

Богданов Евгений Анатольевич

научный сотрудник

ФГАОУ ВПО «Балтийский федеральный

университет им. И. Канта»

г. Калининград, Калининградская область

Патрушев Максим Владимирович

канд. биол. наук, директор

Химико-биологический институт

ФГАОУ ВПО «Балтийский федеральный

университет им. И. Канта»

г. Калининград, Калининградская область

Силина Екатерина Владимировна

д-р мед. наук, профессор

ГБОУ ВПО «Первый Московский

государственный медицинский университет

им. И.М. Сеченова» Минздрава России

г. Москва

Шушарина Наталья Николаевна

канд. пед. наук, заместитель директора

Химико-биологический институт

ФГАОУ ВПО «Балтийский федеральный

университет им. И. Канта»

г. Калининград, Калининградская область

Ступин Виктор Александрович

д-р мед. наук, профессор,

заведующий кафедрой

ГБОУ ВПО «Российский национальный

исследовательский медицинский

университет им. Н.И. Пирогова»

Минздрава России

г. Москва

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ДЛИТЕЛЬНОГО НЕИНВАЗИВНОГО БЕСПРОВОДНОГО ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ

***Аннотация:** авторами разработан экспериментальный образец устройства для неинвазивного дистанционного беспроводного мониторинга состояния сердечно-сосудистой системы (ССС) человека на основе метода фотоплетизмографии с одновременной оценкой двигательной активности и способ дистанционной беспроводной передачи данных на рабочее место врача, а также службу скорой медицинской помощи, куда сигнал о критических жизнеугрожающих ситуациях может поступать в on-line режиме. Результаты 30-дневного мониторинга показателей ССС и двигательной активности у 10 здоровых добровольцев свидетельствуют о том, что устройство позволяет обеспечить адекватный длительный кардиомониторинг и экстренное реагирование.*

***Ключевые слова:** кардиомониторинг, фотоплетизмография, удаленная диагностика, пульсовая волна, частота сердечных сокращений.*

***Введение.** За последние 30 лет смертность от заболеваний сердечно-сосудистой системы (ССС) увеличилась на 40% [1], сегодня от них ежегодно умирают более 17 миллионов человек, включая 7,6 млн вследствие инфаркта миокарда и 5,7 млн из-за инсульта [2]. Особенно остро эта проблема стоит в странах со средним и низким уровнем дохода [3]. В России доля смертности от сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ) составляет 57% в структуре общей смертности населения [4]. По данным государственного доклада о состоянии здоровья населения и организации здравоохранения по итогам деятельности органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации в 2014 году по сравнению с 2008 годом доля болезней системы кровообращения увеличилась на 3,6%, составив 22842 на 100 тыс. населения. Столь негативная динамика свидетельствует о невозможности решить проблему ССЗ имеющимся арсеналом средств, а также о несовершенстве методов кардиомониторинга.*

Одним из путей решения этой проблемы является создание простого устройства для индивидуального постоянного мониторинга показателей ССС. Неинвазивной перспективной методикой является фотоплетизмография (ФПГ), позволяющая анализировать показатели пульсовой волны, сердечный ритм и кислородонасыщение крови [5; 6]. Кроме того, доказана связь параметров пульсовой волны, оцениваемой по ФПГ, с показателями кровяного давления [7]. Все это дает основание предполагать, что программно-аппаратный комплекс на основе метода ФПГ для длительного мониторинга нескольких физиологических параметров ССС может быть простым, легким, дешевым и иметь большой потенциал для широкого внедрения в амбулаторную практику.

В данной связи *цель* нашей работы – создание научно-технического задела в области дистанционной медицины для своевременного выявления и купирования заболеваний сердечно-сосудистой системы путем дистанционного мониторинга основных физиологических показателей человека.

Изложение основного материала.

Для реализации поставленной цели был изготовлен экспериментальный образец устройства для диагностики функционального состояния ССС и проведены его испытания. Устройство выполнено в виде браслета, в который дополнительно встроены энергонезависимая память для хранения информации, аккумулятор, модуль Bluetooth для связи с сотовым телефоном, кнопка экстренной помощи, акселерометр для сопоставления двигательной активности пациента с медицинскими данными измерений показателей ССС. За счет использования модуля Bluetooth и сотового телефона в качестве передающего устройства в сеть Интернет, передача информации о состоянии ССС пациента врачу происходит в режиме реального времени, возможна и обратная связь.

Снимаемая оптическим методом ФПГ содержит в себе следующие характеристики: (1) Амплитудные (несмотря на то, что эти параметры являются относительными, их изучение в динамике предоставляет ценную информацию о силе сосудистой реакции в процессе действия какого-либо кратковременно действующего на организм фактора). (2) Временные, предоставляющие информацию о

длительности сердечного цикла и частоты сердечных сокращений, соотношении и длительности систолы и диастолы, и формирующих их фаз (эти параметры имеют абсолютные значения и могут сравниваться с существующими нормативными показателями – длительность анакротической и дикротической фазы пульсовой волны, длительность пульсовой волны, индекс восходящей волны, время наполнения в период систолы, продолжительность систолической и диастолической фазы сердечного цикла, частота сердечных сокращений). (3) Статистические, определяющие вариабельность амплитуды и сердечного ритма на большом промежутке времени (минуты). (4) Вычисляемые параметры с использованием значений предыдущих групп. К этой группе относятся: индекс дикротической волны, отражающий положение вершины дикротической волны относительно анакротической; отношение длительности анакротической и дикротической фаз. Вычисление вышеприведенных параметров позволяет проводить диагностику как при оценке мгновенной реакции организма на воздействие внешних физических факторов, например, при проведении интенсивной терапии, так и при регистрации изменений гемодинамики на протяжении длительного периода, что дает возможность в целом судить о состоянии ССС.

Мониторинг состояния ССС проводился следующим образом. Датчик ФПГ, выполненный в составе браслета, прикрепляли к запястью. Сигнал с фотодиода, входящего в состав датчика, проходил через мягкие ткани и отражался от них. В зависимости от насыщения кровью мягких тканей, менялась интенсивность волн в инфракрасном диапазоне. Отраженный сигнал попадал на фототранзистор. В зависимости от отраженной волны, менялся ток на фототранзисторе, входящем в состав датчика ФПГ. Поскольку значение тока менялось в режиме реального времени, строилась функция зависимости напряжения от времени, график которой представляет собой пульсовую волну. Для удаления шумов и сглаживания кривой, данные напряжения аппаратно фильтровали с помощью фильтра низких частот. Методом скользящей средней проводили математическую обработку графика пульсовой волны для сглаживания и последующего удобства визуализации, возводя функцию времени в квадрат. В итоге, получали график ФПГ, который

имеет ту же форму, что и график электрокардиограммы, к которому привыкли врачи. По сути обработка и преобразование сигнала ФПГ проходит стадию возведения в квадрат, стадию дифференцировки и в результате получается эталонный сигнал ЭКГ. Таким образом, межпульсовый интервал сигнала ФПГ хорошо коррелирует с интервалом пика сигнала ЭКГ (с R-R интервалом). Это указывает на возможность использования сигнала ФПГ для анализа параметров ССС так же эффективно, как сигнал ЭКГ.

Следующим этапом работы стала разработка алгоритмов сопоставления двигательной активности пациента с медицинскими данными измерений пульсовой волны и ЧСС для повышения точности диагностики. Для сопоставления двигательной активности пациента с медицинскими данными измерений пульсовой волны и ЧСС поступающие на процессор данные с акселерометра для численной обработки данных осей координат, позволяли определить положение человека в пространстве и скорости его движения. Одновременно с этим, в режиме реального времени, поступали численные данные с датчика ФПГ, которые сопоставлялись с данными акселерометра. В результате сопоставления данных, автоматически оценивали физиологическое состояние человека в реальный момент времени. В случае критического изменения состояния ССС тревожные данные могут автоматически отправляться врачу или на станцию скорой медицинской помощи. Для этого были разработаны методы автоматизированного формирования отчетов рекомендательной системы по составлению проектов врачебных заключений для последующей обработки их медицинскими работниками

Также был разработан способ дистанционной беспроводной диагностики функционального состояния ССС на основе метода ФПГ, при котором проводят комплексный анализ пульсовой волны и ЧСС путем обработки данных полученных с датчиков ФПГ в режиме реального времени. Для повышения точности диагностики критических состояний ССС данные измерений пульсовой волны и частоты сердечных сокращений сопоставляют с двигательной активностью пациента.

Для апробации прибора были проведены экспериментальные исследования, данные о состоянии ССС и о двигательной активности получали с 10 человек в течение 1 месяца. После обработки полученной информации данные были усреднены по ключевым точкам. Итоговая выборка составила 500 измерений у каждого испытуемого. Полученные данные могут быть представлены в различных вариантах: поминутно, усредненная по часам, суткам и т. д. с одновременным указанием на уровень физической активности.

Разработанное устройство обладает рядом преимуществ. Во-первых, оно дает возможность немедленного реагирования врачебным персоналом на критические состояния пациента. Во-вторых, оно позволяет проводить длительный и безопасный амбулаторный мониторинг состояния ССС, не требуя при этом дополнительных финансовых, кадровых и временных ресурсов.

Заключение. Разработанный программно-аппаратный комплекс открывает широкие возможности сбора данных о физиологических параметрах ССС в виде характеристик пульсовой волны, значений ЧСС и других вычисляемых показателей, получаемых согласно медицинской программе с автоматизированным формированием стандартного отчета, отражающего мгновенные значения амплитуды пульсовой волны и ЧСС. Имеющаяся архитектура системы предусматривает возможности масштабирования, интеграции с другими информационными медицинскими системами, произвольного обращения к хранящимся в базе данных записям и их анализ. Возможность использования нескольких видов алгоритмов обработки данных в режиме онлайн и подключаемых модулей для офлайн методов позволяют реализовать различные решения прогностических и рекомендательных систем. Устройство может заменить традиционные системы и обеспечить постоянное наблюдение за пациентами с высоким риском развития ССЗ. При возникновении критических опасных жизнеугрожающих состояний устройство способно экстренно информировать службы скорой медицинской помощи, что в результате позволит повысить продолжительность жизни населения.

Благодарности: Работа проводится при финансовой поддержке Министерства образования и науки России (RFMEFI57814X0053).

Список литературы

1. Roth G.A. et al. Demographic and epidemiologic drivers of global cardiovascular mortality // N Engl J Med. – 2015. – №372 (14). – P. 1333–1341.
2. Tsao CW, Vasan RS. Cohort Profile: The Framingham Heart Study (FHS): overview of milestones in cardiovascular epidemiology. Int J Epidemiol. – 2015. – 44 (6). – P. 1800–1813.
3. Bowry AD, Lewey J, Dugani S.B. Choudhry NK. The Burden of Cardiovascular Disease in Low- and Middle-Income Countries: Epidemiology and Management. Can J Cardiol. – 2015. – 31 (9). – P. 1511–1519.
4. Oganov R.G., Belenkov Y.N. Cardiology. National leadership. – M.: GEOTAR-Media, 2010. – 1232 p.
5. Allen J. Photoplethysmography and its application in clinical physiological measurement // Physiological measurement. – 2007. – T. 28. – №. 3. – P. R1.
6. Lee S.S., An M.C., Ahn S.H. A new measurement method of a radial pulse wave using multiple Hall array devices // Journal of Magnetism. – 2009. – V. 14. – №3. – P. 132–136.
7. Nam D.H. et al. Measurement of spatial pulse wave velocity by using a clip-type pulsometer equipped with a hall sensor and photoplethysmography // Sensors. – 2013. – T. 13. – №. 4. – C. 4714–4723.