

УДК 612.172.4

АНАЛИЗ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ЯРУСНОЙ СТРУКТУРЫ RR-ИНТЕРВАЛОГРАММ

А.А. КУЗНЕЦОВ

E-mail: artemi-k@mail.ru. Тел.: (0922) 279939.

Аннотация: При сопоставлении изменения общего состояния организма и ритма сердца в качестве объекта анализа является RR- интервалограмма. Приборная регистрация приводит к вертикальной структурированности RR-интервалограмм в форме многоярусной диаграммы. Предлагается подход, основанный на топологическом анализе ярусных структур. Предложены их количественные и качественные характеристики.

Ключевые слова: ярус, RR-интервалограмма, цуг, ячейка.

THE ANALYSIS OF RR-INTERVALOGRAMS VERTICAL STOREYS STRUCTURE

A.A. KUZNETSOV

Summary: Comparing changes in the organism general state and heart rhythm the object of analysis is RR-intervalogramme. Instrument registration results in vertical structure of RR- intervalogram in the many-tier diagram form. A new approach based on topological analysis of tier structures is offered. Their quantitative and qualitative characteristics are offered.

Key words: tier, RR-intervalogramme, team, cell.

Ритм сердца как динамический системный процесс обладает и статистическими, и детерминистскими степенями свободы. Применяемые для анализа системных процессов статистические методы и методы нелинейной динамики требуют больших объемов данных и не являются универсальными, так как реализовать определенные, заранее оговоренные, условия в практических задачах кардиологии невозможно. В связи с этим предлагается подход, основанный на анализе вертикальной ярусной структуры RR- интервалограмм.

Частота считывания данных монитором Холтера при регистрации ЭКГ является конечной величиной, обычно автоматически выбираемой из нескольких частотных диапазонов или выставяемой по умолчанию. В нашем случае минимальным шагом считывания, или временем разрешения прибора, является 1 мс [1, 2]. Дискретный аналог непрерывного параметрического процесса в форме цифрового ряда последовательных значений регистрируемого параметра приобретает характерную особенность. Каждое значение параметра исходного процесса адекватно определенному моменту времени, а потому является моментным. Значение этого же параметра аналогового процесса связано с определенным интервалом времени разрешения (шагом) и в общем случае отличается от моментного значения. Оно обычно принимается за среднее значение на заданном интервале времени. Постоянная величина интервала времени задается регистрирующим прибором, настроенным на определенную частоту сканирования значений параметра текущего процесса. Время разрешения регистрирующего ЭКГ прибора определяется частотой сканирования цифровой информации, поэтому все ярусы значений RR-интервалов разделены промежутками, кратными минимальному, равному времени разрешения. При таком преобразовании происходит трансформация непрерывной параметрической функции в дискретный цифровой ряд значений, используемый в качестве объекта последующего анализа. Следовательно, на RR- интервалограмме (рис. 1, а) все поле значений RR-интервалов обязано быть разбито на горизонтальные «ярусы» [3 - 5] с минимальным расстоянием между ними $\Delta = 1$ мс (рис. 1, б).

Под ярусом на графической диаграмме RR- интервалограммы понимается фиксированное значение RR-интервала. Фазовыми носителями ритма сердца в форме цифрового ряда становятся ярусные значения RR-интервалов (рис. 1, б), разделенные одинаковыми по высоте пустыми промежутками. Такой результат получен для всех, более трехсот здоровых и больных обследуемых [4 - 6].

Не забывая о том, что «эффект приборного квантования» фазных состояний ритма сердца является ложным, воспользуемся преимуществом такого представления в форме вертикальной ярусной структуры. Если предложить, что это те фазовые состояния, которым регистрируемый ритм сердца в норме отдает предпочтение (эффект сродства к ритму), то RR- интервалограмма представляется сертификацией фаз ритма сердца с динамикой межъярусных переходов.

Вертикальная ярусная структура [4] представляет собой набор заполненных или не заполненных горизонтальных ярусов с разным представительством значений RR- интервалов (рис. 1, б). На рис. 2 видно, что количество ярусов (k_n) с течением времени (вдоль номерной оси n) меняется. На рис. 2, а приведен график функции $k_n(n)$. Цифровой ряд ($k_{ni}; i = 1, 2, 3, \dots, n$) получен в форме «оконной» выборки при сканировании исходной RR- интервалограммы окном заданной ширины с шагом сдвижки Δ . Значения ряда k_{ni} равны количеству ярусов при i -том положении окна.

Индивидуальная функция $k_n(n)$ может быть использована в форме оценочного динамического показателя общего состояния организма во время регистрации. У больных людей форма вариационного ряда

количества ярусов имеет экспоненциальный вид, а для здоровых – линейный (рис. 2, б), когда все переходы между ярусами одинаковые по величине (ритм сердца «неразрывен»).

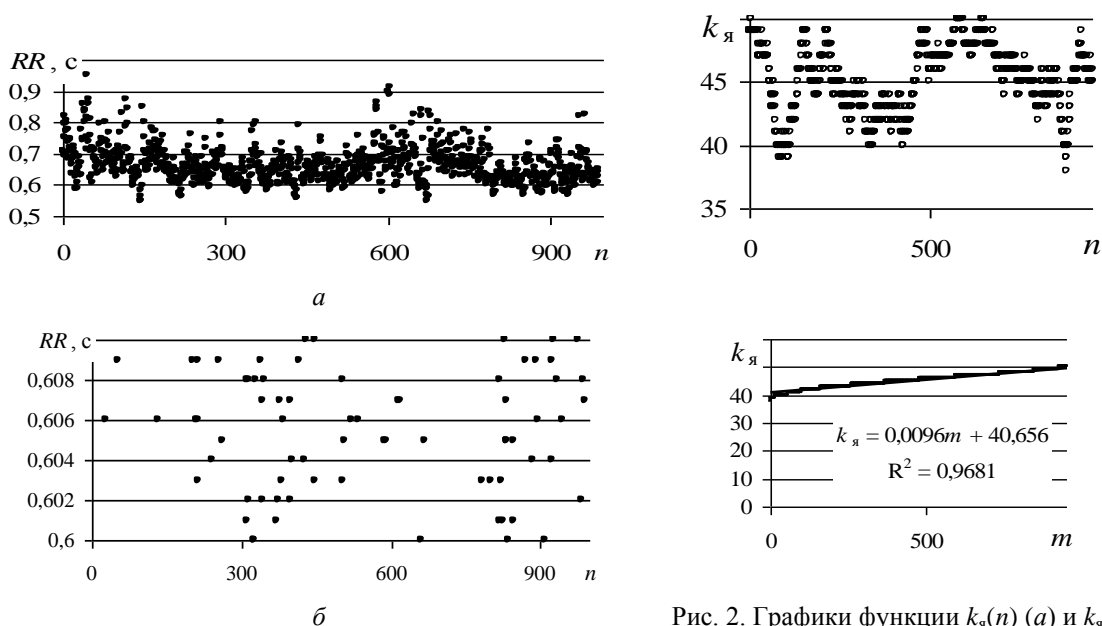


Рис. RR -интервалограмма (а) и ее фрагмент (б) условно здоровой обследуемой Е-вой

Рис. 2. Графики функции $k_n(n)$ (а) и $k_n(m)$ (б) условно здорового К-на. Здесь m – последовательность номеров вариационного ряда

Утром у большинства обследуемых отмечалось уменьшение количества ярусов (k_n). При ухудшении общего состояния величина k_n растет медленно линейно, в патогенезе - экспоненциально, а затем резко падает. Для пациентов реанимационного отделения количество ярусов возрастает до 500, а для пациентов, находящихся в коме оно не больше 28.

Сопоставление результатов анализа функции $k_n(n)$ с данными энергетического метода [4, 5] показало, что для здоровых людей k_n находится в интервале $\Delta k_n = (60 - 40) = 20$ ярусов. Сердечная недостаточность характеризуется увеличением количества ярусов до 200. Автор наблюдал фрагментарно ($\Delta n = 200$) минимальное значение $k_n = 2$ для RR -интервалограммы больного в коме. При этом даже в течение одной регистрации это количество может несколько раз резко, изменяться.

На рис. 3 приведены графические результаты сравнительного анализа двух показателей общего состояния организма: количества ярусов и дисперсии RR -интервалограммы. При формировании двух «оконных» выборок одинакового объема использовались «окна» одинакового размера и одинаковый шаг сдвигки Δ . Каждому положению окна соответствовало определенное значение показателя. Очевидно (рис. 3), что показатель количества ярусов более чувствителен, а функция функции $k_n(n)$ более информативна.

В горизонтальном (n) направлении RR -интервалограмма здоровых организмов представляет собой наборы цугов номеров кардиоинтервалов на фиксированных ярусах значений их фаз. Каждый ярус обладает индивидуальной топологической «точечной» структурой, напоминающей «азбуку Морзе» (см. рис. 1, а). Ярус, представляющий значение моды, является наиболее заполненным цугами, содержащими по 8-15 значений RR -интервалов. В этом смысле значение этого яруса определяет наиболее вероятный ритм сердца. Для здоровых людей наполнение цугов падает экспоненциально от яруса моды в направлении к верхнему и нижнему ярусам.

Цуги сдвинуты друг относительно друга. Фазовое поле «выткано» так, что в проекции на номерную ось не пропущена ни одна точка. Внутренняя динамика чередования фазовых переходов в областях наложений цугов - внешне случайная.

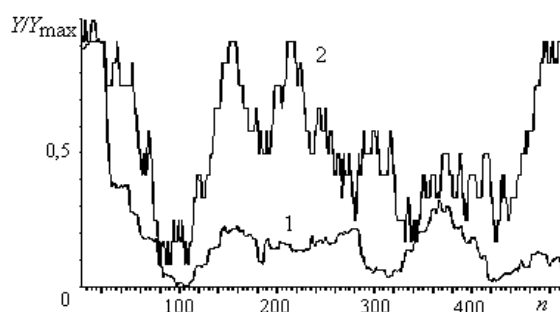


Рис. 3. Графики динамики дисперсии (1) и количества ярусов (2) на участке RR -интервалограммы условно здорового К-на (см. рис. 2, а). Здесь Y – общее обозначение количества ярусов и дисперсии

В рамках ярусного распределения фаз ритма сердца все ячейки яруса «включены» и находятся в «ждущем режиме», если хотя бы одна ячейка на этом ярусе «включена» в объеме выборки. Если на данном ярусе ни одна ячейка не занята хотя бы одним фазовым состоянием, то невозможно утверждать, что данный ярус находится в «рабочем режиме». Данная фаза и ее «цуговая» динамика, могут быть запрещены системно.

При существующем шаге Δ дискретизации гистограмма может строиться по δ -функциям ярусов. Для очень длинной ($n = 10^6$, или около 12 суток) выборки RR - интервалограммы в норме ($\Delta k_y = 20$) огибающая кривая гистограммы должна приближаться к кривой Гаусса. В этом смысле распределение Гаусса выступает как распределение случайных значений RR -интервалов около оптимального. Однако даже у здоровых людей некоторые ярусы дают меньшие вклады по представительству в гистограмму. При этом огибающая гистограммы теряет гладкость. Анализ показывает, что обратимость (возврат к ритму в норме) при этом сохраняется. Гистограмма все время стремится приблизиться к идеалу – функции Гаусса, никогда ее не достигая. В какой степени эти устремления приближают распределение к форме функции Гаусса, в такой же степени человек здоров.

Организм человека находится под непрерывным воздействием внешних стимулов. Поэтому устойчивый системный ритм сердца должен быть подстраивающимся - вариабельным. Основываясь на однородности функции заполнения номерного ряда RR - интервалограммы все не заполненные ячейки цуговой структуры должны дублироваться заполнением ячеек цугов других ярусов. Механизм дублирования ячеек цугов разных ярусов позволяет ритму сердца оставаться устойчивым. Распространение этого механизма на всю структуру RR - интервалограммы вносит хаотическую составляющую внутреннего управления ритмом. В таком представлении суммарное количество ячеек на ярусах сильно избыточно в сравнении с числом значений RR - интервалов.

Для оценочного анализа вертикальной структуры RR - интервалограммы предлагается использовать количественный критерий наполняемости (K_H) фазовых ячеек в виде отношения числа не заполненных ячеек к числу заполненных. Он определяет среднее количество незаполненных ячеек на ярусном графике выборки, приходящихся на одну реализованную. Число заполненных ячеек равно числу n дискретных значений RR -интервалов в анализируемой выборке. Число не заполненных ячеек равно $(M - n)$, где $M = nk_y$ общее число ячеек. Тогда $K_H = (M - n)/n = (nk_y - n)/n = k_y - 1$. Количество ярусов k_y равно размаху вариаций Δx , отнесенному к величине шага дискретизации, и $k_y = \Delta x/\Delta + 1$. Поэтому критерий наполняемости фазовых ячеек $K_H = \Delta x/\Delta$, т.е. численно равен размаху вариаций при $\Delta = 1$ мс или кратен ему при иных значениях Δ . Таким образом, размах вариаций пропорционален наполняемости фазовых ячеек.

Результаты и выводы. Проведение математической обработки стохастического процесса возможно только для его цифрового ряда – неполного аналога непрерывного процесса. Однако такое представление имеет свои преимущества. Ярусная структура обладает наглядностью в определении представительности тех или иных фазовых состояний и динамических переходов, позволяет выявить топологическую и динамическую структурированность цифрового ряда. Ярусы могут нести системную информацию о процессах, формирующих сердечный ритм.

Вертикальная и горизонтальная структурированность RR - интервалограмм позволяют проводить топологический анализ ярусной структуры. Формы структуризации RR - интервалограмм по двум независимым вертикальному и горизонтальному направлениям качественно не похожи. По вертикали – структуризация ярусная, а по горизонтали – цуговая. Общие формы структуризации RR - интервалограмм по обоим независимым направлениям качественно не меняются для здоровых и больных людей. Количественное изменение структуризации RR -интервалограмм позволяет проводить сертификацию обследуемых на больных и здоровых, а также только больных по тяжести заболевания.

Использование показателя количества ярусов и динамики их изменения более информативно для анализа ритма, чем использование категории дисперсии.

Ярусный подход анализа RR -интервалограмм для оценки общего состояния может быть полезен в работе органов здравоохранения при текущем выборочном мониторинге общего состояния больших групп людей, проживающих в определенной местности, городе, районе или работающих на том или ином предприятии. Для этого рекомендуется аккумулировать все данные по количеству ярусов RR - интервалограмм обследуемых в компьютерной базе данных в форме объединенной кумулятивной кривой $k_y(N)$. Получаемые данные с учетом циркадных и сезонных колебаний могут служить надежной информационной базой по выработке рекомендаций по улучшению общего уровня системы здравоохранения.

Литература

1. Прилуцкий Д.А., Кузнецов А.А., Чепенко В.В., Кавасма Р.А., Казьмин А.В., Плеханов А.А. Накопитель ЭКГ «*AnnA Flash2000*»// Методы и средства измерений физических величин. НГТУ, Н.Новгород. 2006. С. 31.
2. *Medical Computer Systems, Zelenograd, Moscow*: <http://www.mks.ru>.

3. Ардашев А.В., Кузнецов А.А., Плеханов А.А., Чепенко В.В. Интерквантильный метод анализа *RR*-интервалограмм// Вестник новых медицинских технологий. Т. XIII, № 4. 2006. С. 20 – 22.
4. Кавасма Р., Кузнецов А., Сушкова Л. Автоматизированный анализ и обработка электрокардиографических сигналов. Методы и система./ Под ред. Л.Т. Сушковой. М.: Сайнс-пресс, 2006. 144 с.
5. Кавасма Р.А., Кузнецов А.А., Сушкова Л.Т. Энергетический и интерквантильный методы анализа электрокардиоинтервалов// Вестник новых медицинских технологий. Т. XII, № 3 – 4. 2005. С. 30 – 33.