

КОНЦЕПЦИЯ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ СЕРДЦА В УСЛОВИЯХ СВОБОДНОЙ ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ

Бодин О.Н., Иванчуков А.Г., Полосин В.Г., Петровский М.А.

ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет», Пенза, Россия (440026 Пенза, ул. Красная 40), e-mail: Anton@dezipner.ru

В статье рассмотрен способ диагностики состояния сердца в условиях свободной двигательной активности пациентов. Он основан на регистрации электрокардиосигнала (ЭКС) посредством беспроводного кардиосилителя, передаче сигнала на смартфон с использованием протокола Bluetooth 4.0, устранении из ЭКС помех (как высокочастотных, так и тренда изолинии), выполнении анализа полученного сигнала с целью получения оценки состояния сердца и оповещении о результатах оценки пациента. Устранение из ЭКС помех основано на применении вейвлет-преобразований. В предлагаемом способе для создания адаптивного базиса, отвечающего реальным изменениям сигнала во времени, используется преобразование Гильберта-Хуанга. Экспресс-оценка состояния сердца осуществляется методом статистической обработки сигнала. Данный метод основан на выявлении патологии путем сравнения статистических параметров исследуемого сигнала со статистическими параметрами нормального ЭКС. Результаты экспресс-оценки состояния сердца предоставляются пациенту и при необходимости отправляются на сервер приложений для более детального анализа кардиологами.

Ключевые слова: электрокардиосигнал, регистрация, предварительная обработка, экспресс-оценка, статистическая обработка, преобразование Гильберта-Хуанга, патология.

THE CONCEPT OF DIAGNOSTICS FOR A HEART CONDITION IN THE CONDITIONS OF FREE MOTIONALACTIVITY

Bodin O.N., Ivanchukov A.G., Polosin V.G., Petrovsky M.A.

ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет», Пенза, Россия (440026 Пенза, ул. Красная 40), e-mail:Anton@dezipner.ru

The paper contains a method of diagnosing a heart condition in a free motor activity of patients. It is based on registering ehlektrokardiosignala (ECS) through a wireless cardio amplifier signal to your smartphone using the protocol Bluetooth 4.0,elimination of interference from ECS (such as high frequency, and the trend isoclines), performing the analysis of the resulting signal to obtain an estimate of the condition of the heart and notification of results evaluation of the patient. Elimination of interference from ECS based on the application of wavelet transforms. Rapid assessment of the condition of the heart is carried out by statistical signal processing. This method is based on the detection of disease by comparing the statistical parameters of the test signal to the statistical parameters of the normal ECS. Results of a rapid assessment of the condition of the heart are provided to the patient and, if necessary, are sent to the application server for more detailed analysis by cardiologists.

Keywords: ehlektrokardiosignal, registration, pre-processing, rapid assessment, statistical processing, Hilbert-Huang transform, pathology

В России начиная с середины 60-х гг. прошлого века наблюдается постепенное увеличение общей смертности, причиной которой более чем в половине случаев являются сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ). Это свидетельствует о беспрецедентном уровне смертности в нашей стране. Каждый день в России от ССЗ умирает 3 114 человек или один человек каждые 28 секунд [1]. Показатели смертности от ССЗ, прежде всего обусловленные острыми формами коронарной патологии, остаются чрезвычайно высокими. По данным, приведенным в отчете Научного центра сердечно сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева РАМН за 2012 год, общая заболеваемость ССЗ и ишемической болезнью сердца в частности

остаётся высокой и в настоящее время в полтора раза превышает показатели 2000 года. Повторный инфаркт миокарда стал причиной смерти более 27,2% всех умерших от инфаркта миокарда. Частота развития инфаркта миокарда в возрасте до 40 лет возросла с 0,7 до 6,9%. При этом рост заболеваемости наблюдается и среди женщин [2].

Настоящая статья посвящена особенностям анализа ЭКС в условиях свободной двигательной активности пациента. Данный способ имеет актуальность для пациентов из группы риска ССЗ и пользователей, интересующихся состоянием своего сердца.

Диагностика патологий сердца в условиях свободной двигательной активности

Для выявления патологий сердца применяют различные подходы и методики, в зависимости от типа заболевания и его стадии. Одним из распространенных и основных методов функциональной диагностики является метод холтеровского мониторирования (ХМ). ХМ используется для методики непрерывной записи электрокардиограммы в нескольких отведениях ЭКГ, в условиях свободной двигательной активности пациента, с последующей дешифровкой в режиме offline на специальных дешифраторах [3]. Во всех устройствах для подобного мониторирования неизменной должна оставаться базовая часть методики: регистрация ЭКГ в 2-3 отведениях продолжительностью от 18 до 24 часов в условиях свободной двигательной активности (или у стационарного больного). По показаниям, техническим возможностям или обстоятельствам могут использоваться более короткие или длительные периоды записи [3].

Как правило, перед применением мониторинга по Холтеру лечащий врач применяет другие виды обследования для выявления или исключения некоторых критических заболеваний. Одним из таких заболеваний является инфаркт миокарда. Хотя иногда выявление ИМ возможно и в процессе мониторинга.

Предлагаемый подход анализа ЭКС в условиях свободной двигательной активности является схожим с процессом мониторинга по Холтеру, но преследует другие цели. Мониторинг по Холтеру предназначен для выполнения долгосрочного наблюдения пациента и последующего изучения его состояния сердца медицинскими специалистами на основании полученного ЭКС за длительный период времени. Предлагаемый подход, в отличие от ХМ, преследует цель осуществления *без участия высококвалифицированных медицинских работников* краткосрочного анализа ЭКС и выявления опасных для жизни патологий сердца в условиях свободной двигательной активности пациентов из группы риска. Прогнозирование поведения сложного объекта, находящегося в чрезвычайной ситуации или в аварийном состоянии, возможно на основе современных статистических методов [4]. Анализ ЭКС и выявление патологий выполняется с использованием возможностей

современной вычислительной техники. В качестве такой техники предлагается использовать смартфон.

Последовательность действий предлагаемого подхода приведена на рисунке 1.



Рис. 1. Алгоритм анализа состояния сердца в условиях свободной двигательной активности

Особенности анализа состояния сердца в условиях свободной двигательной активности

Рассмотрим особенности предлагаемого подхода.

1. Первоначальным действием является выполнение регистрации ЭКС и местоположения пациента. Регистрация ЭКС осуществляется с использованием приведенного выше кардиоусилителя.

Для регистрации ЭКС предлагается специальный миниатюрный кардиоусилитель. Он в сравнении с оборудованием портативного регистратора, используемом при холтеровском мониторинге, имеет очень скромные размеры (2х3 см усилитель и несколько электродов для регистрации ЭКС, закрепляемых в непосредственной близости от усилителя). Такой кардиоусилитель доставляет пациенту минимум неудобств и выполняет регистрацию сигнала всего по одному отведению. Этого, как правило, достаточно для того, чтобы выявить ярко выраженную опасную для жизни патологию.

Получение местоположения пациента выполняется на смартфоне с использованием служб GPS/ГЛОНАСС-навигации (сейчас данными службами оснащаются практически любые новые смартфоны). Управление кардиоусилителем осуществляется посредством вычислительного устройства, способного принять по беспроводному каналу связи зарегистрированный ЭКС. В качестве ведущего устройства выступает, как уже было сказано, смартфон. Взаимодействие кардиоусилителя и смартфона осуществляется по беспроводному каналу связи. Наиболее приоритетным протоколом взаимодействия является протокол Bluetooth 4.0. Этот протокол позволяет передавать необходимый поток информации за определенный участок времени (в среднем 500 отсчетов в секунду), и в то же время он использует энергосберегающий режим работы, что очень критично для кардиоусилителя.

Регистрация производится автоматически, по подаваемому со смартфона сигналу. После сигнала, оповещающего медальон о том, что необходимо выполнить регистрацию ЭКГ, данные с кардиоусилителя в режиме реального времени поступают на смартфон.

2. После получения ЭКС происходит его предварительная обработка. Она заключается в удалении из ЭКС помех, возникающих при регистрации сигнала в условиях свободной двигательной активности. Помехи искажают полученную информацию, и, следовательно, снижают достоверность результатов экспресс-оценки опасного для жизни состояния сердца. Предварительная обработка заключается в удалении тренда изолинии и выполнении высокочастотной фильтрации. Наиболее сложной является процедура удаления монотонного тренда изолинии.

Начало обработки производится с удаления тренда. Предложенный способ устранения монотонного тренда состоит в сортировке функции и ее аппроксимации, построенной на основе ряда, где коэффициенты находятся с помощью моментов высокого порядка. Для повышения эффективности подавления помех, в последние годы широкое применение нашли методы разложения сигналов на узкополосные составляющие по локально сосредоточенным базисам.

Для устранения высокочастотных помех в сигналах используется эмпирическая модовая декомпозиция (ЭМД). Эмпирические моды – это монокомпонентные составляющие сигнала, которые вместо постоянной амплитуды и частоты, как в простой гармонике, имеют меняющуюся во времени амплитуду и частоту. ЭМ не имеют строгого аналитического описания, но должны удовлетворять условиям, гарантирующим определенную симметрию и узкополосность базисных функций. Основным преимуществом ЭМД является высокая адаптивность, связанная с тем, что базисные функции, используемые для разложения сигнала, конструируются непосредственно из самого исследуемого сигнала, что позволяет учесть все его локальные особенности, внутреннюю структуру, присутствие различных помех [5]. Кроме адаптивности, разложение обладает и другими важными для практических приложений свойствами [5]: локальностью (возможностью учета локальных особенностей сигнала); ортогональностью, обеспечивающей восстановление сигнала с определенной точностью; полнотой, гарантирующей конечность числа базисных функций при конечной длительности сигнала.

Для подавления высокочастотных (ВЧ) помех эмпирические моды, полученные в результате эмпирической модовой декомпозиции ЭКС, подвергают нелинейной пороговой обработке, которая заключается в специальной нелинейной процедуре дискриминации отсчетов ЭМ на некотором пороговом уровне в соответствии с определенными правилами:

$$\eta(EM_j(i)) = \psi(p),$$

где ψ – некоторая нелинейная пороговая функция, p – порог, i – номер отсчета, j – номер (уровень разложения) ЭМ.

Для реконструкции электрокардосигнала, «очищенного» от помех, эмпирические

моды, подвергнутые нелинейной пороговой обработке, суммируются.

Наиболее серьезным недостатком описанного способа подавления ВЧ помех в ЭКС является вычислительная сложность классического алгоритма эмпирической модовой декомпозиции, затрудняющая реализацию данного способа в реальном времени.

Поэтому авторами предлагается для уменьшения времени разложения сигнала на монокомпонентные частотные составляющие в классическом алгоритме эмпирической модовой декомпозиции *исключить* процедуру отсеивания. При этом первые приближения к ЭМ будут считаться частотными компонентами входного сигнала и именно к ним применяется НПО, а базис остается адаптивным, так как получен непосредственно из анализируемых данных эмпирическим методом.

При реализации классического алгоритма эмпирической модовой декомпозиции выполняется 6-8 итераций для качественного отсеивания ЭМ (так рекомендует Н. Хуанг в работе [6]), а при разложении участка ЭКС в 2500-3000 отсчетов получается 8-12 ЭМ. Таким образом, цикл выполняется 48-96 раз. При усечении алгоритма эмпирической модовой декомпозиции количество циклов сокращается в 6-8 раз. Если для устранения ВЧ помех использовать только три первых частотных компоненты, то количество циклов будет всего 3, т.е. сократится примерно в 12-32 раза.

3. Обработанный ЭКС поступает в блок выполнения экспресс-оценки. Под экспресс-оценкой состояния сердца понимается процесс определения в реальном масштабе времени наличия патологии сердца путем сравнения параметров стандартного ЭКС с параметрами зарегистрированного сигнала. При этом необходимо отметить, что определение критического состояния сердца осуществляется без участия высококвалифицированных специалистов посредством выполнения известных алгоритмов определения патологий сердца за счет вычислительных возможностей смартфона в автоматическом режиме.

Анализ параметров зарегистрированного ЭКС позволяет зафиксировать нарушения ритма, нарушения проведения, нарушения электрической оси сердца, эктопические и замещающие сокращения, повреждения миокарда.

Экспресс-оценка направлена на выявление инфаркта миокарда, который представляет собой основное заболевание сердечно сосудистой системы с высоким летальным исходом. В этой связи своевременная диагностика инфаркта является одной из актуальных проблем современной кардиологии. К общепризнанным признакам «ЭКС с отклонением от нормы» и определением ИМ относятся:

1. Отсутствие зубца R в отведениях, расположенных над областью инфаркта.
2. Появление патологического зубца Q в отведениях, расположенных над областью инфаркта.

3. Подъем сегмента S-T выше изолинии в отведениях, расположенных над областью инфаркта.

4. Смещение сегмента S-T ниже изолинии в отведениях, противоположных области инфаркта.

5. Отрицательный зубец T в отведениях, расположенных над областью инфаркта.

Если параметры анализируемого ЭКС отклоняются от нормальных значений, то анализируемый сигнал относится к «ЭКС с ИМ». В данном случае необходимо осуществить вызов скорой помощи непосредственно к месту положению пациента.

Для выполнения анализа ЭКС предложен подход, основанный на методах статистической обработки сигнала, показавших хорошие результаты при энтропийно-параметрическом анализе функций [7, 8]. Достоинствами предлагаемого подхода является возможность выявления патологий путём сравнения статистических параметров исследуемого сигнала со статистическими параметрами нормального ЭКС. Данный способ основан на таких статистических параметрах, как коэффициент энтропии, контрэксцесс, среднее квадратическое отклонение, коэффициент ассиметрии. Для выполнения анализа выполняют построение функции распределения параметров ЭКС. Далее путем сравнения вышеперечисленных параметров с параметрами нормального сигнала получают значения отклонения от нормы. Вывод о типе патологии позволяет сделать величина отклонения какого-либо параметра от нормы, известного для определенного участка ЭКС.

4. Вся анализируемая информация и полученные в автоматическом режиме заключения о состоянии сердца передаются на сервер приложений. Там, при необходимости, происходит детальный анализ ЭКС уже при помощи высококвалифицированного медицинского персонала. При этом независимо от того, когда происходит детальный анализ, если на смартфоне обнаружена патология сердца, то выполняется оповещение владельца о том, что необходимо в кратчайшие сроки обратиться в ближайшее медицинское учреждение.

Заключение

Таким образом, в данной статье был рассмотрен подход для анализа ЭКС в условиях свободной двигательной активности пациента. Рассмотрены этапы одного цикла анализа, детально приведено описание анализа сигнала и рассмотрены способы устранения помех из сигнала.

Необходимо подробнее раскрыть содержания этапов.

В первом цикле происходит регистрация ЭКС и его передача на смартфон. Кроме того, выполняется определение местоположения пациента посредством использования технологии GPS/ГЛОНАСС.

Во втором цикле осуществляется предварительная обработка ЭКС. В предлагаемом способе экспресс-оценки состояния сердца для создания адаптивного базиса, отвечающего реальным изменениям сигнала во времени, используется преобразование Гильберта-Хуанга.

В третьем цикле выполняется экспресс-оценка электрической стабильности сердца. В качестве решения данной задачи предложено проводить оценку состояния сердца, основанную на энтропийно-параметрическом анализе параметров ЭКС, позволяющую установить изменение основных зубцов и сегментов ЭКС.

Далее выполняется передача данных на сервер для дополнительного и при необходимости более глубокого анализа, и оповещение пациента о состоянии сердца.

В заключение следует отметить, что рассмотренный подход позволяет обнаружить инфаркт миокарда у физически активного населения, находящегося в группе риска, в условиях свободной двигательной активности и задокументировать предполагаемый диагноз заболевания.

Список литературы

1. Чазов Е.И., Бойцов С.А. Пути снижения сердечно-сосудистой смертности в стране // Кардиологический вестник. 2009. № 1. С.5 – 10.
2. Барбараш Л.С. Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний. 2013. №1. Заметка главного редактора.
3. Национальные российские рекомендации по применению методики холтеровского мониторирования в клинической практике (приняты на пленарном заседании Российского Национального Конгресса Кардиологов 27 сентября 2013 г. в г. Санкт-Петербург).
4. Рыжаков В.В., Рыжаков М.В., Рыжаков К.В. Прогнозирование поведения сложных объектов на основе представлений нечётких ситуаций. Учебное пособие. – М: МФТИ, 2005. – 100 с.
5. Кривоногов Л.Ю., Тычков А.Ю. Подавление помех в электрокардиосигналах на основе разложения по эмпирическим модем / Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010.– № 8 (109). – С. 127–133.
6. Huang N.E., Shen Z., Long S.R. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis // Proc. R. Soc. Lond. A. 1998. V. 454. P. 903-995.
7. Полосин В.Г., Тертычная С.В. Анализ результатов измерения объёмной активности радона с помощью распределения Вейбулла – Гнеденко / Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико – математические науки. №1, 2009. С. 127 – 133.

8. Балахонова С.А., Бодин О.Н., Полосин В.Г. Использование регрессионного анализа для построения кривой восстановления миокарда / Мехатроника. Автоматизация. Управление. – М.: «Новые технологии». – 2013. – №12 – С. 59–64.
9. Бодин О.Н. Методы и средства обработки кардиографической информации / Монография, Пенза, 2008 г., 350 с.

Рецензенты:

Чувыкин Б.В., д.т.н., профессор кафедры «Информационно-вычислительные системы», ПГУ, г. Пенза;

Трофимов А.А., д.т.н., профессор, заместитель начальника учебно-научного центра ОАО «НИИФИ», г. Пенза.