

## Современные системы экспресс-оценки состояния сердечно-сосудистой системы человека на основе анализа электрокардиограммы

Подольский М. Д.<sup>1</sup>, Строков А. А.<sup>2</sup>, Кузнецов В. И.<sup>1</sup>, Шаповалов В. В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ООО “Кардио-патруль”. Санкт-Петербург; <sup>2</sup>ФГАОУ ВО “Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет “ЛЭТИ” им. В. И. Ульянова “Ленина”. Санкт-Петербург, Россия

Представлен аналитический обзор современной научной литературы по теме — оценка состояния сердечно-сосудистой системы человека на основе анализа электрокардиограммы (ЭКГ). В амбулаторных условиях используют типичные мониторы для снятия ЭКГ по Холтеру, портативные электрокардиографы, называемые также регистраторами событий, петлевые регистраторы и модифицированные на их основе телеметрические решения с длительностью регистрации от одного до двенадцати каналов ЭКГ в течение от 1 сут. до нескольких лет для имплантируемых сердечных мониторов. Концептуально предлагается новый способ автономной автоматической обработки ЭКГ на борту устройства со световой индикацией в режиме реального времени о состоянии основных показате-

лей сердечно-сосудистой системы пользователя по принципу “светофора”. Экспресс-оценка может подразумевать длительность процедуры от 2 до 5 мин.

**Ключевые слова:** электрокардиограмма, экспресс-диагностика, телемедицина, холтеровское мониторирование, амбулаторное.

Кардиоваскулярная терапия и профилактика, 2016; 15(5): 92–96  
<http://dx.doi.org/10.15829/1728-8800-2016-5-92-96>

Поступила 09/09-2016  
Принята к публикации 22/09-2016

### Modern ECG-based systems for cardiovascular functioning express-evaluation

Podolsky M. D.<sup>1</sup>, Strokov A. A.<sup>2</sup>, Kuznetsov V. I.<sup>1</sup>, Shapovalov V. V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>CardioPatrol LLC. Saint-Petersburg; <sup>2</sup>Saint-Petersburg Electrotechnical University “LETI”. Saint-Petersburg, Russia

An analytical review is presented on recent data related to the assessment of cardiovascular system condition evaluation in humans, based on the analysis of ECG. In outpatient circumstances, usually the typical monitors of Holter ECG are in use, so called events registrators, loop registrators and modified telemetric solutions with duration of 1-12 ECG leads recording from 24 hours to several years, for the implantable cardiac monitors. Conceptually, the new approach is presented for autonomous ECG processing onboard of the device with light indication real-time of

the main cardiovascular functioning parameters, similar to traffic light indication. Express evaluation presumes the duration of procedure from 2 to 5 minutes.

**Key words:** electrocardiogram, express-diagnostics, telemedicine, Holter monitoring, outpatient.

Cardiovascular Therapy and Prevention, 2016; 15(5): 92–96  
<http://dx.doi.org/10.15829/1728-8800-2016-5-92-96>

ССС — сердечно-сосудистая система, ЭКГ — электрокардиограмма.

### Введение

Во всем мире заболевания сердечно-сосудистой системы (ССС) человека до сих пор являются главной причиной смертности и инвалидности населения [1]. В последние два десятилетия отчетливо наблюдается тенденция по увеличению частоты и тяжести этих заболеваний, которые все чаще встречаются в молодом возрасте. Влияние оказывает сложная демографическая ситуация, когда количество граждан пожилого возраста, требующих значительного внимания со стороны здравоохранения, постоянно увеличивается [2].

Географические особенности стран, занимающих обширные территории, с неравномерной плотностью населения, таких как Россия или Канада, иногда не позволяют обеспечить квалифицированную специализированную медицинскую помощь [3]. К отдаленным районам, где часто невозможно обеспечить достаточный уровень медицинского обслуживания, можно отнести большинство сельских населенных пунктов, несмотря на сохранившиеся амбулатории семейной медицины или фельдшерско-акушерские пункты [4]. Распространены случаи, когда медицинские

\*Автор, ответственный за переписку (Corresponding author):

Тел.: +7 (921) 881-53-37

e-mail: mail@s3f.ru, svv@inprosys.ru

[Подольский М. Д. — н.с., ведущий программист, Строков А. А. — аспирант кафедры биотехнических систем, Кузнецов В. И. — системный аналитик, генеральный директор, Шаповалов В. В. — д.т.н., профессор кафедры биотехнических систем].

учреждения имеют дефицит в штатном составе врачей — специалистов в области сердечно-сосудистых заболеваний [5].

Таким образом, проблема доступной и оперативной диагностики состояния ССС человека является актуальной и подлежит решению.

Целью настоящей работы является аналитический обзор современной научной литературы по тематике оценки состояния ССС на основе анализа электрокардиограммы (ЭКГ). Акцент на исследовании ЭКГ обусловлен ее признанной эффективностью в диагностике широкого спектра сердечно-сосудистых нарушений на основе анализа аритмий [6]. Для обсуждения предложен новый взгляд на способы и условия диагностики — собственное разрабатываемое решение авторов в предметной области.

#### **Современное состояние**

Оценка ССС, начинающаяся с анамнеза пациента и медицинского осмотра, должна осуществляться с наиболее простого, наименее инвазивного, безопасного, недорогого, но в то же время надежного и имеющего диагностическую ценность исследования. Такие исследования классифицируются, главным образом, по применению — клиническое или амбулаторное, по способу выполнения: инвазивные или неинвазивные процедуры и по длительности использования — от нескольких сек до мес. и даже лет. Отметим, что под экспресс-оценкой состояния ССС человека следует понимать такую, когда регистрация параметров выполняется от 2 до 5 мин [7].

#### **Клиническое применение**

В настоящее время определение функциональных нарушений ССС человека в клинических условиях происходит в основном с помощью стационарного оборудования для регистрации 12-канальной ЭКГ, которое полнофункционально работает совместно с электронно-вычислительными машинами.

В клинической практике используют обычные контактные многоразовые ЭКГ электроды-клипсы вместе с грудными электродами-присосками с винтом и зажимом. Такие электроды способны обеспечить регистрацию высокоточного сигнала с помощью специального геля или адгезивной пасты с высокой электропроводностью [8, 9].

Стандартная процедура записи ЭКГ осуществляется в состоянии покоя в течение, как правило, 5 мин. Но т.к. встречаются бессимптомные и пароксизмальные аритмии, такая процедура не всегда может быть достаточной для постановки диагноза, например, при фибрилляции предсердий [10].

#### **Амбулаторное применение**

##### *Типичное холтеровское мониторирование*

С разработки Норманом Холтером в 1940-х годах системы регистрации и передачи данных ЭКГ началось стремительное развитие технологий амбу-

латорного мониторирования ЭКГ [11-14]. Длительная регистрация ЭКГ пользователей в условиях обычной повседневной деятельности является наиболее практичным неинвазивным методом для документирования и количественного анализа частоты и степени сложности аритмии для ее соотношения с симптомами пациента или оценки влияния антиаритмической терапии на спонтанные проявления аритмии [15].

Задачей, стоящей перед приборами, относящимися к классу холтеровского мониторирования, является непрерывная регистрация ЭКГ обычно в течение 24-48 ч. Причем на всем протяжении времени сигнал записывается на носитель, интегрированный в прибор, по принципу “черного ящика”. Пациент ведет дневник для записи симптомов и сопутствующих им временных отрезков, иногда включая ряд predetermined действий: подъем по лестнице; положение пациента лежа на боку, спине или животе. По окончании процедуры записи сигналов оператор вручную копирует информацию с прибора на персональный компьютер (рабочую станцию), расшифровывает ее и передает лечащему врачу для итогового рассмотрения и интерпретации результатов. При некоторых готовых доступных решениях пользователь сам отправляет данные оператору через Интернет на удаленный сервер.

Типичные холтеровские мониторы регистрируют обычно не менее 3 каналов (отведений) ЭКГ, некоторые реконструируют полную 12-канальную ЭКГ на основе семи электродов. Частота дискретизации доходит до 1000 Гц, вес прибора в среднем составляет 100-150 г.

Для непосредственного получения сигнала с поверхности тела человека используются клейкие одноразовые электроды с зажимом для подключения проводов. Вариативность в размерах и материалах — некоторые электроды смазываются проводящей пастой при изготовлении, позволяет выполнить тонкую настройку процесса регистрации ЭКГ для конкретного пациента. Плотное крепление на теле человека обуславливает сигнал, сравнимый по точности с клинической 12-канальной регистрацией ЭКГ.

Относительно недавно появились решения холтеровского мониторирования с помощью так называемой “умной” одежды, включающей текстильные или сухие электроды [16]. Хлопковые или полиэфирные нити футболок (или нагрудных поясов) переплетают с тонкими токопроводящими полиамидными волокнами, покрытыми слоем серебра, или нитями из нержавеющей стали [17, 18]. При этом качество регистрируемого сигнала может значительно уступать клейким электродам из-за отсутствия фиксированного контакта с кожей пациента. Тем не менее, разработка “умной” одежды оказала влияние на распространение методов холте-

ровского мониторингирования в спорте и спортивной медицине [19, 20].

Большой потенциал имеют бесконтактные электроды, регистрирующие емкость перехода “кожа-электрод” вместо непосредственной регистрации потенциала [21]. Их главное преимущество перед контактными электродами заключается в возможности работать через одежду, в то время как ключевым недостатком является наличие двигательных артефактов, сильно ухудшающих качество сигнала. Разрабатываемые с недавнего времени, бесконтактные электроды пока не реализованы в коммерчески доступном холтеровском мониторингировании.

#### *Мониторирование событий*

Портативные электрокардиографы, называемые также регистраторами событий, и петлевые регистраторы были разработаны для записи ЭКГ в течение нескольких нед. (обычно до 30 сут.) в качестве замены мониторов для метода Холтера, когда суточной записи недостаточно для документирования причин появления симптомов.

В случае симптомов, связанных с редкими нарушениями ритма сердца пациент по своему усмотрению прикладывает беспроводной портативный электрокардиограф к грудной клетке для короткой, обычно 90-секундной регистрации одного отведения ЭКГ. Т. к. емкость накопителя ограничивает длительность регистрации до 10 мин, информация о событиях подлежит передаче по телефонной линии на базе акустического модема на удаленный центр мониторингирования. Понятно, что в таких условиях реально существует возможность упустить бессимптомные события.

#### *Петлевое мониторингирование*

Функционально аналогичные петлевые регистраторы ЭКГ в отличие от портативных электрокардиографов требуют постоянного крепления электродов к телу пациента. При этом данные периодически перезаписываются при заполнении памяти накопителя. Окончательная регистрация осуществляется по нажатию пациентом кнопки на приборе — ~60 сек до активации и ~90 сек после. В современных петлевых регистраторах заложены алгоритмы автоматического выявления начала определенных видов аритмии: брадикардии, тахикардии, фибрилляции предсердий, с их последующей записью. При обнаружении события прибор подает звуковой сигнал пользователю.

#### *Амбулаторная телеметрия*

Являющиеся модификацией типичных холтеровских мониторов, портативных электрокардиографов и петлевых регистраторов, современные успехи в сфере амбулаторной телеметрии выдвигают мониторингирование ЭКГ на качественно новый уровень, позволяя фиксировать сигнал, включая бессимптомные эпизоды аритмии, на протяжении  $\geq 1$  нед.

Иногда по сотовым сетям связи передаются только автоматически выявляемые эпизоды, в других случаях — полная регистрация ЭКГ. Большинство приборов амбулаторной телемедицины регистрируют один или два канала ЭКГ с частотой дискретизации 200–256 Гц. Выделяются такие системы, как BioMedical TruVue или ScottCare TeleSentry, которые пока еще редко встречаются и обеспечивают возможность непрерывной передачи данных на удаленную мониторинговую станцию с визуализацией ЭКГ в режиме почти реального времени. Производством холтеровских мониторов, портативных электрокардиографов, петлевых регистраторов и модернизированной амбулаторной телеметрии занимаются такие компании, как Medicomp (США), CardioNet (США), MedNet (США), MegaEMG (Финляндия), LifeWatch (США), Preventice Services (США), VitaPhone (Германия) и др. [10].

Определенный интерес представляют пластырь-подобные мониторы с интегрированной микроэлектроникой [22]. Это водонепроницаемые приборы, размещаемые в области сердца с помощью клейких частей “пластыря” и регистрирующие один канал ЭКГ, с малым размером и весом (34–50 г). Каждая модель прибора имеет свои особенности. Например, прибор от ZIO XT Patch [23] сконструирован на необходимости почтового возврата устройства по прошествии, как минимум, недельной записи в лабораторию компании-продавца для извлечения данных. Отсюда недостаток: до получения готового отчета проходит несколько сут. Другое решение — Medtronic SEEQ mobile cardiac telemetry system [24] — включает в комплект поставки портативное устройство, принимающее данные от “пластыря” по технологии Bluetooth и отправляющее их в центральную мониторинговую станцию по сотовым сетям связи. Готовый отчет генерируется уже быстрее, но все равно зависит от скорости обработки данных в мониторинговом центре.

Отдельно выделяют системы на основе специализированного программного обеспечения для смартфонов и модуль с электродами, представляющие новый взгляд на мобильные сердечные мониторы и интерфейс “врач-пациент”, например, AliveCor и ECG Check. Модуль с двумя электродами размещается на задней стороне смартфона, электрические импульсы измеряются в течение 30 сек с поверхности пальцев пользователя, результаты поступают на смартфон, где программно выводится один канал ЭКГ. При этом такие системы рассматриваются пока как экспериментальные или исследовательские [25].

Для долгосрочной регистрации ЭКГ используются имплантируемые (и даже инъектируемые) сердечные мониторы [26]. Например, устройство от Reveal LINQ компании Medtronic (США), не превышающее размер стандартного USB-накопителя

(4,0 × 7,2 × 44,8 мм) весом 2,4 г, может записывать сердечный ритм 3 г.

Таким образом, по результатам рассмотрения современных устройств регистрации ЭКГ можно сделать вывод, что главными недостатками существующих, коммерчески эксплуатируемых устройств, являются отсутствие получения результатов анализа ЭКГ в режиме реального времени и обязательное участие медицинского специалиста (кардиолога) в интерпретации регистрируемых сигналов ЭКГ.

#### Концепция предлагаемого решения

Для решения проблемы обеспечения максимально упрощенного, диагностически эффективного, первичного осмотра пациентов при поступлении в лечебные профилактические учреждения перспективно и целесообразно оснащение инструментария врачей так называемым “градусником для сердца” по аналогии с термометрами или тонометрами.

Такой прибор, представляющий беспроводной портативный аппаратно-программный комплекс, должен обладать следующими функциями:

- автономный автоматический анализ ЭКГ в режиме реального времени для диагностики состояния ССС, благодаря размещаемым непосредственно на борту устройства алгоритмам, в отличие от анализа данных, переданных от электрокардиографа на персональный компьютер;
- классификация диагностически важных событий на три уровня по степени значимости или угрозы состоянию пациента и соответствующая индикация пользователю на основе “светофорного” принципа — красный, желтый и зеленый уровни;
- предоставление диагностического заключения пользователю — терапевту или иному неспециализированному в кардиологии клиницисту, на рабочий терминал: смартфон, планшетный или персональный компьютер.

По прогнозам, предлагаемый инструмент, доведенный до опытной эксплуатации, окажет существенную помощь в ситуациях медицинского осмотра спортсменов, пилотов, машинистов, водителей наземного общественного транспорта, операторов опасных производств, работников Министерств внутренних дел, служб чрезвычайных ситуаций и др.

#### Литература

1. Heron M. Deaths: Leading causes for 2013. National Vital Statistics Reports 2016; 65: 1-94.
2. Roth GA, Forouzanfar MH, Moran AE, et al. Demographic and Epidemiologic Drivers of Global Cardiovascular Mortality. N Engl J Med 2015; 372: 1333-41.
3. Wong ST, Regan S. Patient perspectives on primary health care in rural communities: effects of geography on access, continuity and efficiency. Rural and remote health 2009; 9: 1142.
4. Kobrinskiy BA. Telemedicine in practical healthcare. Moscow-Berlin: Directmedia, 2016; 238 p. Russian (Кобринский Б. А. Телемедицина в системе практического здравоохранения. М.-Берлин: Директ Медиа, 2016; 238 с).

#### Заключение

За последние десятилетия стандартная 12-канальная ЭКГ, холтеровские мониторы, портативные электрокардиографы и петлевые регистраторы оказались полезными диагностическими инструментами оценки ССС человека [25]. Отмечается, что такие инструменты могут играть важную роль в уменьшении нагрузки на медицинский персонал, времени консультации у врача, а также расходов на здравоохранение [14]. Предлагаемое в настоящем исследовании новое концептуальное решение для экспресс-оценки ССС человека имеет потенциал гармонично дополнять существующие системы мониторинга здоровья. Устройство, в котором будет реализован комплекс усредненных для массового обследования пациентов решающих правил — для детектирования событий на ЭКГ и вынесения автоматического интеллектуального заключения, будет выполнять роль системы поддержки принятия решения врачом в процессе направления на дополнительные процедуры, постановки окончательного диагноза и др.

Таким образом, с помощью настоящей работы был сформирован следующий вывод: предлагаемый авторами представленной статьи способ полностью автоматической обработки ЭКГ со световой индикацией в режиме реального времени о состоянии ССС пользователя согласно рассмотренной литературы пока не реализован в полной мере, в части отсутствия получения результатов анализа ЭКГ в режиме реального времени и необходимости обязательного участия оператора в интерпретации регистрируемых сигналов ЭКГ. В рамках задачи экспресс-оценки длительность регистрации ЭКГ от 2 до 5 мин может являться достаточной для получения диагностической информации о состоянии ССС.

Дальнейшее развитие предлагаемого способа оценки состояния ССС человека авторы видят в разработке экспериментального образца и его тестировании.

**Благодарности.** Настоящая работа выполняется при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках проекта RFMEFI57815X0122.

5. Wilson NW, Couper ID, De V, et al. A critical review of interventions to redress the inequitable distribution of healthcare professionals to rural and remote areas. Rural and remote health 2009; 9: 1060.
6. Gaikwad KM, Chavan MS. Removal of high frequency noise from ECG signal using digital IIR butterworth filter. 2014 IEEE Global Conference on Wireless Computing and Networking (GCWCN) 2014; 121-4.
7. Nussinovitch U, Elishkevitz KP, Katz K, et al. Reliability of Ultra-Short ECG Indices for Heart Rate Variability. Annals of Noninvasive Electrocardiology 2011; 16: 117-22.
8. Chi YM, Jung T-P, Cauwenberghs G. Dry-Contact and Noncontact Biopotential Electrodes: Methodological Review. IEEE Reviews in Biomedical Engineering 2010; 3: 106-19.

9. Cvach MM, Biggs M, Rothwell KJ, et al. Daily Electrode Change and Effect on Cardiac Monitor Alarms: An Evidence-Based Practice Approach. J of Nurs Care Quality 2013; 28: 265-71.
10. Mittal S, Movsowitz C, Steinberg JS. Ambulatory external electrocardiographic monitoring: Focus on atrial fibrillation. JACC 2011; 58: 1741-9.
11. Gumbinger C, Krumdorf U, Veltkamp R, et al. Continuous monitoring versus Holter ECG for detection of atrial fibrillation in patients with stroke. Eur J Neurol 2012; 19: 253-7.
12. Rizo T, Guentner J, Jenetzky E, et al. Continuous Stroke Unit Electrocardiographic Monitoring Versus 24-Hour Holter Electrocardiography for Detection of Paroxysmal Atrial Fibrillation After Stroke. Stroke 2012; 43: 2689-94.
13. Wimmer NJ, Scirica BM, Stone PH. The Clinical Significance of Continuous ECG (Ambulatory ECG or Holter) Monitoring of the ST-Segment to Evaluate Ischemia: A Review Prog Cardiovasc Dis 2013; 56: 195-202.
14. Baig MM, Gholamhosseini H. Smart Health Monitoring Systems: An Overview of Design and Modeling. J Med Syst 2013; 37: 9898.
15. Mann DL, Zipes DP, Libby P, et al. Braunwald's Heart Disease: A Textbook of Cardiovascular Medicine. Elsevier Health Sciences; 2014.
16. Podolsky MD, Tarakanov SA, Kuznetsov VI, et al. Modern instruments for electrocardiogram monitoring with wearable electrodes. Aviakosmicheskaja i ekologicheskaja meditsina (Aerospace and environmental medicine) 2014; 48: 71-3.
17. Cherenack K, Zysset C, Kinkeldei T, et al. Woven Electronic Fibers with Sensing and Display Functions for Smart Textiles. Adv Mater 2010; 22: 5178-82.
18. Paradiso R MP. Textile electrodes and integrated smart textile for reliable biomonitoring. Conference proceedings: Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Conference 2011; 2011: 3274-7.
19. Gademan MGJ, Uberoi A, Le V-V, et al. The effect of sport on computerized electrocardiogram measurements in college athletes. Eur J Prev Cardiol 2012; 19: 126-38.
20. Yildiz M, Aygin D, Pazarli P, et al. Assessment of resting electrocardiogram, P wave dispersion and duration in different genders applying for registration to the School of Physical Education and Sports — results of a single centre Turkish Trial with 2093 healthy subjects. Cardiol Young 2011; 21: 545-50.
21. Chi YM, Ng P, Kang E, et al. Wireless non-contact cardiac and neural monitoring. Wireless Health 2010. ACM; 2010: 15-23.
22. Lobodzinski SS. ECG patch monitors for assessment of cardiac rhythm abnormalities. Progress in Cardiovascular Diseases 2013; 56: 224-9.
23. Barrett PM, Komatireddy R, Haaser S, et al. Comparison of 24-hour Holter monitoring with 14-day novel adhesive patch electrocardiographic monitoring. Am J Med 2014; 127: 95.e11-7.
24. Engel JM, Mehta V, Fogoros R, et al. Study of arrhythmia prevalence in NUVANT Mobile Cardiac Telemetry system patients. Conference proceedings: Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Conference 2012; 2012: 2440-3.
25. Fung E, Järvelin M-R, Doshi RN, et al. Electrocardiographic patch devices and contemporary wireless cardiac monitoring. Front Physiol 2015; 6: 149.
26. Furukawa T, Maggi R, Bertolone C, et al. Additional Diagnostic Value of Very Prolonged Observation by Implantable Loop Recorder in Patients with Unexplained Syncope. J Cardiovasc Electrophysiol 2012; 23: 67-71.

## ВНИМАНИЕ!

Открыта подписка на 2017 год на журналы.

Подписка на 2017г через сайт издательства\*

### Российский кардиологический журнал 2017

Электронная версия (зарегистрированному пользователю открывается доступ к номерам 2017г, формат PDF)	12 номеров (годовая подписка)	1200-00 руб
<b>Кардиоваскулярная терапия и профилактика 2017</b>		
Электронная версия (зарегистрированному пользователю открывается доступ к номерам 2017г, формат PDF)	6 номеров (годовая подписка)	600-00 руб

\* Стоимость подписки по прайсу издательства. Подписка осуществляется через сайт [www.rosradio.ru](http://www.rosradio.ru). Оплата подписки осуществляется наличными в отделении Сбербанка (платежное поручение распечатывается через сайт) или электронным платежом через ROBOKASSA (Visa, Mastercard, мобильным телефоном — МТС, Мегафон, Билайн, всеми электронными валютами, наличными через сеть терминалов, через интернет-банки и другими способами).

#### ЭЛЕКТРОННАЯ ПОДПИСКА ЭТО:

- Доступ к последнему номеру журнала до его выхода из печати
- Постатейный доступ к содержанию
- Скачивание в формате PDF, распечатка и копирование
- Возможность формировать ссылки для цитирования
- Мобильная версия сайта для планшетов и сотовых телефонов.