

## **МЕТОДЫ АНАЛИЗА ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА**

*Мартынова Виктория Юлиановна*

*ООО "Научное предприятие "Цезис", Дубна*

*Свирин Илья Сергеевич*

*К.т.н., ЗАО "Нордавинд "*

*Солодова Елена Николаевна*

*К.э.н., ООО "Нордавинд-Дубна"*

Во второй половине XX века основную опасность для здоровья населения и проблему для здравоохранения стали представлять неинфекционные заболевания, в первую очередь болезни сердечно-сосудистой системы (ССЗ), которые в настоящее время являются ведущей причиной заболеваемости, инвалидизации и смертности взрослого населения. Произошло «омоложение» этих заболеваний. Они стали распространяться и среди населения развивающихся стран, занимая первое место среди причин различных заболеваний и смерти, хотя их распространенность в разных регионах значительно колеблется. В Европе ежегодно умирают от ССЗ приблизительно 3 млн. человек, в США – 1 млн., это составляет половину всех смертей, в 2,5 раза больше, чем от всех злокачественных новообразований вместе взятых, причем  $\frac{1}{4}$  умерших от сердечно-сосудистых заболеваний составляют люди в возрасте до 65 лет. Ежегодные экономические потери в результате смерти от ССЗ в США составляют 56900 млн. долларов.

В России эти заболевания являются основной причиной смертности и заболеваемости населения. Если в 1939 году в общей структуре причин смертности они составляли лишь 11%, то в 1980 – свыше 50%. Быстрое изменение в XX веке образа жизни, связанное с индустриализацией, урбанизацией и механизацией, во многом способствовало тому, что ССЗ стали массовым явлением среди населения экономически развитых стран.

Заболевания сердечно-сосудистой системы многочисленны. Одни из них являются болезнями преимущественно сердца, другие – главным образом артерий (атеросклероз) или вен, третьи поражают сердечно-сосудистые системы в целом

(гипертоническая болезнь). ССЗ системы могут быть обусловлены врожденным пороком развития, травмой, воспалительным процессом и другими.

Современные принципы профилактики ССЗ должны быть основаны не только на борьбе с факторами риска, но и необходима разработка эффективных методов и приборов для лечения и профилактики данных заболеваний. В настоящее время ситуация в России еще более ухудшилась из-за недостаточного финансирования для закупки новых приборов и аппаратов. Также, имеется значительный разрыв между возможностями радиоэлектроники и фактическим использованием ее в медицине. Из-за недостатка времени и трудностей интерпретации большого количества данных, получаемых с помощью медицинской электроники, врач в состоянии использовать только незначительную часть последних. Поэтому даже при хорошем оснащении кабинетов функциональной диагностики сложной и дорогостоящей радиоэлектронной аппаратурой многие исследования оказываются малоэффективными для улучшения качества диагностики.

В данной статье рассмотрим электрокардиографию (ЭКГ) как один из самых доступных и недорогих методов исследования. ЭКГ - является неинвазивным тестом, проведение которого позволяет получать ценную информацию о состоянии сердца. Суть данного метода состоит в регистрации электрических потенциалов, возникающих во время работы сердца и в их графическом отображении на дисплее или бумаге.

ЭКГ является ценным диагностическим инструментом. По ней можно оценить источник (так называемый водитель) ритма, регулярность сердечных сокращений, их частоту. Все это имеет большое значение для диагностики различных аритмий. По продолжительности различных интервалов и зубцов ЭКГ можно судить об изменениях сердечной проводимости. Важным показателем ЭКГ является амплитуда зубцов.

Понимая суть ЭКГ можно выделить и предложить следующие методы анализа variability сердечного ритма.

#### 1) Статистические методы

Статистические методы анализа variability сердечного ритма (BPC) относятся к методам исследования временной области. Эти методы применяются для количественной оценки BPC в исследуемый промежуток времени. При их

использовании кардиограмма рассматривается как совокупность последовательных промежутков — RR-интервалов

## 2) Геометрические методы

Геометрические методы анализа ВРС, так же как и описанные выше статистические методы, относятся к методам исследования временной области. Сущность вариационной пульсометрии заключается в изучении закона распределения кардиоинтервалов как случайных величин. При этом строится вариационная кривая (кривая распределения кардиоинтервалов — гистограмма) и определяются ее основные характеристики.

## 3) Автокорреляционный анализ

Вычисление и построение автокорреляционной функции динамического ряда кардиоинтервалов направлено на изучение внутренней структуры этого ряда как случайного процесса. Автокорреляционная функция представляет собой график динамики коэффициентов корреляции, получаемых при последовательном смещении анализируемого динамического ряда на одно число по отношению к своему собственному ряду. После первого сдвига на одно значение коэффициент корреляции тем меньше единицы, чем более выражены дыхательные волны. Если в исследуемой выборке доминируют медленноволновые компоненты, то коэффициент корреляции после первого сдвига будет лишь незначительно ниже единицы. Последующие сдвиги ведут к постепенному уменьшению коэффициента корреляции вплоть до появления отрицательных корреляционных коэффициентов. Физиологический смысл использования автокорреляционного анализа заключается в оценке степени влияния центрального контура управления на автономный. Чем сильнее это влияние, тем ближе к единице значение коэффициента корреляции при первом сдвиге. Автокоррелогограмма позволяет судить о скрытой периодичности сердечного ритма. Однако, такой анализ носит лишь качественный характер.

## 4) Корреляционная ритмография-стенография

Данный способ оценки ВРС относится к методам нелинейного анализа и является особенно полезным для случаев, когда на фоне монотонности ритма встречаются редкие и внезапные нарушения. Сущность метода корреляционной ритмографии заключается в графическом отображении последовательных пар кардиоинтервалов

(предыдущего и последующего) в двумерной координатной плоскости. График и область точек, полученных таким образом (пятна Пуанкаре или Лоренца), называются скатерограммой.

При построении скатерограммы образуется совокупность точек, центр которых располагается на биссектрисе. Величина отклонения точки от биссектрисы влево показывает, насколько данный сердечный ритм короче предыдущего, вправо от биссектрисы — насколько он длиннее предыдущего.

#### 5) Спектральные методы

Спектральные методы анализа ВРС относятся к методам исследования частотной области. Они получили в настоящее время очень широкое распространение. Анализ спектральной плотности мощности колебаний дает информацию о распределении мощности в зависимости от частоты колебаний. Применение спектрального анализа позволяет количественно оценить различные частотные составляющие колебаний ритма сердца и наглядно графически представить соотношения разных компонентов сердечного ритма, отражающих активность определенных звеньев регуляторного механизма.

#### б) Время-частотный спектральный анализ

Это новое перспективное направление было введено в практику оценки сердечного ритма относительно недавно (Novak V. с соавторами. 1994). Двумерное представление спектра ЧСС «частота — мощность» не дает представления о динамике вегетативных соотношений во времени. При использовании время-частотного спектрального преобразования можно достаточно наглядно проследить явление смещения основных частот в достаточно коротких отрезках времени. С помощью этого метода было впервые показано, что даже в условиях покоя центральные частоты диапазонов имеют колебательный характер при развертке во временной оси [13]

В качестве исходных данных для исследования использовались динамические ряды кардиоинтервалов (временных промежутков между соседними ударами сердца) пятиминутных записей ЭКГ. Эти ряды являются не эквидистантными, то есть по оси абсцисс откладывается время в секундах, а RR-интервалы имеют неодинаковые длительности. Для исследования variability записей принято заменять участки

ряда с нарушениями на участки с нормальным сердечным ритмом, используя интерполяцию.

Статистические и геометрические методы, а также спектральный анализ требуют высокой стационарности для рядов кардиоинтервалов, что накладывает ограничения на анализируемые электрокардиограммы. Такого рода анализу можно подвергать кардиограммы с аритмиями не более 10%, при условии замены участков кардиограммы с аритмиями на участки нормальных кардиограмм. Также этими методами нельзя проводить анализ ортостатических проб, включающих в себя переходный период (переход из положения лежа в положение стоя).

Эти методы применялись для анализа variability сердечного ритма двух групп людей (здоровых людей и людей, больных гипертонией). Для обоих методов получены сравнимые результаты при оценке состояния симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы.

В случае, когда на фоне монотонного ритма встречаются внезапные нарушения, использование статистического анализа, геометрического анализа или спектрального анализа является малоинформативным. Наиболее полезным в такой ситуации является метод корреляционной ритмографии или скатерографии. Этот метод позволяет оценить суммарный эффект регуляции variability ритма сердца и оценить характер аритмий.

Вычисление и построение автокорреляционной функции динамического ряда кардиоинтервалов направлено на изучение внутренней структуры этого ряда как случайного процесса. Этот метод позволяет оценить медленноволновые и быстроволновые компоненты сердечного ритма, но также требует высокой стационарности исследуемого процесса и показал те же результаты, что и перечисленные выше статистические, геометрические и спектральные методы.

Использование классических методов анализа при помощи авторегрессии не дало результатов в силу плохой обусловленности матриц, порождаемых исходными анализируемыми данными. Авторегрессию можно использовать при условии модификации этих методов с учетом плохой обусловленности исходных данных. Предполагается разработка упомянутых выше модифицированных методов.

Использование спектрального, статистического, геометрического и автокорреляционного анализа для людей с неизвестным диагнозом, а также разработка модифицированных методов авторегрессии с учетом плохой обусловленности исходных данных будет являться предметом дальнейших исследований.

Только время-частотный анализ можно применять для анализа ортостатических проб. Он менее чувствителен к стационарности, так как исходный ряд разбивается на квазистационарные ряды длительностью в 30 секунд. Получаемые трехмерные графики предоставляют уникальную возможность увидеть дрейф центральных частот и изменение амплитуды низко- и высокочастотных компонентов спектра во времени. Подобная информация вносит принципиально новые представления о влиянии симпатического и парасимпатического отделов нервной системы на синусовый узел сердца. Не менее важна и та наглядность трехмерного представления частотной картины, которой обладает время-частотный анализ, для работы физиолога и клинициста. Реальная возможность увидеть быстро меняющиеся вагосимпатические отношения может служить мощным инструментом для дальнейшего изучения вегетативной регуляции сердца.

Подводя итог вышесказанному, отметим, что метод корреляционной ритмографии, который относится к методам нелинейного анализа является наиболее полезным для случаев, когда на фоне монотонности ритма встречаются внезапные нарушения, вызываемые дефектами записи, появлением различных шумов или возникновением различного рода аритмий.

Данная работа выполнена в рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы», соглашение № 14.576.21.0083

### **Список литературы**

- 1) Справочник фельдшера // feldsherstvo.ru: интернет-изд. 2010. URL: <http://feldsherstvo.ru/19.html> (дата обращения: 10.11.2014).
- 2) ECG Annotation C++ Library // codeproject.com URL: <http://www.codeproject.com/Articles/20995/ECG-Annotation-C-Library> (дата обращения: 10.11.2014).

- 3) PhysioBank Archive Index // [physionet.org](http://physionet.org) URL: <http://physionet.org/physiobank/database/> (дата обращения: 10.11.2014).
- 4) QRS detection and waveform boundary recognition using ecgpuwave // [physionet.org](http://physionet.org) URL: <http://physionet.org/physiotools/ecgpuwave/> (дата обращения: 10.11.2014).
- 5) [physionet.org](http://www.physionet.org) URL: <http://www.physionet.org/physiotools/wag/gqrs-1.htm> (дата обращения: 10.11.2014).
- 6) [physionet.org](http://www.physionet.org) URL: <http://www.physionet.org/physiotools/wag/wqrs-1.htm> (дата обращения: 10.11.2014).
- 7) EP Limited: Open Source ECG Analysis Software // [eplimited.com](http://eplimited.com) URL: <http://www.eplimited.com/confirmation.htm> (дата обращения: 10.11.2014).
- 8) Detection of ECG characteristic points using Multiresolution Wavelet Analysis based Selective Coefficient Method // [sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com) URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263224109002139> (дата обращения: 11.11.2014).
- 9) Peak Analysis // [mathworks.com](http://www.mathworks.com) URL: <http://www.mathworks.com/help/signal/examples/peak-analysis.html?refresh=true> (дата обращения: 11.11.2014).
- 10) ECG Q R S wave online detector // [mathworks.com](http://www.mathworks.com) URL: <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/45404-ecg-q-r-s-wave-online-detector> (дата обращения: 11.11.2014).
- 11) ECG QRS Detection // [read.pudn.com](http://read.pudn.com) URL: <http://read.pudn.com/downloads153/doc/669075/ECGQRSDetection.pdf> (дата обращения: 11.11.2014).
- 12) The BioSig Project // [biosig.sourceforge.net](http://biosig.sourceforge.net) URL: <http://biosig.sourceforge.net/index.html> (дата обращения: 11.11.2014).
- 13) Швалев В. Н., Тарский Н. А., Шуклин А. В., Дрофа Е. М. Открытие феномена ранней десимпатизации сердца человека в области морфофизиологии нервного аппарата органа. Вестник Международного университета природы, общества и человека «Дубна» №2 (21), 2009, С. 9-15.