УДК 614.254.1: 004.415

В.В. МУРОМЦЕВ, Л.А. КАМЫШНИКОВА, О.А. ЕФРЕМОВА

V.V. MUROMTSEV, L.A. KAMYSHNIKOVA, O.A. EFREMOVA

**СПОСОБ ОПЕРАТИВНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ЖИЗНЕУГРОЖАЮЩИХ СОСТОЯНИЙ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ**

**THE METHOD FOR THE OPERATIONAL DETECTION OF LIFE-THREATENING CONDITIONS CARDIOVASCULAR SYSTEM**

*В данной статье авторы освещают способ обнаружения жизнеугрожающих состояний сердечно-сосудистой системы (ССС) с помощью мобильного устройства пациента и автоматизированного анализа ЭКГ и пульса. Особенностью предлагаемого способа является то, что информация о состоянии ССС пациента постоянно снимается с помощью фотоэлектрического датчика пульса и анализируется с помощью алгоритмов, учитывающих индивидуальные особенности пациента. Если данных о пульсе недостаточно, то пациенту предлагается снять ЭКГ в спокойном состоянии. В предлагаемом способе используются следующие методы: метод Пана–Томпкинса и метод динамической трансформации временной шкалы (метод DTW, от англ. dynamic time warping).*

*Ключевые слова: сердечно-сосудистые заболевания; ЭКГ; цифровая обработка сигналов; комплекс QRS; метод DTW; метод Пана–Томпкинса*

*In given article authors shine a method for detecting life-threatening conditions of the cardiovascular system (CVS) using a patient's mobile device and automated analysis of ECG and pulse. A feature of the proposed method is that information about the state of the patient's CVS is constantly taken using a photoelectric pulse sensor and analyzed using algorithms that take into account the individual characteristics of the patient. If pulse data is not enough, then the patient is asked to take an ECG in a calm state. The proposed method uses the following methods: the Pan–Tompkins method and the dynamic time warping method (DTW method).*

*Keywords: cardiovascular diseases; ECG; digital signal processing; QRS complex; DTW method; Pan-Tompkins method*

**Введение**

Среди всех хронических неинфекционных заболеваний сердечно-сосудистые заболевания занимают первое место по распространенности и смертности во всем мире. В оценке состояния ССС существенную роль играет анализ пульса и ЭКГ. При этом многочисленные пациенты имеют потребность в непрерывном контроле в течение продолжительного периода времени. Существующие системы контроля состояния ССС пациента можно разбить на четыре типа:

1. Системы мониторинга с фиксированным временем регистрации данных о состоянии ССС пациента.

2. Циклические мониторы. Циклический монитор регистрирует данные о состоянии ССС пациента в непрерывном цикле. При накоплении определенного объема данные передаются в диагностический центр.

3. Ручные мониторы событий. В этом случае пациент активирует режим регистрации данных о состоянии ССС, если он почувствовал ухудшение своего состояния. Снятые данные передаются в диагностический центр.

4. Автоматизированные мониторы событий. В этом случае система постоянно снимает данные о состоянии ССС и контролирует состояние пациента. При обнаружении опасных состояний ССС система оповещает пациента и активирует режим передачи данных в диагностический центр.

Недостатком систем первого типа является то, что использовать их можно только в случае, когда врач уверен в отсутствии у пациента жизнеугрожающих состояний ССС за время регистрации. Это связано с тем, что данные, становятся доступны врачу только после окончания периода регистрации. А во время регистрации за состоянием ССС пациента никто не следит. Типичным представителем таких систем является монитор Холтера. Преимущества подобных систем в том, что анализ снятых данных может проводиться с использованием мощных стационарных вычислительных систем.

В циклических мониторах недостаток характерный для систем мониторинга с фиксированным временем регистрации отсутствует. Фактически устройства такого типа могут передавать данные в диагностический центр непрерывным потоком. Наиболее развитые циклические мониторы кроме ЭКГ могут считывать и передавать другую информацию, например информацию о кровеносном давлении пациента, его местоположении и скорости движения и другое. Недостатком подобных систем является то, что они передают большие объемы данных и для оперативного обнаружения жизнеугрожающих ситуаций требуют высокоскоростных каналов связи и больших вычислительных мощностей в диагностическом центре. Кроме того, если выявлена жизнеугрожающая ситуация, то оказать экстренную помощь пациенту также затруднительно. Обычно трудности вызваны тем, что время доступа к пациенту может оказаться недопустимо большим. Поэтому в системах такого вида организуют связь с пациентом. Связь используется для передачи рекомендаций диагностического центра по устранению или облегчению жизнеугрожающей ситуации. Однако и в этом случае время на передачу данных и их обработку может оказаться недопустимо большим. Это приводит к тому, что пациент не в состоянии выполнить рекомендации диагностического центра.

Ручные мониторы событий свободны от недостатка циклических мониторов. Объем передаваемых данных в таких системах существенно ниже, следовательно, ниже и требования к каналам связи и вычислительным мощностям диагностического центра. В таких системах также может быть реализована регистрация ЭКГ и другой информации о состоянии ССС и связь диагностического центра с пациентом. Основной недостаток таких систем в том, что пациент может не почувствовать момент приближения некоторых жизнеугрожающих ситуаций.

Наиболее перспективными являются автоматизированные мониторы событий. В таких системах основная нагрузка на обнаружение жизнеугрожающих ситуаций возлагается на мобильное устройство пациента. Современный этап развития медицинского приборостроения характеризуется возрастающим интересом к подобным системам. Это обусловлено тем, что современная методологическая, алгоритмическая и элементная база позволяет создавать мобильные вычислительные устройства, мощности которых достаточно для выполнения такого анализа в реальном масштабе времени. Также при создании современных устройств оперативного обнаружения жизнеугрожающих состояний ССС уделяется большое внимание персонифицированной настройки таких устройств.

**Предлагаемый способ оперативного обнаружения жизнеугрожающих состояний ССС**

В предлагаемом способе используются следующие методы:

1.Метод Пана–Томпкинса [1]. Данный метод широко используется при обработке ЭКГ для выделения комплексов QRS. Метод основан на предварительной фильтрации ЭКГ, взятии производной от ЭКГ, ее возведении в квадрат с последующим интегрированием. В предлагаемом способе метод Пана–Томпкинса используется как для выделения комплексов QRS, так и пиков пульсовых волн с целью определения аритмии сердца.

2.Метод динамической трансформации временной шкалы (метод DTW, от [англ.](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D0%B3%D0%BB%D0%B8%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%8F%D0%B7%D1%8B%D0%BA) dynamic time warping) [2]. Метод DTW позволяет найти оптимальное соответствие между временными последовательностями. Впервые метод применен в распознавании речи, для определения того, как два речевых сигнала представляют одну и ту же исходную фразу. В настоящее время метод нашел применение в различных областях, в том числе и в медицине. Например, в [3] метод DTW использовался для улучшения средств просмотра ЭКГ пациента на рабочем месте врача. Врачу предоставлялась возможность задавать шаблоны комплексов QRS и при просмотре ЭКГ перемещаться по комплексам QRS, наиболее похожим на выбранный шаблон. В данном способе метод DTW используется для сравнения формы комплекса QRS и зубца T в ЭКГ пациента с соответствующими шаблонами, заданными врачом для этого пациента. Таким образом метод DTW используется в предлагаемом способе для обнаружения жизнеугрожающих состояния ССС пациента. Такое использование метода DTW является новым.

Первой особенностью предлагаемого способа является то, что информация о состоянии ССС пациента снимается с фотоэлектрических и электрических датчиков.

Фотоэлектрический датчик представляет собой источник света и фоторезистор. С помощью источника света просвечиваются ткани пациента. Фоторезистор может располагаться рядом с источником света (режим «на отражение») или под ним (режим «на просвет»). Фоторезистор меняет сопротивление в зависимости от количества света поглощенного тканями пациента. Длина волны излучаемого света подбирается таким образом, чтобы он поглощался эритроцитами. Чем больше кровяной поток, тем меньше света поглощается в тканях, следовательно, больше света приходит на фоторезистор.

Такие датчики широко используются в фотоплетизмографии. Регистрируемый сигнал называется фотоплетизмограммой. В клинической практике фотоплетизмография чаще всего применяется для наблюдения пульсовых волн, т. е. изменений объема участка тела, обусловленных сокращениями мышц сердца. Приборы, осуществляющие регистрацию и анализ пульсовых волн, называются пульсометрами.

В современных пульсометрах широко распространены датчики, работающие как в режиме «на отражение», так и в режиме «на просвет». Режим «на просвет» обычно используется в датчиках, надеваемых на мочку уха или на палец. Режим «на отражение» обычно используется в мобильных устройствах, надеваемых на запястье.

В предлагаемом способе в принципе можно использовать любой из этих режимов. Предпочтение следует отдать режиму «на отражение». Сейчас такой режим хорошо апробирован в спортивных часах, трекерах, мобильных телефонах и др.

Данные о пульсе считываются постоянно, и анализируется с помощью алгоритмов, учитывающих индивидуальные особенности пациента. При этом выделяются пульсовые волны и анализируются различные виды аритмии сердца:

* тахикардия - состояние, при котором частота пульса превышает заданную границу (как правило, 90 ударов в минуту);
* брадикардия - частота пульса меньше заданной границы (60 ударов в минуту);
* пароксизмальные нарушения ритма - внезапно возникшее состояние (приступ), при котором появляется крайне частое сердцебиение (ритмичное или неритмичное) частотой, превышающей 150–200 ударов в минуту;
* экстрасистолия - в правильный ритм сердечных сокращений вплетается преждевременное сокращение. В норме у здорового человека в сутки может произойти до 1500 экстрасистол, не требующих лечения и не влияющих на самочувствие.
* мерцательная аритмия - характерны быстрая смена частоты и регулярности сердечного ритма или резкое его замедление. Выявляется путем анализа максимального и минимального интервала между пульсовыми волнами.

Для каждого пациента и анализируемого вида аритмии врач задает допустимую нижнюю и/или верхнюю границу и сообщение для пациента. Одним из сообщений является «Снимите ЭКГ в спокойном состоянии».

Такое сообщение врач задает для тех случаев, когда данных о пульсе оказывается недостаточно для диагностирования жизнеугрожающего состояния ССС и требуется проанализировать ЭКГ.

В настоящее время для снятия ЭКГ используются контактные и бесконтактные электроды. Контактные электроды регистрируют напряжение. Бесконтактные электроды фиксируют емкостные параметры. В предлагаемом способе ЭКГ снимается с электрических датчиков. Используется I отведение.

Данные ЭКГ также анализируется с помощью алгоритмов, учитывающих индивидуальные особенности пациента.

Второй особенностью предлагаемого способа является то, что анализ ЭКГ сводится к выделению комплексов QRS и анализу их формы.

Врач задает шаблоны форм комплексов QRS. С некоторыми шаблонами врач может связать сообщения для пациента. Если обнаружен комплекс QRS наилучшим образом соответствующий шаблону со связанным сообщением, то пациенту выдается это сообщение. Вопросы фильтрации сигнала ЭКГ и выделение комплексов QRS рассмотрены в [4]. Вопросы анализа формы комплексов QRS рассмотрены в работах [3,5].

**Выводы**

Таким образом, в предлагаемом способе постоянно снимаются данные о пульсе пациента с помощью фотоэлектрического датчика. Информация о пульсе анализируется с помощью алгоритмов, учитывающих индивидуальные особенности пациента. Если данных о пульсе недостаточно, то пациенту предлагается снять ЭКГ в спокойном состоянии. Данные ЭКГ также анализируется с помощью алгоритмов, учитывающих индивидуальные особенности пациента.

Такой подход обусловлен тем, что данные о пульсе менее подвержены помехам, чем данные ЭКГ. На качество сигнала ЭКГ сильно влияют помехи, вызываемые мышечной активностью пациента. Борьба с такими помехами приводит к существенному усложнению мобильных устройств, осуществляющих съем и анализ ЭКГ. Поэтому в предлагаемом способе съем ЭКГ осуществляется только при обнаружении опасной ситуации, определяемой путем анализа данных о пульсе пациента.

Т.е. пациент не носит на своем теле датчики, осуществляющие съем ЭКГ. На теле пациента постоянно требуется носить только фотоэлектрический датчик. Тем самым уровень комфорта пациента повышается.

Алгоритмы анализа ЭКГ основаны на анализе формы сигнала, и не используют анализ амплитуды. Это позволяет избежать влияния помех различного рода на качество диагностирования жизнеугрожающей ситуации. Также такой подход позволяет настроить алгоритмы для конкретного пациента. Настройка сводится к заданию шаблонов комплексов QRS.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Pan J., Tompkins W. A real – time QRS detection algorithm // IEEE Transactions on bio medical engineering. – 1985. - Vol.BME-32. - №3. - Р. 230-236.
2. Al-Naymat G., Chawla S., Taheri J. 2012. SparseDTW: A Novel Approach to Speed up Dynamic Time Warping arXiv:1201.2969v1 [cs.DB]. Available at: https://arxiv.org/pdf/1201.2969v1.pdf (date of access: 02.05.2023)
3. Муромцев В.В., Никитин В.М., Ефремова О.А., Камышникова Л.А. Подход к улучшению автоматизированной системы компьютерного анализа электрокардиограммы. // Медицинские технологии. Оценка и выбор. – 2019. - № 2(36). – C. 42-48.
4. Муромцев В.В., Никитин В.М., Ефремова О.А., Камышникова Л.А. Информационная технология оперативного определения жизнеугрожающих состояний сердечно-сосудистой системы // Экономика. Информатика. - 2021. - Том 48. - № 1. - С. 130–141.
5. Muromtsev V.V., Nikitin V.M., Efremova O.A., Kamyshnikova L.A., Ushakova S.N. One of the approaches to automating the analysis of the shape of ECG sections // International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology (IJARET). – 2020. –Vol. 11.- Issue 7. - P. 179-186. DOI: 10.34218/IJARET.11.7.2020.019.

**Муромцев Виктор Владимирович**

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (НИУ «БелГУ»), г. Белгород

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры математического и программного обеспечения информационных систем

Тел.: +7 (4722) 30-13-53

E-mail: muromtsev@bsu.edu.ru

**Камышникова Людмила Александровна**

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (НИУ «БелГУ»), г. Белгород

кандидат медицинских наук, доцент,доцент кафедры факультетской терапии

Тел.: +7 (904) 533-73-34

E-mail: kamyshnikova@bsu.edu.ru

**Ефремова Ольга Алексеевна**

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (НИУ «БелГУ»), г. Белгород

доктор медицинских наук, профессор, заведующая кафедрой факультетской терапии

Тел.: +7 (908) 784-83-33

E-mail: efremova@bsu.edu.ru