

Портативный беспроводной кардиоанализатор индивидуального применения

Аннотация

Представлена актуальная на сегодняшний день телемедицинская разработка, включающая в себя портативный электрокардиограф «ЭКГ-ЭКСПРЕСС» и веб-ориентированный программный комплекс удаленного мониторинга ЭКГ. В статье представлены ключевые диагностические особенности кардиографа «ЭКГ-ЭКСПРЕСС». Описаны технологии мониторинга ЭКГ по телемедицинской модели «врач-пациент», которая предназначена для регулярного мониторинга ЭКГ пациентов, отправки данных на сервер для дальнейшей расшифровки лечащим врачом.

Введение

Одно из направлений персонализированной телемедицины – это отслеживание ритма сердца и регистрация ЭКГ. Такой подход к мониторингу сердца помогает улучшать и дополнять современные существующие клинические методы диагностики сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ). Потребность в персонализированной медицине вызвана тем, что ССЗ всегда лидировали в мировой статистике смертности [1]. А успешные случаи спасения человеческой жизни с помощью фитнес-трекера [2], который отслеживает ритм сердца (но не ЭКГ), доказывают, что при помощи телемедицины возможно оказание своевременного лечения ССЗ.

Но данных с фитнес-трекеров (частота сердечных сокращений, артериальное давление) недостаточно для постановки диагноза. Для полной картины врачам-кардиологам требуется ЭКГ пациента, причем порой кардиограмма, снятая за какое-то время до приступа, играет очень важную роль в постановке диагноза (аритмия или сердечный приступ) [3]. Для этого на рынке уже есть решения в виде портативных кардиографов. Среди портативных кардиографов можно выделить три основные группы:

- портативные приборы для регистрации ЭКГ в стандартном отведении;
- браслеты (носимые на руке);
- носимые устройства (регистрирующие стандартное грудное ЭКГ).

Портативные регистраторы ЭКГ отличаются от остальных групп кардиографов высокой стоимостью и отсутствием возможности долговременной регистрации ЭКГ. Данные устройства не обладают возможностью регистрации ЭКГ автоматически, и человеку во время приступа аритмии, например, необходимо самому включить прибор и проводить регистрацию ЭКГ конкретно в данный момент, что вызывает ряд неудобств. В частности, приступ может спонтанно исчезнуть так же, как и появился, что характерно для некоторых видов аритмии, а человек во время приступа может быть недееспособен. Лидирующими производителями подобных устройств являются «Валента ЭКГK-01» [4], «AliveCore» [5], «КардиоРУ» [6], «КардиоДжет» [7] и др. Данные кардиографы способны выявлять нарушения ритма и проводимости сердца. Часть этих электрокардиографов использует для регистрации ЭКГ стандартные грудные отведения ЭКГ. Это расширяет диагностические возможности приборов и подходит, например, для диагностики ишемической болезни сердца (ИБС), что невозможно для кардиографов, использующих регистрацию ЭКГ не в стандартных отведениях. К портативным регистраторам ЭКГ также можно отнести монитор Холтера, но данный прибор является дорогостоящим медицинским оборудованием и выдается кардиологическими центрами на сутки и более по назначению врача. Еще одним недостатком монитора Холтера является использование одноразовых медицинских электродов.

Другой большой группой портативных кардиографов являются устройства-браслеты, носимые на руке. Все эти устройства представляют собой «наручные часы». Ярким представителем таких устройств является «Apple Watch Series 4» [8]. Это «умные» часы с возможностью регистрации ЭКГ с одним оп-

тическим датчиком, что позволяет измерять и ритм сердца. Если «часы» обнаружат аритмию, они выдают предупреждение. Таким образом, «Apple Watch» подходят для выявления самого распространенного вида аритмии – фибрилляции предсердий (ФП). Для обнаружения других патологий такие устройства не подходят.

В данной статье представлены результаты разработки портативного беспроводного кардиоанализатора для индивидуального применения «ЭКГ-ЭКСПРЕСС», в том числе программного комплекса для прибора. Разработанный программный комплекс включает в себя веб-ориентированный интерфейс для удаленного взаимодействия пользователя и врача. Такая телемедицинская модель «пациент-врач» позволяет в течение длительного времени хранить пользовательские данные на удаленном сервере, а врачу получать доступ к уже обработанным данным своих пациентов.

Материалы и методы

Кардиоанализатор «ЭКГ-ЭКСПРЕСС» представляет собой компактное устройство для регистрации и анализа ЭКГ с поверхности грудной клетки для регулярного (как домашнего, так и амбулаторного) применения. Помимо записи ЭКГ по требованию, прибор также способен передавать данные на сервер через встроенную GPRS-связь.

В портативном электрокардиографе «ЭКГ-ЭКСПРЕСС» используются алгоритмы обработки сигнала ЭКГ для автоматического выделения в сигнале QRS-комплекса [9], [10]. Алгоритм выявляет QRS-комплекс в сигнале ЭКГ, так как он достаточно хорошо различим, имеет четко выраженные характеристики и его можно обнаружить даже в низкоамплитудной ЭКГ. Выделение QRS-комплекса осуществляется посредством полосовой фильтрации, которая эффективно подавляет частоты, не входящие в состав QRS-комплекса, при этом в сигнал не вносятся дополнительные искажения.

В отличие от существующих аналогов «ЭКГ-ЭКСПРЕСС» построен с использованием емкостных электродов, которые работают стабильно, независимо от качества кожного покрова (например, наличия волосистой кожи), а также способны регистрировать ЭКГ через некоторые виды тканей [11]. Еще одной отличительной особенностью данных электродов является то, что емкостные электроды не требуют, в отличие от стандартных медицинских электродов, наличия проводящего геля.

Вследствие фиксированного положения датчиков на корпусе прибора обеспечивается единство измерения грудного отведения за счет того, что прибор можно приложить сразу интуитивно правильным образом, благодаря его анатомической форме грудной клетки (рис. 1). Таким образом, прибор пригоден для получения достоверных и сопоставимых результатов измерений, что позволяет отслеживать любые изменения в форме сигнала ЭКГ человека, например выявлять ишемические нарушения.

Основные диагностические возможности прибора «ЭКГ-ЭКСПРЕСС»:

- определение параметров работы сердца;
- оценка общего уровня стресса;
- выявление нарушений ритма;

- выявление ишемических синдромов при регулярном наблюдении;
- накопление статистики и онлайн-аналитика.

Так как кардиограф «ЭКГ-ЭКСПРЕСС» ориентирован на пациентов и врачей-кардиологов, нами была разработана система для оказания услуги удаленной диагностики кардиограммы врачом, которая представляет собой программный комплекс, состоящий из:

- сервера приема и хранения базы данных записей ЭКГ, статистики и данных пользователей;
- веб-ориентированного интерфейса для отображения ЭКГ;
- модуля анализа записей ЭКГ.

Сервер приема и хранения базы данных записей ЭКГ, статистики и данных пользователей обеспечивает прием и сохранение записей от приборов «ЭКГ-ЭКСПРЕСС». Такая клиентоориентированная система мониторинга ЭКГ подходит для врачей и пациентов. Все записи, поступающие на сервер, присваиваются соответствующему пользователю и хранятся в базе на сервере. Таким образом, врач может регулярно удаленно следить за динамикой изменений параметров ритма сердца каждого из пациентов.

Сервер обеспечивает обработку записей ЭКГ с целью извлечения информативных параметров из кривой ЭКГ, основанную на алгоритмах обнаружения QRS-комплекса, описанных выше.

Структурная схема разработанной системы представлена на рис. 2.

Для проведения обмена данными между устройствами и сервером используется программный интерфейс (Application Programming Interface, API) [12]. Взаимодействие клиентского приложения с сервером происходит по протоколу HTTPS, что гарантирует отсутствие потерь данных.

Программный комплекс является основным инструментом взаимодействия пользователей с системой. Система разграничивает пользователей на три категории: пациент, доктор и администратор.

В личном кабинете доктора на главной странице сайта отображается календарь записей его пациентов. У врача есть возможность посмотреть все последние записи пациентов. Также доктор может сразу посмотреть последние записи пациентов и создать расшифровки записей (рис. 3).

Врач может синхронно масштабировать запись ЭКГ с двух каналов, выбирать для анализа заинтересовавший его участок. Инструмент «линейка» позволяет пользователю ставить маркеры, измерять расстояния между разными участками ЭКГ (рис. 4).

С августа 2016 года по май 2018 года пять прототипов электрокардиографа «ЭКГ-ЭКСПРЕСС» прошли апробацию в НИИ кардиологии Томского национального исследовательского медицинского центра, где проводилось амбулаторное тестирование приборов в группе пациентов с ССЗ. За период тестирования прибор выдавали 15 пациентам для регулярного использования сроком до двух недель. Для осуществления связи «врач-пациент», передачи данных и расшифровки записей ЭКГ был использован описанный ранее веб-ориентированный сервер.

По результатам амбулаторного тестирования выявлен ряд случаев, когда применение электрокардиографа «ЭКГ-ЭКСПРЕСС» было эффективно [13]:

- применение пациентами, принимающими антиаритмические препараты, влияющие на регуляцию сердечного ритма, для контроля интервалов PQ и PQc на ЭКГ;
- фиксация пароксизмальных нарушений ритма сердца;
- фиксация приступов стенокардии напряжения и других ишемических синдромов, которые сопровождаются изменениями интервала ST;
- контроль состояния при известном диагнозе. После окончания лечения пациенту рекомендуется регулярно проверять состояние сердца. При этом известна локализация патологии, а значит, и требуемая система отведений ЭКГ;
- валидация повторных жалоб между госпитализациями. Многие пациенты после выписки склонны к мнительности и повторным болям, которые часто оказываются обычной невралгией. Врач всегда балансирует между ограничениями страхового фонда, загруженностью больницы и жалобами пациента. Ситуация значительно усложняется, если пациент живет далеко от кардиоцентра.

Заключение

Развитие телемедицинских сервисов (в частности телеЭКГ) позволяет осуществлять своевременную диагностику пациентов. Однако существующие телемедицинские устройства ре-



Рис. 1. Внешний вид портативного кардиографа «ЭКГ-ЭКСПРЕСС»



Рис. 2. Схема работы веб-ориентированного сервера

гистрации ЭКГ не соответствуют всем требованиям, которые нужны врачам-кардиологам. Разработанный кардиограф «ЭКГ-ЭКСПРЕСС» решает актуальные задачи кардиологии. Проведенные испытания прибора в НИИ кардиологии Томского НИМЦ показали его пригодность для диагностики ряда сердечно-сосудистых заболеваний. На данный момент приборы продолжают проходить тестирования в НИИ кардиологии.

В настоящий момент нами активно ведется разработка собственных емкостных электродов для прибора. Задача разработки таких электродов связана с необходимостью компенсации влияния емкости кожно-электродного контакта уравниванием потенциала обкладок «плоского конденсатора», формируемого поверхностью кожи и чувствительным элементом датчика. Это позволит значительно снизить искажения при измерении ЭКГ-сигналов емкостными датчиками, что является весьма актуальным при использовании приборов данного типа в домашних условиях.

Авторы статьи выражают благодарность доктору медицинских наук заместителю директора НИИ кардиологии Томского НИМЦ Ахмедову Шамилю Джамановичу и кандидату медицинских наук врачу-кардиологу НИИ кардиологии Томского НИМЦ Перчаткину Владимиру Анатольевичу.

Работы по разработке прототипа электрокардиографа выполнены при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-00535. Работы по применению прототипов электрокардиографов «ЭКГ-ЭКСПРЕСС» в НИИ кардиологии выполнялись при поддержке гранта Президента МК-4356.2018.8.

Список литературы:

1. Статистика смертности от сердечно-сосудистых заболеваний в России и в мире / Всемирная организация здравоохранения / [https://www.who.int/ru/news-room/factsheets/detail/cardiovascular-diseases-\(cvds\)](https://www.who.int/ru/news-room/factsheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds)) (дата обращения: 03.06.2019).
2. Interrogation of Patient Smartphone Activity Tracker to Assist Arrhythmia Management / *Annals of emergency medicine* / <https://www.annemergmed.com> (дата обращения: 03.06.2019).
3. Федеральные клинические рекомендации по диагностике и лечению нарушений ритма и проводимости сердца / Сост. С.П. Голицын (руководитель), Е.С. Кропачева, Е.Б. Майков и др. – М., 2013. 104 с.
4. Электрокардиограф переносной ЭКГК-01 / Сайт компании «Валента» / <http://valenta.spb.ru> (дата обращения: 03.06.2019).
5. AliveCor / Сайт компании «AliveCor» / <https://www.alivecor.com/> (дата обращения: 03.06.2019).
6. КардиРу – персональный контроль вашего сердца / Сайт компании «КардиРу» / <https://kardi.ru/> (дата обращения: 03.06.2019).
7. Кардиоджет – портативный электрокардиограф / Мета-Кард / <http://www.metacard.ru/catalog/cardiojet> (дата обращения: 03.06.2019).
8. Apple Watch / Хабр: носимая электроника / <https://habr.com/ru/post/423489/> (дата обращения: 03.06.2019).
9. Lezhnina I.A., Overchuk K.V., Uvarov A.A., Perchatkin V.A., Lvova A.B. The experience of using the personal electrocardiograph «ECG-Express» // *Journal of Physics: Conf. Series*. 2017. Vol. 881. № 012008. PP. 1-5.

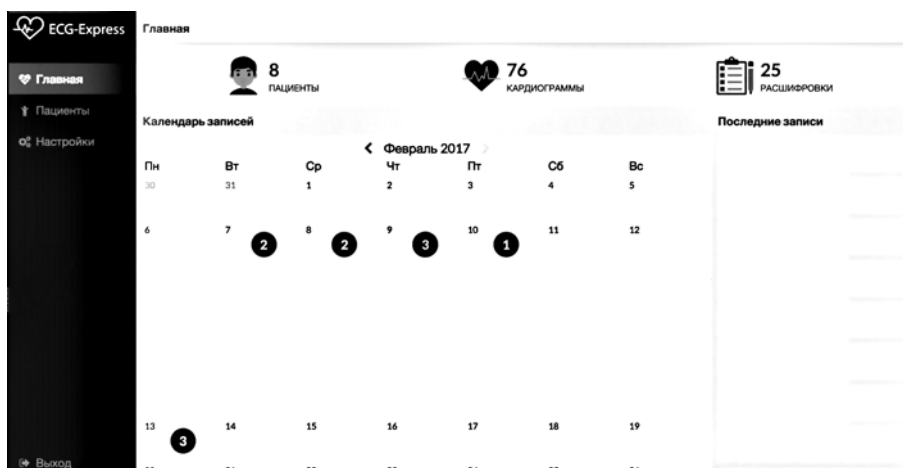


Рис. 3. Календарь записей пациентов в личном кабинете доктора

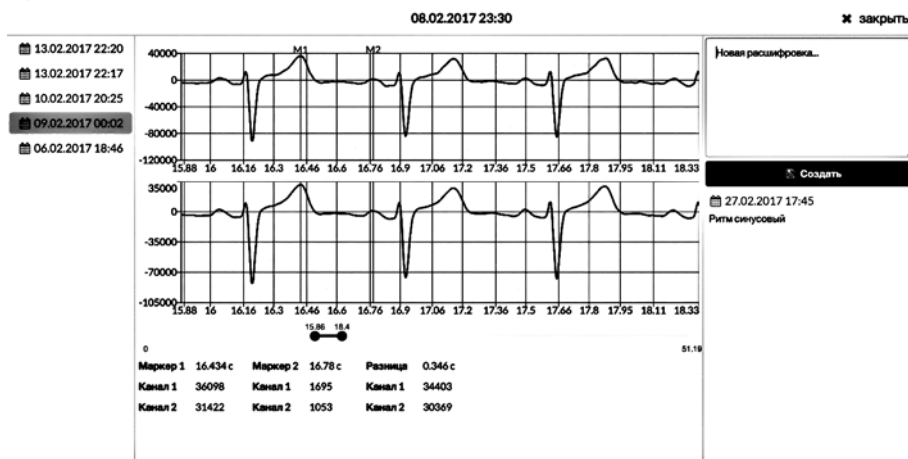


Рис. 4. Окно просмотра записей ЭКГ, функционал «линейка»

10. Overchuk K.V., Uvarov A.A., Lezhnina I.A. Anti-jamming algorithm for detection of QRS and ST segments on electrocardiogram / MATEC Web of Conferences. 2016. Vol. 7. № 01029.
11. Plessey MicroLEDs Clifford / ibme.ox.ac.uk/research/biomedical-signal-processinginstrumentation/prof-l-tarassenko/publications/pdf/gdcliffordthesis.pdf. (дата обращения: 03.06.2019).
12. Интерфейс API (Application Programming Interface) / <https://habr.com/ru/sandbox/52599/> (дата обращения: 03.06.2019).
13. Lezhnina I.A., Boyakhchyan A.A., Overchuk K.V., Uvarov A.A. Clinical trials of a personal electrocardiograph / JOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2017. Vol. 881. № 01204. PP. 1-6.

Инна Алексеевна Лежнина,
канд. техн. наук, доцент,
Инженерная школа неразрушающего контроля,
Национальный исследовательский
Томский политехнический университет,
г. Томск,
Александр Андреевич Уваров,
руководитель проектов,
Центр инноваций ПАО МТС,
г. Москва,
Кирилл Вячеславович Оверчук,
инженер,
DI-lab,
Арман Артурович Бояхчян,
аспирант,

Инженерная школа неразрушающего контроля,
Национальный исследовательский
Томский политехнический университет,
ассистент,
медико-биологический факультет,
Сибирский государственный
медицинский университет,
Станислав Николаевич Торгаев,
канд. физ.-мат. наук, доцент,
радиофизический факультет,
Томский государственный университет,
доцент,
Инженерная школа неразрушающего контроля,
Национальный исследовательский
Томский политехнический университет,
г. Томск,
Геннадий Сергеевич Евтушенко,
д-р техн. наук, гл. научный сотрудник,
ФГБНУ «Научно-исследовательский институт –
Республиканский исследовательский научно-
консультационный центр экспертизы»
Министерства науки и высшего образования,
г. Москва,
профессор,
Инженерная школа неразрушающего контроля,
Национальный исследовательский
Томский политехнический университет,
г. Томск,
e-mail: bojahchyan@yandex.ru

А.Ю. Герасименко, Е.П. Кицюк, П.Ю. Привалова, И.А. Суетина, Н.А. Демиденко,
Р.М. Рязанов, С.И. Джалилов, Л.И. Руссу, М.В. Мезенцева

Влияние лазерного структурирования углеродных нанотрубок на пролиферацию хондробластов и стволовых клеток

Аннотация

Продemonстрирована наибольшая плотность пролифериовавших клеток хрящевой ткани (хондробластов) на поверхности вертикально ориентированных массивов многостенных углеродных нанотрубок (МУНТ), синтезированных на кремниевой подложке, по сравнению с чистой подложкой. При помощи электронной микроскопии показано изменение вертикального положения нанотрубок в массиве под действием клеток в питательной среде. Разработан метод структурирования массивов МУНТ посредством сканирования лазерными импульсами (100 нс) и жидкостной обработки на планарных подложках. За счет структурирования МУНТ обеспечена стойкость массива к изгибанию под влиянием питательной среды с мезенхимальными стволовыми клетками (МСК). Продemonстрировано отсутствие токсического действия и патологического влияния на жизнеспособность и морфологию стволовых клеток структурированного массива МУНТ. На основе таких материалов могут быть сформированы адгезивные для клеток элементы биомедицинских устройств.

Введение

Углеродные наноматериалы, такие как фуллерены, графен и углеродные нанотрубки (УНТ), обладают уникальными структурными, механическими и электрическими свойствами, которые открывают широкие возможности для их биологических применений. На основе таких материалов могут быть сформированы функциональные элементы биомедицинских устройств, например для систем «органы на чипе», биосенсоров, платформ для мониторинга активности клеток, устройств адресной доставки лекарств и др. [1]. В настоящее время актуальной задачей является поиск биосовместимых материалов с развитой поверхностью, которые могут обеспечить необходимую степень адгезии высаженных на них клеток. В таком случае будет достигаться заполнение клетками заданных подложек за счет их пролиферации. Максимальная степень адгезии

может быть достигнута при соответствии размеров латеральных отростков клеток размерам структурных элементов подложек. В связи с этим для модуляции процесса роста клеток каркасы для клеточной инженерии в первую очередь должны обладать заданной шероховатостью и контролируемым химическим составом. Углеродные нанотрубки считаются искусственными аналогами компонентов внеклеточного матрикса, так как обладают высокой удельной поверхностью и структурой, подобной волокнам коллагена (основной белок соединительной ткани). Таким образом, нанотрубки являются привлекательными наполнителями для клеточно- и тканеинженерных скэффолдов, которые способствуют прикреплению, пролиферации и дифференцировке клеток [2].

Цитотоксичность нанотрубок систематически исследовалась на многих линиях клеток млекопитающих или на животных моделях, в результате был сделан вывод о том, что мате-