

# Ориентированные на использование пациентами телемедицинские решения для скрининга ЭКГ

**А. В. Никольский**, к.м.н., врач сердечно-сосудистый хирург<sup>1</sup>

**В. М. Леванов**, д.м.н., доцент, профессор кафедры социальной медицины и организации здравоохранения<sup>2</sup>

**Д. В. Дроздов**, к.м.н., с.н.с. лаборатории медицинского приборостроения<sup>3</sup>

**А. А. Козлов**, врач анестезиолог-реаниматолог<sup>4</sup>

<sup>1</sup>ГБУЗ НО «Городская клиническая больница № 5 Нижегородского района Нижнего Новгорода»

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России, г. Нижний Новгород,

<sup>3</sup>Лаборатория медицинского приборостроения, Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), г. Москва,

<sup>4</sup>ГБУЗ НО «Нижегородская областная клиническая больница им. Н. А. Семашко», г. Н. Новгород.

## *Patients' selfoperated telemedical solutions for ecg screening*

A. V. Nikolsky, V. M. Levanov, D. V. Drozdov, A. A. Kozlov

City Clinical Hospital № 5 Nizhny Novgorod region of Nizhny Novgorod; Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod; Moscow Institute of Physics and Technology (National Research University), Moscow; Nizhny Novgorod Regional Clinical Hospital N. A. Semashko, Nizhny Novgorod; Russia

### Резюме

Сегодня целый ряд производителей предлагают пациентам устройства для самостоятельной регистрации ЭКГ и других параметров сердечно-сосудистой системы (ССС) и анализа сигнала с помощью телемедицинских технологий. Это дает возможность создавать медицинские сервисы, основанные на мобильном дистанционном мониторинге. Цель статьи: провести обзор имеющихся телемедицинских решений для индивидуальной регистрации ЭКГ, соответствующих мобильных приложений и серверного программного обеспечения для анализа данных и оценить возможность их применения в службах функциональной диагностики и кардиологии. В статье освещена история развития методов телемедицинского анализа ЭКГ и проведен сравнительный обзор современных решений для медицинской кардиорегистрации. Выводы. 1. Индивидуальный телемониторинг ЭКГ — перспективная технология, которую можно сравнить по диагностическим возможностям оценки нарушений ритма сердца с холтеровским полифункциональным мониторингом посредством имплантируемого петлевого регистратора ЭКГ. Системы индивидуального телемониторинга ЭКГ стали активно развиваться, когда произошла автоматизация анализа ЭКГ и на стороне сервера, и в мобильном приложении пациента. Для анализа используются технологии искусственного интеллекта и больших данных (bigdata). Они также имеют большие перспективы. 2. Благодаря телемониторингу ЭКГ пациент и медицинская служба взаимодействуют быстрее и эффективнее.

Ключевые слова: телемониторинг ЭКГ, регистраторы ЭКГ, автоматический анализ ЭКГ, технологии искусственного интеллекта для расшифровки ЭКГ, функциональная диагностика, персонализированная кардиология.

### Summary

Currently, a number of manufacturers offer devices for self-registration of ECG and other parameters of the cardiovascular system (CVS) by patients and signal analysis using telemedicine technologies. This makes it possible to create medical services based on mobile remote monitoring. The purpose of the article: a review of existing telemedicine solutions for individual ECG recording and related mobile applications and server-side data analysis software for assessing applicability in functional diagnostics and cardiology services. The article highlights the history of the development of methods for telemedicine analysis of ECG, provides a comparative review of modern solutions for medical cardioregistration. Findings. 1. Individual ECG telemonitoring is a promising technology that is comparable in terms of diagnostic capabilities to assess cardiac rhythm disturbances with Holter ECG monitoring and multifunctional monitoring implanted with ECG loopback recorders. The main vector of development of individual ECG telemonitoring systems is related to the automation of ECG analysis both on the server side and in the patient's mobile application, for this the application of artificial intelligence and big data (bigdata) is promising. 2. Telecardiogram of an electrocardiogram promotes closer contact of the patient and medical service at the minimum expenses of time for such interaction.

Key words: ECG telemonitoring, ECG recorders, automatic ECG analysis, artificial intelligence technologies for ECG decoding, functional diagnostics, personalized cardiology, bigdata.

### Введение

Сегодня целый ряд производителей предлагают пациентам устройства для самостоятельной регистрации ЭКГ и других параметров сердечно-сосудистой системы (ССС) и анализа сигнала с помощью телемедицинских (ТМ) технологий. Это позволяет создавать медицинские сервисы, основанные на мобильном дистанционном мониторинге состояния ССС пациентов [1]. Медицинские организации могут создавать информационные системы «па-

циент — сервисный центр — врач — пациент» с принципиально новым уровнем диагностики и оптимизации терапии в кардиологии [1, 2].

За последние годы это направление получило правовую основу в виде нескольких законодательных актов. Федеральный закон от 29.07.2017 г. № 242-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам применения информационных технологий в сфере охраны здоровья».

Этот закон включил дистанционное медицинское наблюдение за состоянием здоровья пациента в ТМ технологии. Приказ Минздрава России от 30.11.2017 г. № 965н «Об утверждении Порядка организации и оказания медицинской помощи с применением телемедицинских технологий» определил требования к дистанционной передаче данных о состоянии здоровья пациента в автоматическом режиме при использовании медицинских изделий, имеющих функции передачи данных.

ГОСТ Р 57757–2017 — «Дистанционная оценка параметров функций, жизненно важных для жизнедеятельности человека. Общие требования» детализирует требования к участникам, приборам и инструментам на этапах фиксации, передачи и оценки параметров жизненно важных функций [3].

**Цель статьи:** провести обзор существующих ТМ решений для индивидуальной регистрации ЭКГ и соответствующих мобильных приложений и серверного программного обеспечения для анализа данных и оценить возможность их применения в службах функциональной диагностики и кардиологии.

### Ранние системы дистанционной индивидуальной передачи ЭКГ

В конце 1970-х годов профессор Э. Ш. Халфен предложил концепцию «аутотрансляции ЭКГ», которая была реализована в виде комплекта выпускавшейся аппаратуры для регистрации 4 отведений ЭКГ, частотной модуляции сигнала и передачи на приемную станцию, совместимую с выпускавшейся в то время серийно системой «Волна» [4]. В отличие от системы «Волна», которая массово применялась в СССР для дистанционной передачи и консультирования «обычных» ЭКГ [5], аутотрансляция ЭКГ не получила широкого распространения.

Значительное внимание [5] в производстве медтехники для самостоятельной диагностики уделялось тому, чтобы сделать проще процедуру наложения электродов и передаче сигнала по обычным телефонам. Система в целом позиционировалась как средство обеспечения амбулаторной ЭКГ-верификации состояния пациента, находящегося под наблюдением кардиолога (схема работы системы представлена на рис. 1А).

Аналогичные системы выпускались и продолжают применяться в ряде стран. К ним относятся известные системы Aerotel (Израиль), PaceART (США) и т. п.

*Свойства таких систем:*

- упрощенный подход к регистрации 12 общепринятых отведений или редуцированного набора отведений (от конечностей и 1–2 грудных);
- максимально простой способ наложения электродов, которые часто

располагаются на корпусе регистратора (для записи достаточно приложить регистратор к телу);

- использование частотной модуляции сигнала и акустической связи регистратора с микрофоном стационарного или мобильного телефонного аппарата;
- для получения обратной связи по результатам приема ЭКГ применяется телефонная связь;
- консультация переданной ЭКГ, как правило, осуществляется в режиме on-line и требует участия оператора приемного центра, который должен иметь соответствующие навыки работы с оборудованием.

По данным [6, 7] индивидуальный транстефонный мониторинг ЭКГ получил широкое распространение за рубежом для регулярного контроля работы имплантированных электрокардиостимуляторов (ЭКС). Ожидания, связанные с осуществлением контроля антиаритмической и антиангинальной терапии при помощи таких систем, не оправдались.

Недостаток таких систем — число одновременно наблюдаемых пациентов. Оно определяется приемным центром и телефонными сетями — средой передачи данных.

Несмотря на очевидное преимущество телефона — одновременная возможность осуществления передачи ЭКГ и диалога с пользователем системы — есть существенное ограничение числа одновременно обрабатываемых звонков. Это не позволяет значительно увеличивать количество пациентов, наблюдаемых одним центром. Даже использование многоканальных входных телефонных линий, автоматической обработки вызовов, режимов очереди звонков и др. современных сервисов телефонных сетей не позволяют *одновременно* реагировать на звонки от нескольких пациентов.

Несмотря на различные средства автоматизации анализа ЭКГ и сервис баз данных в программном обеспечении приемного центра в известных коммерческих системах, анализ ЭКГ преимущественно проводит вручную квалифицированный врач-специалист, а средства автоматизации анализа ЭКГ решают, в основном, вспомогательные

задачи (например, расчет ЧСС и выявление грубых нарушений ритма). Время консультации одного пациента врачом определяет пропускную способность приемного центра в целом.

### Современные индивидуальные системы телеЭКГ

Развитие цифровых технологий передачи различной информации, в том числе ЭКГ, и достаточно интеллектуальных средств мобильной связи (смартфонов, коммуникаторов, планшетов [см. примечание к таблице]) послужило толчком для эволюции систем индивидуальной телеЭКГ. Сегодня во многих системах телеЭКГ задачи первичной обработки сигнала и передачи на сервер выполняют смартфоны [7, 8, 9].

Современные индивидуальные цифровые кардиорегистраторы представлены многоканальными и одноканальными моделями. Краткий обзор некоторых популярных систем представлен в Таблице. Большинство из них реализуют трехступенчатую схему работы (рис. 1Б):

1. Регистрация ЭКГ при помощи электродов за определенный отрезок времени (как правило, от 10 с до часов). Дисплей смартфона используется для визуализации ЭКГ. Для связи между регистратором и смартфоном чаще всего используется беспроводной интерфейс (обычно Bluetooth).

2. Загрузка зарегистрированной ЭКГ программой смартфона (мобильным приложением) на специальный сервер через мобильный интернет или беспроводной доступ к интернету через Wi-Fi. Мобильное приложение смартфона в некоторых случаях производит первичную автоматическую обработку ЭКГ, а в отдельных системах — формирует массив сопряженных клинических данных (комментарии пациента, ответы на структурированные опросники и т. п.).

3. Прием информации от мобильного приложения программным обеспечением сервера, предварительная обработка и автоматический анализ ЭКГ с формированием доврачебного (скринингового) заключения. Доврачебное автоматическое заключение может храниться в базе данных или формироваться каждый раз заново по запросу пользователя.

Некоторые регистраторы оснащают дополнительными каналами

Таблица  
Основные характеристики некоторых систем индивидуальной телеЭКГ\*

Торговая марка	Производитель	Страна	Число каналов ЭКГ	Дополнительные каналы	Коммуникационное устройство**	Протокол связи
Кардиометр МТ	Микард-лана	РФ	12	Нет	Смартфон	Bluetooth
Астрокард-телеметрия	ЗАО «Медитек»	РФ	3	нет	Базовая станция (роутер)	WiFi
Миокард-3	НИМП ЕСН	РФ	1–12	нет	Смартфон	Bluetooth
Кардиотехника 07–3	ЗАО «Инкарт»	РФ	3	нет	Смартфон	Проводной канал
Кардиофлешка	Нордавинд	РФ	2 канала 6 отведений	Нет	Смартфон	USB
Ritmer	ООО «Медицина будущего»	РФ	1–2	Акселерометр	Смартфон	Bluetooth
Alivacor	AliveTechnologies	США	1	нет	Смартфон	Проводное
HeartView	Aerotel	Израиль	2, 8, 12***	Нет	Отдельное устройство	Сотовые сети
Firstbeat-Bodyguard	FB NEO Oy/Ltd	Финляндия	1	Нет	Базовая станция (роутер)	Wi-Fi
Vitaphone	Vitaphone	Германия	1,3	Нет	Интеграция в смартфон	Нет
PolarElectro	Polar	Финляндия	1,2	Акселерометр	Смартфон	Bluetooth

Примечания. \* — по данным печатных проспектов и электронным ресурсам производителей; \*\* — для целей статьи различия данных устройств не принципиальны, поэтому далее будет использоваться наиболее общий и чаще применяемый термин «смартфон»; \*\*\* — в зависимости от модели;

регистрации сигналов: фотоплетизмографом, акселерометром (регистрация физической активности и положения тела в пространстве) и др.

Доступ к накопленным на сервере данным происходит через специализированное программное обеспечение или веб-браузер. В обоих случаях обеспечивается разграничение прав пользователей (пациент, врач и т. п.) и отличается интерфейс различных категорий пользователей.

Некоторые модели кардиорегистраторов передают данные через мобильный интернет напрямую, без использования смартфона. Представляется, что это решение оптимально для тех пользователей, кто испытывает сложности в использовании современных средств связи.

Современные цифровые индивидуальные телерегистраторы ЭКГ унаследовали от систем предыдущего поколения миниатюрность и простоту фиксации электродов пользователем-пациентом, но расширили функционал за счет использования возможностей автоматической обработки ЭКГ как на стороне мобильного приложения, так и на стороне сервера. Но обработка ЭКГ в таких системах ограничена анализом ритма и оценкой параметров variability сердечного ритма (BCP), т. к. число отведений мало, а точность топического расположения электродов при самостоятельном наложении вызывает сомнения.

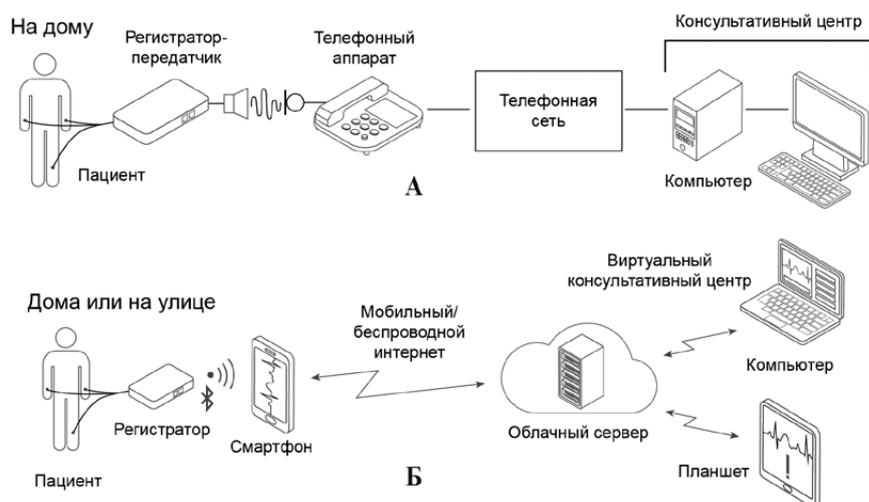


Рисунок 1. Схемы аппаратных решений для аутотрасляции ЭКГ по телефону (А) и современной системы индивидуальной телеЭКГ (Б).

Используются как хорошо известные показатели BCP [10], так и относительно новые [11], например, LnRMSSD (натуральный логарифм среднеквадратичного отклонения последовательных разностей RR интервалов, норма от 2,5 до 4,5), более удобный для представления и интерпретации. Используются и нелинейные методы анализа: оценка энтропии последовательности RR-интервалов (ApEn — оценочная энтропия, SampEn — выборочная энтропия, характеристики графика Пуанкаре и др.).

Возвращение на новом уровне к оценке BCP обусловлено потребностью интегральной оценки состояния пациента по минимальному числу отведений ЭКГ без строгих требований к то-

пике наложения электродов. Результаты анализа можно представить в виде «светофора», проанализировать в динамике, а заключение легко формируется автоматически в доступной для пациента форме. Это увеличивает количество пациентов под наблюдением одного центра без повышения временных затрат персонала центра и лечащих врачей.

### Соотношение индивидуальных телеЭКГ систем других методов

Индивидуальные многоканальные регистраторы ЭКГ по своим возможностям приближаются к традиционной ЭКГ покоя или к холтеровским системам (в зависимости от продолжительности записи и числа регистрируемых отведений) [12].

Одноканальные регистраторы, особенно те, которые крепятся на поверхности грудной клетки, приближаются по диагностическим возможностям к имплантируемым петлевым кардиорегистраторам (например, Medtronic Reveal™ XT, США). По сравнению с последними неинвазивные устройства имеют ряд преимуществ, но не гарантируют непрерывности мониторинга ЭКГ, в том числе и вследствие случайных или преднамеренных действий пациента. Решающее преимущество — низкая цена самого устройства и возможность оказания качественной медицинской услуги без проведения инвазивной медицинской процедуры.

Современные регистраторы непрерывно функционируют в рабочем режиме нескольких недель, что соответствует необходимой продолжительности исследования. Показания к использованию таких регистраторов — установление причины синкопальных состояний и дифференциация нарушений сердечного ритма и проводимости.

#### *Преимущества индивидуального телемониторинга ЭКГ для пациента:*

- Нахождение под ЭКГ контролем в домашней обстановке;
- Практически неограниченная продолжительность мониторинга;
- Быстрота и наглядность получаемых результатов исследований;
- Возможность связи с центром мониторинга из любой точки, где имеется мобильная передача данных;
- Дополнительные сервисы в ряде систем: монитор физической активности, напоминания о приеме медикаментов и т. п.
- Преимущества индивидуального телемониторинга ЭКГ для медицинской организации:
- Индивидуализированная медицинская помощь значительному числу пациентов без существенного увеличения затрат на персонал;
- Своевременное выявление ситуаций, требующих реагирования со стороны медицинского персонала;

- Создание психологически комфортной среды для пациентов;
- Уменьшение издержек, связанных с госпитализацией пациентов.

Дальнейшее развитие систем индивидуального телемониторинга ЭКГ, скорее всего, пойдет по пути интеллектуализации обработки информации серверным ПО. Самообучающиеся алгоритмы и технологии искусственного интеллекта уже сейчас существенно лучше распознают ситуации, требующие повышенного внимания медицинского персонала. Например, значительное или постепенное снижение показателей ВСП, даже при сохранении самих показателей в пределах нормы, является поводом для оперативного уточнения причин этих изменений. Оценка монотонности изменений показателей возможна при накоплении значительных объемов данных. Перспективен также совместный анализ ЭКГ, иных биосигналов и других данных (например, сведений о метеоусловиях в месте пребывания пациента).

#### **Выводы**

1. Индивидуальный телемониторинг ЭКГ — перспективная технология, реализованная в различных моделях приборов.
2. По диагностическим возможностям оценки нарушений ритма сердца индивидуальный телемониторинг ЭКГ сравним с холтеровским мониторингом ЭКГ и полифункциональным мониторингом имплантируемым петлевым регистратором ЭКГ. Основные достоинства метода: простота выполнения для пациента, нахождение пациента в привычных условиях, неинвазивность, практически неограниченная продолжительность исследования.
3. Основной вектор развития систем индивидуального телемониторинга ЭКГ связан с автоматизацией анализа ЭКГ как на стороне сервера, так и в мобильном приложении пациента с целью предварительного вычленения из общего потока ЭКГ тех, которые представляют

наибольший интерес с точки зрения оценки динамики клинического состояния пациента. Для этого перспективно применение технологий искусственного интеллекта и больших данных (big data).

4. Индивидуальный телемониторинг ЭКГ способствует более тесному контакту пациента и медицинской службы при минимальных затратах времени на такое взаимодействие.

**Информация о конфликте интересов.** Конфликт интересов отсутствует.  
**Информация о спонсорстве.** Данная работа не финансировалась.

#### **Список литературы**

1. Организационные и технологические аспекты модели дифференцированного внегоспитального кардиоскрининга / А. В. Никольский, Г. В. Осипов, В. М. Леванов, А. А. Козлов // Сборник научных трудов «Профилактическая медицина как научно-практическая основа сохранения и укрепления здоровья» — 2018. — № 5. — С. 283–289.
2. Владимирский А. В. История телемедицины. — LAP Lambert Academic Publishing, 2014. — 407 с.
3. Нормативное обеспечение телемедицины: 20 лет развития / В. М. Леванов, О. В. Переведенцев, Д. В. Сергеев, А. В. Никольский // Журнал телемедицины и электронного здравоохранения, 2017. № 3 (5). С. 160–169.
4. Халфен Э. Ш. Основные направления использования математики и вычислительной техники в кардиологии // Кардиология. — 1977. — Т. 17, № 4. — С. 9–25.
5. Чирейкин А. В., Довгалецкий П. Я. Дистанционные диагностические кардиологические центры. — СПб.: [б. и.], 1995. — 232 с.
6. Treskes R. W. et al. Mobile health in cardiology: a review of currently available medical apps and equipment for remote monitoring // Expert review of medical devices. — 2016. — Vol. 13. — No. 9. — P. 823–830.
7. Владимирский А. В. Телемедицина: Curatio Sine Tempora et Distantia. М., 2016. 663 с.
8. Карпов О. Э., Свешников А. В., Воробьев А. С. Новые методы мониторинга жизненно важных функций организма в эпоху телемедицины // Менеджер здравоохранения, 2016. № 8. С. 54–66.
9. Макаров Л. М. Исторические этапы развития холтеровского мониторинга ЭКГ // Медицинский алфавит № 14 (311), 2017. Современная функциональная диагностика. Том № 1. С. 56–59.
10. Макаров Л. М. и др. Национальные российские рекомендации по применению методики холтеровского мониторинга в клинической практике // Российский кардиологический журнал. — 2014. — № 2 (106).
11. Thayer J. F., Ahs F., Fredrikson M., et al. A meta-analysis of heart rate variability and neuroimaging studies: Implications for heart rate variability as a marker of stress and health. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 36, 747–756. — doi:10.1016/j.neubiorev.2011.11.009
12. Явелов И. С. Непрерывное мониторирование ЭКГ: что говорят клинические рекомендации // Медицинский совет — 2017. — № 7. — С. 84–88.

**Для цитирования.** Никольский А. В., Леванов В. М., Дроздов Д. В., Козлов А. А. Ориентированные на использование пациентами телемедицинские решения для скрининга ЭКГ // Медицинский алфавит. Серия «Современная функциональная диагностика». — 2019. — Т. 2. — 12 (387). — С. 25–28.

