

ВОЗМОЖНОСТИ ВИЗУАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ  
АРИТМИЙ ПРИ ХОЛТЕРОВСКОМ  
МОНИТОРИРОВАНИИ ЭКГ:  
МЕСТО ТРЕХМЕРНОЙ  
СКАТТЕРОГРАФИИ В АНАЛИЗЕ  
ВАРИАБЕЛЬНОСТИ РИТМА СЕРДЦА

А. П. Иванов<sup>1</sup>, Д. Ю. Лебедев<sup>2</sup>, В. П. Цветков<sup>2</sup>,  
А. Н. Кудинов<sup>2</sup>, И. В. Цветков<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ГБУЗ «Тверской областной кардиологический диспансер»,  
г. Тверь, Россия

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»,  
г. Тверь, Россия

**Контактная информация:**

Иванов Александр Петрович  
170041 г. Тверь Комсомольский пр-т 19.  
Тверской клинический  
кардиологический диспансер.  
Тел. (4822) 52-05-05;  
Факс (4822) 52-84-21  
E-mail: ivanovcardio2010@yandex.ru

Статья поступила в редакцию  
01.06.2015 и принята к печати 03.10.2015.

**Резюме**

*Цель исследования* — оценка возможности применения при проведении суточного мониторирования (СМ) ЭКГ трехмерного (3D) анализа построения скаттерограммы у больных с нарушениями ритма работы сердца. *Материалы и методы.* Из базы данных отобрано 5 реализаций ЭКГ с различными вариантами аритмий. *Результаты.* Демонстрируются визуальные особенности 3D скаттерограмм в сравнении с отсутствием нарушений сердечного ритма. Полученные изображения скаттерограммы могут рассматриваться с позиции «детерминированного хаоса», который имеет свои особенности при различных формах нарушений ритма сердца. *Выводы.* Использование 3D скаттерограмм лучше демонстрирует характер аритмий при анализе данных СМ ЭКГ. Дальнейшие исследования позволят более детально изучать особенности формирования патологических очагов автоматизма в миокарде и существенно улучшить качество диагностики аритмий сердца.

**Ключевые слова:** мониторирование ЭКГ, вариабельность ритма сердца, скаттерограмма.

*Для цитирования:* Иванов А. П., Лебедев Д. Ю., Цветков В. П., Кудинов А. Н., Цветков И. В. Возможности визуальной оценки аритмий при холтеровском мониторировании ЭКГ: место трехмерной скаттерографии в анализе вариабельности ритма сердца. Трансляционная медицина. 2015; 2 (6): 5–10.

POSSIBILITIES OF A VISUAL ESTIMATION  
ARRHYTHMIAS AT HOLTER  
ELECTROCARDIOGRAM MONITORING:  
A PLACE THREE-DIMENSIONAL  
SCATTEROGRAPHY IN THE ANALYSIS  
HEART RHYTHM VARIABILITY

A. P. Ivanov<sup>1</sup>, D. J. Lebedev<sup>2</sup>, V. P. Tsvetkov<sup>2</sup>,  
A. N. Kudinov<sup>2</sup>, I. V. Tsvetkov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Tver regional cardiological clinic, Tver, Russia

<sup>2</sup> Tver state university, Tver, Russia

**Corresponding author:**

Aleksandr P. Ivanov  
Tver regional cardiological clinic,  
Komsomolskii pr., 19,  
Tver, Russia, 170041  
Tel (4822) 52-05-05;  
facs (4822) 52-84-21  
E-mail: ivanovcardio2010@yandex.ru

Received 1 June 2015;  
accepted 03 October 2015

**Abstract**

*Objective* — an estimation of possibility of application at carrying out of daily monitoring (SM) of an electrocardiogram three-dimensional (3D) the construction analysis scattergram at patients with infringements of a rhythm of work of heart. *Design and methods* — from a database 5 realisations of an electrocardiogram with various variants arrhythmias are selected. *Results*. Visual features 3D scattergram in comparison with absence of infringements of a warm rhythm are shown. The received images scattergram can be considered from a position of «the determined chaos» which has the features at various forms of infringements of a rhythm of heart. *Conclusions*. Use 3D scattergram shows character arrhythmias at the analysis of the given SM of an electrocardiogram is better. The further researches will allow to study in more details features of formation of the pathological centres of automatism in a myocardium and it is essential to improve quality of diagnostics hearts arrhythmia.

**Key words:** electrocardiogram monitoring, variability of a rhythm of heart, scatterography

*For citation:* Ivanov A. P., Lebedev D. J., Tsvetkov V. P., Kudinov A. N., Tsvetkov I. V. Possibilities of a visual estimation arrhythmias at holter electrocardiogram monitoring: a place three-dimensional scatterography in the analysis heart rhythm variability. *Translational Medicine*. 2015;2 (6):5–10.

## Введение

Анализ сердечного ритма постоянно находится в поле внимания многих исследователей. Доказано, что он существенно меняется при переходе от нормального состояния организма к патологическим его изменениям. Сердечный ритм является наиболее объективной характеристикой функционального состояния ССС и зависят от многих факторов: возраста, пола, условий окружающей среды, рода деятельности индивида, нервно-психического состояния, температура тела и других факторов, что отражается на состоянии нейрогуморальных механизмов гомеостаза [1]. Одним из методов оценки ритма сердечной деятельности признается изучение variability ритма сердца (VPC) с использованием математических подходов. Наиболее объективным методом оценки функционального состояния организма является изучение VPC с использованием статистического анализа данных суточного мониторинга ЭКГ (СМ ЭКГ) по Холтеру [2]. При этом чаще используется временной и спектральный анализ СМ ЭКГ [3]. Существенно реже встречается упоминание о построении скаттерграммы сердечного ритма, применяемой преимущественно для выявления сердечных аритмий [4]. Вместе с тем в современных системах СМ ЭКГ последний метод анализа VPC используется крайне редко.

Целью настоящего исследования явилась оценка возможности применения при анализе СМ ЭКГ трехмерного (3D) анализа построения скаттерграммы у больных с нарушениями ритма работы сердца.

## Материал и методы

В базе данных Тверского клинического кардиологического диспансера проведен поиск реализаций СМ ЭКГ больных, имевших нарушения сердечного ритма. В исследование включались пациенты с постоянной формой фибрилляции предсердий (ФП), а так же лица, имевшие патологическое количество желудочковых и суправентрикулярных экстрасистол [5]. Из исследования исключались реализации СМ ЭКГ с наличием более 15 % артефактов, с одновременной регистрацией изменений сегмента ST, характеризующихся как ишемические, а так же результаты исследований больных с имплантированными кардиостимуляторами. Холтеровское мониторирование проводили на фоне полной отмены антиаритмической терапии согласно общепринятым рекомендациям [6]. Для исследований применялся монитор ЭКГ «Кардиотехника» с программным обеспечением result-2 (фирма ИНКАРТ, С-Петербург).

Для получения массива RR интервалов использовалась функция экспорта данных из программы KT-Result, которая позволяет вывести весь спектр RR интервалов в текстовый файл. После сохранения данных в текстовом файле они экспортировались в пакет Microsoft Excel. Предлагаемый нами анализ variability ритма сердца основан на исследовании динамики параметра  $y_i = \frac{60}{T_{RR_i}}$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ). Здесь  $i$  — номер RR интервала с момента наблюдения, а  $T_{RR_i}$  — его величина в секундах. Значение  $y_i$  в работе [7] получило название мгновенного сердечного ритма (MCP). Если усреднить  $y_i$  по временному промежутку в одну минуту, то получим используемое кардиологами значение стандартного сердечного ритма.

2D-скаттерграмма MCP представляет собой множество точек на плоскости с декартовыми координатами  $(y_i, y_{i+1})$ . Геометрия 2D-скаттерграммы характеризует variability значения MCP при сдвиге номера RR интервала на единицу.

При переходе от 2D-скаттерграммы к 3D-скаттерграмме появляется третья декартова ось на которой откладываются значения параметра повторяемости  $n = n(y_i, y_{i+1})$  в скаттерграмме точек с координатами  $(y_i, y_{i+1})$ .

Очевидна гораздо большая информативность 3D-скаттерграммы MCP по сравнению с 2D-скаттерграммой MCP. Это будет продемонстрировано в дальнейшем на конкретных примерах.

Для визуализации множества точек 3D-скаттерграммы нами использовано их цветное представление. Точки со значениями  $n \leq 3$  раскрашены в синий цвет,  $4 \leq n \leq 20$  — в желтый, а  $n \geq 21$  — в красный.

Несомненно использование цвета при построении и анализе 3D-скаттерграммы делает ее более информативной по сравнению с применением монохромного подхода.

## Результаты и обсуждение

Для детального анализа отобрано 5 реализаций СМ ЭКГ, представляющих основные формы нарушений сердечного ритма. В целом отмечено, что в 3D варианте скаттерграмма имеет форму конуса, основание которого напоминает двухмерную скаттерграмму с просветлением в центре. В то же время различные аритмии существенно изменяют визуальную картину.

Так, на рис. 1 приведена 3D скаттерграмма больного с постоянной нормо-формой ФП в которой отсутствует конусообразная форма, а в основании имеется широкий овал с нечеткими краями.

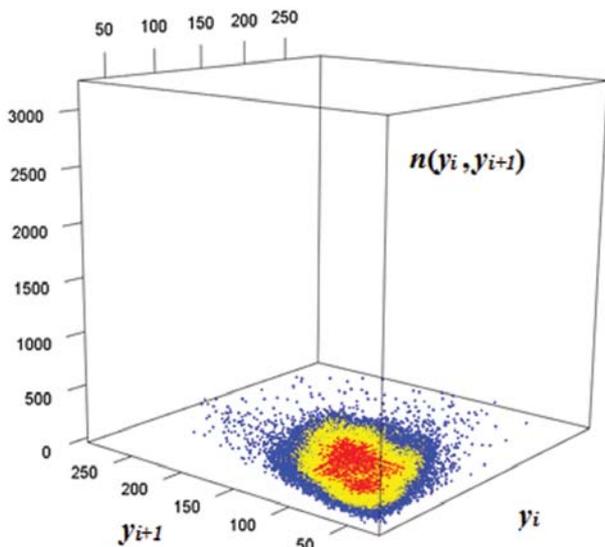


Рисунок 1. 3D скаттерграмма больного с постоянной нормо-формой ФП

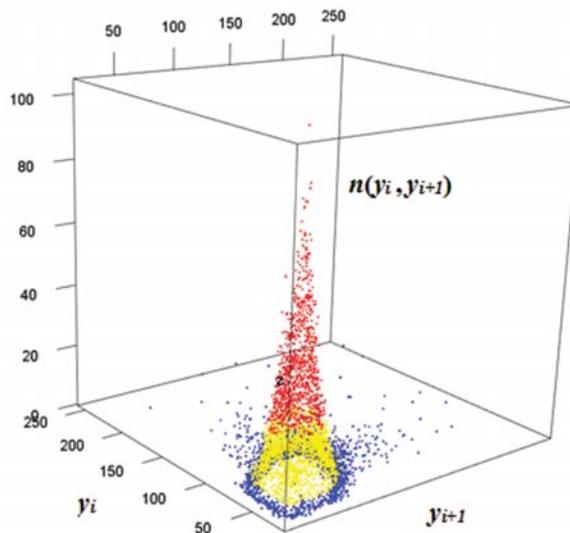


Рисунок 2. 3D скаттерграмма больного с брадиформой ФП

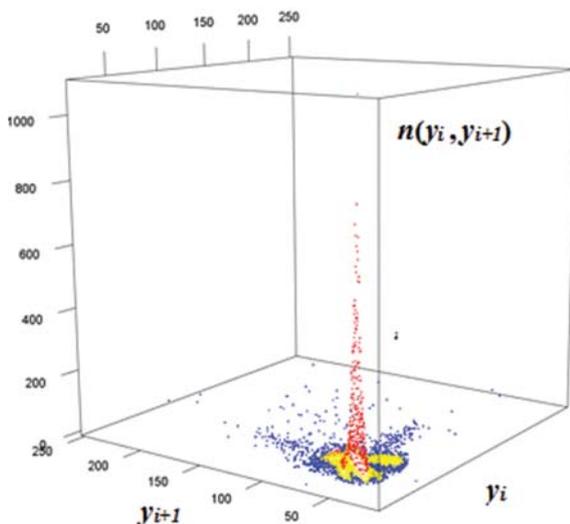


Рисунок 3. 3D скаттерграмма больного с желудочковой экстрасистолью

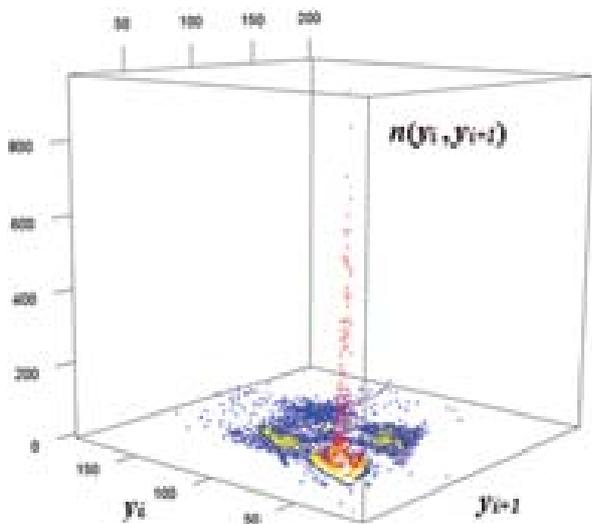


Рисунок 4. 3D скаттерграмма больного с суправентрикулярной экстрасистолью

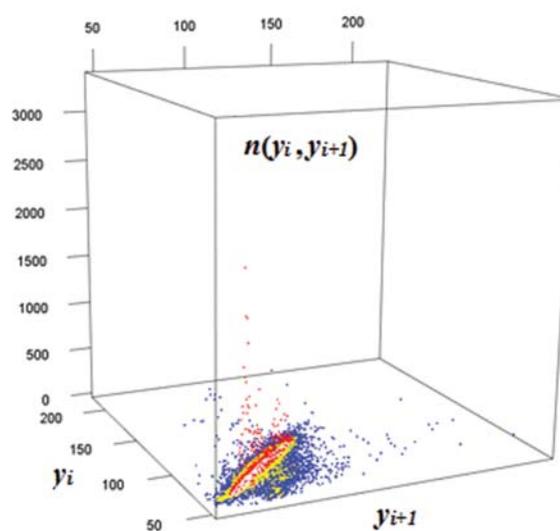


Рисунок 5. 3D скаттерграмма пациента в отсутствии аритмий

Напротив, брадиформа ФП у больного с синдромом слабости синусового узла (рис. 2) широкий овал в основании сопровождается выраженным конусом. Данный вариант может интерпретироваться как склонность к монотонному ритму и характеризовать выраженную органическую патологию сердца.

На рис. 3 демонстрируется вариант 3D скаттерограммы у больного с частой желудочковой экстрасистолией. В ее основании выявляются «выбросы» в разные стороны, что может соответствовать различным функционирующим эктопическим очагам. Наличие выраженного конуса может характеризовать высокую частоту посторения изучаемых характеристик на протяжении СМ ЭКГ.

В свою очередь, суправентрикулярная экстрасистолия (рис. 4) характеризуется «размытостью» овала в основании скаттерограммы и узким выраженным конусом повторения характеристик сердечного ритма.

Для сравнения на рис. 5 приведена 3D скаттерограмма пациента с отсутствием патологической эктопической активности миокарда. В данном случае в основании имеется эллипс с просветлением в центре с единичными «выбросами» по краям, создающими неровность наружного контура, что, вероятно, объясняется единичными экстрасистолами, которые регистрируются при СМ у большинства пациентов.

В литературе имеются сообщения о практическом использовании новых методов анализа ВРС, таких как нелинейный анализ (non-linear analysis) и волновое преобразование (Wavelet transformation). Одним из наиболее наглядных методов оценки ВРС является скаттерограмма, построение которой осуществляется традиционно в двухмерном режиме. Ее преимуществом считается возможность надежной визуализации нарушений сердечного ритма [8]. В ряде работ выявлена корреляция между количеством патологических форм скаттерограммы с уровнем норадреналина в плазме крови [9]. Полученные данные свидетельствуют о том, что изменение формы скаттерограммы зависит от активности симпатического отдела вегетативной нервной системы [10]. Как известно, ВРС отражает сложную многоконтурную систему регуляции сердечным ритмом. На ритм сердца оказывают постоянное воздействие центральная и вегетативная нервная система, насыщение крови кислородом и углекислым газом, рефлекс. Все эти явления относятся к стационарным влияниям на ритм сердца [2]. Нарушения сердечного ритма в настоящее время рассматриваются с позиции «детерминированного хаоса». Для этого понятия, применимы термины «фрактальность» (неинтегральная

структура и размерность), «фазовое пространство» (в нем расположены точки, отражающие расположение системы в многомерном пространстве при последовательных измерениях). Детерминированность хаотической системы заключается в высокой ее чувствительности по отношению к исходному состоянию и возможности описания ее поведения математическими методами нелинейной динамики. Среди последних используются методы фазового портрета, построения пространственных карт, вычисление размерности вложения или экспоненты Ляпунова, энтропии и др. [11]. Однако традиционно используемые способы визуализации в медицине не могут в полной мере отражать суть происходящих событий. Наибольшее значение в настоящее время придается трехмерным (3D) способам оценки функции сердечно — сосудистой системы [12]. Считается, что с помощью 3D методов возможно осуществлять не только диагностику заболеваний, но и прогнозировать неблагоприятные события [13].

Полученные нами 3D изображения скаттерограмм могут рассматриваться с позиции «детерминированного хаоса», который имеет свои особенности при различных формах нарушений ритма сердца. Их использование, на наш взгляд, лучше демонстрирует характер аритмий при анализе данных СМ ЭКГ. Дальнейшие исследования позволят более детально изучать особенности формирования патологических очагов автоматизма в миокарде и существенно улучшить качество диагностики аритмий сердца.

#### Конфликт интересов / Conflict of interest

Авторы заявили об отсутствии потенциального конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest.

#### Список литературы / References

1. Баевский Р.М., Берсенева А.П. Введение в донозологическую диагностику. М.: Слово, 2008. 220 с. [Bayevsky R.M., Berseneva A.P. Introduction to donosological diagnostics. M.: Word, 2008. 220 pp.]
2. Рябыкина Г.В., Соболев А.В. Вариабельность ритма сердца. — Москва, 1998. — 135 с. [Ryabykina G.V., Sobolev A.V. Heart rhythm variability. — Moscow, 1998. — 135 pp.]
3. Вариабельность сердечного ритма / Рабочая группа Европейского Кардиологического общества и Северо-Американского общества стимуляции и электрофизиологии. Вестник аритмологии — 1999; 11: 53–78. [Heart rhythm variability. The Working group of the European Cardiological society and the North American society of stimulation and electrophysiology. Messenger of arrhythmology — 1999; 11: 53–78. In Russian.]
4. Suyma A.C., Sanagawa K., Sugimach M. et al. Differentiation between aberrant ventricular conduction and ventricular ectopy in atrial fibrillation using RR interval scattergram. Circulation 1993; 88 (Part 1): 2307–2314.
5. Wallmann D, Tüller D, Wustmann K, et al. Frequent atrial premature beats predict paroxysmal atrial fibrillation in stroke

patients: an opportunity for a new diagnostic strategy. *Stroke* 2007; 38: 2292–4.

6. Национальные российские рекомендации по применению методики холтеровского мониторирования в клинической практике. Макаров Л. М., Комолятова В. Н., Куприянова О. О. и др. *Российский кардиологический журнал* 2014; 2 (106): 6–71. [National Russian recommendations about application of a technique of holter monitoring in clinical practice. Makarov LM, Komolyatova VN., Kupriyanov OO., etc. *Russian cardiology J* 2014; 2 (106): 6–71. In Russian].

7. Кудинов А.Н., Лебедев Д.Ю., Цветков В.П., Цветков И.В. Математическая модель мультифрактальной динамики и анализ сердечных ритмов. // *Математическое моделирование*. 2014; 26. (10): 127–136. [Kudinov AN, Lebedev DYU, Tsvetkov VP, Tsvetkov IV. Mathematical model of multifractal dynamics and analysis of warm rhythms.//*Mathematical modeling*. 2014; 26 (10): 127–136. In Russian].

8. Zhao R, Li D, Zuo P, et al. Influences of Age, Gender, and Circadian Rhythm on Deceleration Capacity in Subjects without Evident Heart Diseases. *Ann Noninvasive Electrocardiol* 2015; 20 (2) : 158–166.

9. Woo MA., Stevenson WG. Patterns of beat-to-beat heart rate variability in advanced heart failure. *Am J Cardiol* 1992; 123: 704–710.

10. Abhishekh HA, Nisarga P, Kisan R, et al. Influence of age and gender on autonomic regulation of heart. *J Clin Monit Comput* 2013; 27: 259–264.

11. Пархоменко А.Н. «Детерминированный хаос» и риск внезапной сердечной смерти. *Терапевтический архив*. 1996; 68 (4): 43–44. Parkhomenko AN. «The determined chaos « and risk of sudden cardiac death. / *Therapeutic archive* 1996; 68 (4): 43–44. In Russian].

12. Beitone C, Bianchi K, Bouges P et al. Multimodal quantification and validation of 3D regional myocardial function. *IRBM* 2015; 36 (2): 70–79.

13. Kishohara M, Stein P, Yoshida Y, et al. Multi-scale heart rate dynamics detected by phase-rectified signal averaging predicts mortality after acute myocardial infarction. *Europace* 2013; 15: 437–443.

#### Информация об авторах:

Иванов Александр Петрович — доктор медицинских наук, профессор, научный руководитель ФГБУ «Тверского областного кардиологического диспансера».

Лебедев Дмитрий Юрьевич — аспирант кафедры общей математики и математической физики математического факультета ФГБОУ ВО «Тверского государственного университета» (ТвГУ).

Цветков Виктор Павлович — доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой общей математики и математической физики математического факультета ФГБОУ ВО «Тверского государственного университета» (ТвГУ).

Кудинов Алексей Никифорович — доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой математического моделирования факультета прикладной математики и кибернетики ФГБОУ ВО «Тверского государственного университета» (ТвГУ).

Цветков Илья Викторович — доктор технических наук, профессор кафедры экономики и управления производством экономического факультета ФГБОУ ВО «Тверского государственного университета» (ТвГУ).

#### Author information:

Ivanov, A. P. — doctor of medical Sciences, Professor, scientific Director of «Tver regional cardiological dispensary»;

Lebedev D. Yu. — postgraduate student of the Department of General mathematics and mathematical physics mathematical faculty of the Tver state University (TSU);

Tsvetkov V. P. — doctor of physico-mathematical Sciences, Professor, head of chair of General mathematics and mathematical physics mathematical faculty of the Tver state University (TSU);

Kudinov, A. N. — doctor of physico-mathematical Sciences, Professor, head of chair of mathematical modelling Department of applied mathematics and Cybernetics of the Tver state University (TSU);

Flowers I. V. — doctor of technical Sciences, Professor of chair of economy and management economic faculty of the Tver state University (TSU).