

УДК 616.12-073.97-71

ТЕЛЕМЕДИЦИНА В КАРДИОЛОГИИ: НОВЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ

¹Морозов В.В., ¹Серяпина Ю.В., ²Кравченко Ю.Л., ²Тарков С.М.,
³Бессмельцев В.П., ³Катасонов Д.Н., ³Слуев В.А.

¹*Институт химической биологии и фундаментальной медицины Сибирского отделения
Российской академии наук, Новосибирск, e-mail: doctor.morozov@mail.ru;*

²*Филиал Института физики полупроводников Сибирского отделения Российской
академии наук «Конструкторско-технологический институт прикладной микроэлектроники»
Новосибирск, e-mail: yurij-kravchenko@list.ru;*

³*Институт автоматики и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук,
Новосибирск, e-mail: bessmelt@iae.nsk.su*

В современном мире сердечно-сосудистые заболевания и особенно нарушения сердечного ритма – лидирующая причина смертности и утраты трудоспособности. Своевременная и корректная диагностика этих заболеваний основана на электрокардиографическом мониторинге, в том числе в длительном непрерывном режиме. Для лечебно-диагностической интерпретации используются различные технологии, позволяющие сократить число визитов к врачу, например, сотовая связь. И, несмотря на достигнутые успехи в развитии трансляционной медицины за рубежом, социально-географические и климатические факторы, характерные для России, определяют необходимость создания адаптированных телемедицинских систем. Их соответствие таким характеристикам, как миниатюрность (интеграция датчика в структуру одежды), непрерывная беспроводная связь с медицинским центром для диагностики в режиме реального времени, информационный канал для сообщений о жизнеугрожающих состояниях пациента позволят оптимизировать и персонализировать алгоритмы оказания медицинской помощи.

Ключевые слова: телемедицина, ЭКГ, дистанционное мониторинг, носимый датчик

TELEMEDICINE IN CARDIOLOGY: NEW PERSPECTIVES

¹Morozov V.V., ¹Seryapina Y.V., ²Kravchenko Y.L., ²Tarkov S.M.,
³Bessmeltsev V.P., ³Katasonov D.N., ³Sluev V.A.

¹*Institute of Chemical Biology and Fundamental Medicine of Siberian Branch of Russian
Academy of Science, Novosibirsk, e-mail: doctor.morozov@mail.ru;*

²*Design-And-Technology Institute Of Applied Microelectronics (DTIAM), ISP Affiliated
Office, Novosibirsk, e-mail: yurij-kravchenko@list.ru;*

³*Institute of Automation and Electrometry, Siberian Branch of the Russian Academy
of Sciences, Novosibirsk, e-mail: bessmelt@iae.nsk.su*

Nowadays cardio-vascular diseases and, particularly, cardiac rhythm disorders are the leading reason of mortality and disability. The well-timed and correct diagnostic of these diseases is based on electrocardiographic monitoring, including monitoring in prolonged uninterrupted mode. There are different modern technologies for diagnostic and treatment interpretation which can reduce the number of visits to the doctor, for example, there are mobile phone systems. And, in spite of modern advances in translational medicine, it is necessary to work out the adapted telemedicine systems in Russia. It is due to social, geographic, climatic factors which are characteristic of our country. So, these systems sought to meet several criteria, such as diminutiveness (the sensor is integrated in the structure of clothes), uninterrupted wireless connect with medical center for online diagnostic, data channel with opportunity to translate messages about life-threatening events. Complex of all these advances will allow optimize and personalize treatment and management algorithms.

Keywords: telemedicine, ECG, remote monitoring, wearable sensor

Сердечно-сосудистые заболевания, бесспорно, являются распространенными и социально значимыми заболеваниями во всем мире. В структуре летальности внезапная сердечная смерть занимает первое место и составляет более 50% от общего числа летальных исходов вследствие сердечно-сосудистых причин [8]. При этом распространенность кардиологических заболеваний, вызывающих фатальные нарушения ритма, но часто протекающих бессимптомно, колеблется от 1:500 до 1:2500 человек; многие из них имеют наследственный характер [6]. Все эти факты свидетельствуют о необходимости применения надежных диа-

гностических алгоритмов для наблюдения за состоянием пациента. В данном направлении многое уже сделано. Во всем мире широко применяется метод холтеровского мониторинга ЭКГ, пульса и артериального давления в модификациях – длительностью 1 сутки, 7 суток, а также на более длительный срок с возможностью активации электрокардиографа самим пациентом по требованию. В последние годы все более широкое распространение получает подкожная имплантация электрокардиографа в мягкие ткани грудной клетки, продолжительность работы которого может достигать до нескольких лет [4, 5]. Но все

используемые методы имеют существенные недостатки – пациент должен следить за положением и состоянием регистрирующих электродов во время мониторинга по Холтеру, постоянно носить с собой громоздкий аппарат; подкожная имплантация, не требующая ношения каких-либо приспособлений при себе, является хирургическим вмешательством, проводимым в условиях специализированного стационара. И, несмотря на доступность и весьма высокую эффективность данных методов диагностики, в ряде клинических ситуаций необходимы более чувствительные и надежные способы наблюдения за состоянием больного, обеспечивающие динамическую интерпретацию результатов и удовлетворительное качество жизни пациента [11, 12].

Технологии трансляционной медицины, тенденции в развитии дистанционных систем мониторинга. Применение технологий мониторинга жизненно важных функций не ограничивается медицинскими целями. Различные устройства, позволяющие следить за пульсом, частотой дыхания, температурой тела, артериальным давлением, широко используются в подразделениях спасательных служб и в армии для контроля состояния здоровья специалистов, работающих в опасных, экстремальных условиях [2]. Причем в подобных системах мониторинга жизнедеятельности делается особый акцент на возможности качественной и оперативной беспроводной передачи данных для анализа в реальном времени, поскольку наблюдаемые могут находиться в отдаленных или труднодоступных местах [2]. Очевидно, что такие технологии дистанционного мониторинга востребованы в медицинской практике, особенно при значительной географической удаленности пациента и необходимости частых визитов к врачу для передачи результатов исследования. Современная высокотехнологичная медицинская помощь сейчас приобретает все большую доступность в рамках большого числа федеральных программ и национальных проектов, однако ее оказание проводится только в крупных региональных центрах, связь с которыми посредством технологий трансляционной медицины была бы решением для отдаленных населенных пунктов. Что же имеется на сегодняшний день в действительности?

Современные технические возможности позволяют разрабатывать и создавать удобные в повседневном применении устройства с возможностью длительной непрерывной работы, а также динамического мониторинга жизненно важных функций организма в удаленном режиме. Такие

проекты реализуются в мире в рамках концепции телемедицины. Среди огромного количества применений особое значение имеет ЭКГ-мониторинг, как первоочередной и наиболее информативный способ диагностики многих патологий [13]. Широкое использование холтеровского мониторинга создает предпосылки для перехода исследовательских алгоритмов на новый, высокотехнологичный уровень.

Одной из главных мировых тенденций в развитии дистанционных систем мониторинга является применение электрокардиографических датчиков длительного использования, встроенных в тканевую основу с электронными средствами предварительной обработки ЭКГ-сигналов и передачи их по беспроводному каналу связи на сервер в медицинское учреждение. Данное направление получило название «умная одежда». Датчики для регистрации ЭКГ располагают вблизи сердца и крупных артерий – в области плеча, предплечья, для измерения пульсовой волны датчики могут располагаться на запястье (лучевая артерия) [9].

Медицинское сообщество проявило огромный интерес к датчикам бесконтактного типа, к которым, в частности, относятся емкостные датчики EPIC (Electric Potential Integrated Circuit), разработанные фирмой Plessey Semiconductors в связи с широкими возможностями измерения физиологических показателей на поверхности человеческого тела [1]. Датчик EPIC представляет собой совершенно новую область сенсорных технологий, он измеряет изменения в электрическом поле подобно тому, как магнитометр обнаруживает изменения в магнитном поле и не требует ни механического, ни резистивного контакта для проведения измерений. Эти датчики могут найти применение в таких областях, как электрокардиография (ЭКГ), электромиография (ЭМГ), электроэнцефалография (ЭЭГ) и электроокулография (ЭОГ). EPIC-датчик может быть использован, например, в качестве замены традиционной технологии «мокрого» (гелевого) электрода в кабеле пациента при снятии ЭКГ, потому что этот датчик не требует ни геля, ни других веществ, улучшающих качество контакта. Для получения качественного ЭКГ-сигнала достаточно расположить EPIC-датчик на теле пациента или в непосредственной близости от него. Датчик позволяет решать широкий круг задач – от простого кардиомониторинга до более сложных клинико-диагностических исследований. В последнем случае он может быть использован в качестве замены регистрации в традиционных 12 отведениях, когда электроды расположе-

ны на конечностях и туловище пациента для получения более четкой картины того, как работает его сердце. Набор датчиков EPG, установленный на груди человека, может заменить традиционные системы, при этом датчики демонстрируют аналогичную или даже лучшую разрешающую способность. Перспективными также являются датчики бесконтактного типа, основанные на других принципах работы: магниторезистивные [3], оптоэлектронные, радиолокационные и др.

На рынке появились первые разработки «умной одежды» фирмы Smartex, например, такой как Wearable Wellness System (WWS) [7] – носимая система контроля за здоровьем, которая является полностью интегрированной носимой системой, специально предназначенной для непрерывного мониторинга набора физиологических параметров во время движения. Датчики ЭКГ и дыхательных сигналов, выполненные в виде электронных чипов и токопроводящих нитей, полностью интегрированы в структуру ткани, из которой изготовлена одежда. Дополнительный контроль за физиологической активностью пациента (поза, движение) осуществляется с помощью трехосного акселерометра, который размещается в небольшом электронном устройстве.

В последние годы появилось новое направление – мобильный интерфейс мониторинга здоровья на основе интеграции миниатюрных датчиков в мобильные средства связи (коммуникаторы, смартфоны). Такой интерфейс мониторинга – вновь возникшая и активно разрабатываемая сфера в трансляционной медицине. Спектр медицинских применений расширился настолько, что посредством анализа данных, полученных с помощью встроенных сенсоров в мобильные системы и программных средств обработки сигналов и изображений, стала возможной оценка физиологического состояния многих жизненно важных функций, причем дистанционно, без непосредственного контакта с пациентом.

Компания Life Watch летом 2012 года представила первый в мире медицинский смартфон, оснащенный встроенными датчиками для мониторинга частоты сердечных сокращений, ЭКГ, легочной функции, уровня сахара в крови, температуры тела и др. Результаты можно заносить в память устройства, отслеживать и анализировать с помощью специальных приложений, которые могут выдавать рекомендации по питанию и приему лекарств. Также полученные данные пересылаются в медицинские центры мониторинга для обеспечения непрерывного удаленного контроля пациентов. Данные могут быть немедленно

проанализированы квалифицированными врачами, которые подготовят подробные диагностические сообщения и направят их лечащему врачу [10]. Таким образом, трансляционная медицина из области теоретических высокотехнологичных разработок постепенно приходит в широкую медицинскую практику.

Однако успехи, достигнутые в разработке аппаратных и программных систем мониторинга ЭКГ, не удовлетворяют требованиям по удобству и надежности как для пациентов (пользователей), так и наблюдающего медицинского персонала. Встроенные в одежду датчики требуют специальных средств крепления и тем не менее движение пациента часто приводит к искажению сигналов. Кроме того, сама дополнительная «умная» одежда с датчиками не всегда удобна и по гигиеническим соображениям. Встроенные же в смартфоны датчики не обеспечивают непрерывный мониторинг.

Современные телемедицинские технологии мониторинга состояния здоровья пациента реализуются главным образом в западных странах. В России данная отрасль представлена лишь экспериментальными наработками отдельных научно-производственных центров – в Ульяновске, Владивостоке [3]. Однако, учитывая огромную территорию нашей страны, низкую плотность населения, труднодоступность целого ряда населенных пунктов, в том числе и для оказания медицинской помощи, создание и внедрение систем дистанционного мониторинга витальных функций представляется одним из приоритетных направлений современной медицинской науки.

Перед отечественными исследователями стоят непростые задачи. С учетом географических особенностей России, проблемной доступности высококвалифицированной медицинской помощи для большого числа населения необходимо создание телемедицинской системы, адаптированной к современным условиям в нашей стране. Одним из основных принципов мобильного мониторинга сердечно-сосудистой деятельности является удобство и простота электрокардиографического сенсора в ежедневном использовании, что может быть достигнуто применением бесконтактных датчиков, интеграцией их в тканевую структуру и созданием носимого устройства, приближенного по форме к предметам одежды; необходимо также решение задач, связанных с корректной регистрацией, обработкой и передачей данных от носимого сенсора на медицинский сервер. В рамках развития отечественной трансляционной медицины возможно создание беспровод-

ных сетей связи индивидуальных датчиков с информационными медицинскими центрами, из которых, в свою очередь, после обработки полученных данных можно передать экстренный сигнал в службы неотложной помощи при возникновении жизнеугрожающих состояний у больного. Подобные каналы связи должны быть надежными, обеспечивать передачу информации на значительные расстояния, а также отвечать требованиям конфиденциальности. Возможность подачи экстренного вызова обеспечит своевременность и оптимизацию оказания квалифицированной помощи в критических ситуациях. Отсутствие таких технологий в нашей стране, необходимость русификации и стандартизации зарубежного оборудования делает необходимым проведение исследований для создания отечественного телемедицинского комплекса.

Подобные технологии дистанционного мониторинга в России не имеют аналогов, открывают новые горизонты персонализации медицинской помощи, оптимизации сроков ее оказания на каждом этапе. Необходимо отметить, что реализация телемедицинских технологий возможна только при сотрудничестве непосредственно практикующих врачей, медицинских исследователей и специалистов в области телекоммуникаций и программного обеспечения. Такая интеграция медицины и новейших технологий является примером инновационного подхода к развитию здравоохранения в нашей стране и в мире.

Заключение

Принимая во внимание географический и климатический факторы, а также высокую заболеваемость сердечно-сосудистой патологией, становится очевидной необходимость создания дистанционных систем мониторинга состояния сердечной деятельности пациента и внедрения их в России. Реализация такого наблюдения в рамках современной концепции трансляционной медицины позволит достичь значительных успехов в диагностике и профилактике многих заболеваний, сделать шаг в направлении персонализации и оптимизации оказания медицинской помощи.

Работа поддержана Сибирским отделением РАН (междисциплинарный интеграционный проект фундаментальных исследований СО РАН 2012-2014 г.г. № 142 «Дистанционное мониторирование сердечно-сосудистой деятельности человека на основе миниатюрных беспроводных датчиков и индивидуальных средств сотовой связи со встроенными вычислительными средствами»).

Список литературы

1. Бекмачев А. Датчики Epic от PlesseySemiconductors – прорыв в сенсорных технологиях. // Компоненты и технологии. – 2013. – № 1. – С. 21–24.
2. Лях Ю.Е., Владимирский А.В. Введение в телемедицину. Серия «Очерки биологической и медицинской информатики». – Донецк: Лебедь, 1999. – 102 с.
3. Розенбаум А.Н., Никитин А.И., Супonya А.А. Средства оперативного контроля состояния обслуживающего персонала в человеко-машинных схемах ответственного назначения // Труды конференции «Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения» (Москва, октябрь 2010 г.). – М.: 2010. – С. 001003–001009.
4. Длительное подкожное мониторирование электрокардиограммы для оценки эффективности катетерной абляции фибрилляции предсердий / Н.В. Широкова, А.Н. Туров, Е.А. Покушалов, В.В. Селина, А.Б. Романов // Вестник аритмологии. – 2011. – № 65. – С. 5–11.
5. Различные способы регистрации электрокардиосигнала в диагностике симптомных аритмий / Ю.В. Шубик, М.М. Медведев, И.В. Апарина, М.В. Гордеева // Вестник аритмологии. – 2011. – № 64. – С. 71–80.
6. Beckmann B.-M., Pfeufer A., Käb S. Inherited Cardiac Arrhythmias. Diagnosis, Treatment, and Prevention // DtschArztebl Int. – 2011. – Vol. 108, № 37. – P. 623–634.
7. Chi Y.M., Cauwenberghs G. Wireless non-contact ECG and EEG for unobtrusive cardiac and brain monitoring. 2011. URL: <http://www.isn.ucsd.edu/courses/beng186b/lectures/mike-guest-lecture-beng186.pdf>. (дата обращения: 07.02.2013).
8. Estes N.A. 3rd. Predicting and preventing sudden cardiac death // Circulation. – 2011. – Vol. 124, № 5. – P. 651–656.
9. Hu S., Wei H., Chen Y., Tan J. A Real-Time Cardiac Arrhythmia Classification System with Wearable Sensor Networks // Sensors (Basel). – 2012. – Vol. 12, № 9. – P. 12844–12869.
10. Klasnja P., Pratt W. Healthcare in the Pocket: Mapping the Space of Mobile-Phone Health Interventions // J Biomed Inform. – 2012. – Vol. 45, № 1. – P. 184–198.
11. Long-Term Recording of Cardiac Arrhythmias With an Implantable Cardiac Monitor in Patients With Reduced Ejection Fraction After Acute Myocardial Infarction. The Cardiac Arrhythmias and Risk Stratification After Acute Myocardial Infarction (CARISMA) Study Group // Circulation. – 2010. – № 122. – P. 1258–1264.
12. Rosenberg M.A., Samuel M., Thosani A., Zimetbaum P.J. Use of a Noninvasive Continuous Monitoring Device in the Management of Atrial Fibrillation: A Pilot Study // Pacing and Clinical Electrophysiology. 13.12.2012. – URL: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/pace.12053/pdf>. (дата обращения: 07.02.2013).
13. Wootton R. Twenty years of telemedicine in chronic disease management – an evidence synthesis // J. Telemed. Telecare. – 2012. – Vol. 18, № 4. – P. 211–220.

References

1. Bekmachev A. Komponenty i tekhnologii – Components and Technology, 2013, no. 1, pp. 21–24.
2. Lyakh Y.E., Vladimirskiy A.V. *Vvedenie v telemeditsinu*. [Introduction to telemedicine. Series Essays biological and medical informatics]. Donetsk, Lebed, 1999. 102 p.
3. Rosenbaum A.N., Nikitin A.I., Suponya A.A. *Trudy konferencii Tekhnicheskiei programmnye sredstva sistem upravleniya, kontrolyai izmereniya* Proc. Conf. Technical and programme means of management, control and measure systems, Moscow, 2010, pp. 001003–001009.
4. Shirokova N.V., Turov A.N., Pokushalov E.A., Selina V.V., Romanov A.B. *Vestnik Arytmologii* – Journal of arrhythmology, 2011, no. 65, pp. 5–11.

5. Shubik Y.V., Medvedev M.M., Aparina I.V., Gordeeva M.V. *Vestnik Arytmologii* – Journal of arrhythmology, 2011, no. 64, pp. 71–80.

6. Beckmann B.-M., Pfeufer A., Käab S. Inherited Cardiac Arrhythmias. Diagnosis, Treatment, and Prevention // *DtschArztebl Int*. 2011. Vol. 108, no. 37. pp. 623–634.

7. Chi Y.M., Cauwenberghs G. Wireless non-contact ECG and EEG for unobtrusive cardiac and brain monitoring. 2011. URL: <http://www.isn.ucsd.edu/courses/beng186b/lectures/mike-guest-lecture-beng186.pdf>. (дата обращения: 07.02.2013).

8. Estes N.A. 3rd. Predicting and preventing suddencardiadeath // *Circulation*. 2011. Vol. 124, ni. 5. pp. 651–656.

9. Hu S., Wei H., Chen Y., Tan J. A Real-Time Cardiac Arrhythmia Classification System with Wearable Sensor Networks // *Sensors (Basel)*. 2012. Vol. 12, no. 9. pp. 12844–12869.

10. Klasnja P., Pratt W. Healthcare in the Pocket: Mapping the Space of Mobile-Phone Health Interventions // *J Biomed Inform*. 2012. Vol. 45, no. 1. pp. 184–198.

11. Long-Term Recording of Cardiac Arrhythmias With an Implantable Cardiac Monitor in Patients With Reduced Ejection Fraction After Acute Myocardial Infarction. The Cardiac Arrhythmias and Risk Stratification After Acute Myocardial Infarction (CARISMA) StudyGroup // *Circulation*. 2010. no. 122. pp. 1258–1264.

12. Rosenberg M.A., Samuel M., Thosani A., Zimetbaum P.J. Use of a Noninvasive Continuous Monitoring Device in the Management of Atrial Fibrillation: A Pilot Study // *Pacing and Clinical Electrophysiology*. 13.12.2012. – URL: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/pace.12053/pdf>.

13. Wootton R. Twenty years of telemedicine in chronic disease management – an evidence synthesis // *J. Telemed. Telecare*. 2012. Vol. 18, no. 4. pp. 211–220.

Рецензенты:

Смагин А.А., д.м.н., профессор, руководитель лаборатории лимфодетоксикации, Учреждения Российской академии медицинских наук «Научно-исследовательский институт клинической и экспериментальной лимфологии» Сибирского отделения РАМН, г. Новосибирск;

Жмудь В.А., д.т.н., доцент, зав. кафедрой автоматики ФГБОУ «Новосибирский государственный технический университет», г. Новосибирск.

Работа поступила в редакцию 19.07.2013.