

Гуров Юрий Владимирович

Научно-исследовательский институт физики Южного федерального университета.

E-mail: noisegen@mail.ru.

344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 194.

Тел.: +79081914297.

Загускин Сергей Львович

E-mail: zag@ip.rsu.ru.

344022, г. Ростов-на-Дону, а/я 3408.

Тел.: +79185144967.

Gurov Jury Vladimirovich

Southern Federal University, Physics Research Institute.

E-mail: noisegen@mail.ru.

194, Stachki prosp., Rostov-on-Don, 344090, Russia.

Phone: +79081914297.

Zaguskin Sergey Lvovich

E-mail: zag@ip.rsu.ru.

3408, P.B., Rostov-on-Don, 344022, Russia.

Phone: +79185144967.

УДК 615.47+51-76

Ю.В. Гуров

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СИМВОЛИЧЕСКОЙ ДИНАМИКИ

Для анализа ритмов сердца использована символическая динамика, введенная посредством кодирования временных интервалов преобладающего действия парасимпатического или симпатического тонуса нервной регуляции. Для коротких записей ритмов сердца обнаружены закономерности возрастных изменений и различных патологий. Дополнительно рассматриваются возрастные различия для записей пульса и дыхания.

Символическая динамика; ритмы сердца и дыхания; диагностика сердечно-сосудистых заболеваний; возрастные изменения.

Ju.V. Gurov

DIAGNOSTIC CAPABILITIES OF SYMBOLIC DYNAMICS

Symbolic dynamics used to study cardiac rhythms are reviewed. Symbolic dynamics is given by coding of time intervals of predominant parasympathetic or sympathetic tones' activity. Effects of aging and pathology are found in short-time records of cardiac rhythm. Additionally for aging effect breath and pulse records are reviewed.

Symbolic dynamic; cardiac and breath rhythms; diagnostics of heart failures; aging effect.

Введение. Символическая динамика является мощным инструментом при анализе различного рода процессов. Она позволяет существенно упростить изучение рассматриваемого процесса за счет выделения особенностей его динамики с помощью процедуры кодирования. Более того, символическая динамика устойчива по отношению к артефактам в исследуемых записях и, в зависимости от введенного кодирования, не очень требовательна к качеству представленных данных. Символическая динамика в приложении к исследованию ритма сердца применялась ранее, см. например [1-3]. В этих работах различие между подходами заключается в применении различных процедур кодирования. В настоящей работе также будет представлен новый способ кодирования и приведены возможности диагностики по

коротким записям ритмов сердца, продолжительностью около часа. Помимо этого, по одновременным записям ритмов сердца и дыхания даны характеристики возрастным изменениям.

При анализе методов символической динамики были использованы суточные записи R-R интервалов из базы данных [4]. Среди 204 суточных записей ритмов сердца 58 принадлежали здоровым людям (10 из них – в возрасте до 35 лет, остальные – старше 50), 44 записи с диагнозом застойной сердечной недостаточности, 83 записи с диагнозом мерцательной или пароксизмальной аритмии и 19 записей с синдромом внезапной сердечной смерти. Для изучения ритмов пульса и дыхания были использованы 40 двухчасовых записей здоровых молодых (до 30 лет) и здоровых пожилых (старше 60 лет) людей, по 20 человек в каждой группе.

Методы. В настоящей работе использованы две процедуры кодирования, одна использовалась при рассмотрении только записей ритмов сердца, а вторая – для изучения записей межпульсовых интервалов совместно с дыханием. В обеих случаях производилась предварительная обработка ритмограммы сердца, с целью выявить временные интервалы преобладающего действия парасимпатического или симпатического тонуса.

Как известно, симпатический и парасимпатический тонус нервной регуляции оказывает непосредственное влияние на динамику сердечного ритма, что сказывается в росте или спаде частоты сердцебиения. Те временные интервалы, в течение которых частота сердечных сокращений растет, можно отнести ко времени преобладающего действия симпатического тонуса, а интервалы снижения частоты сердцебиения – парасимпатического. Назовем эти временные интервалы для краткости *пт-интервалами*. Таким образом, из ритмограммы R-R интервалов можно получить последовательность пт-интервалов.

Кодирование при исследовании ритмов пульса совместно с ритмами дыхания производилось следующим образом: каждому пт-интервалу ставилось в соответствие количество полных дыхательных циклов, приходящееся на него. Затем записывалась последовательность символов, в которой каждый символ отвечает определенному количеству дыхательных циклов. Эта последовательность называется *символической строкой*. Всякая подпоследовательность символов, которая входит в символическую строку, называется *словом*, а максимальное количество уникальных слов в строке – *словарем*. Символы и соответствующие им количества дыхательных циклов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Таблица кодирования записей пульса и дыхания

Число вдохов на пт-интервал	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Символ в строке	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K

Для исследования ритмов сердца без информации о дыхании использовалось более сложное кодирование. В основе этого кодирования лежит то наблюдение, что при построении точечной диаграммы (скаттерограммы), на которой по осям отложены два смежных пт-интервала, точки локализуются в «облака». Существование облаков локализации точек на скаттерограмме пт-интервалов объясняется тем, что на каждый пт-интервал приходится различное количество сокращений сердца, что и приводит к тому, что точки «посещают» разные облака. Форма же облаков определяется вариабельностью пт-интервалов. Идея кодирования заключается в том, что каждому облаку точек на скаттерограмме приписывается определенный символ. Затем в символическую строку записываются символы в том порядке, в котором облака посещались точками в процессе построения скаттерограммы. На рис. 1 приведен пример скаттерограммы с символами, приписанными

облакам. Задача определения принадлежности точки к тому или иному облаку существенно упрощается, если рассматривать каждое облако как пару чисел: количество сокращений сердца в двух смежных mm -интервалах. В табл. 2 представлены символы, использованные при таком кодировании. В заголовках строк и столбцов этой таблицы указано количество сокращений сердца на соответствующий mm -интервал.

Таблица 2

Таблица кодирования суточных записей ритмов сердца

mm_i	mm_{i+1}				
	1	2	3	4	n>4
1	A	O	I	U	E
2	Y	F	H	C	J
3	L	M	K	N	B
4	Q	R	S	P	T
n>4	V	X	G	Z	D

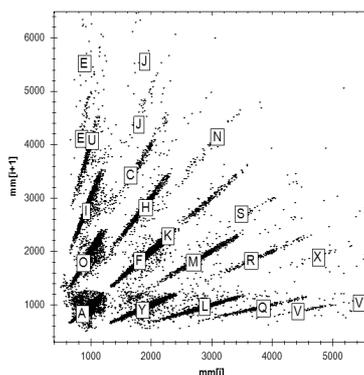


Рис. 1. Скаттерограмма mm -интервалов. Облака локализации точек и символы, приписанные к ним

Основным показателем при изучении символических строк является объем словарей. Так как слова различной длины могут отражать временные интервалы различной длительности, то в настоящей работе рассматриваются словари, состоящие из слов определенной длины.

При рассмотрении суточных записей ритмов сердца без информации о дыхательных процессах из символической строки выбирались две строки с 1000 символов в каждой. Затем для этих строк составлялись словари и рассчитывался показатель P_l по формуле:

$$P_l = \frac{n_l^2}{V_l^1 V_l^2},$$

где l – количество символов в слове или длина слова в словарях, n_l – количество слов, которые присутствуют в словарях обеих строк, а V_l^1, V_l^2 – объемы словарей

первой и второй символической строки соответственно. Таким образом, P_1 характеризует долю слов, которая повторяется в двух символических строках.

Результаты и обсуждения. На рис. 2 показаны два примера графиков P_5 для пятисимвольных слов. Эти графики построены следующим образом: в точной символической строке в качестве одной подстроки для P_5 выбирались первые 1000 символов, а в качестве другой подстроки выбирались 1000 символов, начиная с позиции, номер которой откладывался по оси x . Из этих рисунков видно, что для непересекающихся подстрок значение P_5 колеблется вокруг некоторого среднего значения. Более того, для здорового и больного человека значения этих средних величин существенно различаются.

Для оценки физиологического состояния человека по часовым записям (длина символической строки часовой записи составляет порядка 3000 символов) рассчитывался показатель P_1^s как среднее значение всех P_1 для непересекающихся подстрок часовой символической строки длиной в 1000 символов.



а



б

Рис. 2. Графики P_5 : а — для здорового человека; б — для больного человека. Расчет P_5 производится для первых 1000 символов в символических строках

В табл. 3 в первых двух строках представлены результаты статистической обработки объемов символических строк для ритмов сердца и дыхания, а все остальные строки относятся к рассмотрению только символических строк межпульсовых интервалов. Представленные в этой таблице величины записаны в виде среднего значения и стандартного отклонения. Проверка на значимость приводи-

мых показателей производилась с помощью t-тестов Стьюдента (для нормально распределенных величин), непараметрического теста Манна-Уитни и дисперсионного анализа. Уровень значимости для указанных тестов $p < 0,05$.

Как видно из значений V_6 и V_8 у пожилых людей, примерно в два раза возрастают объемы словарей. Это обстоятельство можно связать с широко известным фактом, что при старении взаимосвязь между дыхательной и ритмообразующей системой сердца ослабевает, и сердце в какой-то степени формирует собственный ритм независимо от дыхания.

Переходя к рассмотрению ритмов сердца без информации о дыхании, рассмотрим значения величин \bar{P}_1 и \bar{P}_5 , которые были рассчитаны как среднее значение P_1 за сутки. Видно, что для здоровых людей показатель \bar{P}_1 выше чем для субъектов с патологиями, хотя для более длинных слов этот показатель значительно ниже, как видно по значению \bar{P}_5 . Это можно объяснить тем обстоятельством, что у здоровых людей регуляция сердечного ритма происходит за счет коротких символических последовательностей. Это проявляется в большем разнообразии коротких слов за определенный интервал времени по сравнению с больными людьми. Такое разнообразие приводит к тому, что среди длинных слов чаще попадаются уникальные слова для данного отрезка времени. С другой стороны, регуляцию короткими словами можно отнести к более сильному отклику сердцебиения со стороны ритмообразующих систем. В последней строке приведен показатель P_5^s , вычисленный для случайной подпоследовательности длиной в 3000 символов из исходных символических строк. Этот показатель иллюстрирует возможность проведения диагностики по часовой записи ритмов сердца.

Таблица 3

Результаты статистической обработки символических строк записей ритмов сердца и записей межпульсовых и дыхательных интервалов

	Здоровые молодые	Здоровые пожилые	Застойная сердечная недостаточность	Мерцательная аритмия	Синдром внезапной сердечной смерти
V_6	310,1 ± 110,3	620,3 ± 281,1	–	–	–
V_8	621,7 ± 222,8	1200,5 ± 420,9	–	–	–
\bar{P}_1	0,985 ± 0,012	0,905 ± 0,054	0,848 ± 0,051	0,820 ± 0,078	0,793 ± 0,110
\bar{P}_5	0,021 ± 0,011	0,077 ± 0,037	0,125 ± 0,05	0,136 ± 0,049	0,134 ± 0,068
P_5^s	0,071 ± 0,036	0,164 ± 0,052	0,231 ± 0,065	0,227 ± 0,061	0,244 ± 0,075

Заключение. В данной работе рассмотрены два аспекта применения символической динамики при исследовании сердечного ритма. Первый аспект включает в себя рассмотрение влияния дыхания на ритм сердца, а второй заключен в рассмотрении коротких записей ритмов сердца и возможности получения информативных данных из них. Следует отметить, что возможности символической динамики гораздо шире, чем представленные здесь результаты, в частности довольно интересным является вопрос рассмотрения гендерных признаков по ритмам сердца, а также влиянию заболеваний, не связанных напрямую с сердечно-сосудистой системой.

Автор выражает благодарность заведующему лаборатории хронобиологии НИИ физики Южного федерального университета С.Л. Загускину за консультации и дискуссии в ходе подготовки статьи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Voss A., Wessel N., Baier V., Osterziel K.J., Kurths J., Dietz R., Schirdewan A. Symbolic Dynamics – a Powerful Tool in Non-Invasive Biomedical Signal Processing. Report – Online symposium for electronics engineers. 2000.
2. Voss A., Schulz S., Schroeder R., Baumert M., Caminal P. Methods derived from nonlinear dynamics for analyzing heart rate variability. Phil. Trans. R. Soc. A. 2009. 28(367). – P. 277-296.
3. Guzzetti S., Borroni E., Gabrielli P.E., Porta A. Symbolic Dynamics of Heart Rate Variability: A Probe to Investigate Cardiac Autonomic Modulation. Circulation. – 2005. – № 112 (4). – P. 465-470.
4. Базы доступны по адресу <http://physionet.org/>.

Гуров Юрий Владимирович

Научно-исследовательский институт физики Южного федерального университета.

E-mail: noisegen@mail.ru.

344090, Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 194.

Тел.: +79081914297.

Gurov Jury Vladimirovich

Southern Federal University, Physics Research Institute.

E-mail: noisegen@mail.ru.

194, Stachki prosp., Rostov-on-Don, 344090, Russia.

Phone: +79081914297.

УДК 616.054.4:616

А.А. Демидова, Э.В. Курбатова

**ВОЗМОЖНОСТИ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ РИТМОГРАФИИ ПРИ АНАЛИЗЕ
ВАРИАбельНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
НАРУШЕНИЙ РИТМА СЕРДЦА**

Рассматривается метод корреляционной ритмографии, отражающий степень хаотичности генерации сердечного ритма, который обладает высокой информативностью в отношении прогнозирования аритмий у больных с артериальной гипертензией.

Корреляционная ритмография; прогнозирование; аритмии.

A.A. Demidova, E.V. Kurbatova

**POSSIBILITIES CORRELATIVE RHYTHMOGRAPHY AT THE ANALYSIS
OF VARIABILITY OF THE INTIMATE RHYTHM FOR PREDICTION
OF VIOLATIONS OF THE RHYTHM OF HEART**

The method of correlation rhythmography reflecting a degree of a randomness of generation of an intimate rhythm, possesses high selfdescriptiveness concerning forecasting of arhythmics of heart at sick an arterial hypertension.

Correlative rhythmography; prediction; arhythmia.

При артериальной гипертензии (АГ) имеется сочетание факторов, играющих существенную роль в инициации или поддержании жизнеугрожающих аритмий. К таким факторам можно отнести адренэргический дисбаланс, ишемию миокарда,