

УДК 16.12-073.97-71; 621.39

**НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ
ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФА НА НАНОЭЛЕКТРОДАХ
ДЛЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ
С ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫМ КАНАЛОМ**

Д.К. Авдеева, И.А. Лежнина, М.М. Южаков,
А.А. Уваров, И.В. Максимов¹, С.В. Демьянов¹,
М.В. Балахонова²

Томский политехнический университет

¹ФГБУ «НИИ кардиологии» Сибирского отделения РАМН²ГБОУ ВПО СибГМУ Росздрава

E-mail: inna84@sibmail.com

Авдеева Диана Константиновна, д-р техн. наук, профессор кафедры информационно-измерительной техники, зав. лабораторией 63 Института неразрушающего контроля ТПУ.

E-mail: diana.avdeeva@mail.ru

Область научных интересов: нанотехнологии, медицинское приборостроение, борьба с помехами, медицинские электроды.

Лежнина Инна Алексеевна, канд. техн. наук, доцент кафедры информационно-измерительной техники, старший научный сотрудник лаборатории 63 Института неразрушающего контроля ТПУ.

E-mail: inna84-08@mail.ru

Область научных интересов: исследование биоэлектрической активности сердца человека.

Южаков Михаил Михайлович, мл. научный сотрудник лаборатории 63 института неразрушающего контроля ТПУ.

E-mail: libra2000@yandex.ru

Область научных интересов: разработка способов и технических средств для оценки психоэмоционального состояния человека.

Уваров Александр Андреевич, аспирант Института неразрушающего контроля ТПУ.

E-mail: uaa@tpu.ru

Область научных интересов: автоматический анализ электрофизиологических данных.

Максимов Иван Вадимович, д-р мед. наук, профессор, ведущий сотрудник, НИИ кардиологии ТФ АМН РФ.

E-mail: miv@cardio.tsu.ru

Область научных интересов: исследования и лечение сердечно-сосудистых заболеваний человека.

Показана перспектива и возможность использования электрокардиографов на нанозэлектродах для применения в домашних условиях с использованием телекоммуникационного канала. По результатам медицинских исследований установлено, что электрокардиографы регистрируют сигналы уровнем, составляющим единицы мкВ. Записи ЭКГ у пациентов со стимулятором не содержат артефакты, вызванные работой стимулятора. Электрокардиографы на нанозэлектродах позволяют зарегистрировать ЭКГ без фильтров, электрокардиографы обладают лучшими техническими характеристиками по сравнению со стандартными ЭКГ-аппаратами. Сделан вывод о том, что на данный момент не существует портативных ЭКГ-аппаратов для индивидуального применения в домашних условиях с техническими характеристиками, сопоставимыми с ЭКГ-аппаратами, используемыми в отделениях кардиологии и др. медицинских учреждениях, простых в использовании (т. е. не требующих специальной квалификации), а также доступных по цене обычному человеку.

Ключевые слова:

Электрокардиография, высокое разрешение, телекоммуникация.

Болезнь сердца относится к числу наиболее распространенных заболеваний в экономически развитых странах, ее доля среди всех причин смертности населения составляет более 20 % в Европе и более 50 % в Российской Федерации (ЕОК, 2008; ВОЗ, 2009). Тревогу внушает также и то, что количество случаев сердечных заболеваний постоянно увеличивается, а возраст больных неуклонно снижается. В настоящее время нередко случаи, когда возраст больного инфарктом миокарда не превышает 23–25 лет. Особенно часто заболевания сердца встречаются у мужчин трудоспособного возраста [1–3].

Заболевания сердца – яркий пример патологии, течение и исход которой напрямую зависит от сроков обращения к врачу, своевременной постановки диагноза и начала адекватного лечения. Исходя из этого, симптомы таких заболеваний и способы доврачебной помощи при сердечном приступе должны быть известны каждому че

Демьянов Сергей Витальевич, канд. мед. наук, зав. отделением неотложной кардиологии НИИ кардиологии ТФ АМН РФ.

E-mail: svd@cardio.tsu.ru

Область научных интересов: исследования и лечение сердечно-сосудистых заболеваний человека.

Балахонова Мария Вячеславовна, кан. мед. наук, ассистент кафедры кардиологии ФПК и ППС ГБОУ ВПО СибГМУ Росздрава.

E-mail:

maria_balahonova@mail.ru

Область научных интересов: исследования и лечение сердечно-сосудистых заболеваний человека.

ловеку, даже весьма далекому от медицины.

Рассмотрим объем больных с заболеваниями сердца на примере Томской области. Численность населения Томской области на 2010 г. составляет 1043759 человек, из них 66,7 % относятся к людям трудоспособного возраста (696187 чел). Динамика заболеваний сердечно-сосудистой системы по официальным данным составляет 179,4 на 1000 человек, а, следовательно, это составляет 124895 больных по Томской области, которые относятся к трудоспособному возрасту [4].

Смертность от болезней сердца составляет 48,5 % от общей смертности, а это 6422 человека в год, при этом количество обращений с жалобой боли в области сердца остается неизменным. Соотношения численности населения к проценту людей с заболеваниями сердца в различных регионах примерно одинаково.

Такая статистика доказывает, что на данный момент необходимо не просто усовершенствовать ЭКГ-аппараты, используемые в медицинских учреждениях, с целью более ранней, глубокой диагностики сердечно-сосудистой системы, но также внедрять в широкое применение ЭКГ-аппараты для индивидуального использования в домашних условиях. Ещё 20 лет назад никто и представить не мог, что почти каждая семья будет иметь у себя в личном пользовании тонометр для контроля давления, глюкометр (встречается реже) для контроля уровня сахара в крови. Сейчас, в связи огромным количеством людей, страдающих от проблем, связанных с болезнями сердца,

увеличения уровня стресса, а также с повсеместной компьютеризацией, наступила очередь внедрения высококачественных ЭКГ-аппаратов для индивидуального применения.

В связи с этим в лаборатории медицинского приборостроения института неразрушающего контроля ТПУ в течение нескольких лет ведутся работы по повышению разрешения не только отдельных элементов ЭКГ аппаратуры, но и всего комплекса в целом. Применение наноразмерных частиц серебра в конструкции электрокардиографического электрода позволило достичь многократного повышения его метрологических характеристик. В совокупности с разработкой малошумящих регистрирующих приборов удалось достичь повышения разрешения сигнала до сотен нановольт (при общепринятых десятках и сотнях микровольт). В структуре электрокардиографа отсутствуют фильтры (ФВЧ и заграждающий сетевой фильтр 50 Гц).

Преимущества нанoeлектродов, позволяющие усовершенствовать ЭКГ-аппараты:

- практически не поляризуются при токах до 0,5 мкА и имеют низкие контактные потенциалы;
- дрейф электродного потенциала при постоянном токе 1 нА составляет не более 0,001 мкВ/с; при токе 100 нА – не более 0,01 мкВ/с;
- размах собственных шумов электродов в различных частотных диапазонах:
 - от 0,01 Гц до 1 Гц – ± 5 нВ;
 - от 0,05 Гц до 75 Гц – ± 35 нВ;
 - от 1 Гц до 500 Гц – ± 80 нВ.

Сочетание активного развития информационных и коммуникационных технологий, экспоненциальный рост пользователей сети интернет приводит к инновационной востребованности телемедицинских проектов [5–7].

В разработанном электрокардиографе имеется возможность записи ЭКГ на флэш-накопитель для дальнейшей передачи данных на компьютер, также можно передавать данные на ПК через порт USB по прямому каналу связи. После передачи данных на ПК пользователь

посредством сети интернет может передать полученную ЭКГ в диагностический центр для детального анализа и постановки диагноза врачами-кардиологами.

На данный момент проектируется радиоканал для возможности передачи данных без использования ПК сразу в диагностический центр. Это позволит пользователю, даже находясь на улице, сообщать о состоянии своего здоровья, рис. 1.



Рис. 1. Радиоканал

В НИИ кардиологии г. Томска были проведены исследования электрокардиографа на нанозлектродах.

Были исследованы пациенты, имеющие патологии в сердечно-сосудистой системе, с помощью разработанного электрокардиографа в трех отведениях от конечностей (I, II, III) и в трех грудных отведениях по Небу и по Холтеру. Одновременно регистрировалась электрокардиограмма на стандартном электрокардиографе.

Регистрация электрокардиограммы при помощи стандартного электрокардиографа CardioFax GEM (NIHON KONDEN) и исследуемого электрокардиографа на нанозлектродах проводилась с минимальным разрывом по времени. Исследования проводились в следующих условиях: нормальное освещение и температура, в специальном медицинском кабинете, при отсутствии отвлекающих и раздражающих факторов (шум, посторонние лица, разговоры). Электрокардиограмму снимали с трех отведений от конечностей и грудной клетки (по Небу и по Холтеру), длительность записи с каждого отведения 3–5 минут. Всего было исследовано 19 пациентов с различными патологиями сердечно-сосудистой системы.

На рис. 2 и 3 представлены данные пациента П5, снятые в один день с помощью электрокардиографа на нанозлектродах и стандартного электрокардиографа CardioFax GEM (NIHON KONDEN).

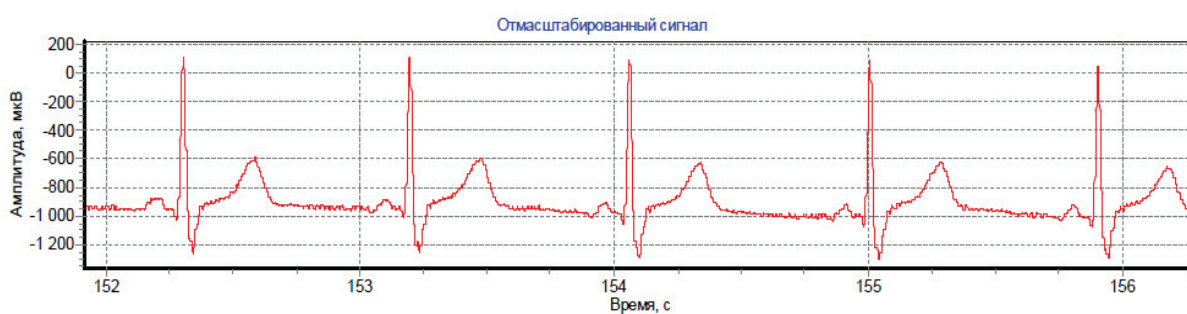


Рис. 2. Электрокардиограммы, зарегистрированные электрокардиографом на нанозлектродах для пациента П5

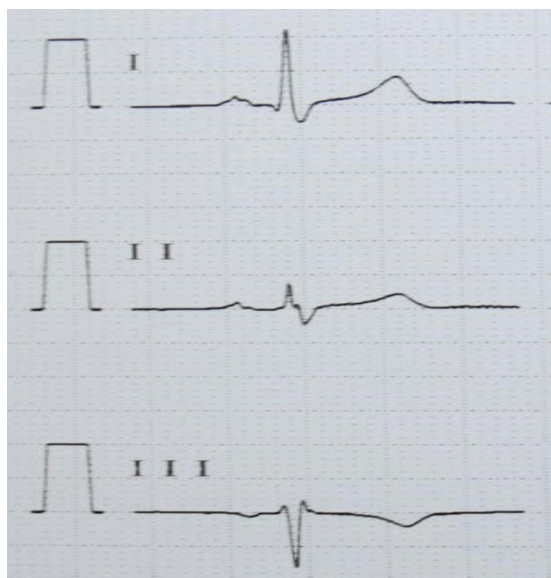


Рис. 3. Электрокардиограммы с трех отведений от конечностей пациента П5, зарегистрированные на стандартном электрокардиографе с разрешением по амплитуде 10мм/мВ, по времени 25мм/с

На рис. 4 изображена электрокардиограмма пациента П19 с кардиостимулятором.

На рис. 5 представлена электрокардиограмма того же пациента, записанная стандартным электрокардиографом.

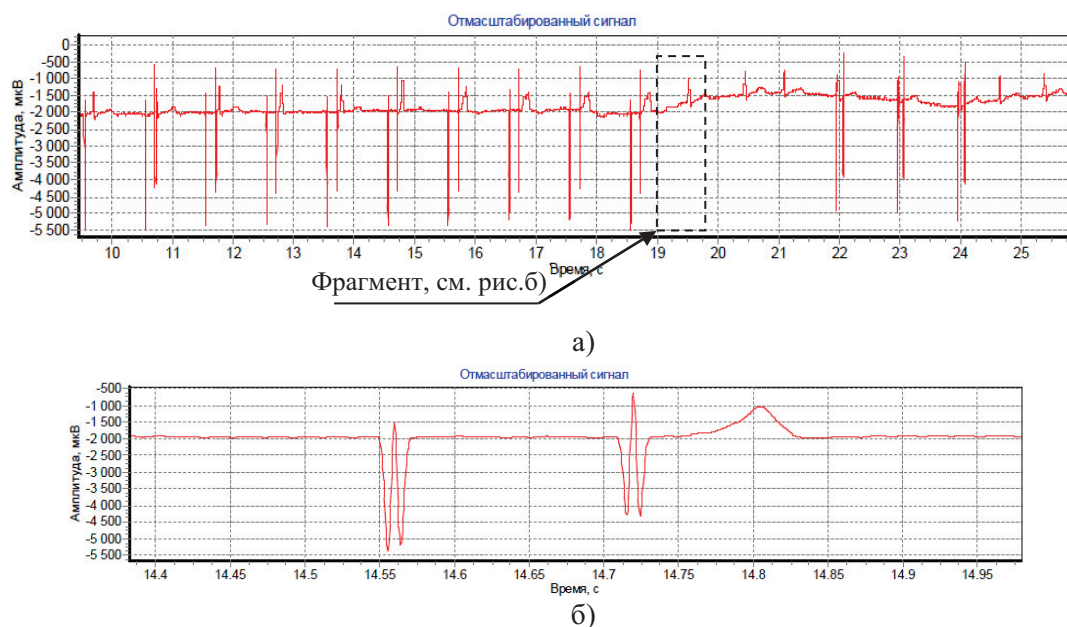


Рис. 4. Электрокардиограммы пациента П19 с кардиостимулятором, зарегистрированные электрокардиографом на наноэлектродах: а) электрокардиограмма пациента с кардиостимулятором; б) фрагмент электрокардиограммы пациента с кардиостимулятором

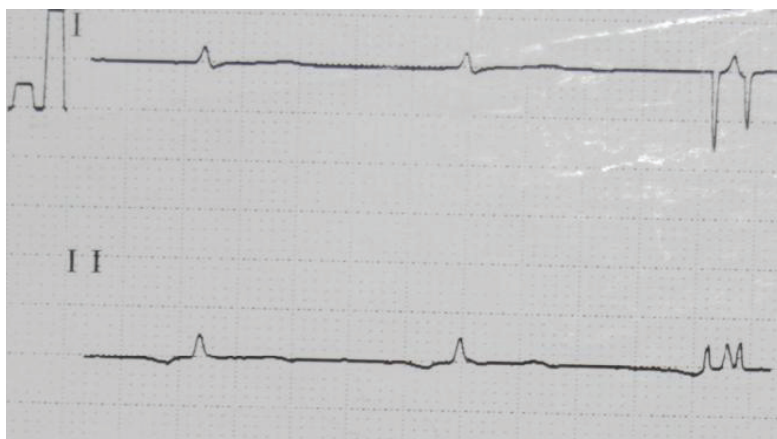


Рис. 5. Электрокардиограммы пациента П19 с кардиостимулятором, зарегистрированные на стандартном электрокардиографе с разрешением по амплитуде 10мм/мВ, по времени 25мм/с

По результатам медицинских исследований установлено, что:

- электрокардиографы регистрируют сигналы уровнем, составляющим единицы мкВ;
- записи ЭКГ у пациентов со стимулятором не содержат артефакты, вызванные работой стимулятора;
- электрокардиографы на наноэлектродах позволяют зарегистрировать ЭКГ без фильтров.

Технические характеристики портативного электрокардиографа на наноэлектродах с телекоммуникационным каналом:

- диапазон входных напряжений от $\pm 0,002$ мВ до ± 20 мВ (по ГОСТ 19687-89 от 0,03мВ до 5мВ);
- уровень собственных внутренних шумов от пика до пика от -1мкВ до +1мкВ;
- диапазон частот (0...40)/(0...75)/(0...100) Гц;
- частота квантования 200/500/1000/2000;
- число каналов 1 или 3;
- число электродов 3 или 7;
- запись на флэш с объемом памяти 2 Гб;
- часы реального времени;
- питание от аккумуляторных батарей.

Для сравнения, представлены технические характеристики аналогичного (по сфере применения) электрокардиографа «Кардиоджет»:

- диапазон входных напряжений от $\pm 0,03$ мВ до 5мВ (по ГОСТ 19687-89 от 0,03мВ до 5мВ);
- напряжение внутренних шумов в каналах электрокардиографа, приведенных ко входу – не более 20мкВ;
- диапазон частот (0,05...100) Гц;
- число каналов 12;
- число электродов 12.

Специальное программно-алгоритмическое обеспечение, разработки которого ведутся по проекту № 15-05/2012 III Межвузовский конкурс исследовательских проектов ТПУ, Томск, позволит получать пользователю рекомендации по визиту к врачу или по проведению повторного анализа, также в электрокардиографе предусмотрен телемедицинский канал для передачи ЭКГ на диагностику врачу-кардиологу в специальный диагностический центр.

В разрабатываемом электрокардиографе используются результаты, полученные при выполнении госзадания № 7.2269.2011 «Проведение фундаментальных исследований по выявлению изменений электрокардиографического сигнала нановольтового и микровольтового уровня с целью ранней диагностики сердечно-сосудистых заболеваний».

Программное обеспечение позволит пользователю получать следующие рекомендации: «повторить анализ ЭКГ через час», «необходимо обратиться к врачу», «есть риск возникновения заболевания, рекомендуем обратиться к врачу», «без патологий, рекомендуется повторное исследование через 1 месяц» и т. п.

В результате получаем недорогой и простой в использовании ЭКГ-аппарат с телекоммуникационным каналом для применения в домашних условиях с повышенной разрешающей способностью.

Главным потребителем разрабатываемого ЭКГ-аппарата является население, нуждающееся в постоянном контроле за работой сердца. В данном случае очень важно обеспечить доступность (по цене) ЭКГ-аппарата для обычного человека. Не менее важным является наглядное представление диагноза, учитывая, что прибором будет пользоваться некомпетентный в медицине потребитель, а так же необходимо обеспечить максимальную простоту в управлении.

Также потенциальными потребителями разрабатываемого электрокардиографа или его модификаций могут быть различные медицинские учреждения.

На данный момент не существует портативных ЭКГ-аппаратов для индивидуального применения в домашних условиях с техническими характеристиками, сопоставимыми с ЭКГ-аппаратами, используемыми в отделениях кардиологии и др. медицинских учреждениях, простых в использовании (т. е. не требующих специальной квалификации), а также доступных по цене обычному человеку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Danilyuk P.I. Электрокардиография ECG // Copyright F.E.E.A. 2007. URL: [http://db.datex-oda.com/evadb/fi3037.nsf/WebMaterialDate/1E1EDCF9F5E3354AC22575DA0027B41D/\\$File/Daniljuk_ECG.pdf](http://db.datex-oda.com/evadb/fi3037.nsf/WebMaterialDate/1E1EDCF9F5E3354AC22575DA0027B41D/$File/Daniljuk_ECG.pdf) (дата обращения: 11.02.2010).
2. Сердечно-сосудистые заболевания. Информационный бюллетень № 317 // Сайт Всемирной организации здравоохранения. 2011. URL: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs317/ru/index.html> (дата обращения: 11.02.2010).
3. Здравоохранение Томской области в 2010 году. Статистический сборник. – Томск. – 2011. – 66 с.
4. Казанцев А.П. Телемедицинские системы мобильной электрокардиографии: автореф. дис... канд. техн. наук. – Рязань, 2009. – 19 с.
5. Телемедицина: обзор современного состояния и перспективы развития в России // РФФИ. 1997–2007 гг. URL: http://w3.rfbr.ru/default.asp?article_id=5548&doc_id=5175#id5548 (дата обращения: 20.10.2011).
6. Современная телемедицина // ФГБО Российская детская клиническая больница Минздравсоцразвития России. 2005. URL: <http://www.rdkb.ru/work/tele> (дата обращения: 20.10.2011).

Поступила 17.04.2012 г.