

## НОВОЕ В ДИАГНОСТИКЕ

## ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НЕЛИНЕЙНЫХ ХАОТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ КАРДИОРИТМА КАК НОВЫЙ МЕТОД ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ

Киселев С.В., Гаврилушкин А.П., Медведев А.П., Шелепнев А.В.

Специализированная кардиохирургическая клиническая больница, Медицинская академия, Нижний Новгород, Россия

## Резюме

*Цель работы:* показать возможность применения методики геометрического анализа нелинейной хаотической динамики ритма сердца в функциональной диагностике сердечно-сосудистой системы. В работе использовалась авторская методика геометрического анализа нелинейной хаотической динамики сердечного ритма. Обследовано 195 практически здоровых лиц и 167 пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями. По результатам исследования определена типичная картина нелинейной динамики ритма сердца в норме и ее изменения при вегетативной дистонии, определены нормативы предложенных авторами показателей. Показана возможность применения данной методики в кардиологической и кардиохирургической клиниках как метода функционального контроля и прогнозирования осложнений.

**Ключевые слова:** вариабельность ритма сердца, нелинейная динамика, детерминированный хаос

Впервые метод математической диагностики последовательности RR-интервалов применили в 1932 году Флеш и Бекман [10]. Ныне, с развитием компьютерной техники, анализ вариабельности ритма сердца (ВРС) используется для прогноза внезапной смерти, опасных аритмий и прочих осложнений, а также для оценки эффективности проводимого лечения [1-4, 9-13]. На сегодняшний день Европейским обществом кардиологов и Северо-американским обществом электрофизиологов стандартизированы два способа оценки ВРС: статистический (временной) способ анализа последовательности R-R-интервалов и спектральный анализ кардиоритма [13, 17]. В последние десятилетия появились работы, где раскрывается еще один способ анализа ВРС – это исследование его нелинейной динамики и фрактальной структуры [5,6,8,14-16,18].

Цель работы является демонстрация возможности применения методики геометрического анализа нелинейной хаотической динамики ритма сердца в функциональной диагностике сердечно-сосудистой системы.

## Материал и методы

Методика основана на теории нелинейной динамики и детерминированного хаоса, которая свидетельствует, что для сердечно-сосудистой системы, как примера комплексной системы, характерно строго определенное детерминированное поведение ее параметров, в частности, параметров ритма, при рассмотрении их нелинейной динамики на фазовой плоскости. Алгоритм построения картины нелинейной хаотической структуры ритма сердца (для простоты будем называть ее хаосграммой) заключается в отображении по одной оси фазовой плоскости числового значения R-R-интервала, а по другой оси – 1-й производной его функции – приращения R-R-интервала с последующим соединением полученных точек (рис.1). Традиционно для анализа

хаотических колебаний кардиоритма используются показатель корреляции, индекс Ляпунова и другие интегральные производные [5,6,8,14-16,18]. Мы считаем, что более логично оценивать нелинейную геометрическую картину хаоса с помощью геометрических приемов. Для этого, в нашем случае, хаосграмма разбивается программным способом на элементарные геометрические циклы с различным количеством точек в них. Затем выстраивается диаграмма рейтинга, где показано количественное соотношение полученных элементарных геометрических циклов с количеством точек 2, 3, 4, и т.д. (рис.2). Как показали впоследствии наши исследования, в норме преобладают фигуры с количеством точек 4-6. Исходя из этого, мы разработали несколько числовых показателей, количественно отражающих нелинейную динамику кардиоритма (табл.1).

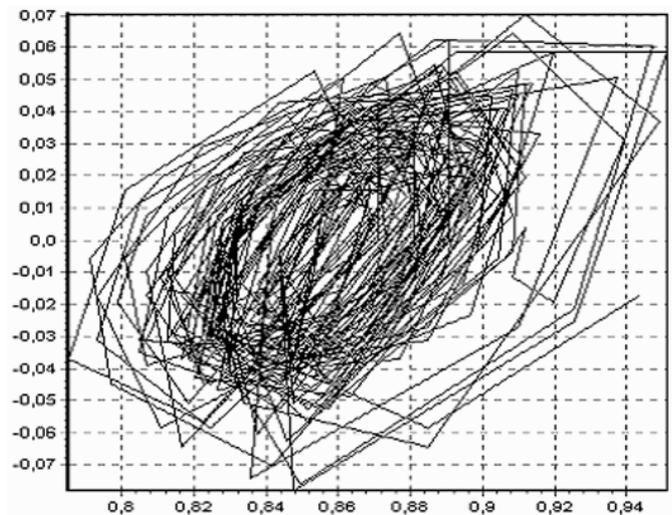


Рис. 1. Хаосграмма (в состоянии эйтонии)

Кроме этого, для увеличения достоверности анализа нелинейной динамики кардиоритма, нами предложено оценивать углометрические показатели хаосграммы. При этом фиксируются числовые значения всех углов динамической кривой хаосграммы и выстраиваются корреляционная углограмма (рис. 3а) и гистограмма углов (рис. 3б). Полученные нами данные свидетельствуют о преобладании тупых углов в картине хаоса над острыми в состоянии эйтонии, поэтому для оценки состояния динамики кардиоритма у больных мы предложили использовать ряд количественных показателей (табл. 1).

Для определения нормативов вышеприведенных показателей нами было обследовано 195 практически здоровых добровольцев в возрасте от 17 до 31 года (средний возраст –  $19,71 \pm 3,52$  лет), из них 96 мужчин и 99 женщин. Все обследованные были разделены по данным временного и спектрального анализа ВРС на две группы:

- лица, находящиеся в состоянии эйтонии – 77 человек;
- группа лиц с проявлениями вегетативной дисфункции регуляции кардиоритма той или иной степени – 118 человек.

С целью клинической апробации методики обследовано 82 пациента отделения приобретенных пороков сердца и 48 пациентов отделения хирургии коронарных сосудов Нижегородского кардиохирургического центра в динамике до и после операции и 37 пациентов с инфарктами миокарда 1-й градской клинической больницы Нижнего Новгорода (обследование больных инфарктом миокарда проведено совместно с кафедрой факультетской терапии НГМА). Обследование проводилось с помощью разработанного нами совместно с фирмой «Нейрософт» (г.Иваново) аппаратно-программного комплекса «Поли-спектр» для стационарного компьютера и «ЭКГ-Микро-ХСЕ» для карманного компьютера. Обследование проводилось в стандартных условиях, согласно рекомендациям Европейского общества кардиологов. Использовались короткие участки ЭКГ – 5 минут (не менее 300 R-R-интервалов).

**Результаты исследования**

Результаты нашего исследования отражены в табли-

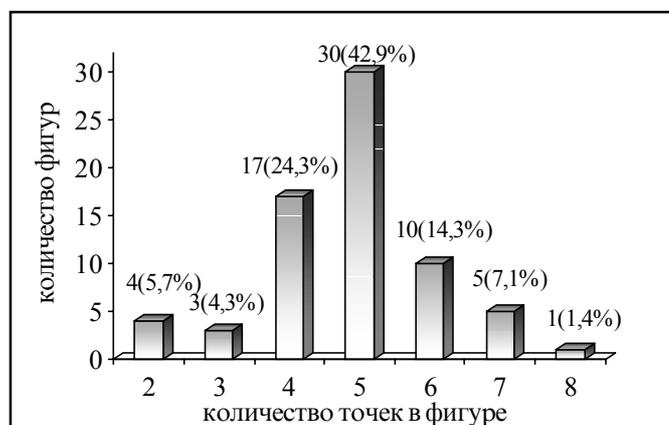


Рис.2 Рейтинг «хаос-теста» (норма)

**Таблица 1**  
Показатели геометрического анализа нелинейной динамики ритма сердца

Показатель	Описание
А. показатели рейтинга хаосграммы	
Максимум рейтинга	Количество точек в элементарных геометрических фигурах хаосграммы, которые образовывались наиболее часто
N1	Расчетный показатель, равный отношению количества фигур в точках рейтинга 4,5,6 к количеству фигур в точках 2 и 3
N2	Расчетный показатель, равный отношению количества фигур в точках рейтинга 4,5,6 к общему количеству фигур, выраженный в процентах
N3	Расчетный показатель, равный отношению количества фигур в точках рейтинга 4,5,6 к числу остальных фигур (в точках 2,3 и более 6)
Б. углометрические показатели	
p45	Доля углов с числовым значением менее 45 градусов
p90	Доля углов с числовым значением более 90 градусов
M	Среднеарифметическое значение углов хаосграммы

цах 2-5. Оказалось, что для состояния эйтонии характерно (рис. 1,2) значительное преобладание в хаосграмме фигур с количеством точек в них 4-6, что, примерно, соответствует периодам дыхательных колебаний. При этом все геометрические циклы хаосграммы как бы «завязаны» вокруг определенной точки притяжения и, при необходимости адаптации, они могут или приближаться к данной точке (при симпатотонических реакциях),

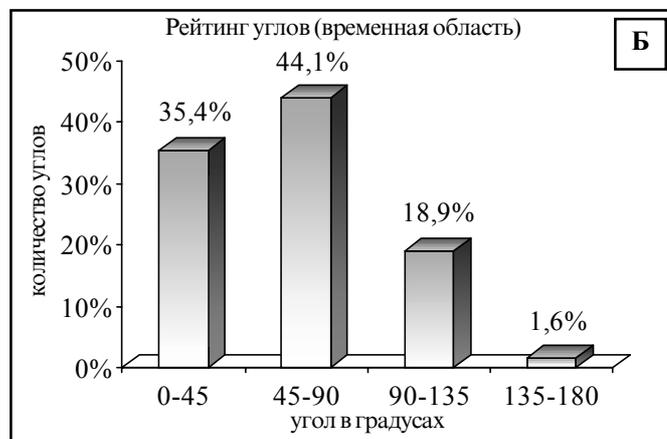
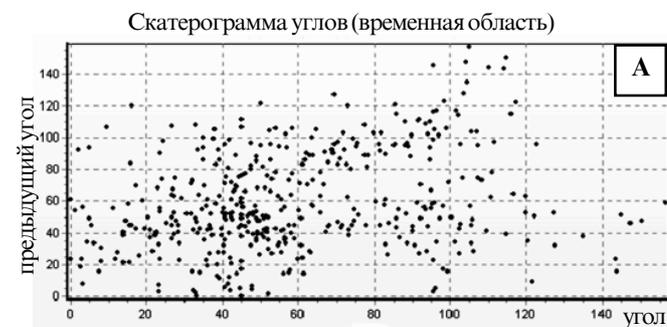


Рис. 3. Углограмма

**Таблица 2**

Показатели «хаос-теста» в норме и при вегетативной дисфункции (M±SD), n=195

Показатель	Эйтония (n=77)	Вегетативная дистония (n=118)	Достоверность, t	
			t	p
Максимум рейтинга	4,01±0,9	3,44±1,21	3,75	<0,001
N1	3,25±4,28	1,36±1,21	3,67	<0,001
N2, %	59,14±18,16	42,02±16,87	6,60	<0,001
N3	2,21±2,41	0,96±0,99	4,34	<0,001
p45	0,258±0,116	0,343±0,129	4,81	<0,001
p90	1,144±0,48	0,986±0,666	1,95	>0,05
M	87,56±12,61	81,01±14,52	3,41	<0,001

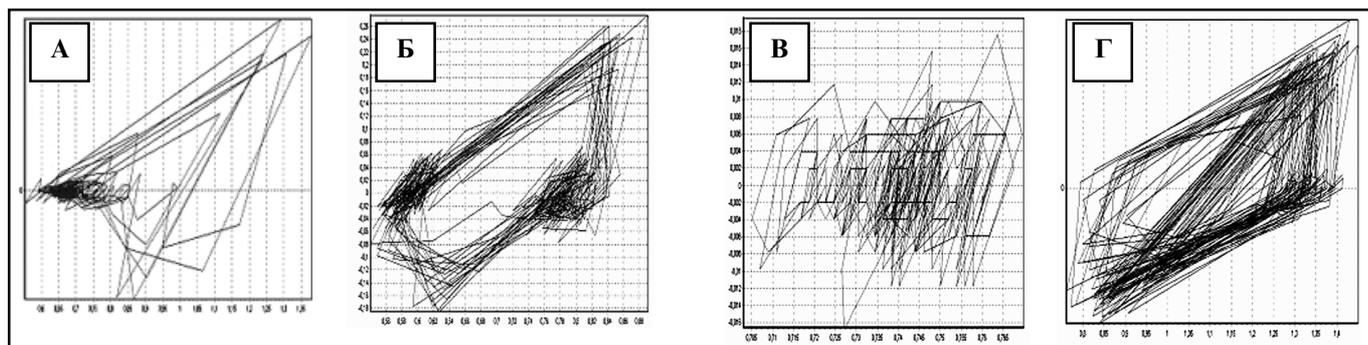
**Таблица 4**

Изменение показателей нелинейной хаотической динамики ритма сердца у больных ИБС по сравнению с контрольной группой (M±SD)

Показатель	Больные ИБС (n=48)	Контрольная группа (n=77)	Достоверность	
			t	p
N1	1,58±1,47	3,25±4,28	3,12	<0,001
N2, %	49,85±17,16	59,14±18,16	2,84	<0,01
N3	1,35±1,20	2,21±2,41	2,65	<0,05
P45	0,349±0,108	0,258±0,116	4,14	<0,001
P90	0,819±0,281	1,144±0,480	4,58	<0,001
M	78,2±10,72	87,56±12,61	4,42	<0,001

или отдаляться от нее (увеличение ваготонических воздействий). По результатам проведенных исследований также отмечено, что при нарушении вегетативной регуляции ритма отмечается значительная утрата нормальной геометрической структуры ритма сердца, характеризующаяся потерей точки притяжения, появлением фигур с меньшим количеством точек, конфликтных геометрических фигур. На рисунке 4 представлены основные типы дисфункциональных хаосграмм:

1. появление запредельных, теряющих связь с общей



**Рис. 4** Основные типы дисфункциональных хаосграмм

**Таблица 3**

Показатели «хаос-теста» у пациентов с приобретенными пороками сердца (M±SD)

Показатель	Обследуемые пациенты	Контрольная группа (n=77)	Достоверность	
			t	p
N1	1,75±3,26	3,25±4,28	t=2,06	p<0,05
N2	42,7±14,5	59,1±18,2	t=5,22	p<0,001
N3	0,88±0,59	2,21±2,41	t=4,59	p<0,001
P45	0,417±0,146	0,258±0,116	t=5,65	p<0,001
P90	0,7±0,356	1,144±0,480	t=5,45	p<0,001
M	71,16±16,10	87,56±12,61	t=5,47	p<0,001

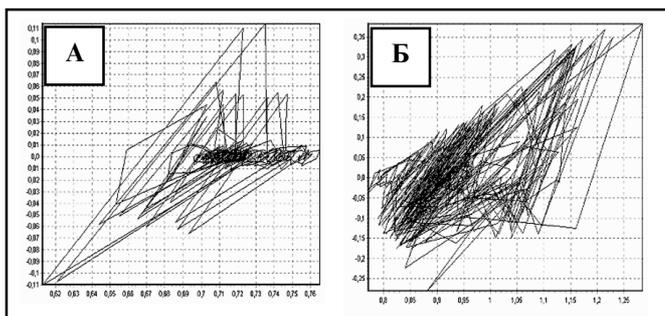
**Таблица 5**

Показатели «хаос-теста» у больных ОИМ по сравнению с контрольной группой (M±SD)

Показатель	Больные (n=37)	Контрольная группа (n=77)	Достоверность	
			t	p
N1	1,39±2,06	3,25±4,28	3,13	<0,001
N2, %	41,68±19,62	59,14±18,16	4,56	<0,001
N3	1,17±1,78	2,21±2,41	2,60	<0,05
P45	0,393±0,160	0,258±0,116	3,77	<0,001
P90	0,769±0,383	1,144±0,480	3,89	<0,001
M	71,21±15,03	87,56±12,61	5,50	<0,001

- структурой, геометрических циклов (а);
- появление двудерной хаосгаммы с несколькими точками притяжения – для фоновой пробы такая картинка будет являться признаком дисфункции регуляции кардиоритма (б);
- значительное изменение внутренней структуры хаосграммы с преобладанием параллельной исчерченности и треугольных циклов, при этом вся динамика кардиоритма как бы колеблется от одного неустойчивого состояния к другому (в);
- изменение фрактальной структуры ритма вплоть до элементарной геометрии (г).

Для углограммы в состоянии эйтонии характерно преобладание больших значений углов, а при нарушении



**Рис.5.** Хаосграмма при экстрасистолии и мерцательной аритмии (А и Б)

нии регуляции кардиоритма увеличивается доля углов с меньшим числовым значением. По результатам исследования были определены нормативы показателей нелинейной динамики кардиоритма, (табл. 1). В исследовании определено значительное ухудшение показателей нелинейной хаотической динамики кардиоритма при пороках сердца, ишемической болезни сердца. При динамическом наблюдении за показателями кардиоритма у прооперированных больных отмечено следующее: вначале наблюдается операционный стресс и снижение

### Литература

1. Андреев А.Н., Вараскин А.Н., Думан В.Л., Изможерова Н.В., Попов А.А., Живодеров А.А., Горбич Л.Г. Значение вариационной пульсометрии в диагностике ишемической болезни сердца при массовых осмотрах населения. // Клиническая медицина. - 1997;12:26-29
2. Баевский Р.М., Кириллов О.И., Клецкин С.З. Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе. - М.: Наука, 1984
3. Березный Е.А., Липовецкий Б.М. Динамика сердечного ритма и его вариабельность при велэргометрии у больных ишемической болезнью сердца // Кардиология. - 1997;7:29-32
4. Жемайтите Д.И. Ритмичность импульсов синоаурикулярного узла в норме и при ишемической болезни сердца; Дис... канд. мед.наук.- Каунас, 1965
5. Лощилов В.И. Информационно-волновая медицина и биология. - М., 1998, 152 с.
6. Мун Ф. Хаотические колебания. - М.: Мир, 1990, 356 с.
7. Медведев А.П., Гаврилушкин А.П., Маслюк А.П., Киселев С.В., Шелепнев А.В., Смирнов Н.А. Геометрический анализ нелинейных хаотических колебаний в анализе вариабельности ритма сердца // Нижегородский мед. журн. - 1999;4:12-18
8. Пархоменко А.Н. Детерминированный хаос и риск внезапной сердечной смерти // Тер. арх. -1996;4:43-45
9. Попов В.В. и др. Вариабельность ритма сердца у больных перенесших инфаркт миокарда // Клин.мед. - 1998;2:15-19
10. Рябыкина Г.В., Соболев А.В. Вариабельность ритма сердца. - М.: изд. «СтарКо», 1998. - 200 с.
11. Сметнев А.С., Жаринов О.И., Чубучный В.Н. Вариабельность ритма сердца, желудочковые аритмии и риск внезапной смерти. // Кардиология. - 1995; 4:49-52
12. Татарченко И.П., Позднякова Н.В., Морозова О.И. Прогностическая оценка поздних потенциалов желудочков и показателей вариабельности ритма у больных ишемической болезнью сердца // Кардиология. - 1997;10:21-24
13. Явелов И.С., Грацианский Н.А., Зуйков Ю.А. Вариабельность ритма сердца при острых коронарных синдромах: значение для оценки прогноза заболевания // Кардиология. - 1997;2:61-68; - 1997;3:74-80
14. Braun C et al. Demonstration of nonlinear components in heart rate variability of healthy persons // Am. J. Physiol. - 1998 Nov; 275(5 Pt 2): 1577-84
15. Hagerman I et al. Chaos-related deterministic regulatin of heart rate variability in time- an frequency domain: effects of autonomic blockade and exercise // Cardiovasc. Res. - 1996 Mar; 31(3): 447-54
16. Kanters J.K., Hojgaard M.V., Agner E., Holstein-Rathlou N.H. Short- and long-term variations in non-linear dynamics of heart rate variability. // Cardiovasc. Res. - 1996 Mar; 31(3): 400-9.
17. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Racing and Electrophysiology. Heart Rate Variability. Standarts of Measurements, Phisiological Interpretation and Clinical Use. // Circulation. - 1996; 93:1043-1065
18. Zwiener U. et al. Relations between parameters of spectral power densities and deterministic chaos of heart rate variability // J. Auton. Nerv. Syst. - 1996 Mar 7; 57(3): 132-5.

**Keywords:** heart rate variability, non-linear dynamics, determined chaos.

Поступила 07/07-2000

\* \* \*