

УДК 612.172.4

МЕТОД ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ  
 СЕРДЕЧНОГО РИТМА

КУЗНЕЦОВ А.А.<sup>1</sup>

E-mail: [artemi-k@mail.ru](mailto:artemi-k@mail.ru)

**Резюме:** На основе методики определения координат R-зубцов на ЭКГ предложена технология определения площадей, ограниченных кривой ЭКГ по последовательности кардиоциклов. Предложены новые объекты исследования ЭКГ. Проведен сопоставительный анализ их характеристик.

**Ключевые слова:** ЭКГ, интервалограмма, изменчивость.

INTEGRATED ESTIMATION METHOD OF AN INTIMATE RHYTHM  
 FUNCTIONAL CONDITION

A.A. KUZNETSOV

**Summary:** On the basis of a technique of R- peak coordinate definition in ECG a new technology of the determining areas limited by the curve of ECG on the cardio cycle sequence is offered. New ECG research objects are offered. The comparative analysis of their characteristics is carried out.

**Key words:** ECG, intervalogramme, variability.

Алгоритм программы определения координат R-зубцов на электрокардиограмме (ЭКГ) [1] позволяет составить два массива данных: амплитудных значений R-зубцов ( $R$ , мВ) и интервалов времени между соседними R-зубцами ( $RR$ , мс). Функциональный массив  $\varphi_R(\varphi_{Ri}; t_i)$  является выборочным по признаку  $\varphi_{i \max}$  из исходной функциональной выборки  $\varphi(t)$ , представляющей ЭКГ. Все значения  $\varphi_{Ri}$  являются реперными для последующего интегрального анализа. Начальным значением назначается  $\varphi_{R0} = \varphi_R(t = 0)$ .

Для интервала времени  $t_0 \leq t_i \leq t_1$  вычисляется величина площади  $S_{RR}$  между двумя значениями  $\varphi_{R1}$  и  $\varphi_{R2}$ , участком ЭКГ и горизонтальной линией условного нуля (рис. 1, а) по формуле площади криволинейной трапеции:

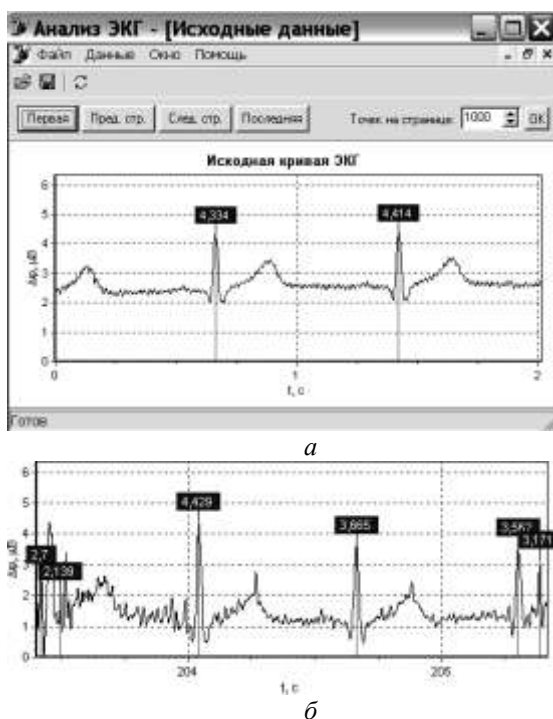


Рис. 1. Интерфейс программного модуля (а) с фрагментами ЭКГ УЗО Ива с результатами верного анализа (а) и артефактами (б)

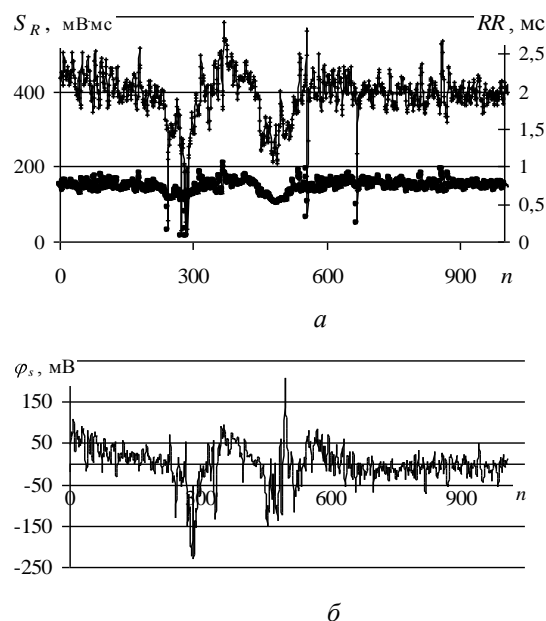


Рис. 2. Графики  $S_R$ -интервалограммы (а, сверху),  $RR$ -интервалограммы (а, снизу) и  $\varphi_s$ -интервалограмма (б)

$$S_{R_0 R_1} = \frac{\Delta}{2} (\varphi_{R_0} + \varphi_{R_1} + 2 \sum_i \varphi_i). \quad (1)$$

При этом указанный участок кривой ЭКГ естественно разбивается на элементарные участки длительностью, равным времени разрешения ( $\Delta$ , мс) регистрирующего прибора (датчика Холтера). Сумма величин элементарных площадей трапеций определяется по формуле (1).

<sup>1</sup> 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87. Владимирский государственный университет

Каждая последующая величина  $S_{RR_i}$  определяется аналогично отсчетом от соответствующего реперного значения  $\varphi_{Ri}$ . Расчетные данные  $S_{RR_i}$  можно трактовать как удельную работу электропроводящей системы сердца за  $i$ -тый кардицикл. Они заносятся в текстовый файл. Полученный функциональный массив данных назван автором  $S_R$ - интервалограммой и по технике получения является «оконной выборкой» [1]. На рис. 1, а представлен внешний вид работы программного модуля по определению координат  $R$ -зубца,  $S_{RR_i}$  для ЭКГ условно здорового обследуемого (УЗО). На рис. 2, а приведены графики  $S_R$ - интервалограммы и  $RR$ -интервалограммы.

Программное обеспечение для определения координат  $R$ -зубцов предназначено для анализа ЭКГ, регистрируемой по второму отведению для УЗО. Это связано с тем, что применяемый механизм «сканирующего окна» для выделения  $R$ -зубца требует его максимальной выраженности и является очень чувствительным к помехе (рис. 1, б). Даже при соблюдении указанных условий для выборки объемом  $n = 1000$  число ложных выделений  $R$ -зубца составляет до 1 % (рис. 2, а). Эти артефакты в форме больших по величине отклонений от среднего значения («выбросов») убираются просто и естественно синхронным делением цифрового ряда  $S_R$ - интервалограммы на цифровой ряд  $RR$ -интервалограммы. Полученная в результате функция  $\varphi_s(n)$  представляет цифровой ряд значений  $S_{RR_i} / RR_i$  (рис. 2, б).

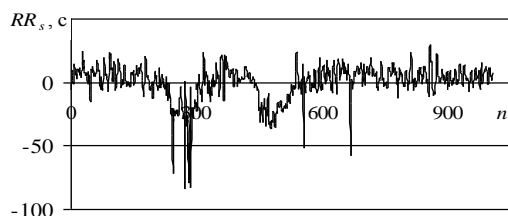
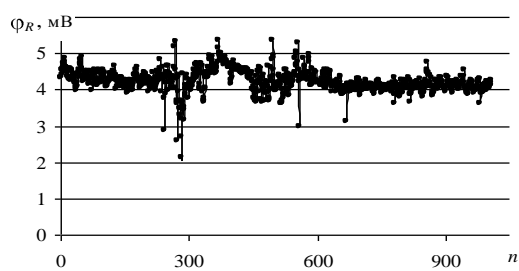
Суммарная площадь ограничена интервалом времени регистрации, кривой ЭКГ и условной нулевой линией:

$$S_R = \sum_i S_{RR_i} = \frac{\Delta}{2} (\varphi_0 + \varphi_{n+1} + 2 \sum_i \varphi_i) \cdot \quad (2)$$

Средняя величина площади, приходящаяся на один кардицикл  $\langle S_R \rangle = S_R / n$ , является средне-интегральной оценкой работы электропроводящей системы сердца и электрического тонууса сердца.

В состав рассчитанных по уравнениям (1) и (2) параметров входит произвольная постоянная  $A$ , определяемая местоположением условной нулевой линии отсчета. При этом значения  $\varphi(t)$  на разных ЭКГ также являются очень условными, так как средний уровень величины потенциала  $\varphi_i$  зависит от многих параметров: качество контакта, типа электрода, состояния кожи и т.д.

Представим площадь криволинейной трапеции под кривой ЭКГ кардицикла по средним составляющим вкладов:  $S_{RR_i} = RR_i(\varphi_s + A)$ , где  $RR_i$  – величина  $i$ -того  $RR$ - интервала,  $\varphi_{si}$  – функция средней амплитуды структуры  $i$ -того кардицикла,  $A$  - постоянная нулевого уровня отсчета. В состав функции  $\varphi_{si}$  включены взаимозависимые амплитудная функция дыхания (ход изоэлектрической линии) и собственно функция амплитудной варибельности структуры участка кривой ЭКГ одного кардицикла. Ряд значений  $\varphi_{si} = S_{RR_i} / RR_i$  представляет функцию  $\varphi_s(n)$ , центрированную относительно среднего значения (см. рис. 2, б).



б

Рис. 3. Графики  $R$ -интервалограммы и  $RR_s$ - интервалограммы

Таблица N2. Значения параметров ЭКГ УЗО Иова по данным рис. 1 – 3.

Параметры ЭКГ	Среднее	Размах вариаций	$k_i$	Спектр, $1/n$
$S_{RR}$ , мВ.мс	389,4	348,68	0,9	0,0055; 5,0
$RR$ , с	0,734	0,447	0,6	0,0043; 2,0
$S_{RR}/RR$ , мВ	528,4	380,6	0,7	0,006, 2,7
$R$ , мВ	4,2	2,13	0,5	0,006, 0,9
$S_{RR}/R$ , с	91,9	59,88	0,65	0,0045, 1,1

Кроме трех представленных параметрических рядов в анализе ЭКГ могут принять участие  $R$ -интервалограмма и  $RR_s$  – интервалограмма.  $R$ -интервалограмма представляет последовательность значений координат  $R$ -зубца по вертикали, мВ на ЭКГ.  $RR_s$  – интервалограмма представляет параметрический ряд, полученный синхронным делением цифрового ряда  $S_R$ -интервалограммы на цифровой ряд  $R$ - интервалограммы (рис. 3). Таким образом, новыми физическими параметрами ЭКГ становятся значения  $R$ -зубца, мВ и отношения  $S_{RR} / R_i$ , с (табл. 1). Отношение  $S_{RR} / R_i$  показы-

Таблица 1

Параметры ЭКГ	Коэффициенты корреляции				
	$S_{RR}$	$RR$	$R$	$S_{RR}/RR$	$S_{RR}/R$
$S_{RR}$	1	0,884	0,556	0,723	0,916
$RR$	0,782	1	0,291	0,332	0,914
$R$	0,309	0,085	1	0,698	0,188
$S_{RR}/RR$	0,523	0,11	0,487	1	0,525
$S_{RR}/R$	0,838	0,835	0,0354	0,276	1

вает относительный вклад Т-зубца в величину площади под кривой кардиоцикла.

В правой части таблицы 1, составленной в форме матрицы, приведены парные коэффициенты корреляции; в левой части квадраты коэффициентов корреляции Пирсона. Видно, что корреляционная связь слабая между ( $RR$ - $R$ ) – интервалограммами,  $RR$ -интервалограммой и  $\varphi_s(n)$ . Однако, это не исключает серьезной взаимозависимости динамики  $RR$ -интервалов с их топологической структурой, так как их корреляционная связь с  $S_R$ -интервалограммой существенна (0,52-0,88). Кроме этого, их взаимосвязь в диапазоне VLF (*very low frequencies*) также очевидна (рис. 2, а, 3, а, б).

По данным таблицы 1 видно, что величина  $RR$ -интервала оказывает существенное влияние на величину площади по сравнению с влиянием величины  $R$ -зубца. Сравнительная оценка соответствующих  $RR$ - и  $S_R$  – интервалограмм показала, что динамика  $S_{RR}$  в  $S_R$ -интервалограмме слабо отличается от динамики

$RR$ -интервалов на  $RR$ - интервалограмме здоровых организмов. Иными словами,  $S_R$ - интервалограмма в этом случае не чувствительна к форме своих верхних границ – участков ЭКГ. С точки зрения информативности оценки функционального состояния здоровых организмов,  $RR$ - и  $S_R$ - интервалограммы идентичны и содержат информацию о фазовой вариабельности сердечного ритма.

Оценим чувствительность пяти параметров ЭКГ без учета артефактов и крайних максимальных и минимальных значений по относительному размаху вариаций  $k_i$ . В табл. 2 приведены среднее, максимальное и минимальное значения параметров ЭКГ, а также размах вариаций по этим параметров и его отношение к среднему значению.

Спектральный анализ параметрических ритмограмм показал наличие максимальных значений плотности мощности на частотной оси. В табл. 2. приведены частот, соответствующих этим максимумам и отношений значений плотности мощности на этих частотах к максимуму на частоте  $0,001 1/n$ , определяемой объемом выборки.

Включение в  $S_R$ -интервалограмму прямой информации о дыхательном ритме приводит к неравномерному распределению вкладов величин  $RR$ -интервалов в величины  $S_{RR}$ . При большой высоте  $S_{RR}$  – вклады большие и под информацией о динамике  $RR$ -интервалов становится незаметной информация об изменениях формы участка ЭКГ. Известно, что в состоянии покоя для здорового человека ритм сердца и ритм дыхания устойчивы в отношении 4/1. Отклонение от состояния покоя, особенно нетренированного человека, приводит к десинхронизации ритмов [3]. Это в свою очередь приводит к не синхронным изменениям величины  $RR$ -интервала и топологии кардиоцикла. Для двадцати здоровых людей в состоянии покоя (положение «лежа») коэффициенты корреляции  $RR$ - и  $S_R$  - интервалограмм были близки к единице ( $0,985 \pm 0,015$ ). Их величины падали на 0,1 у 30 студентов, у которых ЭКГ регистрировались в положении «сидя». Авторы [1, 2] наблюдали качественное расхождение и рост отличий  $RR$ - и  $S_R$ - интервалограмм при тестовых нагрузках. По данным 50 больных с различными заболеваниями (ВОКБ, г. Владимир) величина коэффициента корреляции  $RR$ - и  $S_R$  - интервалограмм резко падает (ниже 0,7).

**Результаты и выводы.** Из пяти предложенных параметрических рядов, представляющих выборочные функции ЭКГ,  $S_R$ - интервалограмма является наиболее информационно емкой выборочной интегральной функцией ЭКГ.

Функция  $\varphi_s(n)$  по чувствительности к вариабельности ритма сердца мало уступает  $S_R$ -интервалограмме. Она содержит текущую информацию об интегральной амплитудной вариабельности структуры участка кривой ЭКГ одного кардиоцикла.

Функциональные ряды предлагаемых параметров ЭКГ имеют небольшое количество (до 1%) вставленных ложных значений. Они слабо влияют на результат анализа, особенно для функции  $\varphi_s(n)$ . Тем не менее, техника определения координат  $R$ -зубцов на ЭКГ требует совершенствования.

### Литература

1. 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.
2. 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.

3. Физиология человека: В 3-х томах. Т.2. Пер. с англ./ Под ред. Р. Шмидта и Г. Тевса. М.: Мир, 1996. 313 с.