

УДК 612.776.1+612.821

# Оценка отклонений в вариабельности сердечного ритма

**А.П. Кулаичев**

Биологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва

**А.П. Кулаичев** – докт. биол. наук, канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр. Биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.  
Тел.: (495) 437-36-95. E-mail: akula@mail.ru

В статье рассматриваются два индекса, оценивающие отклонения в вариабельности сердечного ритма и созданные в рамках предложенного интервального подхода к их конструированию: показатель сердечного стресса ПСС и показатель сердечной аритмии ПСА. Показана высокая избирательная чувствительность этих индексов к оценке влияния стресса на сердечную деятельность и аритмии в сравнении с традиционными показателями, характеризующими напряженное состояние организма. Продемонстрирована эффективность использования индексов в массовых диагностических обследованиях для выявления ранних отклонений в сердечной деятельности.

**Ключевые слова:** сердечный ритм, кардиоинтервалы, стресс, аритмия.

## Estimation of deviations in Heart rate variability

*Kulaichev A.P.*

This paper discusses the two indexes evaluating the variation in heart rate variability and created within the proposed interval approach to their design: the index of cardiac stress ICS and the index of cardiac arrhythmia ICA. It is shown a high selective sensitivity of each index to an estimation of influence of stress and arrhythmia on cardiac function in comparison with traditional indicators of the stress state of the organism. It is demonstrated the efficiency of each index in the mass diagnostic surveys to identify early abnormalities in cardiac activity.

**Key words:** heart rate, cardiointervals, stress, arrhythmia.

В современных исследованиях вариабельности сердечного ритма (ВСР) используются несколько десятков числовых показателей [1, 2]. Все они являются интегральными, поскольку вычисляются на достаточно протяженных последовательностях кардиоинтервалов (КИ), при этом они ориентированы именно на оценку средней вариабельности КИ и чувствительны к различиям в таких средних значениях. Эти интегральные оценки сглаживают локальные вариативности и дают устойчивые и надежно интерпретируемые результаты в условиях стационарности функционального состояния, например, при релаксации. В то же время интересно было бы иметь и другие оценки, которые: а) были чувствительны именно к крайним отклонениям, связанным с малой или повышенной вариабельностью КИ; б) давали устойчивые результаты и в условиях функциональных проб, т.е. когда сердечный ритм не стационарен, а имеет заметную динамику. Действительно, многие незначительные, ранние отклонения в сердечной деятельности не проявляются в покое, но могут быть выявлены в ходе функциональных проб, связанных с повышенной физиологической или психической нагрузкой.

## Материал и методы исследования

В этом плане имеет смысл предложить один из возможных альтернативных подходов, позволяющий конструировать показатели ВСР, которые в отличие от традиционных и интегральных можно было бы назвать дифференциальными или интервальными. Такие показатели вычисляются в скользящем окне размером в 10 сердечных сокращений. Размер окна выбран исходя из трех соображений: 1) это соответствует трем-четырем дыханиям (при отсутствии волевого контроля за дыханием), что в определенной степени позволяет нивелировать ведущее влияние дыхательного ритма; 2) на таком сравнительно коротком отрезке сердечный ритм можно считать условно стационарным даже в условиях нагрузочных функциональных проб; 3) такой размер выборки обеспечивает удовлетворительную статистическую устойчивость числовых оценок и применимость непараметрических критериев. Было выяснено, что умеренное увеличение ширины скользящего окна немного снижает чувствительность показателей и расширяет границы нормы, но эти изменения не носят принципиального характера. Окно перемещается

по последовательности КИ с последовательными сдвигами на один кардиоинтервал. В каждом окне вычисляется локальная оценка показателя. В завершении этого процесса все локальные оценки усредняются и получается окончательное значение показателя.

### Показатели сердечного стресса и аритмии

В рамках предложенного подхода были сконструированы два оценочных индекса [3]: показатель сердечного стресса (ПСС) и показатель сердечной аритмии (ПСА).

Большинство показателей variability сердечного ритма (ВСР) в той или иной степени оценивают общую, среднюю variability кардиоинтервалов (КИ), причем применительно к состоянию релаксации. В то же время интересно иметь оценки крайних отклонений, связанных с малой или повышенной variability КИ, причем такие оценки, которые бы работали и в условиях функциональных проб, т.е. когда сердечный ритм не стационарен, а имеет заметную динамику. Действительно, многие отклонения в сердечной деятельности не проявляются в покое, но могут быть выявлены в ходе отдельных функциональных проб. С этой целью нами были предложены [1] два новых оценочных индекса: ПСС и ПСА.

Оба эти индекса вычисляются в скользящем окне шириной в 10 сердечных сокращений с последующим усреднением по всей длине записи. Как показало дополнительное исследование, увеличение размера окна немного снижает чувствительность индексов и расширяет границы нормы, но эти изменения не носят принципиального характера.

Индекс ПСС предназначен для оценки «плохой» variability КИ, выражающейся в присутствии КИ одинаковой или очень близкой длительности. Идея создания этого индекса и содержание, вкладываемое в понятие «сердечный стресс», базировались на следующих физиологических основаниях. Будучи связанным по симпатическим и парасимпатическим нервным путям со всеми органами и системами, функционирующими с собственными ритмами, в норме сердце оперативно реагирует на их потребности, что проявляется в наличии низкоамплитудной, высокочастотной и случайной (шумовой) составляющей в сердечной ритмике. При длительном (недели, месяцы, годы) воздействии стресса: внутреннего (болезнь) или внешнего (усталость, психологическое напряжение и т.п.) вегетативная регуляция сердечной ритмики ослабевает с увеличением влияния собственного водителя ритма, что проявляется в увеличении процента КИ одинаковой дли-

тельности. Иными словами, шкала значений КИ из непрерывной превращается в дискретную.

При вычислении ПСС одинаковыми считаются КИ, различающихся по длительности не более чем на 5 мс. Такой уровень «нечувствительности» выбран, исходя из двух соображений: 1) он достаточно мал, составляя 10% от стандартного 50 мс бина, поэтому может считаться находящимся в пределах точности измерений со стандартной частотой регистрации ЭКГ 250 Гц; 2) он достаточно велик, чтобы обеспечить стабильность и сравнимость оценок для записей ЭКГ, выполненных с различным временным разрешением. При локальной оценке ПСС в скользящем окне подсчитываются все КИ, совпадающие по длительности хотя бы еще с одним КИ. Среднее значение ПСС в норме равно 16,3%, стандартное отклонение — 4,08% (границы нормы определены на выборке 378 здоровых людей [3]).

Индекс ПСА предназначен для оценки экстраvariability КИ или уровня аритмии. Он вычисляется как процент КИ, отличающихся от среднего значения более чем на 2 стандартных отклонения. При нормальном законе распределения таких значений будет менее 2,5%. Среднее значение ПСА в норме равно 2,39%, стандартное отклонение — 0,85% [3].

### Результаты исследований

Проиллюстрируем избирательную чувствительность этих показателей, сравнивая их с индексами, достаточно часто используемыми в научных исследованиях ВСР для оценки уровня напряженности организма [1, 2, 4]: ИН (индекс напряженности регуляторных систем), САТ (индекс симпатoadреналового тонуса), RMSSD, pNN50. В качестве иллюстрации влияния внутреннего и внешнего стресса на сердечную деятельность на рис. 1 приведены интервалограммы двухмесячного ребенка, студентки перед экзаменом и большого с обострением ИБС. На всех трех графиках отчетливо видны отклонения от нормальной variability: интервалограмма приобретает ступенчатый характер, да и отдельные ее пики также группируются на дискретных амплитудных уровнях (отметим, что для грудных детей такое состояние является нормальным, поскольку вегетативная регуляция их сердечной деятельности находится еще в стадии адаптации к требованиям новой среды обитания — своеобразный стресс). Каждая из форм стресса на рис. 1 характеризуется большими отклонениями показателя ПСС от нормы. Как легко заметить, другие показатели не столь избирательны в отношении стресса, и их значения достаточ-

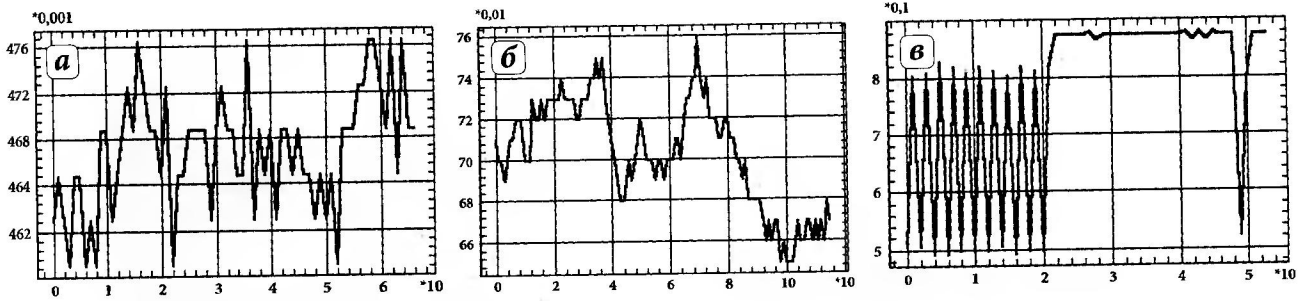


Рис. 1. Интервалограммы при разных формах стресса (по вертикали — длительность КИ в сотых долях секунды): **а** — грудной ребенок: ПСС = 89,7, ИН = 5664, CAT = 1538, RMSSD = 6,12, pNN50 = 0%; **б** — студентка перед экзаменом: ПСС = 54,8, ИН = 617, CAT = 423, RMSSD = 21,34, pNN50 = 3,491%; **в** — больной с обострением ИБС: ПСС = 45,6, ИН = 62, CAT = 28, RMSSD = 226,4, pNN50 = 59,52%

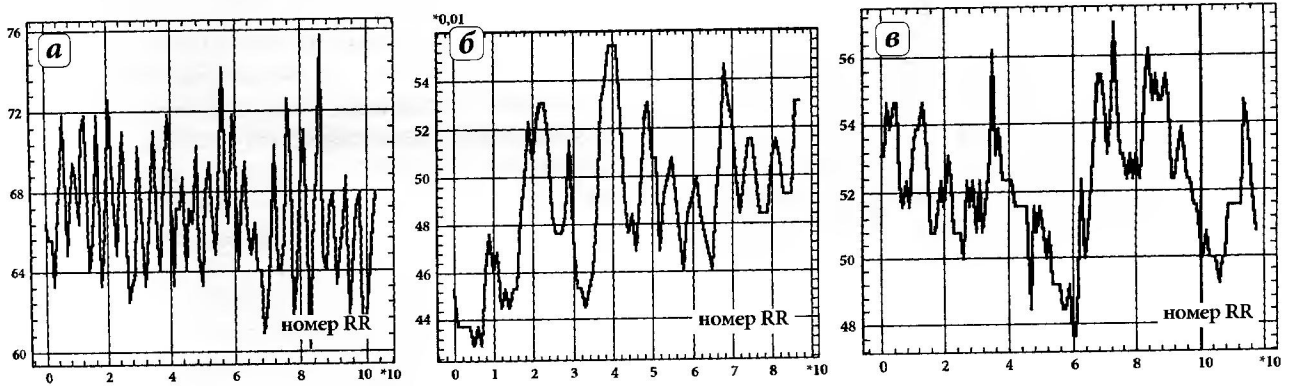


Рис. 2. Интервалограммы функциональных проб (по вертикали — длительность КИ в сотых долях секунды): **а** — релаксация: ПСС = 19,34, ИН = 107, CAT = 107, RMSSD = 52,19, pNN50 = 32,39%, ПСА = 2,479; **б** — после физнагрузки: ПСС = 35,17, ИН = 455, CAT = 310, RMSSD 18,17, pNN50 = 0%, ПСА = 1,954; **в** — при гипервентиляции: ПСС = 47,97, ИН = 859, CAT = 706, RMSSD = 226,4, pNN50 = 59,52%, ПСА = 3,983

но произвольно колеблются от минимальных к максимальным.

### Чувствительность в функциональных пробах

Однако часто степень реактивности организма на стресс не выявляется в спокойном состоянии, но явно проявляется в нагрузочных функциональных пробах, что можно характеризовать как наличие «скрытого» стресса. Это свидетельствует об ослаблении адаптационных механизмов, что может вскоре повлечь то или иное заболевание, и в таких случаях неотложно необходима профилактическая психофизиологическая или даже клиническая терапия. На рис. 2 приведены интервалограммы испытуемого при релаксации, после физической нагрузки в 30 приседаний и при гипервентиляции. Интервалограмма релаксации (рис. 2а) визуально представляется вполне нормальной и стабильной с ведущими колебаниями от неглубокого дыхательного ритма, на который накладывается нормальная случайная высокочастотная вариабельность. После физической нагрузки (рис. 2б) в кардиоритме начинают появляться отдельные площадки фиксированных

КИ, в ходе же гипервентиляции (рис. 2в) кардиоритм приобретает отчетливо дискретизированный характер. Индекс ПСС четко реагирует на все эти изменения, последовательно увеличивая свои значения, в то время как другие показатели опять же проявляют асинхронные или импульсные изменения, реагируя на другие свойства ритмики. Показатель аритмии ПСА в первых двух пробах остается в пределах нормы, что может свидетельствовать о его устойчивости в отражении индивидуальных особенностей организма. В третьей пробе его значение несколько возрастает за счет дестабилизирующего влияния гипервентиляции, но не выходит за границы в два стандартных отклонения от среднего.

Проиллюстрируем теперь чувствительность ПСА в отношении явной аритмии. На рис. 3а приведена запись ЭКГ алкозависимого 70-летнего ветерана, где сильная аритмия визуальна видна уже на нативной записи. Это еще более явно проявляется на интервалограмме (рис. 3б), имеющей импульсивный характер. Такая аритмия четко отражается высоким значением индекса ПСА, отстоящим от среднего значения на

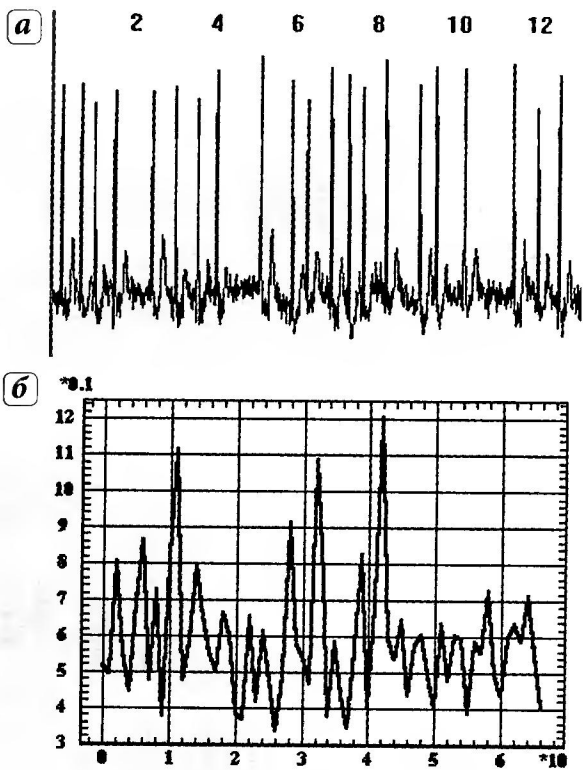


Рис. 3. Пример аритмии: а — запись ЭКГ (вверху секунды); б — интервалограмма; ПСА = 5,15

$(5,15 - 2,39) / 0,85 = 3,12$  стандартного отклонения (вероятность такого отклонения при нормальном законе распределения составляет менее 0,0025).

### Коррелированность показателей

Посмотрим, насколько взаимосвязаны рассмотренные показатели, в какой степени они дублируют друг друга, оценивают те же самые или близкие аспекты сердечной деятельности. В табл. 1 для трех функциональных состояний приведены коэффициенты корреляции между предложенными нами и традиционными индексами оценки на-

Таблица 1. Коэффициенты корреляции показателей

Проба	Релаксация $N = 25$				Физнагрузка $N = 33$				Гипервентиляция $N = 35$			
	КАТ	ИН	RMSSD	PNN50	КАТ	ИН	RMSSD	PNN50	КАТ	ИН	RMSSD	PNN50
ПСС	0,705	0,532	-0,38	-0,516	0,589	0,576	-0,627	-0,544	0,543	0,356	-0,448	-0,6
ПСА	0,09	0,05	0,273	0,097	0,255	0,056	0,419	0,355	0,049	0,133	0,065	0,067

Таблица 2. Процент отклонений от нормы при функциональных пробах

Показатель	Релаксация	Глубокое дыхание	Задержка дыхания	Физнагрузка	Гипервентиляция
ПСС	25,4	9,4	16,9	52,9	56,8
ПСА	11	8,5	20,3	28,6	20,8

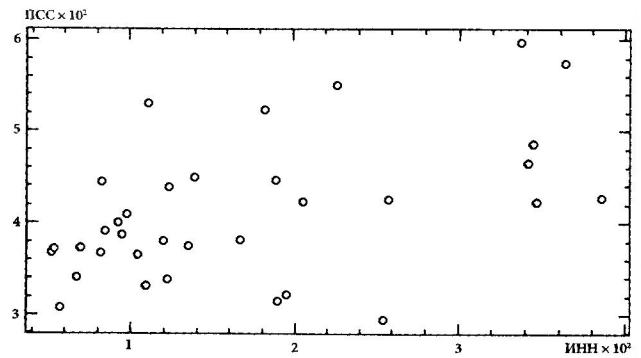


Рис. 4. Диаграмма рассеяния показателей ПСС и ИН в области больших оценок сердечного стресса

пряженности сердечной деятельности. Поскольку в данном контексте нас должно интересовать сравнение чувствительности не в отношении нормы, а в отношении значительных отклонений от нормы, то в табл. 2 приведены данные по испытуемым ( $N$  — число испытуемых), для которых значение ПСС существенно превышает норму ( $ПСС > 30$ ). Как видно из табл. 2, коэффициенты корреляции для ПСС, за двумя исключениями, меньше 0,6 (для такого объема выборок критическое значение коэффициента корреляции составляет 0,33–0,39). Еще меньшую степень коррелированности демонстрирует ПСА.

Что же предметно означает такая степень коррелированности? На рис. 4 приведена диаграмма рассеяния показателей ПСС и ИН для физиологической пробы с физической нагрузкой, где коэффициент корреляции между этими показателями согласно табл. 2 равен 0,576. Эта диаграмма наглядно демонстрирует практически отсутствие взаимосвязи этих показателей. Действительно, для средневысоких значений ПСС = 30 – 35 индекс ИН изменяется в очень широком диапазоне 60–260, и для высоких значений ПСС = 50 – 60 индекс ИН изменяется в столь же широком диапазоне 105– 60. Тем самым ИН никоим образом не оценивает вли-

