

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА В ИНТЕРЕСАХ КОНТРОЛЯ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА ЧЕЛОВЕКА ПО ДАННЫМ ДЛИТЕЛЬНОГО КАРДИОМОНИТОРИНГА

© Александр Захарович Яфаров

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), 197376, Россия, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 5.

Контактная информация: Александр Захарович Яфаров — аспирант, кафедра биотехнических систем.
E-mail: alexander-yafarov@yandex.ru

РЕЗЮМЕ. Рассматривается множество существующих методов оценки динамики сердечного ритма. Приводится классификация методов анализа вариабельности ритма сердца в зависимости от используемых подходов к представлению сердечного ритма. Описываются особенности анализа данных длительного мониторинга, также известного как мониторинг по Холтеру. Представлено описание современных методов анализа сердечного ритма при длительном кардиомониторинге. Рассматриваются проблемы анализа длительных записей кардиоритмограмм. Описывается существующий уровень контроля влияния внешних факторов на данные кардиоритмограмм. Обосновывается необходимость нового метода обработки кардиоритмограмм, который должен учитывать влияние внешних факторов на данные кардиоритмограммы для их более корректного анализа.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: длительный кардиомониторинг, контроль влияния внешних факторов, вариабельность сердечного ритма, классификация методов анализа динамики сердечного ритма, функциональное состояние человека.

REVIEW OF MODERN METHODS OF HEART RATE VARIABILITY ANALYSIS FOR MONITORING EXTERNAL FACTORS IMPACT ON A HUMAN ACCORDING TO THE CONTINUOUS CARDIAC MONITORING DATA

© Alexander Z. Yafarov

Saint-Petersburg Electrotechnical University, 197376, Russia, Saint-Petersburg, Professor Popov Street, 5

Contact information: Alexander Z. Yafarov — PhD Student, Department of Bioengineering Systems. E-mail: alexander-yafarov@yandex.ru

ABSTRACT: We consider a set of existing methods for assessing the dynamics of the heart rate. We give the classification of methods of heart rate variability analysis depending on the approaches used to represent the heart rate. We describe the peculiarities of the analysis of continuous monitoring data, such a monitoring is also known as Holter monitoring. We introduce the description of modern methods of heart rate analysis during continuous cardiac monitoring. We consider the problems of long cardiorhythmography records analysis. We describe the current level of monitoring external factors impact on cardiorhythmography data. We prove the necessity of a new method of cardiorhythmography processing, which should take into account the impact of external factors on cardiorhythmography data in order to perform analysis more accurately.

KEY WORDS: continuous cardiac monitoring, monitoring external factors impact on a human, heart rate variability, classification of methods of heart rate dynamics analysis, functional status of a human.



ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ АНАЛИЗА РИТМА СЕРДЦА

Изменчивость сердечного ритма с течением времени исследуется методами анализа динамики сердечного ритма, также известными как методы анализа вариабельности (изменчивости) сердечного ритма (ВСР) по данным кардиоритмограмм (КРГ), получаемых в результате выделения временных интервалов между последовательными сокращениями сердца из записей длительного кардиомониторинга. В настоящее время наиболее широко используемая классификация методов анализа ВСР предлагает рассматривать каждый метод анализа ВСР отдельно в зависимости от используемого подхода к представлению и анализу сердечного ритма. В зависимости от используемого подхода методы анализа ВСР подразделяются на следующие виды [1]:

- методы, основанные на статистических преобразованиях характеристик сердечного ритма как меняющегося со временем сигнала (статистический анализ, временной анализ сердечного ритма);
- геометрические методы анализа сердечного ритма (например, вариационная пульсометрия по Р. М. Баевскому, корреляционная ритмография, анализ дифференциальной гистограммы, оценка купола гистограммы по Л. Н. Лютиковой, методы триангулярной интерполяции и др.);
- методы анализа волновой структуры ритма (визуальный анализ КРГ, спектральный анализ КРГ и автокорреляционный анализ КРГ);
- нелинейные методы (например, масштабирование спектра Фурье на $1/f$, кластерный спектральный анализ, энтропия Колмогорова, метод масштабного индекса и др.);
- интегральные методы, основанные на совместном применении нескольких подходов к анализу сердечного ритма в виде структуры или процесса (оценка показателя активности регуляторных систем (ПАРС), суммарная оценка регуляторных систем (СОРС) и др.) [1].

Согласно рассмотренной классификации методов анализа ВСР методы анализа КРГ возможно разделить по виду ис-

пользуемого подхода к анализу изменений сердечного ритма с течением времени в зависимости от выбора представления динамики сердечного ритма в качестве процесса или структуры (рис. 1):

На представленном рисунке (Рисунок 1) не представлены интегральные методы анализа сердечного ритма, так как существующие интегральные методы анализа сердечного ритма являются комбинацией представленных подходов к анализу динамики сердечного ритма.

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРЕДСТАВЛЕННЫХ ПОДХОДОВ

Рассмотрим краткую характеристику каждого вида методов согласно приведённой классификации.

В рамках методов анализа сердечного ритма как меняющегося со временем сигнала (статистического и временного методов) изменчивость ритма сердца рассматривается как некоторый процесс во временной области, исследуются основные статистические характеристики сердечного ритма как случайного процесса. Временной анализ сердечного ритма обособлен от статистического расчётом ряда специальных показателей, вычисляемых только для анализа ВСР [1].

Методы анализа сердечного ритма как геометрических распределений в пространстве ориентированы на представление и последующий анализ сердечного ритма как некоторого распределения в пространстве, изучение пространственных характеристик которого представляет диагностическую информацию [1].

Методы анализа сердечного ритма как волновой структуры (спектральный и автокорреляционный) основаны на исследовании динамики сердечного ритма как совокупности периодически повторяющихся последовательностей. Спектральный анализ ритма сердца основан на положениях теории колебаний. Согласно теории колебаний любая периодически повторяющаяся кривая сложного вида может быть разложена в ряд простейших синусоидальных колебаний, называемый рядом Фурье [2]. Автокорреляционный анализ ритма сердца

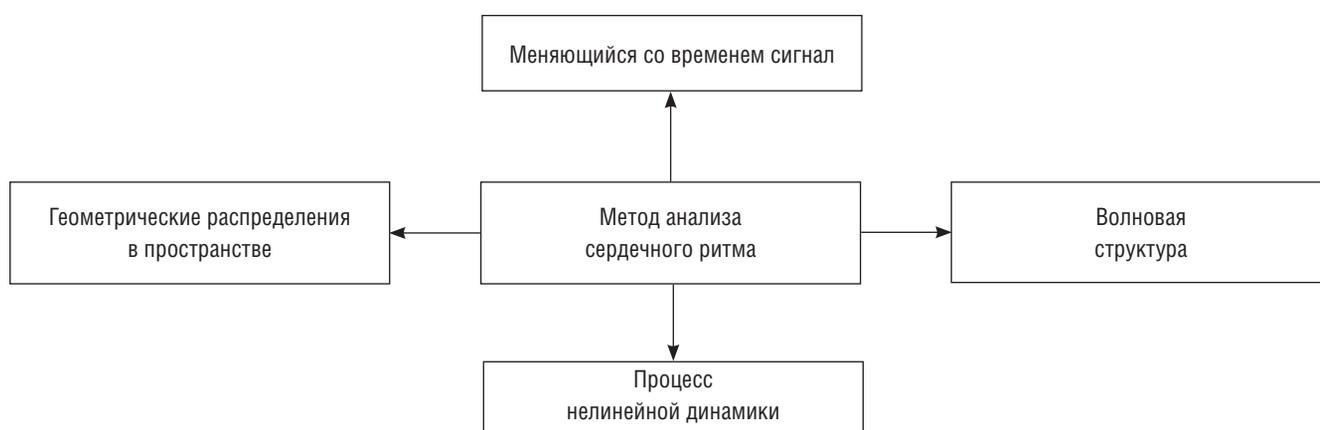


Рис. 1. Методы анализа сердечного ритма представленные с позиций рассмотрения сердечного ритма как процесса или структуры

использует построение автокорреляционной функции для исследования внутренней структуры сердечного ритма на основании анализа его периодических составляющих [1].

Методы анализа сердечного ритма как процесса нелинейной динамики направлены на исследование сердечного ритма как отражения множества переходных процессов в организме человека с различными скоростями их протекания и рядом параметров колебательных процессов, сопоставляемых с переходными процессами в организме человека [3]. Применение методов нелинейной динамики считается перспективным, но значительно затруднено отсутствием в настоящее время норм и стандартов для применения в медицинской и исследовательской практике [1, 4].

Интегральные методы анализа ВСР объединяют несколько методов анализа сердечного ритма. Наиболее известные интегральные методы расчёта показателя активности регуляторных систем (ПАРС) и суммарной оценки регуляторных систем (СОРС) основаны на одновременном применении геометрического метода анализа сердечного ритма — вариационной пульсометрии по Р. М. Баевскому и методах анализа сердечного ритма как волновой структуры (спектральный и автокорреляционный методы). Считается, что интегральные методы обладают большей полнотой диагностической информации за счёт использования и объединения в интегральные критерии совокупности показателей сердечного ритма [1, 5].

Все рассмотренные подходы и методы применяются для анализа ритмической деятельности сердца. Необходимо выделить группу методов наиболее соответствующую задачам исследования влияния внешних факторов на человека в ходе длительного кардиомониторинга, учитывая особенности анализа данных длительного кардиомониторинга.

ОСОБЕННОСТИ АНАЛИЗА ДАННЫХ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ МОНИТОРИНГЕ ПО ХОЛТЕРУ

Длительный кардиомониторинг, называемый также мониторингом по Холтеру или холтеровским мониторингом (ХМ), характеризуется непрерывной записью параметров электрической деятельности сердца на протяжении длительных промежутков времени от нескольких часов до нескольких суток. При проведении ХМ регистрируется электрокардиограмма (ЭКГ) в одном или нескольких стандартных электрокардиографических отведениях. Из данных ЭКГ по мере проведения мониторинга или после его окончания извлекается информация о продолжительностях последовательных RR-интервалов, которая представляет собой КРГ. Как правило, после окончания ХМ производится его предварительная обработка, также называемая препроцессингом. На этапе предварительной обработки данных ХМ происходит автоматическое разделение кардиокомплексов по типам и построение КРГ, правильность автоматического разделения кардиокомплексов, называемых также QRS-комплексами, по принадлежности к одному из возможных видов контролируется врачом-специалистом, проводящим анализ данных ХМ [6]. Устройство, проводящее автоматическое разделение записи ХМ на кардиокомплексы,

называется дешифратором, большинство дешифраторов представляют врачу-специалисту суммарную информацию по проведённой автоматической классификации кардиокомплексов на предусмотренные классы. Классы также известны в литературе как кластеры, бины или шаблоны. Наиболее распространено автоматическое разделение кардиокомплексов на следующие классы: нормальные, аберрантно-желудочковые, артефактные, неизвестные и другие [5]. Считается, что автоматическое разделение помогает врачу-специалисту избавиться от артефактов записи и даёт возможность повторно классифицировать неправильно определённые дешифратором комплексы [5] для отнесения их к нормальной сердечной активности или патологической, являющейся признаком сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ).

Анализ результатов ХМ начинается с анализа динамики ЧСС [5], то есть с анализа данных длительности последовательных RR-интервалов, отражающих ВСР и представленных КРГ. В настоящее время из существующего множества методов анализа ВСР в клинической практике преимущественно используются два метода: метод временного анализа сердечного ритма (time domain method) и метод спектрального анализа сердечного ритма (frequency domain method) [5]. После анализа ВСР по данным КРГ выполняется классический анализ длительной записи ЭКГ. При анализе ЭКГ рассматриваются выделенные классы кардиокомплексов, составляющих запись мониторинга, соотношение их классов в записи ХМ, исследуется форма и вид элементов кардиокомплексов, проводится их анализ в сравнении с известными видами кардиокомплексов и связанными с ними диагностическими критериями для выявления ССЗ. Процедура анализа данных ЭКГ часто называется «разметкой». По завершении анализа ЭКГ формируется заключение по результатам ХМ. В современных системах анализа ХМ реализована связь между каждым выделенным кардиокомплексом и соответствующим ему значением RR-интервала на КРГ, таким образом, анализ ЭКГ сопряжён с анализом КРГ, что обеспечивает возможность перехода от отклоняющегося значения RR-интервала на КРГ к соответствующей ему паре кардиокомплексов ЭКГ для анализа их структуры.

Для анализа данных КРГ в ХМ используется два вида выборок: генеральная выборка (за 24 часа) и кратковременная выборка (5 минут) RR-интервалов. Считается, что изменчивость ритма сердца возрастает с увеличением периода наблюдения, что влияет на выбор частотных диапазонов для анализа кратковременных и долговременных записей КРГ [5].

Большинство современных систем ХМ применяют преобразование ЭКГ в цифровой формат, что позволяет применять подходы «сглаживания» и фильтрации данных применительно к данным ЭКГ и КРГ [7, 8] для минимизации артефактов записи ХМ [5]. Также отмечают важность подготовки обследуемого и правильного обслуживания записывающей аппаратуры ХМ для минимизации артефактов физической природы, связанных с нахождением электродов для съёма биопотенциалов на теле обследуемого человека [5]. Для

уменьшения числа артефактов, выраженных значительным отклонением величины RR-интервала от других интервалов записи, в дополнение к ручному (визуальному) подходу рекомендуется использовать алгоритмы поиска артефактов, основанные на оценках распределения RR-интервалов [5, 7, 9, 10]. Кроме артефактов записи ХМ классический анализ ВСП осложняет наличие сердечных аритмий. Считается, что традиционный анализ ВСП невозможен при наличии постоянной фибрилляции предсердий или полной атриовентрикулярной (АВ) блокаде [5]. Так как метод анализа ВСП (во временной области) считается информативным в предсказании и характеристике аномальных ритмов, делаются попытки переработки записи при обнаружении аномальных RR-интервалов, чтобы избежать ошибок анализа ВСП как метода, исследующего вегетативные влияния на сердечный ритм [5]. Однако применение сложной фильтрации пока не даёт надёжных решений для представления и анализа данных, содержащих переходные процессы в динамике сердечного ритма, которые отражаются на характере изменения огибающей КРГ. Наибольшее распространение получили следующие методы обработки данных КРГ при обнаружении аномальных сердечных сокращений (RR-интервалов): интерполяция единичных (случайных) аномальных сокращений и ограниченный анализ сегментов, не содержащих участки аномальных сокращений (переходные процессы, отражающиеся на виде огибающей КРГ) [5].

ХМ является не только средством обнаружения признаков ССЗ, но и самым распространённым инструментальным средством изучения динамики ФС человека в процессе его активности с помощью анализа КРГ. Огибающая КРГ рассматривается как особый вид сигнала и характеризует не только функционирование ССС, но состояние и регуляцию организма человека [11]. В отличие от исследования КРГ как способа контроля динамики ФС состояния человека, анализ ЭКГ выполняет конкретную функцию анализа функционирования и проводимости сердца в интересах выявления заболеваний. Результаты анализа ЭКГ обеспечивают выявление и подтверждение ССЗ по обнаруженным признакам (как правило, по характерному виду кардиокомплексов и их распространенности) в сравнении с известными признаками различных ССЗ [5].

Применительно к анализу ВСП по данным ХМ преимущественно используется метод анализа во временной области (time domain method), так как процесс получения результатов очень нагляден и существует множество клинических интерпретаций, с которыми может быть проведено сравнение результатов временного анализа [5]. Метод анализа во временной области отражает интегральные характеристики ВСП, вычисляемые по сегментам КРГ различной длительности. Как и для спектрального метода анализа сердечного ритма, метод анализа сердечного ритма во временной области требует сегментирования записи КРГ на квазистационарные участки для исключения нестационарных участков записи КРГ, содержащих переходные процессы [2, 5]. Низкий уровень ВСП (очень

малая изменчивость сердечного ритма, также называемая «ригидным» сердечным ритмом) считается признаком многих патологических состояний и рассматривается как прогностический показатель, увеличивающий риск летального исхода для обследуемого человека при его клиническом наблюдении [5]. В анализе ВСП методами временной области особенно выделяют две характеристики изменчивости ритма сердца: разброс и концентрацию. Функцию разброса связывают со значением стандартного отклонения длительностей RR-интервалов сегмента КРГ и называют адаптивным коридором колебания сердечного ритма [5]. Функцию концентрации связывают со средним значением RR-интервалов рассматриваемого сегмента КРГ и связывают с уровнем функциональных резервов ССС, которые могут быть задействованы для поддержания гемодинамики [5], адекватной текущей ситуации.

При большой значимости методов исследования ВСП по данным КРГ, наиболее распространённые методы анализа ВСП имеют ряд ограничений, связанных с используемым статистическим подходом к записям КРГ. Применительно к спектральному анализу ВСП по КРГ (frequency domain method) отмечается ограниченная применимость метода к анализу длительных записей КРГ в ходе анализа данных ХМ [5]. Эксперты ведущих кардиологических объединений США «American College Cardiology» и «American Heart Association» рекомендуют использовать спектральный анализ только для оценки коротких сегментов записи продолжительностью до 5 минут включительно, но не результатов длительного ХМ [5, 12]. С этими рекомендациями согласны многие специалисты, включая авторов «Национальных российских рекомендаций по применению методики холтеровского мониторирования в клинической практике» [5]. В основе ограничения на применение спектрального анализа для длительных записей КРГ находится требование к стационарности записи КРГ, для которой производится преобразование Фурье в частотную область. Суточные записи, как правило, характеризуются наличием большого числа переходных процессов и, следовательно, высокой степенью нестационарности записи. Для спектрального анализа производится ручной (визуальный) выбор квазистационарных участков с помощью сегментирования записи КРГ [1]. Таким образом, существующие методы анализа КРГ в интересах исследования динамики ФС в ходе ХМ (временные и спектральные) характеризуются невозможностью анализа сегментов КРГ, содержащих переходные процессы и характеризующихся нестационарным характером. В то же время переходные процессы составляют большую часть записи ХМ и обусловлены влиянием внешних факторов на организм наблюдаемого человека в процессе проведения мониторинга. Существующие проблемы в данной предметной области выявляют необходимость в разработке нового метода анализа данных КРГ, учитывающего как нестационарный характер огибающей КРГ, так и влияние внешних факторов на данные КРГ. Разработка подобного метода требует применения новых подходов к статистическому анализу сердечного ритма с позиций ре-

гуляции организма человека, так как динамика сердечного ритма считается отражением состояния и функционирования регуляторных систем организма [10]. Поскольку функционирование регуляторных систем организма направлено на приспособление к меняющимся условиям жизни, необходим приборный контроль влияния внешних факторов для повышения корректности анализа variability сердечного ритма за счёт объективного контроля влияния действующих факторов на человека в процессе мониторинга.

СОВРЕМЕННЫЙ УРОВЕНЬ АНАЛИЗА ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ КАРДИОМОНИТОРИНГЕ ПО ХОЛТЕРУ

Современные инструментальные средства длительного кардиомониторинга по Холтеру можно разделить на два компонента: технические средства кардиомониторинга в виде специальных устройств — кардиомониторов с набором датчиков для съёма биопотенциалов и программно-алгоритмические средства для обработки данных мониторинга, анализа и отображения результатов проводимого анализа.

Анализ современного уровня развития технических средств мониторинга (например, [13, 14, 15]) выявляет тенденцию к расширению числа рассматриваемых параметров мониторинга: например, одновременно с ХМ проводится мо-

ниторинг дыхательной активности, подвижности человека и его положения тела в пространстве с помощью акселерометрических датчиков, измеряющих разницу между истинным и гравитационным ускорением, а также периодического измерения артериального давления. При этом сохраняется тенденция к построению технических средств как можно меньшего размера и уменьшению, таким образом, влияния технических средств на состояние обследуемого человека. Проведённый анализ показывает отсутствие явных технических ограничений на сбор данных о влиянии внешних факторов на состояние обследуемого человека одновременно с проведением ХМ. Но реализация совместного анализа влияния внешних факторов и данных ХМ ограничена существующим уровнем развития программно-алгоритмических средств анализа данных, которые в свою очередь опираются на известные методы анализа данных КРГ и ЭКГ в составе данных ХМ.

В программно-алгоритмических средствах анализа данных ХМ в настоящее время реализовано большинство методов анализа данных ВСР по данным КРГ, что позволяет оценивать динамику функционального состояния обследуемого на подходящих для анализа квазистационарных сегментах записи КРГ. Отсутствие возможности анализа нестационарных участков КРГ ограничивает применение методов контроля динамики функционального состояния человека при

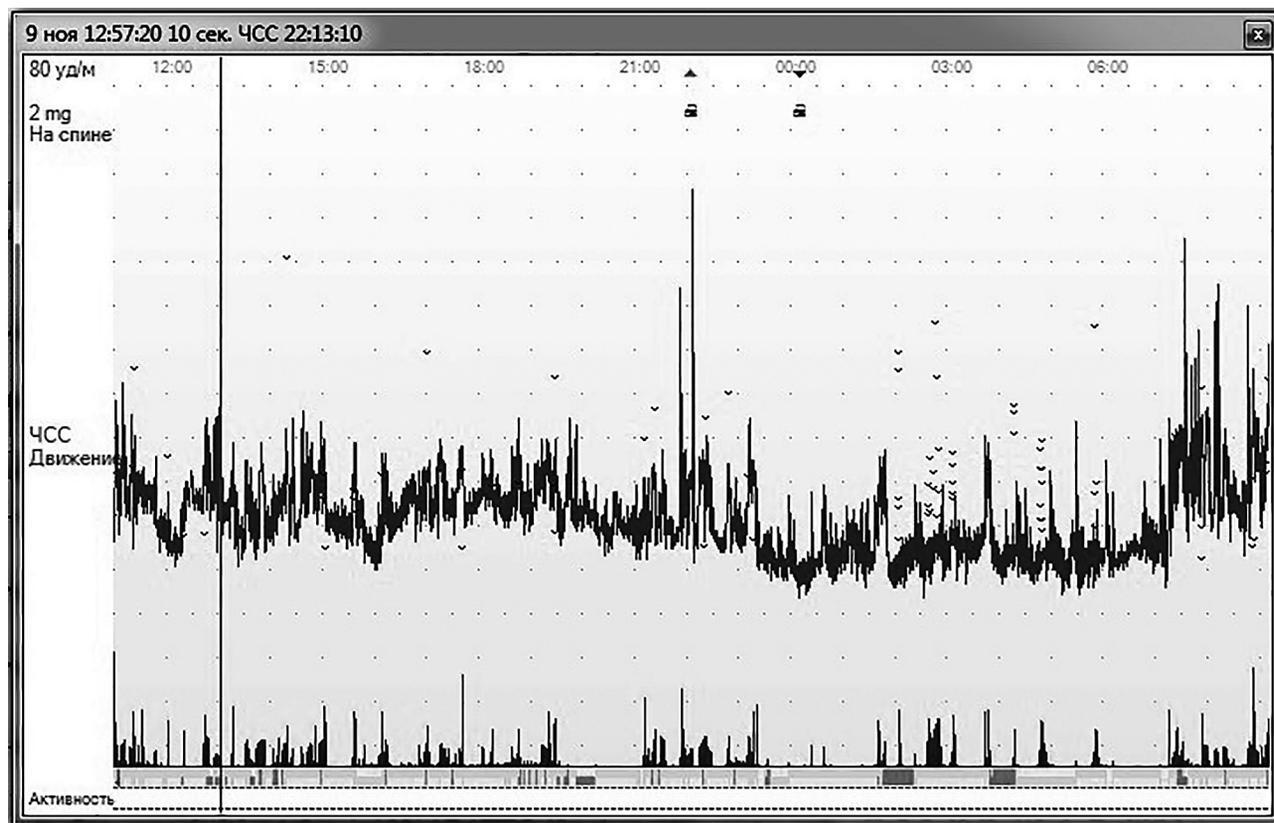


Рис. 2. Результаты мониторинга КРГ и подвижности методом акселерометрии (верхний график отображает динамику ЧСС, нижний график изменение ускорения акселерометра от времени). Реализовано в программно-алгоритмическом средстве «KTResult 3», ЗАО «Инкарт» [12]

ведении обследуемым активного образа жизни, характеризующегося большим числом действующих внешних факторов. Влияние внешних факторов отражается на записи КРГ в виде переходных процессов, анализ и интерпретация которых в отсутствие программно-алгоритмических средств контроля действия внешних факторов затруднены или невозможны. Предполагается, что информация о действии внешних факторов содержится в дневниках участников ХМ, ведущихся ими во время проведения мониторинга. Однако вольный стиль написания дневников и концентрация повествования на субъективных ощущениях обследуемых людей [16] не позволяют рассматривать дневники как объективный контроль влияния внешних факторов, которые физически могут быть не замечены и потому не отражены автором дневника даже при самом скрупулезном его ведении. Таким образом, объективный контроль внешних факторов возможен только реализацией инструментального контроля и анализа их влияния на данные КРГ в составе данных ХМ.

Развитие современных программно-алгоритмических средств анализа ХМ преимущественно направлено на решение практических медицинских задач анализа сердечной деятельности по ЭКГ. Исследование ВСР по данным КРГ в интересах исследования системы регуляции и динамики ФС организма человека входят в состав современных инструментальных средств кардиомониторинга практически в неизменном виде. Информация о действии внешних факторов, например, изменения положения тела в пространстве или подвижности обследуемого, в наиболее современных инструментальных средствах ХМ представляется в форме совместных графиков от времени как самих данных ХМ, так и контролируемых внешних факторов. Преставление результатов мониторинга в графической форме позволяет проводить только визуальный анализ действия внешних факторов на КРГ в те или иные моменты времени, и его возможности ограничены возможностью каждого специалиста проводить визуальный анализ больших объемов диагностической информации. Пример совместного отображения данных мониторинга КРГ и акселерометрии представлен на рисунке (рис. 2), где представлен результат суточного мониторинга КРГ и ускорения датчика акселерометра в виде графика. Сведений об автоматических методах контроля влияния внешних факторов на КРГ, основанных на совместном анализе данных ВСР и контролируемых параметров действующих факторов, в настоящее время не обнаружено.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрены существующие методы анализа ритмологических характеристик по данным длительного кардиомониторинга, выделены два метода, наиболее широко распространенных в современных системах ХМ: временной и спектральный анализ ВСР. Однако отсутствие в рамках данных методов возможности анализа нестационарных процессов затрудняет как автоматизацию анализа сердечного ритма, так и анализ влияния внешних факторов по данным кардио-

мониторинга. Для решения проблемы необходима разработка нового метода анализа динамики сердечного ритма, учитывающего как наличие переходных процессов в динамике сердечного ритма, так и влияние внешних факторов. В качестве основы для нового метода анализа динамики сердечного ритма рассматривается временной анализ ритмологических характеристик как наиболее перспективный для реализации совместного анализа данных ВСР и параметров действующих внешних факторов.

REFERENCES

1. Babunts I.V., Miridzhanyan E.M., Mashaekh Yu.A. Azbuka analiza variabel'nosti serdechnogo ritma [Alphabet of heart rate variability analysis]. Stavropol', 2002. 112 s. (in Russian).
2. Baevskiy R.M., Kirillov O.I., Kletskin S.Z. Matematicheskiy analiz izmeneniy serdechnogo ritma pri stresse [Mathematical analysis of heart rate changes during stress]. M.: Nauka, 1984. 221 s. (in Russian).
3. Kolyutskiy A.K., Ivanov G.G., Dvornikov V.E., Gribanov A.N., Yuzef X., Rekhviashvili M.V., Kotlyarova L.V., Tyurin A.V., Shumilova K.M. Issledovanie variabel'nosti serdechnogo ritma pri analize aritmiy [The study of heart rate variability when analysing arrhythmias] Vestnik RUDN. Seriya: Meditsina. 2001. № 2 S.113–130 (in Russian).
4. Bokeriya L.A., Bokeriya O.L., Volkovskaya I.V. Variabel'nost' serdechnogo ritma: metody izmereniya, interpretatsiya, klinicheskoe ispol'zovanie [Heart rate variability: methods of measurement, interpretation, clinical use] // Ann. aritm.. 2009. № 4 S. 21–32 (in Russian).
5. Baevskiy R.M. Prognozirovaniye sostoyaniy na grani normy i patologii [Prediction of states on the verge of norm and pathology]. M.: Meditsina, 1979. 295S (in Russian).
6. Makarov L.M. Natsional'nye rossiyskie rekomendatsii po primeniyu metodiki kholterovskogo monitorirovaniya v klinicheskoy praktike [Russian national recommendations on the use of Holter monitoring techniques in clinical practice] // Rossiyskiy kardiologicheskii zhurnal. 2014. № 2. S. 6–71 (in Russian).
7. Bartoli F, Baselli G, Cerutti S. Application of identification and linear filtering algorithms to the R-R interval measurements. In: Computers in cardiology. Silver Spring, Md: IEEE Computer Society, 1982:485–8.
8. Cheung MN. Detection of and recovery from errors in cardiac inter-beat intervals. Psychophysiology 1981;18:341–6.
9. Berntson G.G., Quigley K.S., Jang J.F. et al. An approach to artifact identification: application to heart period data. Psychophysiology 1990;27:586–98.
10. Linden W, Estrin R. Computerized cardiovascular monitoring: method and data. Psychophysiology 1988;25:227–34.
11. Yabluchanskiy N.I., Martynenko A.V. Variabel'nost' serdechnogo ritma v pomoshch' prakticheskomu vrachu. Dlya nastoyashchikh vrachey [Heart rate variability in aid of a practitioner. For real doctors]. Khar'kov, 2010. 131s. (in Russian).
12. Crawford M.H., Bernstein S.J., Deedwania P.C. et al. ACC/AHA guidelines for ambulatory electrocardiography: a report of the Ameri-



- can College of Cardiology / American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee to Revise the Guidelines for Ambulatory Electrocardiography). *J Am Coll Cardiol* 1999; 34: 912–48.
13. Ofitsial'nyy sayt kompanii «Neurosoft». Produktsiya. [The official site of the company «Neurosoft». Products.]. Available at: <http://neurosoft.com/ru/catalog> (accessed 25.06.2016).
 14. Ofitsial'nyy sayt kompanii «Inkart». Produktsiya. «Kardiotekhnika-07» [The official site of the company «Inkart». Products.]. Available at: <http://www.incart.ru/production/kt-07/holterovskoe-monitorirovanie-kt-07/>(accessed 25.06.2016).
 15. Ofitsial'nyy sayt kompanii «Valenta». Produktsiya [The official website of the company «Valenta». Products.]. Available at: <http://valenta.spb.ru/home/katalog-meditsinskogo-oborudovaniya/>(accessed 25.06.2016).
 16. Instruksiya patsienta pri provedenii monitorirovaniya EKG i AD [Instruction for patients during ECG and blood pressure monitoring]. Available at: <http://www.incart.ru/support/patient-instruction/>(accessed 25.06.2016).

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабунц И. В., Мириджанян Э. М., Машаех Ю. А. Азбука анализа вариабельности сердечного ритма. Ставрополь, 2002.
2. Баевский Р. М., Кириллов О. И., Клецкин С. З. Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе. М.: Наука, 1984. 221 с.
3. Колюцкий А. К., Иванов Г. Г., Дворников В. Е., Грибанов А. Н., Юзеф Х., Рехвиашвили М. В., Котлярова Л. В., Тюрин А. В., Шумилова К. М. Исследование вариабельности сердечного ритма при анализе аритмий. Вестник РУДН. Серия: Медицина. 2001. № 2. С. 113–130.
4. Бокерия Л. А., Бокерия О. Л., Волковская И. В. Вариабельность сердечного ритма: методы измерения, интерпретация, клиническое использование. Анн. аритм. 2009. № 4. С. 21–32.
5. Баевский Р. М. Прогнозирование состояний на грани нормы и патологии. М.: Медицина, 1979. С. 295.
6. Макаров Л. М. Национальные российские рекомендации по применению методики холтеровского мониторирования в клинической практике. Российский кардиологический журнал. 2014. № 2 С. 6–71.
7. Bartoli F., Baselli G., Cerutti S. Application of identification and linear filtering algorithms to the R-R interval measurements. In: *Computers in cardiology*. Silver Spring, Md: IEEE Computer Society, 1982:485–8.
8. Cheung M. N. Detection of and recovery from errors in cardiac interbeat intervals. *Psychophysiology* 1981;18:341–6.
9. Berntson G. G., Quigley K. S., Jang J. F. et al. An approach to artifact identification: application to heart period data. *Psychophysiology* 1990;27:586–98.
10. Linden W, Estrin R. Computerized cardiovascular monitoring: method and data. *Psychophysiology* 1988;25:227–34.
11. Яблчанский Н. И., Мартыненко А. В. Вариабельность сердечного ритма в помощь практическому врачу. Для настоящих врачей. Харьков, 2010. 131 с.
12. Crawford M. H., Bernstein S. J., Deedwania P. C. et al. ACC/AHA guidelines for ambulatory electrocardiography: a report of the American College of Cardiology / American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee to Revise the Guidelines for Ambulatory Electrocardiography). *J Am Coll Cardiol* 1999; 34: 912–48.
13. Официальный сайт компании «Нейрософт». Продукция. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <http://neurosoft.com/ru/catalog> (дата обращения: 25.06.2016).
14. Официальный сайт компании «Инкарт». Продукция. [Электронный ресурс]. Режим доступа: «Кардиотехника-07». URL: <http://www.incart.ru/production/kt-07/holterovskoe-monitorirovanie-kt-07/>(дата обращения: 25.06.2016).
15. Официальный сайт компании «Валента». Продукция. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <http://valenta.spb.ru/home/katalog-meditsinskogo-oborudovaniya/>(дата обращения: 25.06.2016).
16. Инструкция пациента при проведении мониторирования ЭКГ и АД. Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <http://www.incart.ru/support/patient-instruction/>(дата обращения: 25.06.2016).