

УДК 616.079:004.85

<https://doi.org/10.20538/1682-0363-2026-1-185-196>

## Интеллектуальная одежда для мониторинга медико-биологических показателей здоровья: применение в клинической медицине, спорте и социальной сфере

Шиrolапов И.В., Захаров А.В., Германова О.А., Решетникова Ю.Б.,  
Ермолаева К.В., Гайсин Ш.И.

Самарский государственный медицинский университет (СамГМУ)  
Россия 443099, г. Самара, ул. Чапаевская, 89

### РЕЗЮМЕ

Современные научные достижения стимулируют разработку эффективных носимых биомедицинских технологий, которые позволят повысить качество жизни и персонализировать подходы к профилактике, терапии и реабилитации. Технология интеллектуальной, или «умной, одежды» привлекает значительное научное и практическое внимание благодаря открытию новых горизонтов для мониторинга медико-биологических показателей здоровья.

В обзоре представлен обобщенный критический анализ современных возможностей использования интеллектуальной одежды для регистрации физиологических параметров организма и мониторинга здоровья. Обсуждаются преимущества, текущие ограничения и будущие перспективы, а также связанные с ними исследования и разработки, необходимые для реализации практических решений в области электронных текстильных изделий для медицинского мониторинга. Интеллектуальная одежда может использоваться для сбора и обработки данных о биомеханике человеческого тела, биопотенциалов или химических сигналов в режиме реального времени для различных медицинских и повседневных целей. Носимые устройства являются перспективной биомедицинской технологией из-за ее инновационного и многообещающего потенциала для модернизации системы здравоохранения, профессионального спорта и социальной сферы, обеспечивая непрерывную и неинвазивную регистрацию медико-биологических показателей состояния человека.

В перспективе научно-технологический прогресс в разработке материалов с улучшенной биосовместимостью и долговечностью, оптимизация аналитики и более точная оценка больших массивов биомедицинских данных позволят ускорить внедрение носимых электронных текстильных изделий и их интеграцию с другими цифровыми приложениями для интеллектуального мониторинга здоровья и достижения целевых стратегий профилактики и терапии. Дальнейшее развитие технологии «умной одежды» повысит ее диагностическую эффективность и в целом качество жизни пациентов и пользователей.

**Ключевые слова:** интеллектуальная одежда, мониторинг здоровья, носимые биомедицинские технологии, медико-биологические показатели, «умная одежда»

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

**Источник финансирования.** Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

**Для цитирования:** Шиrolапов И.В., Захаров А.В., Германова О.А., Решетникова Ю.Б., Ермолаева К.В., Гайсин Ш.И. Интеллектуальная одежда для мониторинга медико-биологических показателей здоровья: применение в клинической медицине, спорте и социальной сфере. *Бюллетень сибирской медицины*. 2026;26(1):185–196. <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2026-1-185-196>.

✉ Шиrolапов Игорь Викторович, [ishirolapov@mail.ru](mailto:ishirolapov@mail.ru)

## Smart e-textiles for monitoring health parameters: application in clinical medicine, sports, and social sphere

Shirolapov I.V., Zakharov A.V., Germanova O.A., Reshetnikova Yu.B., Ermolayeva K.V., Gaysin Sh.I.

Samara State Medical University  
89 Chapayevskaya St., 443099 Samara, Russian Federation

### ABSTRACT

Modern scientific advancements promote the development of effective wearable biomedical technologies that will improve the quality of life and personalize approaches to prevention, therapy, and rehabilitation. E-textiles or smart clothing technology are attracting significant attention due to the opening of new horizons for monitoring medical and biological health indicators.

The review provides a critical analysis of possible modern applications of smart textiles for monitoring physiological health indicators. The article discusses the advantages, current limitations, and future prospects, as well as related research and development needed to implement practical solutions in the field of e-textiles. Smart clothing can be used to collect and process data on human body movement and bioelectric potentials or chemical signals in real time for various medical and everyday purposes. Wearable devices are a promising biomedical technology due to their innovative potential for modernizing healthcare, professional sports, and social sphere, providing continuous and non-invasive recording of physiological parameters.

Continuous scientific and technological progress in the development of materials with improved biocompatibility and durability, optimization of analytics based on artificial intelligence, and more accurate assessment of big biomedical data will accelerate the implementation of smart textiles and their integration with other digital applications for intelligent health monitoring. Further development of wearable e-textiles will contribute to improving both their diagnostic efficiency and the quality of life of users.

**Keywords:** e-textile; textile electrode; health monitoring; wearable technology; medical and biological indicators; smart clothing

**Conflict of interest.** The authors declare the absence of obvious or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

**Source of financing.** The authors state that they received no funding for the study.

**For citation:** Shirolapov I.V., Zakharov A.V., Germanova O.A., Reshetnikova Yu.B., Ermolayeva K.V., Gaysin Sh.I. Smart e-textiles for monitoring health parameters: application in clinical medicine, sports, and social sphere. *Bulletin of Siberian Medicine*. 2026;26(1):185–196. <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2026-1-185-196>.

## ВВЕДЕНИЕ

Ввиду разнородности и большого объема регистрируемой медико-биологической информации постепенно сформировалась необходимость в разработке и внедрении передовых, интеллектуальных и при этом доступных технологий, способных собирать, хранить, анализировать и передавать данные [1]. Среди таких инновационных медицинских технологий – носимые системы для мониторинга физиологических показателей, реализуемые путем междисциплинарных решений и научно-технологической интеграции цифрового здравоохранения, микроэлектроники, беспроводной связи, аналитики и текстильного производства [2, 3].

Добавление электродов и датчиков на текстильные изделия и одежду является многообещающим способом регистрации физиологических параметров [4]. Данная технология получает признание за ее потенциал в диагностике, длительном мониторинге повседневной активности и регистрации динамики различных жизненно важных показателей. Благодаря научным исследованиям и технологическому прогрессу, носимая электроника в настоящее время становится востребованным продуктом на рынке в секторах здравоохранения и спорта (спортивная медицина). Массовое производство и интегрирование сенсоров в текстильные изделия открывают новые возможности для контроля за показателями здоровья, физической формы и общей производительности.

сти в клинической среде, повседневной жизни и в условиях спортивных тренировок [5].

Ранее датчики для регистрации медико-биологических сигналов размещались непосредственно на теле или помещались в специальные отсеки в текстильных изделиях. Современная концепция носимых биомедицинских технологий Wearable 2.0 предусматривает полную интеграцию носимой электроники в одежду. В научной литературе такие системы известны как интеллектуальная, или «умная одежда», (ИО), электронные текстильные изделия и носимые текстильные электроды [6–8].

Целью настоящего обзора является критический и конструктивный анализ результатов научных исследований с определением потенциала использования интеллектуальной одежды для мониторинга и регистрации медико-биологических параметров. Обсуждаются преимущества, текущие ограничения и будущие возможности, а также связанные с ними исследования и разработки, необходимые для реализации практических решений в области электронных текстильных изделий и их применения в клинической медицине.

## ПРОТОКОЛ РАБОТЫ С ИСТОЧНИКАМИ: ПОИСК И ОТБОР СТАТЕЙ

Для реализации поставленной цели и подготовки обзора был выполнен поиск публикаций в наукометрических базах данных PubMed, Scopus, Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) с использованием поисковых запросов и ключевых слов. Систематический поиск включал статьи, опу-

бликованные за последние 10 лет (2015–2025 гг.), языком запроса и анализа был английский (русский язык – для базы РИНЦ). В частности, использовались следующие ключевые слова и их комбинации: e-Textile, Wearable, Textile electrode, Smart textile technology, Wearable electronic devices, Biosensors, Health monitoring, Digital health. Исследование литературных источников ориентировалось на рекомендации «Предпочтительных элементов отчетности для систематических обзоров и метаанализов» и полагалось на методы поиска литературы, описанные в консорциуме RELISH. Чтобы расширить систематический поиск, использовались операторы «И» и «ИЛИ» для объединения ключевых слов. Согласно поставленной цели поиска, для анализа результатов тезисы докладов, протоколы заседаний, книги, материалы конференций, клинические случаи не использовались.

В обобщенный анализ использования технологии включены публикации результатов исследований, в которых были адекватно представлены исходные данные – характеристики и параметры разработки и применения ИО для неинвазивной регистрации и мониторинга медико-биологических показателей физиологического состояния человека. На начальном этапе было идентифицировано 598 статей по всем базам данных. Выполнен отбор на основании заголовков и аннотаций. После удаления дубликатов и публикаций, не соответствующих тематике и цели исследования, получены данные и проанализированы полные тексты 62 статей в соответствии с их методологией, результатами и выводами (рис. 1).



Рис. 1. Блок-схема, описывающая результаты поиска публикаций

Для комплексного описания возможностей применения ИО, выявления преимуществ, ограничений и будущих перспектив технологии и расширения критического взгляда на поставленную проблему в обобщенный анализ и список используемой литературы включены данные оригинальных исследований, технологических разработок, валидационных и наблюдательных клинических испытаний, мета-анализов и работ по смежным направлениям исследований.

## РАЗРАБОТКА И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ОДЕЖДЫ

Разработка гибких, растягивающихся электродов и схем является ключевым компонентом электронных функциональных носимых текстильных изделий, способных воспринимать, передавать и анализировать данные. Большинство материалов одежды, которые человек носит каждый день, изготовлены из гибких текстильных тканей, состоящих из одного или нескольких типов натуральных или искусственных волокон, при этом основными требованиями к

ним являются способность обеспечивать комфорт и физиологические, в том числе сенсорные, свойства для потребителя [9, 10]. Одновременно ткани должны быть износостойкими в процессе чистки (стирки) и многократного использования. Однако реализация таких требований значительно затруднена, когда жесткие или хрупкие электронные системы интегрируются с текстильными материалами, что является основным текущим ограничением при проектировании ИО. Поэтому общая тенденция в разработке прототипов электронных текстильных изделий направлена на решение задачи минимального нарушения комфорта пользователя при ношении такой одежды и возможности открепления электронных компонентов. Другая задача заключается в точном позиционировании соответствующих электродов над целевой областью, чтобы воспринимать биосигналы максимально качественно и без артефактов [11, 12].

Потенциальные области применения ИО можно разделить на три группы (рис. 2): для клинического использования в секторе здравоохранения (основное направление) – регистрация и мониторинг физиологиче-



Рис. 2. Интеллектуальная одежда для мониторинга биомедицинских показателей

ских параметров, медицинских состояний, динамики терапевтического процесса или восстановительного лечения; применение в спорте – наблюдение за физическим статусом и производительностью, расширение реабилитационного потенциала спортсменов; для социальной сферы – в целях облегчения любой непрофессиональной деятельности и повседневной активности пациентов, пользователей и в особенности лиц с ограниченными возможностями здоровья (ЛСОВ) [13, 14]. В равной степени электронные текстильные изделия могут использоваться в вышеперечисленных секторах в зависимости от их базовой функциональности и выбора потребителя (что определяет более выраженную востребованность в технологии со стороны индустрии фитнеса или спорта и цифровой медицины). На современном этапе наблюдается смещение акцента в сторону проектирования и разработки технически продвинутой высокопроизводительной ИО, которая не только комфортна и интерактивна, но и предлагает существенную добавленную стоимость с точки зрения функциональности. Электронные текстильные изделия являются перспективным активом, поскольку технологически продвинутые прототипы адаптируемы и имеют потенциал для использования как в медицинском или спортивном секторах, а также в социальной сфере в рамках глобального старения населения и для ЛСОВ [15, 16].

## **ЭВОЛЮЦИЯ В ИНТЕГРАЦИИ КОМПОНЕНТОВ, ВИДЫ ДАТЧИКОВ И РЕГИСТРИРУЕМЫХ БИМЕДИЦИНСКИХ СИГНАЛОВ**

Интеллектуальной одежде требуются электронные компоненты для взаимодействия со стимулами – механическими, электрическими или химическими сигналами состояния организма. Различные характеристики ИО различаются в зависимости от интегрированной электроники или технологической платформы, что создает новый функционал для традиционной одежды и обеспечивает дополнительную ценность [17, 18]. Вполне вероятно, что наиболее эффективные из разрабатываемых прототипов электронных текстильных изделий со временем масштабируются в коммерческие продукты и значительно увеличат размер рынка, особенно в секторах здравоохранения и спорта. По существующим прогнозам, рынок носимых электронных текстилей будет расти со скоростью более 1 млрд долл. в год [5, 19]. За последние 5–10 лет достижения в области нанотехнологий и методов производства привели к колоссальным изменениям в области гибкой электроники и разработки ИО с включением дополнительных

функций для повышения ее коммерческой ценности, что увеличивает спрос на разработку систем, направленных на мониторинг биомедицинских показателей состояния организма [20–23].

С начала разработок ИО были продемонстрированы различные способы интеграции электроники в текстиль [24]. Электронные текстильные изделия «первого поколения» включали в себя жесткий компонент (электронное устройство, электрод), прикрепленный или пришитый к поверхности одежды или погруженный в специальные отсеки. Такие изделия, как правило, более громоздкие и менее долговечные при постоянном использовании и обслуживании. Последующее развитие и производственная трансформация сместили акцент на более комфортные для пользователя электронные текстильные изделия с носимыми технологиями, интегрированными в саму одежду. В ИО «второго поколения» проводящие нити и биомедицинские сенсоры фактически вплетаются в текстильную структуру для изготовления полностью функциональных носимых электронных текстильных изделий. Таким образом, современные прототипы интеллектуальных тканей характеризуются полной интеграцией текстиля и электродов [25]. В последующем технология будет все больше развиваться в направлении так называемого «Интернета вещей» (IoT) и глубокой интеграции с искусственным интеллектом, человеко-машинными интерфейсами и облачными технологиями [7, 26].

Сенсоры, которые могут воспринимать медико-биологические сигналы, условно классифицируются на физические, электрические или химические в зависимости от целей применений [27]. Для регистрации физиологических параметров используются различные виды специализированных электродов, которые могут быть как неинвазивными – размещаемыми на поверхности кожи, так и инвазивными. На современном этапе текстильные ткани служат базовой платформой для интеграции различных электронных подсистем в них или на них. Качество и надежность регистрируемого сигнала и самого датчика, интегрированного в ИО, зависят от составных компонентов сенсорного блока [28, 29]. Сенсоры ИО значительно различаются по целевому назначению и могут быть, например, биомеханическими, температурными или датчиками биопотенциалов. Так, известными датчиками движения и положения являются акселерометр, магнитометр и гироскоп (по отдельности или в комбинации в одном блоке).

Электрические потенциалы кардиомиоцитов и вариабельность сердечного ритма являются одними из наиболее распространенных биосигналов, регистрируемых для мониторинга здоровья человека в

клинической практике, а также в спортивной медицине и социальной сфере [30, 31]. Классические гидрогелевые электроды на основе хлорида серебра не подходят для долгосрочного ношения, поэтому для носимых сенсорных блоков были разработаны сухие электроды на текстильной основе. Такие датчики в основном изготавливаются путем нанесения проводящих чернил (пасты) на текстиль методом промышленного или лабораторного принтинга [32, 33]. Материалы и процесс изготовления электродов для регистрации электрических биопотенциалов мышц и индикации паттернов мышечной активации (электромиография, ЭМГ) соответствуют описанной для регистрации электрокардиограмме (ЭКГ). Интегрированные в текстильные изделия пьезорезистивные датчики, чувствительные к изменению сопротивления и емкости, используются для мониторинга частоты дыхания в реальном времени [34, 35]. Также разрабатываются прототипы ИО с сенсорами изменения температуры, влажности или регистрирующими насыщение крови кислородом и уровень глюкозы [14, 36, 37]. Такая носимая электроника позволяет отслеживать состояние здоровья пациентов и следить за их клиническим статусом в течение длительного периода времени. Поэтому ИО для мониторинга физиологических сигналов может быть эффективным инструментом для раннего выявления и мониторинга сердечно-сосудистых заболеваний, цереброваскулярных событий, нарушения сна, нейродегенеративных и психофизиологических нарушений, а также контроля процесса реабилитации и повседневной активности [38–42], что определяет широкие возможности для применения технологии в клинической медицине, спорте и социальной сфере.

## НОВЫЕ ГОРИЗОНТЫ ЦИФРОВОЙ МЕДИЦИНЫ

Благодаря технологическому прогрессу и необходимости повышения качества медицинской помощи при снижении существующих затрат, огромный объем получаемых медико-биологических данных имеет высокую добавленную пользу в таких областях, как поддержка клинических решений, мониторинг хронических процессов, антивозрастная и персонализированная медицина, когнитивное благополучие, а также в направлении оптимизации производительности персонала и многоуровневом управлении в здравоохранении. С глобальным переходом к персонализации, профилактическим и основанным на фактических данных моделям оказания медицинской помощи в клинической практике растет спрос на использование безопасного и длительного мониторинга, анализа и хранения больших объемов ин-

формации. Носимые технологии открывают новые горизонты и признаются в качестве важнейшего элемента цифровой медицины, поскольку обуславливают преимущества для экономически эффективного и безопасного применения современных медицинских технологий [43–46].

Системы, разрабатываемые как одежда с интегрированной электроникой, предлагают технологию, способную к неинвазивному отслеживанию и анализу физиологических биопотенциалов и биомеханических данных, что открывает дополнительные возможности для улучшения профилактической медицины, ранней диагностики и своевременной коррекции физического и психического здоровья [47, 48]. В частности, носимые технологии с интегрированными сенсорами движения и поверхностной ЭМГ потенциально могут использоваться у пациентов с моторными нарушениями, патологией нервно-мышечной и опорно-двигательной функции, в период реабилитации после острых цереброваскулярных событий, при фибромиалгии, рассеянном склерозе, нейродегенеративных заболеваниях или нарушениях в цикле «сон – бодрствование» и в целом для мониторинга повседневной активности. Электронные текстильные изделия, чувствительные к химическим веществам, электрофизиологической реакции кожи и биопотенциалам, открывают перспективы для непрерывной регистрации жизненно важных показателей в целях раннего выявления патологических изменений и эффективного мониторинга при широком спектре хронических и возраст-ассоциированных заболеваний, включая сердечно-сосудистые, метаболические и психофизиологические нарушения [1, 49–55].

Таким образом, современные технологии в здравоохранении, в том числе носимые устройства, могут стать ключевым элементом телемедицины, удаленного мониторинга и восстановительного лечения пациентов, предоставляя возможности для персонализированных медицинских услуг за пределами традиционных клинических условий [56–58]. Более того, рост распространенности хронических заболеваний и глобальное старение населения только увеличивают необходимость во внедрении инновационных технологий для повышения качества медицинской помощи и направляют трансформацию здравоохранения в сторону широкого использования и ускоренной клинической апробации ИО [59–60].

## ОБОБЩЕННЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ

Систематический обзор демонстрирует три основных направления в научных исследованиях ИО для мониторинга медико-биологических параметров: техническая разработка прототипов устройств,

валидационные испытания для широкого использования практикующими врачами и профильными исследователями, которым требуются валидные и надежные измерения, и наблюдательные клинические исследования [3, 21, 25, 34, 61–63].

### **Технологические особенности и методы изготовления интеллектуальной одежды**

Благодаря высокой электропроводности и биосовместимости, металлы (серебро или медь) часто используются в прототипировании ИО для изготовления проводящих элементов и сенсоров. Хотя существует много типов тканей, которые технологически возможно комбинировать с металлами, их долговечность при многократном использовании и уходе за изделиями остается ограничением и требует дальнейшей научной разработки и практического совершенствования [64, 65]. Полистиролсульфонат, полипиррол и полианилин относятся к классу органических полимеров, которые ввиду особенностей своей химической структуры являются электропроводящими и поэтому представляют интерес для разработки электронных текстильных изделий. Основными ограничениями таких полимеров являются их низкая механическая стабильность и плохая гибкость, что потенцирует поиск композитов с другими эластичными полимерами для повышения прочности и снижения хрупкости [66, 67]. Материалы на основе углерода востребованы в области биосенсоров из-за их биологической совместимости, гибкости, термической и химической стабильности. Графит или графен могут производиться в больших количествах и являются сравнительно недорогими, поэтому коммерциализация таких электродов для носимых биомедицинских технологий вполне реализуема, однако требуется совершенствование разработок, обеспечивающее однородное стабильное покрытие материала на текстиле [68, 69].

Простыми и недорогими методами, которые используются для изготовления ИО, являются послойное покрытие проводящим красителем (полимером), нанесение напылением и покрытие погружением. В частности, в обзорных клинических исследованиях и оценке прототипов ИО применение таких методов для нанесения углеродных проводящих материалов показало, что электронные текстильные изделия сохраняли механическую прочность и стабильность после 20–30 циклов стирки и позволяли регистрировать качественные биосигналы [70, 71]. Современные технологии с использованием компьютерной графики, методов электроспиннинга или промышленного принтинга (печати) делают возможным массовое производство ИО. Методом

электроспиннинга получают сверхтонкие нановолокна диаметром от нескольких микрометров до сотен нанометров, которые демонстрируют хорошую механическую прочность и высокую удельную площадь, а получаемые текстильные электроды имеют пористую структуру, что улучшает воздухопроницаемость, электропроводность и адгезию к коже, требуемые для получения качественных сигналов ЭМГ и ЭКГ. При лабораторном принтинге тестируются различные виды проводящих «чернил» на текстильных изделиях, включая металлические наночастицы, проводящие полимеры и углеродные материалы. Стоит отметить, что используемые для печати проводящие материалы должны не только прочно связываться с поверхностью ткани, но также быть устойчивыми и не терять проводимость при растяжении и многократном применении ИО [61, 72–75].

### **Преимущества технологии**

1. Решения на основе интеллектуальных текстильных изделий обеспечивают простую, удобную и понятную платформу, при этом содержат неинвазивные датчики.

2. Повышение комплаентности – интеграция электронных систем в одежду способствует приверженности пациентов и лучшему выполнению диагностических рекомендаций.

3. Многофункциональность – несколько датчиков могут быть встроены в одну платформу (предмет одежды) в разных целевых областях, что исключает использование нескольких отдельных устройств и позволяет измерять широкий диапазон сигналов.

4. Многоцветные сухие текстильные электроды в составе ИО более экономически целесообразны для долгосрочного мониторинга.

5. В перспективе незаметная и бесшовная интеграция миниатюрных электронных компонентов будет обеспечивать тесный и позиционированный контакт биосенсоров с областью регистрации, что снизит ошибки измерения, вызванные перекрестными помехами, смещением и дискомфортом жестких и больших датчиков.

### **Выявленные ограничения**

Несмотря на высокое научное и прикладное внимание к разработке и масштабированию ИО для медико-биологических целей, анализ выявил ряд текущих ограничений и проблем:

1. Снижение качества и точности сигнала в зависимости от условий внешней среды и сторонних помех, частоты дискретизации, качества контакта.

2. Отсутствие единых стандартов процесса производства, методологии и законодательства при разработке и валидации продуктов.

3. Энергоэффективность – необходимость в источнике энергии многоразового действия и интеграции с аккумуляторами, которые негативно влияют на размерность, комфорт и гибкость изделий.

4. Ограниченная площадь контакта и сложность точного позиционирования датчиков без смещения, высокая чувствительность сенсоров к артефактам движения.

5. Комфорт и безопасность: обеспечение длительного использования без дискомфорта или раздражения.

6. Износостойкость и ограниченный срок службы.

7. Необходимость в специалистах для анализа больших объемов регистрируемой информации и выявления пригодных данных для трансляции научных результатов в клиническую сферу, а также систематическая валидация изделий.

8. Этические и конфиденциальные вопросы – надежное шифрование и безопасные решения в целях защиты информации пациентов.

### Перспективы и будущие возможности технологии

Валидационные исследования и клинические апробации прототипов позволили выделить следующие характеристики «идеального» электронного текстильного изделия для регистрации медико-биологических показателей [2, 9, 11, 27, 33, 68, 76–78]: биосовместимость; гибкость и растяжимость с точным позиционным размещением над областью регистрации; низкое сопротивление и устойчивость к артефактам движения; механическая прочность; простота использования для пациента; технологическая совместимость, интеграция и коммуникация с другим оборудованием; избирательность интегрированных биосенсоров.

Решение описанных проблем и ограничений требует дальнейших исследований и создания дополнительных возможностей для совершенствования ИО. Для повышения качества регистрируемых биосигналов, надежности, долговечности и уровня интеграции носимых технологий требуется постоянная разработка новых материалов и компонентов. Взаимодействие электронных текстильных изделий с другими инновационными технологиями добавляет новые функции и способствует развитию концепции носимых биомедицинских технологий следующего уровня в направлении персонализации ИО. Так, использование инструментов ИИ и цифровых технологий для улучшения алгоритмов анализа позволит разрабатывать персонализированные планы диагностики и лечения, прогнозировать прогресс реабилитации или тренировочного процесса [79–81]. В целом при междисциплинарном подходе и одновре-

менном участии различных заинтересованных сторон, включая разработчиков технологий и производителей, специалистов в области здравоохранения и профессионального спорта, а также конечных пользователей и государственного регулирования, возможна эффективная трансформация научных достижений в области электронных текстильных изделий в ориентированные на потребителя экономически востребованные и устойчивые решения. Поэтому дополнительные усилия по созданию общепромышленных стандартов и оптимизации процессов валидации и внедрения будут играть решающую роль в развитии носимых биомедицинских технологий.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современные достижения в разработке ИО демонстрируют большой потенциал технологии для неинвазивного мониторинга физиологических параметров и последующего эффективного и массового внедрения в практическом здравоохранении в целях профилактики, терапии и реабилитации. Однако необходимы дальнейшие исследования для преодоления ряда проблем и текущих ограничений с максимальной реализацией возможностей. Новые шаги в дальнейшем научно-техническом развитии технологии включают не только разработку новых материалов и компонентов, но также систематическую валидацию, совершенствование производственных процессов, а также повышение доступности для пользователей и пациентов. Будущие исследования должны быть сосредоточены на разработке материалов с улучшенной биосовместимостью и долговечностью, оптимизации аналитики и более точной оценке больших массивов биомедицинских данных. Комплексное рассмотрение этих направлений позволит ускорить внедрение носимых электронных текстильных изделий и их интеграцию с другими цифровыми приложениями для интеллектуального мониторинга здоровья, что в целом повысит диагностическую эффективность технологии и качество жизни пациентов и пользователей в реальных условиях.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Li S., Li H., Lu Y., Zhou M., Jiang S., Du X. et al. Advanced textile-based wearable biosensors for healthcare monitoring. *Biosensors*. 2023;13(10):909. DOI: 10.3390/bios13100909.
2. Júnior H.L.O., Neves R.M., Monticeli F.M., Dall Agnol L. Smart fabric textiles: Recent advances and challenges. *Textiles*. 2022;2(4):582–605. DOI: 10.3390/textiles2040034.
3. Veske-Lepp P., Van Steenkiste G., Thienpondt S., Cools J., De Pauw H., Bossuyt F. et al. Development of 3D-formed textile-based electrodes with flexible interconnect ribbon. *Sensors*. 2025;25(2):414. DOI: 10.3390/s25020414.

4. Ding Y., Jiang J., Wu Y., Zhang Y., Zhou J., Zhang Y. et al. Porous conductive textiles for wearable electronics. *Chem. Rev.* 2024;124(4):1535–1648. DOI: 10.1021/acs.chemrev.3c00507.
5. Meena J.S., Choi S.B., Jung S.B., Kim J.W. Electronic textiles: New age of wearable technology for healthcare and fitness solutions. *Mater. Today Bio.* 2023;19:100565. DOI: 10.1016/j.mtbio.2023.100565.
6. Fernández-Caramés T.M., Fraga-Lamas P. Towards the Internet of Smart Clothing: A Review on IoT Wearables and Garments for Creating Intelligent Connected E-Textiles. *Electronics.* 2018;7:405. DOI: 10.3390/electronics7120405.
7. Круглов А.В., Телегин Е.С., Матрохин А.Ю., Грузинцева Н.А. Современные тенденции и перспективы использования «умной одежды». *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности.* 2023;1(403):192–195. DOI: 10.47367/0021-3497\_2023\_1\_192.
8. Perera N., Shahidi A.M., Marasinghe K., Kaner J., Oliveira C., Wickenden R. et al. Exploring sustainable approaches for electronic textile products and prototypes. *Sensors.* 2024;24(17):5472. DOI: 10.3390/s24175472.
9. Гетманцева В.В., Иванова М.С. Настоящее и будущее «умных» материалов и «умной» одежды. *Все материалы. Энциклопедический справочник.* 2023;8:37–43. DOI: 10.31044/1994-6260–2023-0-8-37-43.
10. Zhao J., Kim C., Li W., Wen Z., Xiao Z., Wang Y. et al. 3D e-textile for exercise physiology and clinical maternal health monitoring. *ArXiv.* 2024;arXiv.2407.07954. DOI: 10.48550/arXiv.2407.07954.
11. Goncalvas C., da Silva A.F., Gomes J., Simoes R. Wearable E-textile Technologies: A Review on Sensors, Actuators and Control Elements. *Inventions.* 2018;3:14. DOI: 10.3390/inventions3010014.
12. Ali I., Islam M.R., Yin J., Eichhorn S.J., Chen J., Karim N. et al. Advances in smart photovoltaic textiles. *ACS Nano.* 2024;18(5):3871–3915. DOI: 10.1021/acsnano.3c10033.
13. Rumon M.A., Cay G., Ravichandran V., Altekreeti A., Gitelson-Kahn A., Constant N. et al. Textile knitted stretch sensors for wearable health monitoring: design and performance evaluation. *Biosensors.* 2023;13:34. DOI: 10.3390/bios13010034.
14. Yang K., McErlain-Naylor S.A., Isaia B., Callaway A., Beeby S. E-textiles for sports and fitness sensing: current state, challenges, and future opportunities. *Sensors.* 2024;24(4):1058. DOI: 10.3390/s24041058.
15. Shirvan A.R., Nouri A. Medical textiles, advances in functional and protective textiles. The Textile Institute Book Series. Elsevier Ltd., 2020:333.
16. Islam M.R., Afroj S., Yin J., Novoselov K.S., Chen J., Karim N. Advances in printed electronic textiles. *Adv. Sci.* 2024;11(6):e2304140. DOI: 10.1002/advs.202304140.
17. Libanori A., Chen G., Zhao X. Smart textiles for personalized healthcare. *Nat. Electron.* 2022;5:142–156. DOI: 10.1038/s41928-022-00723-z.
18. Sunstrum F.N., Khan J.U., Li N.W., Welsh A.W. Wearable textile sensors for continuous glucose monitoring. *Biosens. Bioelectron.* 2025;273:117133. DOI: 10.1016/j.bios.2025.117133.
19. Andrew T.L. The future of smart textiles: User interfaces and health monitors. *Matter.* 2020;2(4):794–795. DOI: 10.1016/j.matt.2020.03.011.
20. Eskandarian L., Toossi A., Nassif F., Golmohammadi Rostami S., Ni S., Mahnam A. et al. 3D-knit dry electrodes using conductive elastomeric fibers for long-term continuous electrophysiological monitoring. *Adv. Mater. Technol.* 2022;7:2101572. DOI: 10.1002/admt.202101572.
21. Солодилова Н.З., Ахмеджанов Ф.М., Крымский В.Г., Будеева О.Н. Основы разработки аппаратного и программного обеспечения интеллектуальной одежды. *Электротехнические и информационные комплексы и системы.* 2020;16(3):50–62. DOI: 10.17122/1999-5458-2020-16-3-50-62.
22. Pyatin V.F., Kolsanov A.V., Shirolapov I.V. Recent medical techniques for peripheral nerve repair: clinico-physiological advantages of artificial nerve guidance conduits. *Adv. Gerontol.* 2017;7(2):148–154. DOI: 10.1134/S2079057017020126.
23. Hassan R., Acerbi F., Terzi S., Rosa P. Enabling the twin transition of the textile industry: A systematic literature review. *Waste Manag.* 2025;195:294–307. DOI: 10.1016/j.wasman.2025.02.025
24. Vidhya C.M., Maithani Y., Singh J.P. Recent Advances and Challenges in Textile Electrodes for Wearable Biopotential Signal Monitoring: A Comprehensive Review. *Biosensors.* 2023;13(7):679. DOI: 10.3390/bios13070679.
25. Khundaqji H., Hing W., Furness J., Climstein M. Smart Shirts for Monitoring Physiological Parameters: Scoping Review. *JMIR Mhealth. Uhealth.* 2020;8(5):e18092. DOI: 10.2196/18092.
26. Luo Y., Abidian M.R., Ahn J.H., Akinwande D., Andrews A.M., Antonietti M. Technology roadmap for flexible sensors. *ACS Nano.* 2023;17(6):5211–5295. DOI: 10.1021/acsnano.2c12606.
27. Trovato V., Sfameni S., Rando G., Rosace G., Libertino S., Ferri A. et al. A Review of Stimuli-Responsive Smart Materials for Wearable Technology in Healthcare: Retrospective, Perspective, and Prospective. *Molecules.* 2022;27(17):5709. DOI: 10.3390/molecules27175709.
28. Dutta T., Chaturvedi P., Llamas-Garro I. Smart materials for flexible electronics and devices: hydrogel. *RSC Adv.* 2024;14(19):12984–13004. DOI: 10.1039/d4ra01168f.
29. Dulal M., Afroj S., Ahn J., Ahn J., Cho Y., Carr C. et al. Toward sustainable wearable electronic textiles. *ACS Nano.* 2022;16(12):19755–19788. DOI: 10.1021/acsnano.2c07723.
30. Королев В.В., Пятин В.Ф., Еськов В.М., Шиrolapov И.В. Особенности восстановления variability сердечного ритма у молодых испытуемых после вибрационной физической нагрузки. *Вестник восстановительной медицины.* 2010;1:13–16.
31. Palix J., Akselrod M., Cungi C., Giuliani F., Favrod J. Changes in Heart Rate Variability Recorded in Natural Situation with T-Shirt Integrated Sensors and Level of Observed Behavioral Excitation: A Pilot Study of Patients with Intellectual Disabilities and Psychiatric Disorders. *Front. Psychiatry.* 2017;8:4. DOI: 10.3389/fpsy.2017.00004.
32. Arquilla K., Devendorf L., Webb A.K., Anderson A.P. Detection of the complete ECG waveform with woven tex-

- tile electrodes. *Biosensors*. 2021;11(9):331. DOI: 10.3390/bios11090331.
33. Abd-Elbaki M.K.M., Ragab T.M., Ismael N.E.R., Khalil A.S.G. Robust, self-adhesive and anti-bacterial silk-based LIG electrodes for electrophysiological monitoring. *RSC Adv*. 2023;13(45):31704–31719. DOI: 10.1039/d3ra05730e.
34. Romano C., Lo Presti D., Silvestri S., Schena E., Massaroni C. Flexible textile sensors-based smart T-shirt for respiratory monitoring: design, development, and preliminary validation. *Sensors*. 2024;24:2018. DOI: 10.3390/s24062018.
35. Massaroni C., Venanzi C., Silvatti A.P., Lo Presti D., Saccomandi P., Formica D. et al. Smart textile for respiratory monitoring and thoraco-abdominal motion pattern evaluation. *J. Biophotonics*. 2018;11(5):e201700263. DOI: 10.1002/jbio.201700263.
36. Yin J., Li J., Reddy V.S., Ji D., Ramakrishna S., Xu L. Flexible textile-based sweat sensors for wearable applications. *Biosensors*. 2023;13(1):127. DOI: 10.3390/bios13010127.
37. Naik A.R., Zhou Y., Dey A.A., Arellano D.L.G., Okoroanyanwu U., Secor E.B. et al. Printed microfluidic sweat sensing platform for cortisol and glucose detection. *Lab. Chip*. 2021;22(1):156–169. DOI: 10.1039/d1lc00633a.
38. Shirolapov I.V., Zakharov A.V., Smirnova D.A., Lyamin A.V., Gayduk A.Ya. The role of the glymphatic clearance system in the mechanisms of the interactions of the sleep-waking cycle and the development of neurodegenerative processes. *Neurosci. Behav. Physiol.* 2024;54(2):199–204. DOI: 10.1007/s11055-024-01585-y.
39. Sun F., Yi C., Li W., Li Y. A wearable H-shirt for exercise ECG monitoring and individual lactate threshold computing. *Comput. Ind.* 2017;92:1–11. DOI: 10.1016/j.compind.2017.06.004.
40. Munch Nielsen J., Zibrandtsen I.C., Masulli P., Lykke Sørensen T., Andersen T.S., Wesenberg Kjaer T. Towards a Wearable Multi-Modal Seizure Detection System in Epilepsy: A Pilot Study. *Clin. Neurophysiol.* 2022;136:40–48. DOI: 10.1016/j.clinph.2022.01.005.
41. Shirolapov I., Zakharov A., Gochhait S., Pyatin V., Sergeeva M., Romanchuk N. et al. Aquaporin-4 as the Main Element of the Glymphatic System for Clearance of Abnormal Proteins and Prevention of Neurodegeneration: A Review. *WSEAS Transactions on Biology and Biomedicine*. 2023;20:110–118. DOI: 10.37394/23208.2023.20.11.
42. Channa A., Popescu N., Ciobanu V. Wearable Solutions for Patients with Parkinson's Disease and Neurocognitive Disorder: A Systematic Review. *Sensors*. 2020;20:2713. DOI: 10.3390/s20092713.
43. Широлапов И.В., Захаров А.В., Булгакова С.В., Хивинцева Е.В., Сергеева М.С., Романчук Н.П. и др. Глимфатическая дисфункция в патогенезе нейродегенеративных заболеваний и патологического старения. *Гены и клетки*. 2023;18(4):309–322. DOI: 10.23868/gc546022.
44. Seshadri D.R., Li R.T., Voos J.E., Rowbottom J.R., Alfes C.M., Zorman C.A. et al. Wearable sensors for monitoring the internal and external workload of the athlete. *NPJ Digit. Med.* 2019;2:71. DOI: 10.1038/s41746-019-0149-2.
45. Popescu M., Ungureanu C. Green nanomaterials for smart textiles dedicated to environmental and biomedical applications. *Materials*. 2023;16(11):4075. DOI: 10.3390/ma16114075.
46. Булгакова С.В., Курмаев Д.П., Тренева Е.В., Широлапов И.В., Булгаков А.С. Влияние питания и эпигенетики на развитие нейродегенеративных заболеваний у людей пожилого и старческого возраста. *Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология*. 2024;8:89–95. DOI: 10.31146/1682-8658-ecg-228-8-89-95.
47. Bazanova O.M., Balioz N.V., Ermolaeva S.A., Zakharov A.V., Zonov A.A., Larkova I.V. et al. Study of psychophysiological indicators of sensorimotor integration in PTSD. Justification of the choice of targets for biofeedback. *Human Physiology*. 2024;50(3):249–259. DOI: 10.1134/S036211972360056X.
48. Chen G., Xiao X., Zhao X., Tat T., Bick M., Chen J. Electronic textiles for wearable point-of-care systems. *Chem. Rev.* 2022;22(3):3259–3291. DOI: 10.1021/acs.chemrev.1c00502.
49. Di Rienzo M., Vaini E., Lombardi P. Development of a smart garment for the assessment of cardiac mechanical performance and other vital signs during sleep in microgravity. *Sens Actuators A Phys.* 2018;274:19–27. DOI: 10.1016/j.sna.2018.02.034.
50. Широлапов И.В., Захаров А.В., Smirnova D.A., Lyamin A.V., Gayduk A.Ya. Роль глимфатического клиренса в механизмах взаимосвязи цикла «сон – бодрствование» и развития нейродегенеративных процессов. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2023;123(9):31–36. DOI: 10.17116/jnevro202312309131.
51. Naranjo-Hernández D., Talaminos-Barroso A., Reina-Tosina J. Smart vest for respiratory rate monitoring of COPD patients based on non-contact capacitive sensing. *Sensors*. 2018;18(7):2144. DOI: 10.3390/s18072144.
52. Neupokoeva A., Bratchenko I., Bratchenko L., Khivintseva E., Shirolapov I., Shusharina N. et al. Raman liquid biopsy: a new approach to the multiple sclerosis diagnostics. *Front. Neurol.* 2025;16:1516712. DOI: 10.3389/fneur.2025.1516712.
53. Robinson T., Condell J., Ramsey E., Leavey G. Self-management of subclinical common mental health disorders (anxiety, depression and sleep disorders) using wearable devices. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2023;20:2636. DOI: 10.3390/ijerph20032636.
54. Shirolapov I., Zakharov A., Smirnova D., Khivintseva E., Sergeeva M. Aging brain, dementia and impaired glymphatic pathway: causal relationships. *Psychiatr. Danub.* 2023;35(Suppl. 2):236–244. PMID: 37800234.
55. Fernandes S., Ramos A., Vega-Barbas M., García-Vázquez C., Seoane F., Pau I. Smart textile technology for the monitoring of mental health. *Sensors*. 2025;25(4):1148. DOI: 10.3390/s25041148.
56. Schulte T., Bohnet-Joschko S. How can big Data Analytics Support People-Centred and Integrated Health Services: A Scoping Review. *Int. J. Integr. Care*. 2022;22(2):23. DOI: 10.5334/ijic.5543.
57. Пятин В.Ф., Широлапов И.В. Нейромышечная стимуляция в условиях вибрационной физической нагрузки для профилактики остеопороза. *Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры*. 2020;97(3):87–93. DOI: 10.17116/kurort20209703187.
58. Anwer A.H., Khan N., Ansari M.Z., Baek S.S., Yi H., Kim S. et al. Recent advances in touch sensors for flexible wearable devices. *Sensors*. 2022;22(12):4460. DOI: 10.3390/s22124460.

59. Wang K., Liu W., Wu J., Li H., Peng H., Zhang J. et al. Smart wearable sensor fuels noninvasive body fluid analysis. *ACS Appl. Mater. Interfaces*. 2025;17(9):13279–13301. DOI: 10.1021/acsami.4c22054.
60. Широлапов И.В., Захаров А.В., Шишкина А.А., Сергеева М.С., Комарова Ю.С., Романчук Н.П. и др. Эффективность компьютеризированного когнитивного тренинга для профилактики когнитивных нарушений и стимуляции нейропластичности. *Успехи геронтологии*. 2024;37(3):221–229. DOI: 10.34922/AE.2024.37.3.007.
61. Montes J., Young J.C., Tandy R., Navalta J.W. Reliability and validation of the hexoskin wearable bio-collection device during walking conditions. *Int. J. Exerc. Sci.* 2018;11(7):806–816. DOI: 10.1519/JSC.0000000000002005.
62. Banerjee T., Peterson M., Oliver Q., Froehle A., Lawhorne L. Validating a commercial device for continuous activity measurement in the older adult population for dementia management. *Smart Health*. 2018;5–6:51–62. DOI: 10.1016/j.smhl.2017.11.001.
63. Еремина А.А., Гетманцева В.В. Материалы с фазовым изменением в текстиле, способы получения и методы исследования. *Все материалы. Энциклопедический справочник*. 2024;1:37–44. DOI: 10.31044/1994-6260-2024-0-1-37-44.
64. Ren K., Ma R., Nikkiah M.R., Eggleston S., Ren Y.-J., Behdad N. Contact ECG recording using copper and E-textile based flexible dry electrodes. *Progress. Electromagn. Res.* 2021;101:47–58. DOI: 10.2528/PIERM20092902.
65. Wang Y., Jiao Y., Wang J., Zhang H., Ye T., Lu J. et al. Metal-gel fiber with excellent electrical and mechanical properties. *ACS Appl. Mater. Interfaces*. 2025;17(5):8198–8208. DOI: 10.1021/acsami.4c19418.
66. Ryan J.D., Mengistie D.A., Gabrielsson R., Rahman H., Rahman R., Akon T. et al. Machine-washable PEDOT:PSS dyed silk yarns for electronic textiles. *ACS Appl. Mater. Interfaces*. 2017;9(10):9045–9050. DOI: 10.1021/acsami.7b00530.
67. Tseghai G.B., Malengier B., Fante K.A., Nigusse A.B., Van Langenhove L. Development of a flex and stretchy conductive cotton fabric via flat screen printing of PEDOT:PSS/PDMS conductive polymer composite. *Sensors*. 2020;20:1742. DOI: 10.3390/s20061742.
68. Lund A., Wu Y., Fenech-Salerno B., Torrisi F., Carmichael T.B., Müller C. Conducting materials as building blocks for electronic textiles. *MRS Bull.* 2021;46(6):491–501. DOI: 10.1557/s43577-021-00117-0.
69. Islam M.R., Afroj S., Beach C., Islam M.H., Parraman C., Abdelkader A. et al. Fully printed and multifunctional graphene-based wearable e-textiles for personalized healthcare applications. *iScience*. 2022;25:103945. DOI: 10.1016/j.isci.2022.103945.
70. Jeon J.W., Cho S.Y., Jeong Y.J., Shin D.S., Kim N.R., Jin H.J. et al. Pyroprotein-based electronic textiles with high stability. *Adv. Mater.* 2017;29(6). DOI: 10.1002/adma.201605479.
71. Ojstršek A., Jug L., Plohl O. A Review of Electro Conductive Textiles Utilizing the Dip-Coating Technique: Their Functionality, Durability and Sustainability. *Polymers*. 2022;14:4713. DOI: 10.3390/polym14214713.
72. Stramarkou M., Tzegiannakis I., Christoforidi E., Krokida M. Use of electrospinning for sustainable production of nanofibers: a comparative assessment of smart textiles-related applications. *Polymers*. 2024;16(4):514. DOI: 10.3390/polym16040514.
73. Yan X., Chen S., Zhang G., Shi W., Peng Z., Liu Z. et al. Highly breathable, surface-hydrophobic and wet-adhesive silk based epidermal electrode for long-term electrophysiological monitoring. *Compos. Sci. Technol.* 2022;230:109751. DOI: 10.1016/j.compscitech.2022.109751.
74. Murciego L.P., Komolafe A., Peřinka N., Nunes-Matos H., Junker K., Díez A.G. et al. A novel screen-printed textile interface for high-density electromyography recording. *Sensors*. 2023;23:1113. DOI: 10.3390/s23031113.
75. Im H., Roh J.S. Characterization of silver conductive ink screen-printed textile circuits: effects of substrate, mesh density, and overprinting. *Materials*. 2024;17(19):4898. DOI: 10.3390/ma17194898.
76. Ankhili A., Tao X., Cochrane C., Coulon D., Koncar V. Washable and reliable textile electrodes embedded into underwear fabric for electrocardiography monitoring. *Materials*. 2018;11(2):256. DOI: 10.3390/ma11020256.
77. Патина Т.Е., Ковалева О.В. Дизайн современного костюма в контексте «умного текстиля»: проблематика и проектные возможности. *Дизайн и технологии*. 2020;75(117):114–118.
78. Seesaard T., Wongchoosuk C. Flexible and stretchable pressure sensors: from basic principles to state-of-the-art applications. *Micromachines*. 2023;14(8):1638. DOI: 10.3390/mi14081638.
79. Eagleton A.M., Ambrogio E.K., Miller S.A., Vereshchuk N., Mirica K.A. Fiber integrated metal-organic frameworks as functional components in smart textiles. *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* 2023;62(49):e202309078. DOI: 10.1002/anie.202309078.
80. Khundaqji H., Hing W., Furness J., Climstein M. Wearable technology to inform the prediction and diagnosis of cardio-respiratory events: a scoping review. *Peer J.* 2021;9:e12598. DOI: 10.7717/peerj.12598.
81. Lee C., Tan J., Tan J.J., Tang H.T., Yu W.S., Lam N.Y.K. Intelligent thermochromic heating E-textile for personalized temperature control in healthcare. *ACS Appl Mater Interfaces*. 2025;17(3):5515–5526. DOI: 10.1021/acsami.4c19174.

## Информация об авторах

**Широлапов Игорь Викторович** – канд. мед. наук, доцент, зав. лабораторией научно-исследовательского института (НИИ) нейронаук, доцент кафедры физиологии, СамГМУ, г. Самара, ishirolapov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7670-6566>

**Захаров Александр Владимирович** – канд. мед. наук, доцент, директор НИИ нейронаук, доцент кафедры неврологии и нейрохирургии, СамГМУ, г. Самара, a.v.zaharov@samsmu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1709-6195>

**Германова Ольга Андреевна** – д-р мед. наук, доцент, директор МНОЦ кардиоваскулярной патологии и кардиовизуализации, доцент кафедры пропедевтической терапии, СамГМУ, г. Самара, o.a.germanova@samsmu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4833-4563>

**Решетникова Юлия Борисовна** – зам. директора МНОЦ кардиоваскулярной патологии и кардиовизуализации, СамГМУ, г. Самара, yu.b.reshetnikova@samsmu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9041-4885>

**Ермолаева Ксения Владимировна** – специалист, МНОЦ кардиоваскулярной патологии и кардиовизуализации, СамГМУ, г. Самара, k.v.ermolaeva@samsmu.ru, <https://orcid.org/0009-0008-6522-7800>

**Гайсин Шамиль Ильдарович** – специалист, МНОЦ кардиоваскулярной патологии и кардиовизуализации СамГМУ, г. Самара, sh.i.gaysin@samsmu.ru, <https://orcid.org/0009-0001-2639-5501>

(✉) **Широлапов Игорь Викторович**, [ishirolapov@mail.ru](mailto:ishirolapov@mail.ru)

Поступила в редакцию 29.05.2025;  
одобрена после рецензирования 16.06.2025;  
принята к публикации 04.09.2025