

SMART-ЧАСЫ ДЛЯ МЕДИЦИНЫ. ОБЗОР

Мизева И.А., *Институт механики сплошных сред УрО РАН, Пермь*

Кулеш А.А., *Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера, Пермь*

Современные носимые устройства эволюционировали из простых шагомеров в сложные мультисенсорные системы, обеспечивающие непрерывный и неинвазивный мониторинг широкого спектра физиологических параметров. Этот переход превращает потребительские гаджеты в инструменты для превентивной медицины и биомедицинских исследований. Настоящий аналитический обзор сфокусирован на физических принципах, лежащих в основе регистрации физиологических параметров, и возможности их применения для контроля состояния здоровья. В центре внимания метод оптической фотоплетизмографии, позволяющий зарегистрировать модуляцию отраженного света пульсирующим кровотоком. Функционал smart-часов, дополненный в недавнее время измерением электрокардиограммы, имеет широкие возможности для медицинского использования этих гаджетов. Наиболее ожидаемые функции – оценка артериального давления и биохимических характеристик smart-часами. Во второй части обзора детально разобраны физиологические характеристики, которые могут быть получены из физических сигналов, регистрируемых smart-часами. В третьей части тезисно перечислены медицинские приложения, а в четвертой – диагностическая ценность регистрируемых физиологических параметров, а также возможность использования получаемых данных в медицинской практике.

Ключевые слова: носимая электроника, умные часы, фотоплетизмография

1. Введение

Носимые устройства – это электронные гаджеты потребительского класса с измерительными датчиками, позволяющими в реальном времени оценивать физиологические параметры и передавать их по беспроводной связи на мобильные устройства. Носимые устройства могут быть встроены в одежду, импланты, однако наш обзор посвящен наиболее широко распространенным типам носимых устройств, реализованных в виде аксессуаров (часов, браслета или кольца). С точки зрения обсуждаемых вопросов, эти устройства не имеют принципиальной разницы, далее для общности мы называем их smart-часами. Изначально smart-часы воспринимались как гаджеты для коррекции образа жизни, в последние годы они значительно эволюционировали и постепенно превращаются в приборы для мониторинга состояния здоровья [1]. Именно возможности использования smart-часов в качестве прибора медицинского назначения и посвящен данный обзор.

Согласно европейским и американским исследованиям, порядка 80% взрослых сегодня готовы поделиться данными, получаемыми при помощи smart-часов со своим врачом [2]. Интеграция этих гаджетов в электронные медицинские карты уже происходит в Европе, США и Канаде [3], на законодательном уровне она закреплена в Германии.

Большинство современных smart-часов имеют схожую архитектуру: они снабжены системой датчиков, предобработка сигналов с которых производится самим носимым устройством, модифицированные данные передаются на смартфон. Smart-часы оце-

нивают тип, объем и интенсивность физической активности, измеряют фотоплетизмограмму (ФПГ) на разных длинах волн, электрокардиограмму (ЭКГ). Наиболее ожидаемыми функциями smart-часов являются возможности мониторинга артериального давления (АД) [4] и биохимических параметров.

Производители постоянно расширяют медицинские функции smart-часов, стирая грань между потребительским гаджетом и инструментом контроля здоровья. Однако внедрение таких функций требует сложной сертификации устройства как медицинского прибора. Получение разрешения – трудоемкий процесс, который задерживает внедрение новых опций. Например, функция измерения ЭКГ компанией Apple изначально была доступна только в США. Несмотря на то, что охват стран постепенно увеличивается, пользователи ряда стран и сегодня остаются без доступа к этой опции. Чтобы обойти препятствия, связанные с медицинской сертификацией, производители рекламируют свои устройства всего лишь как гаджеты для контроля самочувствия, что не позволяет внедрить smart-часы в медицинскую практику.

Ключевые функции мониторинга здоровья включают отслеживание типа и интенсивности физической активности (например, шаги, подъем по лестнице, бег, велосипед, плавание), сердечного ритма, изменения положения тела, насыщения крови кислородом (SpO_2).

Физическая активность снижает риск как неблагоприятных исходов сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ), так и смертности от всех причин, и рекомендована для укрепления сердечно-сосудистой, нервной и дыхательной систем [5]. Традиционно уровень активности оценивается субъективно, этот подход ограничен отсутствием детализации, предвзятостью в воспоминаниях и неспособностью объективно оценить уровень активности. Распространенные утверждения наподобие «Я хожу пешком пять раз в неделю по 30 минут» не отражают интенсивность нагрузки и время, проведенное в пассивном положении. Носимые устройства позволяют оценить объем и интенсивность физической активности.

Носимые технологии предоставляют данные о пациенте, что открывает возможность создания систем поддержки принятия решений на основе машинного обучения. Их внедрение способно изменить модели оказания медицинской помощи и взаимоотношений между пациентами и врачами. Это порождает новые задачи для системы здравоохранения, связанные с внедрением технологий и получаемой информации в клиническую практику. Ключевая задача для разработчиков – создавать решения, применимые врачами с учётом реальных ограничений [7].

Данная статья ориентирована прежде всего на пользователей носимых технологий и врачей. Мы намеренно избегаем описания сигналов и методов их обработки, интересных специалистам в области разработки носимых устройств. Обзор написан по принципу Umbrella review, включает в основном анализ обзорных статей, посвященных клиническим приложениям носимых устройств. Раздел 2 дает представление о ключевых технологиях измерения сигнала smart-часами, раздел 3 посвящен описанию физиологических сигналов, которые могут быть извлечены из измеряемых физических характеристик, в разделе 4 приведены примеры успешного использования smart-часов для медицинских целей.

2. Технологии измерения сигнала умными часами

Современные модели умных часов несут на борту комплект датчиков, среди них MEMS гироскопы, акселерометры, магнитометры, барометры или альтиметры, GPS модули, фотоплетизмографы, датчик ЭКГ и датчик температуры. Количество и схема

датчиков варьируются от модели к модели. На рис. 1А показана типичная схема расположения датчиков на тыльной панели часов.

2.1. Фотоплетизмограмма

Ядром абсолютного большинства «умных» часов является оптический метод фотоплетизмографии. Конкретная реализация метода (количество датчиков, длина волны, геометрическое расположение) различна для различных моделей. Рассеянное на тканях излучение от источника света регистрируется фотодиодом, сигнал с которого анализируется носимым устройством. Участок ткани, на котором рассеивается излучение, состоит из дермы, эпидермиса и гиподермального слоя, свойства этих тканей мало изменяются со временем. Важно, что этот объем ткани пронизан сосудами микроциркуляторного звена сердечно-сосудистой системы (ССС). Кровоток в диагностическом объеме пульсирует на частоте сердечных сокращений (ЧСС). Именно вклад от переменного кровотока дает переменную составляющую в ФПГ и является основой для последующего вычисления физиологических сигналов.

Свет от источника проникает тем глубже, чем больше длина волны: глубина проникновения зеленого света излучения (525 нм) порядка 1 мм, красного (660 нм) – 2-3 мм, инфракрасного (ИК) (940 нм) ~3 мм [8]. При этом глубина, с которой регистрируется сигнал, зависит от мощности светового потока и расстояния между источником и приемником света. Рассеянный на тканях свет имеет четко выраженную модуляцию на ЧСС, и мгновенный период коррелирует с основным периодом активности сердца [9]. Выбор длины волны – это компромисс между точностью и комфортом пользователя. ИК свет невидим и удобен для непрерывного мониторинга (например, во сне), но, поскольку показания снимаются с большей глубины кожи, более чувствителен к помехам движения. Поэтому в режимах активности, которые часы обнаруживают на основании показаний акселерометра, используются более устойчивые к артефактам зеленые светодиоды. Из ФПГ сигнала возможно извлечь пульсограмму. Строго говоря, пульсограмма не соответствует хорошо изученному сигналу ритма сердца [11], и вопрос анализа пульсограммы и ее клинических приложений требует детальной проработки. Тем не менее, на сегодняшний день к сигналу пульсограммы применяются подходы, развитые для сигнала ритма сердца.

2.2. Электрокардиограмма

Современные smart-часы позволяют снимать ЭКГ, аналогичную первому отведению по Эйтховену (разность потенциалов между руками) [12]. Для этого в корпусе размещены два электрода (Рис. 1А): один расположен на тыльной стороне часов, и электрический контакт с кожей запястья обеспечивается естественным потоотделением, второй – на боковой поверхности корпуса (к нему прикасается палец противоположной руки). Возможно измерение ЭКГ даже при сухих электродах. На экран выводится ЭКГ, а приложение смартфона позволяет провести анализ основного ритма ЭКГ. Отметим, что уровень шумов в smart-часах достаточно высокий, и провести детальный анализ формы ЭКГ сложно. Технически возможно измерить ЭКГ и в других отведениях [13, 14], однако такие методы не стандартизированы и носят исследовательский характер.

2.3. Сигнал ускорений

Трехосный акселерометр, измеряющий линейное ускорение в трех различных плоскостях, – основной метод мониторинга активности, при помощи гироскопа определяются угловые скорости. Комбинация результатов измерения этими датчиками дает информацию о скорости и характере перемещений объекта.

2.4. Навигация

Точную оценку физической активности обеспечивают GPS модули и барометры. Позиционирование в системе GPS ограничено геометрией спутника, блокировкой сигнала и особенностями приемника. Барометры измеряют атмосферное давление, по изменению которого можно оценить вертикальное перемещение объекта и выделить, например, перемещение объекта по лестницам.

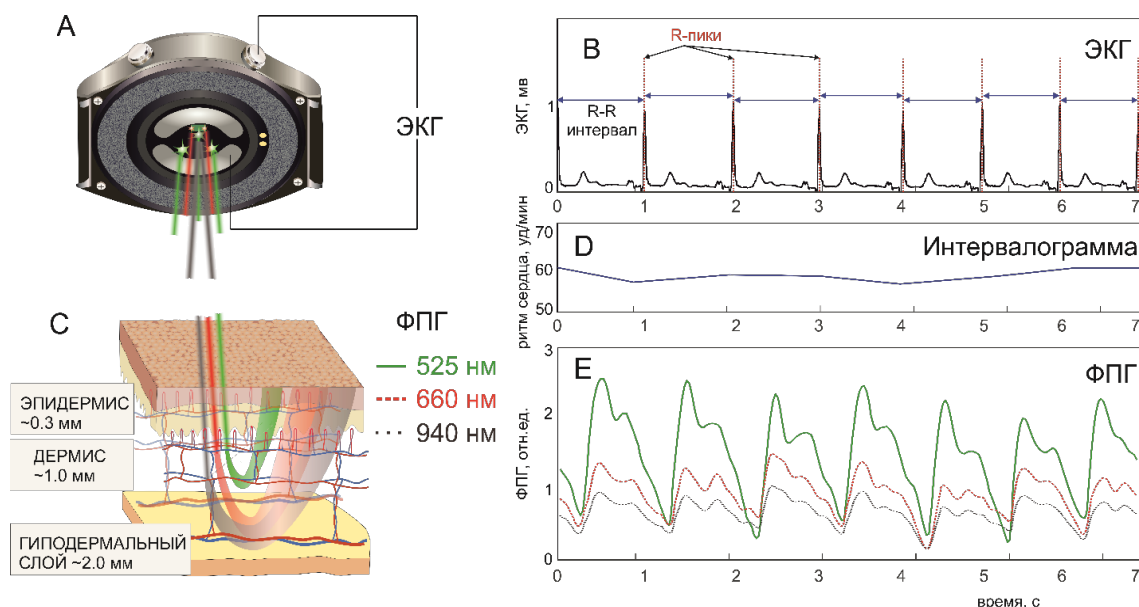


Рис. 1. Схема расположения датчиков

и демонстрация принципов измерения физических сигналов smart- часами:

- A – схема расположения датчиков на тыльной поверхности часов: красные, зеленые и инфракрасные светодиоды, датчик температуры, электроды для снятия сигнала ЭКГ;
- B – характерная ЭКГ в первом отведении, красными вертикальными линиями показаны R-пики, время между R-пиками – длительность одного кардиоцикла;
- C – схема распространения излучения от источника к приемнику;
- D – характерный вид интервалограммы,
- E – характерные фотоплетизмограммы, полученные на основе излучения трех длин волн

2.5. Специфические биохимические измерения

Перспективное направление развития технологий smart-часов – неинвазивное определение биохимических показателей (уровня глюкозы, кортизола, электролитов) носимыми устройствами. Показания таких датчиков зависят от температуры, чистоты кожи и других факторов. На сегодняшний день непрерывные мониторы глюкозы не интегрированы в smart-часы и они существуют как отдельные устройства [15], разрабатываются сенсоры для определения гидратации кожи и потери пота [16], уровня кортизола [17].

3. Физиологические характеристики, определяемые smart-часами

На основе анализа измеренных выше физических характеристик возможно вычислить сигналы, интерпретация которых представляет ценность с точки зрения физиологии.

3.1. Насыщение крови кислородом

В капиллярах, мельчайших сосудах ССС, происходит обмен кислородом между эритроцитами и окружающими тканями. На входе и выходе из капилляра эритроциты

по-разному насыщены кислородом: оксигенированные сильнее поглощают ИК-свет (940 нм), а дезоксигенированные – красный (660 нм).

В smart-часах SpO_2 обычно измеряют по отражённому свету, что менее точно, чем метод пропускания, используемый в медицинских приборах. Кольцевые носимые устройства эффективнее, так как работают на пропускании. Для конкретного индивида, для его собственных оптических свойств кожи измеряемый параметр SpO_2 достаточно стабилен, и относительные изменения SpO_2 (например, внезапное уменьшение уровня SpO_2) являются измеряемым параметром, который отражает динамику насыщения крови кислородом [18].

3.2. Вариабельность ритма сердца

Smart-часы регистрируют пульсограмму, в соответствии с которой ставится ритм сердца. Сердечный ритм генерируется синусовым узлом и постоянно варьируется. Его можно представить как последовательность интервалов RR на ЭКГ (Рис. 1С, D). Из этой последовательности smart-часы способны извлекать ряд параметров вариабельности сердечного ритма (BPC) [19]: среднюю продолжительность цикла, нормализованную низкочастотную модуляцию и симпатовагальный баланс [20]. Клиническая значимость BPC была установлена в конце 1980-х годов, когда он стал признанным независимым предиктором смертности после острого инфаркта миокарда. Современный анализ BPC основывается на статистических и спектральных методах.

3.3. Стресс

Симпатический отдел вегетативной нервной системы, активируемый в стрессовой ситуации, вызывает учащение сердцебиения и снижение BPC, что и фиксируется устройством [21, 22]. Для оценки уровня стресса используют сигналы пульса, BPC, частоты дыхания, максимального потребления кислорода и данные об избыточном потреблении кислорода после тренировки. Используя методы машинного обучения, проводят оценки уровня стресса, как правило, в баллах от 1 до 100 [23]. Сегодня появляются новые работы, в которых описаны методы оценки стресса на основе комбинации сигналов движения, BPC и неинвазивно измеренного уровня кортизола [24].

Оцениваемые физиологические параметры	Клинические приложения
Ритм сердца и его вариабельность	Фибрилляция предсердий
Изменение положения тела	Сахарный диабет
Уровень стресса	Апноэ во сне
SpO_2	Депрессия
Жесткость сосудов	Болезнь Паркинсона
Электрокардиограмма	Интенсивная терапия
Качество сна	Инфаркт миокарда
Физическая активность	Болезнь Альцгеймера
Ожидаемые функции	Эпилепсия
Биохимические параметры	
Артериальное давление	

Рис. 2. Перечень основных физиологических характеристик, измеряемых smart-часами (слева), и клинические приложения (справа)

3.4. Время распространения пульсовой волны

Сокращаясь, сердце выбрасывает из левого желудочка в аорту объем крови, который распространяется по сосудам до периферии и ощущается как пульсовой толчок или пульс. Процесс распространения этого объема крови называется пульсовой волной (ПВ). Эластичные стенки сосудов оказывают сопротивление распространяющейся ПВ, поэтому скорость ее распространения тем меньше, чем ниже жесткость стенки сосудов [25]. С возрастом или с развитием атеросклероза жесткость сосудов возрастает, таким образом этот параметр характеризует состояние артериального звена ССС. Скорость распространения ПВ косвенно можно оценить различными способами, в smart-часах реализована оценка времени прихода ПВ (в русском языке этот термин встречается редко, и мы приводим перевод распространенного в английской литературе термина pulse arrival time), которое определяется как время между R-пиком ЭКГ до минимума ФПГ на периферии. Опираясь на измеренное время распространения ПВ, smart-часы оценивают жесткость сосудистой стенки и АД [26, 27]. Результат оценки жесткости сосудистой стенки при помощи неинвазивных методик является скрининговым, тем не менее позволяющим оценить ряд важных свойств изменения механических свойств стенки сосуда.

3.5. Качество сна

Сон жизненно важен для физического, когнитивного и эмоционального здоровья, влияя на метаболизм, иммунитет и ССС. Его хронический дефицит связан с ожирением, диабетом, ССЗ и психическими расстройствами [28], а также ухудшает когнитивные функции, повышая риск травм. Мониторинг сна необходим для поддержания здоровья и диагностики нарушений. В smart-часах качество сна оценивается с помощью машинного обучения на основе данных о движении и ВРС.

3.6. Измерение артериального давления

Отечественный обзор [4] посвящен современным устройствам безманжеточного измерения АД. В настоящее время клиническим стандартом неинвазивного измерения АД является метод по Короткову. При его использовании плечевая артерия пережимается манжетой, и по возникающим ниже манжеты звукам (тонам Короткова) определяются уровни систолического и диастолического АД. Таким образом, именно манжетные методы, требующие пережатия артерии, долгое время оставались единственным неинвазивным способом измерения АД.

Измерение АД smart-часами реализуется различными способами: осциллометрическим, аппланационным, веноокклюзионной плетизмографии и фотоплетизмографическим. Устройства без манжеты, основанные на осциллографии, более удобны для амбулаторного скрининга гипертензии, самоконтроля и подбора терапии [29].

Исследования демонстрируют неоднозначную точность smart-часов при измерении АД. Так, часы Huawei Watch D соответствуют стандарту AAMI/ESH/ISO в строго определенных условиях (поза сидя, запястье на уровне сердца) и могут рассматриваться для клинического применения [30]. Однако другие устройства, например, Galaxy Watch Active 2, показывают систематические ошибки (занижают систолическое и завышают диастолическое АД), что ограничивает их медицинское использование [31]. В целом, технология требует дальнейших исследований для валидации и не готова к широкому клиническому внедрению, хотя и открывает перспективы для неинвазивного мониторинга.

3.7. Определение положения тела

При помощи акселерометров измеряются линейные ускорения, а при помощи гироскопа – угловые скорости устройства. На основе анализа полученных данных опре-

деляется интенсивность и характер физической нагрузки. С точки зрения медицинских приложений, сигнал, полученный с этих двух датчиков, полезен, например, для определения резких изменений положения тела, которые могут быть идентифицированы как падение пользователя smart-часов [3], или для записи произвольных движений, например, для идентификации тремора.

Таким образом, уже сегодня smart-часы позволяют оценить целый ряд физиологических характеристик (Рис. 2), которые играют значимую роль для скрининга ряда заболеваний или контроля состояния пациента, получающего терапию.

3.8. Биохимические характеристики

Биохимические показатели, такие как уровень глюкозы и кортизола, – также остро востребованная функция в технологии smart-часов. В настоящее время эти технологии находятся в стадии разработки. Например, оценку уровня глюкозы предлагается проводить с помощью машинного обучения на основе описанных выше физических сигналов [32], сигналов спектроскопии [33] или органических электрохимических транзисторов [34].

4. Smart-часы на службе здравоохранения

В силу того, что smart-часы способны обеспечить длительный непрерывный, хотя и достаточно грубый мониторинг, интеграция таких данных с электронными медицинскими картами способна улучшить профилактику, диагностику и лечение хронических болезней [35]. Успех такой интеграции зависит от мнения врачей о потенциальном повышении качества помощи и решения проблемы работы с большими данными.

Сегодня smart-часы выполняют три основные функции в здравоохранении: мониторинг состояния, стимулирование здорового поведения и прогнозирование рисков [36].

Мониторинг осуществляется за счет удалённого сбора данных в реальном времени, способствуя персонализированному лечению благодаря неинвазивности, экономичности и масштабируемости. Клинические примеры применения этой функции включают в себя обнаружение падений [37], фиксацию состояния алкогольного опьянения [38], выявление нарушений сна [39, 40, 41], мониторинг аритмии после операций [42] и контроль симптомов диабета [43, 44]. Выявленные на раннем этапе симптомы должны насторожить врача и способствовать проведению дополнительных обследований.

Функция стимулирования предполагает самостоятельный анализ пользователем данных для улучшения здоровья. Основанный на поведенческой психологии, этот подход формирует полезные привычки, перекладывая часть ответственности на пациента и снижая нагрузку на систему здравоохранения. Эффективность напрямую зависит от готовности и способности пользователя взаимодействовать с технологией. Производители встраивают в smart-часы игровые элементы (например, анимированные награды за достижение целей), мотивируя пользователей к активности и соблюдению режима. Smart-часы служат эффективным образовательным инструментом, обеспечивая непрерывную персонализированную поддержку, что особенно ценно для борьбы с гипертонией и ожирением. Показано, что использование smart-часов увеличивает ежедневную активность [45] и улучшает показатели за счёт самоконтроля и изменения поведения [46].

Smart-часы помогают ставить личные цели и отслеживать прогресс, вовлекая пользователей в активное управление здоровьем. Это формирует чувство ответственности и закрепляет здоровые привычки. Однако существует разрыв между типичными поль-

зователями smart-часов (чаще всего – молодые и образованные люди 18–50 лет) и теми, кому они принесли бы наибольшую пользу, – пожилыми людьми, подверженными более высоким рискам для здоровья [47].

Функция прогнозирования использует агрегированные данные множества пользователей для машинного обучения с целью предсказания состояния здоровья. Это перспективное направление, так как smart-часы впервые обеспечивают сбор непрерывных данных как у здоровых людей, так и у пациентов, что ранее было невозможно. Однако его развитие сопряжено с серьёзными вызовами в области конфиденциальности данных и этики. Широкому внедрению мешают проблемы достоверности и безопасности данных [35, 36], а также их конфиденциальности [48].

4.1. Прогнозирование рисков сердечно-сосудистых заболеваний

Традиционная пятилетняя глобальная оценка риска ССЗ не отражает динамических изменений, связанных с образом жизни, учёт этих субъективных факторов – достаточно сложная задача. Данные smart-часов предоставляют новую возможность для создания более точной, комплексной и динамичной, персонализированной оценки риска на протяжении всей жизни.

Для прогнозирования риска ССЗ могут использоваться параметры ЧСС: высокая ЧСС покоя связана с повышенным риском ишемической болезни и общей смертности [49], а также с неблагоприятными исходами при сердечной недостаточности [50]. Нарушение восстановления ЧСС после нагрузки и снижение вариабельности сердечного ритма (ВСР) также коррелируют с увеличением риска ССЗ [51].

Обзор дополнительных диагностических применений носимых устройств (при психоневрологических, метаболических заболеваниях и нарушениях сна) представлен в работе [43]. Современные исследования направлены на совмещение данных, получаемых с гаджетов, с клиническими симптомами [52]. Яркий пример агрегированного использования данных – управление ресурсами во время пандемии COVID-19, но эта тема остаётся за рамками данного обзора.

Одним из наиболее доступных ССЗ для выявления smart-часами является фибрилляция предсердий (ФП). ФП – это хаотичное и нерегулярное сокращение предсердий, являющееся самой распространённой аритмией и серьёзным фактором риска инсульта. Золотым стандартом её диагностики остаётся ЭКГ. Современные smart-часы по точности обнаружения ФП сопоставимы с холтеровским мониторингом и ЭКГ в 12 отведениях [53]. Показано, что точность определения нарушений ритма сердца с помощью smart-часов превышает 97% [54], и для пациентов из группы риска непрерывный мониторинг в сочетании с коррекцией образа жизни может быть особенно эффективной стратегией [55].

Крупнейшее исследование Apple Heart Study с участием ~500 тыс. человек показало, что алгоритм на основе Apple Watch может выявлять ФП у лиц без предшествующего диагноза. При обнаружении нерегулярного пульса и его подтверждении в четырёх последующих измерениях, участник получал уведомление о нерегулярном пульсе. Положительное прогностическое значение обнаружения ФП составило >70% [56]. Алгоритм глубокого машинного обучения на основе данных Apple Watch показал более точный прогноз ФП по сравнению с золотым стандартом ЭКГ в 12 отведениях [58]. При исследованиях Huawei Band 2 PRO было показано прогностическое значение обнаружения ФП в 99,6% [58].

Современная кардиология ставит задачу повысить осведомлённость населения о рисках ССЗ для их раннего выявления и профилактики. Пациенты с ФП часто плохо понимают её симптомы и последствия, что ухудшает прогноз. Традиционный метод

скрининга – холтеровское мониторирование – ограничен по длительности. Новые носимые технологии (smart-часы) демонстрируют высокую эффективность в выявлении ФП. Тем не менее, интерпретация данных осложнена различиями в технологиях и алгоритмах разных производителей, а информации об их клинической эффективности всё ещё недостаточно.

4.2. Антиаритмическая терапия

Для подавления рецидивов аритмии в первые три месяца после операции рекомендована антиаритмическая терапия. При сочетанной патологии, например, после радиочастотной абляции, чёткие схемы отсутствуют, а продолжительность лечения может составлять от 6 до 12 месяцев и более. Сроки определяются индивидуально, с учётом сопутствующих заболеваний и побочных эффектов. На сегодняшний день нет убедительных данных о пользе или рисках продолжения терапии после стандартного «слепого периода».

Удаленный мониторинг демонстрирует клиническую и экономическую эффективность, повышая удовлетворённость пациентов. В исследованиях использовались устройства вроде CardioQVARK для скрининга ФП у пациентов с высоким риском ССЗ и сердечной недостаточностью [59, 60]. Некоторые модели smart-часов получили разрешение FDA и CE как медицинские устройства. Пионером стали Apple Watch (2018), способные записывать 30-секундную ЭКГ и обнаруживать ФП. Позже были одобрены Withings ScanWatch (2021) и система Samsung для выявления ФП и апноэ сна с помощью ЭКГ и машинного обучения. Согласно обзору [61], Samsung демонстрирует наивысшую точность, за ним следуют Amazfit, Apple Watch и Withings, причём все модели имеют чувствительность выше 90%. Устройства на основе ФПГ и ЭКГ показывают сопоставимую точность. Несмотря на высокие результаты других брендов, Apple Watch остаются наиболее изученным устройством благодаря большому массиву клинических данных.

Таким образом, технология smart-часов обладает значительными перспективами для мониторинга состояния пациентов и предсказания развития различных заболеваний. Тем не менее, эта технология сталкивается с рядом ограничений.

4.3. Практические и пользовательские барьеры

Smart-часы могут быть неудобны для пожилых людей и лиц с низкой цифровой грамотностью, а ложные тревоги вызывают стресс и ненужные обращения к врачам. Огромный поток данных увеличивает нагрузку на систему здравоохранения, а зависимость от смартфона создает риски для сохранности информации. Кроме того, постоянный мониторинг биометрических показателей может негативно влиять на психическое состояние, повышая тревожность [62]. При самостоятельном использовании (без контроля врача) существует риск неверной интерпретации данных, что может привести к вредным для здоровья решениям [63].

Таким образом, для интеграции необходимо решить вопросы удобства, безопасности данных, уменьшения негативного психологического воздействия и обеспечить профессиональную поддержку пользователей.

5. Заключение

Smart-часы обеспечивают непрерывный длительный сбор данных о пациенте, а современные методы математического анализа и машинного обучения позволяют определить клинически значимые параметры. Это повышает эффективность персонализи-

рованной помощи. Они вовлекают пользователей в управление здоровьем и дают дополнительные возможности персоналу, осуществляющему уход за пациентом. Как доступный инструмент часы расширяют возможности мониторинга за пределами клиники, помогая врачам предупреждать проблемы и своевременно реагировать на их возникновение, снижая уязвимость пациентов. Носимые устройства расширяют доступ к медицинской помощи, особенно для удалённых и маломобильных пациентов, потенциально сокращая число очных визитов и оптимизируя расходы. С другой стороны, огромный объем данных, генерируемых smart-часами, может создать дополнительную нагрузку на врача. Использование гаджетов для мониторинга хронических заболеваний может быть экономически эффективным, снижая затраты на лечение, однако требует тщательной оценки в конкретных условиях. Использование больших данных, собранных smart-часами, с одной стороны, предоставляет возможность создания систем диагностики методами искусственного интеллекта, с другой, создает серьезные этические проблемы практического использования [65].

В 2022 году лидером рынка носимых устройств были Apple Watch, за ними следовали Garmin Forerunner/Venu, Fitbit Sense, Samsung Galaxy Watches и Oura ring [66]. В свежем обзоре [67] для выбора устройств кардиомониторинга были предложены пять критериев: непрерывность мониторинга, доступность, точность, практичность и стоимость. Из 216 устройств 136 поддерживали непрерывный мониторинг. После многоэтапного отбора наиболее подходящими для оценки сердечно-сосудистой функции были признаны: Apple Watch Series 9, Fitbit Charge 6, Garmin vívosmart 5 и Oura Ring Gen3. В работе [67] представлена сводная таблица функций мониторинга и статуса одобрения FDA.

Несмотря на сложности внедрения, новые модели smart-часов демонстрируют рост точности и производительности диагностики. Усовершенствование программного обеспечения способно повысить надёжность и согласованность работы в различных областях медицины.

Библиографический список

1. *Dunn J., Runge R., Snyder M.* Wearables and the medical revolution // *Per Med.* – 2018. – Vol. 15, № 5. – P. 429–448. DOI: 10.2217/pme-2018-0044.
2. *Rising C. J. et al.* Willingness to share data from wearable health and activity trackers: analysis of the 2019 health information national trends survey data // *JMIR mHealth and uHealth.* – 2021. – Vol. 9. – № 12. – С. e29190. DOI: 10.2196/29190
3. *Dinh-Le C., Chuang R., Chokshi S., Mann D.* Wearable health technology and electronic health record integration: scoping review and future directions // *JMIR mHealth and uHealth.* – 2019. – Vol. 7, № 9. – P. e12861. DOI: 10.2196/12861
4. *Федорович А.А., Ососков В.С., Королев А.И., Васильев О.С., Дранкина О.М.* Безманжеточные методы измерения артериального давления. Обзор современных технологий // *Russian Journal of Preventive Medicine.* – 2024. – Т. 27. – № 12, стр. 156-165. DOI: 10.17116/profmed202427121156
5. *American Heart Association.* Life's Simple 7. URL: <https://www.heart.org/en/professional/workplace-health/lifes-simple-7> (дата обращения: 18.12.2025).
6. *Brew B., Faux S., Blanchard E.* Effectiveness of a smartwatch app in detecting induced falls: observational study // *JMIR formative research.* – 2022. – Vol. 6, № 3. – P. e30121. DOI: 10.2196/30121
7. *Lewy H.* Wearable technologies-future challenges for implementation in healthcare services // *Healthcare Technology Letters.* – 2015. – Vol. 2, № 1. – P. 2-5. DOI: 10.1049/hlt.2014.0104.
8. *Han S. et al.* Design of multi-wavelength optical sensor module for depth-dependent photoplethysmography // *Sensors.* – 2019. – Vol. 19, № 24. – P. 5441. DOI: 10.3390/s19245441.
9. *Volkov M. V. et al.* Video capillaroscopy clarifies mechanism of the photoplethysmographic waveform appearance // *Scientific reports.* – 2017. – Vol. 7, № 1. – P. 13298. DOI: 10.1038/s41598-017-13552-4

10. Кирилин М.Ю., Куракина Д.А., Перекатова В.В. и др. Монте-Карло моделирование сигналов фотоплетизмографии и пульсоксиметрии для разработки носимых устройств. – 2025, Оптика и спектроскопия, 2025, том 133, вып.12, стр 1310-1320, DOI: 10.61011/OS.2025.12.62506.46-25.
11. Kantrowitz AB, Ben-David K, Morris M, Wittels HL, Wishon MJ, McDonald SM, Renaghan EJ, Feigenbaum LA, Wittels SH. Pulse rate variability is not the same as heart rate variability: findings from a large, diverse clinical population study. *Front Physiol.* 2025;16:1630032. DOI: 10.3389/fphys.2025.1630032.
12. Abdou A., Krishnan S. Horizons in single-lead ECG analysis from devices to data // *Frontiers in Signal Processing.* – 2022. – Vol. 2. – P. 866047. DOI: 10.3389/frsip.2022.866047
13. Samol A., Bischof K., Luani B. et al. Recording of bipolar multichannel ECGs by a smartwatch: Modern ECG diagnostic 100 years after Einthoven // *Sensors.* – 2019. – Vol. 19, № 13. – P. 2894. DOI: 10.3390/s19132894
14. Samol A., Bischof K., Luani B. et al. Single-lead ECG recordings including Einthoven and Wilson leads by a smartwatch: A new era of patient directed early ECG differential diagnosis of cardiac diseases? // *Sensors.* – 2019. – Vol. 19, № 20. – P. 4377. DOI: 10.3390/s19204377
15. Bailey T. S. Clinical implications of accuracy measurements of continuous glucose sensors // *Diabetes Technol. Ther.* – 2017. – Vol. 19 (Suppl. 2). – P. S51–S54. DOI: 10.1089/dia.2017.0050
16. Volkova E., Perchik A., Pavlov K. et al. Multispectral sensor fusion in SmartWatch for in situ continuous monitoring of human skin hydration and body sweat loss // *Sci Rep.* – 2023. – Vol. 13. – P. 13371. DOI: 10.1038/s41598-023-40339-7.
17. Morales A., Barbosa M., Morás L. et al. Occupational Stress Monitoring Using Biomarkers and Smartwatches: A Systematic Review // *Sensors.* – 2022. – Vol. 22 – № 17. – P. 6633. DOI: 10.3390/s22176633.
18. Toru Erbay Ü., Parspur Ş.E., Arikan İ. et al. Are smart watches really smart? Comparison of blood oxygen saturation values measured by smart watch, pulse oximetry and arterial blood gases in patients with chronic obstructive pulmonary diseases // *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis.* – 2025. – Vol. 20. – P. 1457–1463. DOI: 10.2147/COPD.S500643.
19. *Electrophysiology T. F. E. S. C. N. A. S. P.* Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use // *Circulation.* – 1996. – Vol. 93. – № 5. – P. 1043-1065.
20. Fauzi M. A., Yang B., Blobel B. Comparative Analysis between Individual, Centralized, and Federated Learning for Smartwatch Based Stress Detection // *Journal of Personalized Medicine.* – 2022. – Vol. 12, № 10. – P. 1584. DOI: 10.3390/jpm12101584.
21. *Camm A. J. et al.* Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Task force of the European society of cardiology and the north American society of pacing and electrophysiology // *Circulation.* – 1996. – Vol. 93, № 5. – P. 1043–1065.
22. Chalmers J. A. et al. Anxiety disorders are associated with reduced heart rate variability: a meta-analysis // *Front Psychiatry.* – 2014. – Vol. 5. – P. 80. DOI: 10.3389/fpsy.2014.00080
23. Kapogianni N. A., Sideraki A., Anagnostopoulos C. N. Using Smartwatches in Stress Management, Mental Health, and Well-Being: A Systematic Review // *Algorithms.* – 2025. – Vol. 18, № 7. – P. 419. DOI: 10.3390/a18070419
24. Ding Y. et al. Integrated mental stress smartwatch based on sweat cortisol and HRV sensors // *Biosensors and Bioelectronics.* – 2024. – Vol. 265. – P. 116691. DOI: 10.1016/j.bios.2024.116691
25. Hellqvist H. et al. Estimation of aortic stiffness by finger photoplethysmography using enhanced pulse wave analysis and machine learning // *Frontiers in Cardiovascular Medicine.* – 2024. – Vol. 11. – P. 1350726. DOI: 10.3389/fcvm.2024.1350726
26. Chen W., Kobayashi T., Ichikawa S. et al. Continuous estimation of systolic blood pressure using the pulse arrival time and intermittent calibration // *Med. Biol. Eng. Comput.* – 2000. – Vol. 38. – P. 569–574. DOI: 10.1007/BF02345755.
27. Finnegan E., Davidson S., Harford M. et al. Pulse arrival time as a surrogate of blood pressure // *Scientific Reports.* – 2021. – Vol. 11. – P. 20694. DOI: 10.1038/s41598-021-01358-4.
28. Luyster F. S., Strollo P. J., Zee P. C., Walsh J. K. Sleep: A health imperative // *Sleep.* – 2012. – Vol. 35, № 6. – P. 727–734.
29. Kuwabara M., Harada K., Hishiki Y., Kario K. Validation of two watch-type wearable blood pressure monitors according to the ANSI/AAMI/ISO81060-2:2013 guidelines: Omron HEM-6410T-ZM and HEM-6410T-ZL // *J. Clin. Hypertens.* – 2019. – Vol. 21, №6. – P. 853–858. DOI: 10.1111/jch.13499.

30. Lee W. L., Danaee M., Abdullah A., Wong L. P. Is the blood pressure-enabled smartwatch ready to drive precision medicine? Supporting findings from a validation study // *Cardiol Res.* – 2023. – Vol. 14, № 6. – P. 437–445. DOI: 10.14740/cr1569.
31. Falter M., Scherrenberg M., Driesen K. et al. Smartwatch-Based Blood Pressure Measurement Demonstrates Insufficient Accuracy // *Frontiers in Cardiovascular Medicine.* – 2022. – Vol. 9. – P. 958212. DOI: 10.3389/fcvm.2022.958212.
32. Lehmann V. et al. Noninvasive hypoglycemia detection in people with diabetes using smartwatch data // *Diabetes Care.* – 2023. – Vol. 46. – № 5. – C. 993-997.
33. Nakazawa T. et al. Non-invasive blood glucose estimation method based on the phase delay between oxy-and deoxyhemoglobin using visible and near-infrared spectroscopy // *Journal of Biomedical Optics.* – 2024. – Vol. 29. – № 3. – C. 037001-037001.
34. Lu Z. et al. Biomolecule sensors based on organic electrochemical transistors // *npj Flexible Electronics.* – 2025. – Vol. 9. – № 1. – C. 9.
35. Fuller D., Colwell E., Low J. et al. Reliability and validity of commercially available wearable devices for measuring steps, energy expenditure, and heart rate: systematic review // *JMIR Mhealth Uhealth.* – 2020. – Vol. 8, № 9. – P. e18694. DOI: 10.2196/18694.
36. Köhler C., Bartschke A., Fürstenau D. et al. The value of smartwatches in the health care sector for monitoring, nudging, and predicting: viewpoint on 25 years of research // *J Med Internet Res.* – 2024. – Vol. 26. – P. e58936. DOI: 10.2196/58936.
37. Mauldin T. R. et al. SmartFall: A smartwatch-based fall detection system using deep learning // *Sensors.* – 2018. – Vol. 18. – № 10. – C. 3363.36
38. McAfee A. et al. AlcoWear: Detecting blood alcohol levels from wearables // 2017 IEEE SmartWorld, Ubiquitous Intelligence & Computing, Advanced & Trusted Computed, Scalable Computing & Communications, Cloud & Big Data Computing, Internet of People and Smart City Innovation. – IEEE, 2017. – P. 1-8.
39. Chen X., Xiao Y., Tang Y. et al. ApneaDetector: Detecting Sleep Apnea with Smartwatches // *Proc. ACM Interact. Mob. Wearable Ubiquitous Technol.* – 2021. – Vol. 5, № 2. – Art. no. 66. DOI: 10.1145/3463514.
40. Chen Y., Wang W., Guo Y. et al. A single-center validation of the accuracy of a photoplethysmography-based smartwatch for screening obstructive sleep apnea // *Nat Sci Sleep.* – 2021. – Vol. 13. – P. 1533–1544. DOI: 10.2147/NSS.S323286.
41. Mehrbadi M. A., Azimi I., Sarhaddi F. et al. Sleep tracking of a commercially available smart ring and smartwatch against medical-grade actigraphy in everyday settings: Instrument validation study // *JMIR MHealth UHealth.* – 2020. – Vol. 8, № 11. – P. e20465. DOI: 10.2196/20465.
42. Fan J. et al. Smartwatch-detected arrhythmias in patients after transcatheter aortic valve replacement (TAVR): analysis of the SMART TAVR trial // *Journal of Medical Internet Research.* – 2024. – T. 26. – C. e41843.
43. Chakrabarti S., Biswas N., Jones L. D., Ashili S. Role of smartwatches in diabetes patient care // *Arch Diab Obes.* – 2022. – Vol. 4, № 2. – P. 431–432. DOI: 10.32474/ADO.2022.04.000185.
44. Diez Alvarez S. et al. The role of smartwatch technology in the provision of care for type 1 or 2 diabetes mellitus or gestational diabetes: systematic review // *JMIR mHealth and uHealth.* – 2024. – Vol. 12. – C. e54826. DOI: 10.2196/54826
45. Ferguson T., Olds T., Curtis R. et al. Effectiveness of wearable activity trackers to increase physical activity and improve health: a systematic review of systematic reviews and meta-analyses // *Lancet Digit Health.* – 2022. – Vol. 4. 8. – P. e615–e626. DOI: 10.1016/s2589-7500(22)00111-x.
46. Yen H.-Y., Huang W.-H. The efficacy of commercial smartwatches with a blood pressure-monitoring feature: A pilot randomized controlled trial // *J Nurs Scholarship.* – 2022. – Vol. 54, № 3. – P. 324–331. DOI: 10.1111/jnu.12740.
47. Chandrasekaran R., Kathula V., Moustakas E. Patterns of use and key predictors for the use of wearable health care devices by US adults: insights from a national survey // *J Med Internet Res.* – 2020. – Vol. 22, № 10. – P. e22443. DOI: 10.2196/22443.
48. Ching K. W., Singh M. M. Wearable technology devices security and privacy vulnerability analysis // *Int J Netw Secur Appl.* – 2016. – Vol. 8, № 3. – P. 19–30. DOI: 10.5121/ijnsa.2016.8302.
49. Zhang D., Wang W., Li F. Association between resting heart rate and coronary artery disease, stroke, sudden death and noncardiovascular diseases: a meta-analysis // *Can. Med. Assoc. J.* – 2016. – Vol. 188, № 15. – P. E384–E392. DOI: 10.1503/cmaj.160050

50. Fox K. et al. Heart rate as a prognostic risk factor in patients with coronary artery disease and left-ventricular systolic dysfunction (BEAUTIFUL): a subgroup analysis of a randomised controlled trial // *Lancet*. – 2008. – Vol. 372, № 9641. – P. 817–821. DOI: 10.1016/S0140-6736(08)61171-X
51. Singh N. et al. Heart rate variability: an old metric with new meaning in the era of using mHealth technologies for Health and Exercise Training Guidance. Part Two: Prognosis and Training // *Arrhythmia Electrophysiol. Rev.* – 2018. – Vol. 7, № 4. – P. 247–255. DOI: 10.15420/aer.2018.30.2
52. Abbasi J. Using Smartwatch Data to Detect COVID-19 Cases Early // *JAMA*. – 2020. – Vol. 324, № 22. – P. 2245. DOI: 10.1001/jama.2020.23696.
53. Elbey M. A. et al. Diagnostic Utility of Smartwatch Technology for Atrial Fibrillation Detection—A Systematic Analysis // *Journal of Atrial Fibrillation*. – 2021. – Vol. 13. – № 6. – С. 20200446.
54. Moshawrab M., Adda M., Bouzouane A. et al. Smart wearables for the detection of cardiovascular diseases: a systematic literature review // *Sensors*. – 2023. – Vol. 23, № 2. – P. 828. DOI: 10.3390/S23020828.
55. Mizuno A., Changolkar S., Patel M. S. Wearable devices to monitor and reduce the risk of cardiovascular disease: evidence and opportunities // *Annu Rev Med.* – 2021. – Vol. 72. – P. 459–471. DOI: 10.1146/annurev-med-050919-031534
56. Perez M. V. et al. Large-scale assessment of a smartwatch to identify atrial fibrillation // *N. Engl. J. Med.* – 2019. – Vol. 381, № 20. – P. 1909–1917. DOI: 10.1056/NEJMoa1901183
57. Tison G. H. et al. Passive detection of atrial fibrillation using a commercially available smartwatch // *JAMA Cardiol.* – 2018. – Vol. 3, № 5. – P. 409–416. DOI: 10.1001/jamacardio.2018.0136
58. Fan Y. Y. et al. Diagnostic performance of a smart device with photoplethysmography technology for atrial fibrillation detection: pilot study (Pre-mAFA II registry) // *JMIR Mhealth Uhealth*. – 2019. – Vol. 7, № 6. – P. e11437. DOI: 10.2196/11437
59. Гома Т. В. Телеметрический контроль электрокадиограммы у пациента после радиочастотной абляции персистирующей фибрилляции предсердий в сочетании с операцией коронарного шунтирования // *Байкальский медицинский журнал*. – 2025. – Vol. 4, № 1. – С. 18-28. DOI: 10.57256/2949-0715-2025-4-1-18-28
60. Nazarian S. et al. Diagnostic accuracy of smartwatches for the detection of cardiac arrhythmia: systematic review and meta-analysis // *Journal of medical Internet research*. – 2021. – Vol. 23, № 8. – P. e28974. DOI: 10.2196/28974
61. Barrera N. et al. Accuracy of Smartwatches in the Detection of Atrial Fibrillation: A Systematic Review and Diagnostic Meta-Analysis // *JACC: Advances*. – 2025. – Vol. 4, № 4. – P. 102133. DOI: 10.1016/j.jacadv.2025.102133
62. Rosman L., Gehi A., Lampert R. When smartwatches contribute to health anxiety in patients with atrial fibrillation // *Cardiovasc Digit Health J.* – 2020. – Vol. 1, № 1. – P. 9–10. DOI: 10.1016/j.cvdhj.2020.06.004.
63. Mattison G. et al. A step in the right direction: the potential role of smartwatches in supporting chronic disease prevention in health care // *Med J Aust.* – 2023. – Vol. 218, № 9. – P. 391–393. DOI: 10.5694/mja2.51920
64. Miller D. J., Sargent C., Roach G. D. A Validation of Six Wearable Devices for Estimating Sleep, Heart Rate and Heart Rate Variability in Healthy Adults // *Sensors*. – 2022. – Vol. 22, № 16. – P. 6317. DOI: 10.3390/s22166317.
65. Асеева И. А. Искусственный интеллект и большие данные: этические проблемы практического использования. (аналитический обзор) // *Социальные и гуманитарные науки. Отечественная и зарубежная литература. Сер. 8, Науковедение: Реферативный журнал*. – 2022. – № 2. – С. 89-98.
66. Lu J. K., Wang W., Goh J., Maier A. B. Selecting wearable devices to measure cardiovascular functions in community-dwelling adults: application of a practical guide for device selection // *Mayo Clin Proc Digit Health*. – 2025. – Vol. 3, № 2. – P. 100202. DOI: 10.1016/j.mcpdig.2025.100202.
67. Bayoumy K., Gaber M., Elshafeey A. et al. Smart wearable devices in cardiovascular care: where we are and how to move forward // *Nat Rev Cardiol*. – 2021. – Vol. 18. – P. 581–599. DOI: 10.1038/s41569-021-00522-7.

Благодарности:

Авторы благодарят рецензентов статьи, чьи замечания помогли существенно улучшить качество обзора.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема: 124012300246-9).

Для цитирования:

Мизева И.А., Кулеш А.А. Smart-часы для медицины. Обзор // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. – 2026. – № 1. – С. 5–18. <https://doi.org/10.7242/2658-705X/2026.1.1>

Сведения об авторах:

Мизева Ирина Андреевна, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории турбулентности, Институт механики сплошных сред УрО РАН – филиал Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН («ИМСС УрО РАН»), 614013, г. Пермь, ул. Академика Королёва, д. 1; e-mail: mizeva@icmm.ru, ORCID: 0000-0002-0645-4850

Кулеш Алексей Александрович, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой интегративной медицины, Пермский государственный медицинский университет имени академика Е. А. Вагнера («ПГМУ»), 614000, г. Пермь, ул. Петропавловская, д. 26; e-mail: aleksey.kulesh@gmail.com, ORCID: 0000-0001-6061-8118

SMART-WATCHES FOR MEDICINE. REVIEW

Mizeva I.A.¹, Kulesh A.A.²

¹*Institute of Continuous Media Mechanics UB RAS, Perm*

²*Perm state medical university, Perm*

Modern wearable devices have evolved from simple pedometers to complex multi-sensor systems providing continuous and non-invasive monitoring of a wide range of physiological parameters. This transition is transforming consumer gadgets into tools for preventive medicine and biomedical research. This analytical review focuses on the physical principles underlying the recording of physiological parameters and their potential application for health monitoring. The key technology of the smart-watches is the method of optical photoplethysmography which allows for the recording the modulation of reflected scattered light flux by pulsating blood flow. Smart-watch functionality, recently expanded to include electrocardiogram measurements, offers additional opportunities for medical application of these gadgets. The most anticipated features include arterial blood pressure and biochemical monitoring via smart-watches. The second part of the review provides a detailed analysis of the physiological characteristics that can be derived from the physical signals recorded by smart-watches. The third part outlines medical applications, and the fourth describes the diagnostic value of the recorded physiological parameters, as well as the possibility of potential using of the obtained data in medical practice.

Keywords: *wearable electronics, smart watches, photoplethysmography*

Поступила в редакцию: 19.12.2025

Принята к публикации: 03.04.2026