; 105 (2): 122–129. DOI: 10.1136/heartjnl-2018-313189

23. Hwang R., Bruning J., Morris N.R., Mandrusiak A., Russell T. Home-based telerehabilitation is not inferior to a centre-based program in patients with chronic heart failure: a randomised trial. *J Physiother.* 2017; 63 (2): 101–107. DOI: 10.1016/j.jphys.2017.02.017

24. Leppänen T., Kainulainen S., Korkalainen H., Sillanmäki S., Kulkas A., Töyräs J., Nikkonen S. Pulse oximetry: The working principle, signal formation, and applications. *Adv Exp Med Biol.* 2022; 1384: 205–218. DOI: 10.1007/978-3-031-06413-5_12

25. Nitzan M., Romem A., Koppel R. Pulse oximetry: fundamentals and technology update. *Med Devices (Auckl)* 2014 Jul 8; 7: 231–9. DOI: 10.2147/MDER.S47319

26. Pirzada P., Wilde A., Harris-Birtill D. Remote photoplethysmography for heart rate and blood oxygenation measurement: A review. *IEEE Sensors Journal* 2024; 24 (15): 3436–23453. DOI: 10.1109/JSEN.2024.3405414

27. Lee I., Park N., Lee H., Hwang C., Kim J.H., Park S. Systematic review on human skin-compatible wearable photoplethysmography sensors. *Applied Sciences* 2021; 11 (5): 2313. DOI: 10.3390/app11052313

28. Reisner A., Shaltis P.A., McCombie D., Asada H.H. Utility of the photoplethysmogram in circulatory monitoring. *Anesthesiology* 2008; 108 (5): 950–8. DOI: 10.1097/ALN.0b013e31816c89e1

29. Allen J. Photoplethysmography and its application in clinical physiological measurement. *Physiol Meas.* 2007; 28 (3): R1–39. DOI: 10.1088/0967-3334/28/3/R01

30. Marinari S., Volpe P., Simoni M., Aventaggiato M., De Benedetto F., Nardini S., Sanguinetti C.M., Palange P. Accuracy of a new pulse oximetry in detection of arterial oxygen saturation and heart rate measurements: The SOMBRERO Study. *Sensors (Basel)* 2022; 22 (13): 5031. DOI: 10.3390/s22135031

31. Tyagi P.K., Agarwal D. Systematic review of automated sleep apnea detection based on physiological signal data using deep learning algorithm: a meta-analysis approach. *Biomed Eng Lett.* 2023; 13 (3): 293–312. DOI: 10.1007/s13534-023-00297-5

32. Hearn E.L., Byford J., Wolfe C., Agyei C., Hodgkinson P.D., Pollock R.D., Smith T.G. Measuring arterial oxygen saturation using wearable devices under varying conditions. *Aerosp Med Hum Perform.* 2023; 94 (1): 42–47. DOI: 10.3357/AMHP.6078.2023

33. Prieto-Avalos G., Cruz-Ramos N.A., Alor-Hernández G., Sánchez-Cervantes J.L., Rodríguez-Mazabua L., Guarneros-Nolasco L.R. Wearable devices for physical monitoring of heart: A review. *Biosensors (Basel)* 2022; 12 (5): 292. DOI: 10.3390/bios12050292

34. Anliker U., Ward J.A., Lukowicz P., Tröster G., Dolveck F., Baer M., Keita. F, Schenker E.B., Catarsi F., Coluccini L., Belardinelli A., Sbklarski D., Alon M., Hirt E., Schmid R., Vuskovic M. AMON: a wearable multiparameter medical monitoring and alert system. *IEEE Trans Inf Technol Biomed.* 2004; 8 (4): 415–27. DOI: 10.1109/titb.2004.837888

35. Prieto-Avalos G., Cruz-Ramos N.A., Alor-Hernández G., Sánchez-Cervantes J.L., Rodríguez-Mazabua L., Guarneros-Nolasco L.R. Wearable devices for physical monitoring of heart: A review. *Biosensors (Basel)* 2022; 12 (5): 292. DOI: 10.3390/bios12050292

36. Fiore M., Bianconi A., Sicari G., Conni A., Lenzi J., Tomaiuolo G., Zito F., Golinelli D., Sanmarchi F. The use of smart rings in health monitoring – A meta-analysis. *Applied Sciences* 2024; 14 (23): 10778. DOI: 0.3390/app142310778
37. Mastrototaro J.J., Leabman M., Shumate J., Tompkins K.L. Performance of a wearable ring in controlled hypoxia: A prospective observational study. *JMIR Form Res.* 2024; 8: e54256. DOI: 10.2196/54256
38. Choi J.Y., Jeon S., Kim H., Ha J., Jeon G.S., Lee J., Cho S.I. Health-related indicators measured using earable devices: systematic review. *JMIR Mhealth Uhealth.* 2022; 10 (11): e36696. DOI: 10.2196/36696
39. Azudin K., Gan K.B., Jaafar R., Ja'afar M.H. The principles of hearable photoplethysmography analysis and applications in physiological monitoring – A review. *Sensors (Basel)* 2023; 23 (14): 6484. DOI: 10.3390/s23146484
40. Charlton P.H., Kyriaco P.A., Mant J., Marozas V., Chowienczyk P., Alastruey J. Wearable photoplethysmography for cardiovascular monitoring. *Proc IEEE Inst Electr Electron Eng.* 2022; 110 (3): 355–381. DOI: 10.1109/JPROC.2022.3149785
41. D'Abbondanza N., Ferrazza M., Lucangeli L., Piuizzi E., Pallotti A. Sensorized T-shirt for cardiological patients in telemonitoring. *Engineering Proceedings* 2021; 11 (1): 48. DOI: 10.3390/ASEC2021-11130
42. Viderman D., Seri E., Aubakirova M., Abdildin Y., Badenes R., Bilotta F. Remote monitoring of chronic critically ill patients after hospital discharge: A systematic review. *J Clin Med.* 2022; 11 (4): 1010. DOI: 10.3390/jcm11041010
43. Bowles T., Trentino K.M., Lloyd A., Trentino L., Jones G., Murray K., Thompson A., Halpin S., Waterer G. Outcomes in patients receiving continuous monitoring of vital signs on general wards: A systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *Digit Health* 2024; 10: 20552076241288826. DOI: 10.1177/20552076241288826
44. Agarwala P., Salzman S.H. Six-minute walk test: Clinical role, technique, coding, and reimbursement. *Chest.* 2020; 157 (3): 603–611. DOI: 10.1016/j.chest.2019.10.014
45. ATS Committee on proficiency standards for clinical pulmonary function laboratories. ATS statement: guidelines for the six-minute walk test. *Am J Respir Crit Care Med.* 2002; 166 (1): 111–7. DOI: 10.1164/ajrccm.166.1.at1102
46. Coulsbed A., Coulsbed D., Pathan F. Systematic review of the use of the 6-minute walk test in measuring and improving prognosis in patients with ischemic heart disease. *CJC Open.* 2023; 5 (11): 816–825. DOI: 10.1016/j.cjco.2023.08.003
47. Ngueleu A-M., Barrette S., Buteau C., Robichaud C., Nguyen M., Everard G., Batcho C.S. Impact of pathway shape and length on the validity of the 6-minute walking test: A systematic review and meta-analysis. *Sensors* 2025; 25 (1): 17. DOI: 10.3390/s25010017
48. Rasekaba T., Lee A.L., Naughton M.T., Williams T.J., Holland A.E. The six-minute walk test: a useful metric for the cardiopulmonary patient. *Intern Med J.* 2009; 39 (8): 495–501. DOI: 10.1111/j.1445-5994.2008.01880.x
49. Williams G.J., Al-Baraikhan A., Rademakers F.E., Ciravegna F., van de Vosse F.N., Laurie A., Rothman A., Ashley E.A., Wilkins M.R., Lawford P.V., Ombolt S.W., Wisløff U., Hose D.R., Chico T.J.A., Gunn J.P., Morris P.D. Wearable technology and the cardiovascular system: the future of patient assessment. *Lancet Digit Health* 2023; 5 (7): e467–e476. DOI: 10.1016/S2589-7500(23)00087-0

50. Matsuoka Y., Horio T., Ono M., Yoshimura R., Fukuda K., Shimizu M., Nakao K., Ito S., Asakura Y., Izumiya Y., Fukuda D., Kasayuki N., Fujimoto K. Evaluation of novel indices of walking performance taking oxygen desaturation into account during six-minute walk test in cardiovascular disease patients. *Heart Vessels*. 2024; 39 (10): 877–883. DOI: 10.1007/s00380-024-02411-8
51. Lettieri C.J., Nathán S.D., Browning R.F., Barnett S.D., Ahmad S., Shorr A.F. The distance-saturation product predicts mortality in idiopathic pulmonary fibrosis. *Respir Med*. 2006; 100 (10): 1734–41. DOI: 10.1016/j.rmed.2006.02.004
52. Torres-Castro R., Núñez-Cortés R., Larrateguy S., Alsina-Restoy X., Barberà J.A., Gimeno-Santos E., García A.R., Sibila O., Blanco I. Assessment of exercise capacity in post-COVID-19 patients: How is the appropriate test chosen? *Life (Basel)* 2023; 13 (3): 621. DOI: 10.3390/life13030621
53. Pimenta S.P., Rocha R.B., Baldi B.G., Kawassaki Ade M., Kairalla R.A., Carvalho C.R. Desaturation – distance ratio: a new concept for a functional assessment of interstitial lung diseases. *Clinics (Sao Paulo)* 2010; 65 (9): 841–6. DOI: 10.1590/s1807-59322010000900005
54. Child C.E., Kelly M.L., Sizelove H., Garvin M., Williams J., Kim P., Cai H.D., Luo S., McQuade K.J., Swenson E.R., Wise A.T., Lynch Y.T., Ho L.A., Brown M.B. A remote monitoring-enabled home exercise prescription for patients with interstitial lung disease at risk for exercise-induced desaturation. *Respir Med*. 2023; 218: 107397. DOI: 10.1016/j.rmed.2023.107397
55. Hermann M., Pekacka-Egli A.M., Witassek F., Baumgaertner R., Schoendorf S., Spielmanns M. Feasibility and efficacy of cardiopulmonary rehabilitation after COVID-19. *Am J Phys Med Rehabil*. 2020; 99 (10): 865–869. DOI: 10.1097/PHM.0000000000001549
56. Yang F., Liu N., Hu J.Y., Wu L.L., Su G.S., Zhong N.S., Zheng Z.G. Pulmonary rehabilitation guidelines in the principle of 4S for patients infected with 2019 novel coronavirus (2019-nCoV). *Chinese* 2020; 43 (3): 180–182. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-0939.2020.03.007
57. Chan M., Ganti V.G., Heller J.A., Abdallah C.A., Etemadi M., Inan O.T. Enabling continuous wearable reflectance pulse oximetry at the sternum. *Biosensors (Basel)* 2021; 11 (12): 521. DOI: 10.3390/bios11120521
58. Nascimento L.M.S.D., Bonfati L.V., Freitas M.B., Mendes Junior J.J.A., Siqueira H.V., Stevan S.L. Jr. Sensors and systems for physical rehabilitation and health monitoring – A review. *Sensors (Basel)* 2020; 20 (15): 4063. DOI: 10.3390/s20154063
59. Marathe S., Zeesban D., Thomas T., Vidhya S. A Wireless patient monitoring system using integrated ECG module, pulse oximeter, blood pressure and temperature sensor. 2019 International Conference on Vision Towards Emerging Trends in Communication and Networking (ViTECoN). Vellore, India 2019; 1–4. DOI: 0.1109/ViTECoN.2019.8899541
60. Joseph I., Anthony P., Astuti W., Lie Z.S., Iwan Solihin M. Inpatient monitoring system: Temperature, oxygen saturation, blood pressure, heart rate, and infusion automation based on ESP 32, IoT, and mobile application. 7th International Conference of Computer and Informatics Engineering (IC2IE). Bali, Indonesia 2024; 1–7. DOI: 10.1109/IC2IE63342.2024.10747852
61. Nwibor C., Haxba S., Ali M., Sakel M., Haxba A., Saunders K. Remote Health Monitoring System for the estimation of blood pressure, heart rate, and blood oxygen saturation level. *IEEE Sensors Journal* 2023; 23 (5): 401–5411. DOI: 10.1109/JSEN.2023.3235977
62. Nardini S., Corbanese U., Visconti A., Mule J.D., Sanguinetti C.M., De Benedetto F. Improving the management of patients with chronic cardiac and respiratory diseases by extending pulse-

oximeter uses: the dynamic pulse-oximetry. *Multidiscip Respir Med.* 2023; 18 (1): 922. DOI: 10.4081/mrm.2023.922

Финансирование. Данное исследование проведено в рамках выполнения государственного задания для ФГБОУ ВО Ивановский ГМУ «Дистанционный кардиомониторинг в медицинской реабилитации» (SLFW-2024–0022), номер государственного учета в ЕГИСУ НИОКТР 124031100012-3.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Вклад распределен следующим образом:

Блинова К.А. – обзор публикаций по теме статьи, анализ и интерпретация данных, написание текста рукописи.

Мишина И.Е. – анализ и интерпретация данных, проверка и редактирование рукописи, утверждение рукописи для публикации.

Парфенов А.С. – обзор публикаций по теме статьи, анализ данных.

Березина Е.В. – анализ данных, проверка и редактирование рукописи.

Хорошилова О.В. – обзор публикаций по теме статьи.

Жабурин М.В. – обзор публикаций по теме статьи.

Ограничение исследования. Проведенное исследование соответствует стандартам Хельсинкской декларации, одобрено этическим комитетом ФГБОУ ВО Ивановский ГМУ Минздрава России, протокол № 3 от 31.10.2023.

Поступила: 17.03.2025

Одобрена: 02.07.2025

Принята к публикации: 21.07.2025

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом: Возможности применения непрерывной пульсоксиметрии в программах кардиореабилитации: научный обзор / И.Е. Мишина, К.А. Блинова, А.С. Парфенов, Е.В. Березина, О.В. Хорошилова, М.В. Жабурина // Пермский медицинский журнал. – 2025. – Т. 42, № 4. – С. 5–19. DOI: 10.17816/pmj4245-19

Please cite this article in English as: Mishina I.E., Blinova K.A., Parfenov A.S., Berezina E.V., Khoroshilova O.V., Zhaburina M.V. Potential application of continuous pulse oximetry in cardiac rehabilitation programs: scientific review. *Perm Medical Journal*, 2025, vol. 42, no. 4, pp. 5-19. DOI: 10.17816/pmj4245-19