

ANALYSIS OF EFFICIENCY OF SYSTEMIC ENZYMOTHERAPY OF CHRONIC GLOMERULONEPHRITIS WITH THE INTERPHASE TENSIOMETRY

I.V. MUKHIN

Summary

The purpose of the research was to analyse dynamic surface tension of serum of a blood and urine in patients with primary chronic glomerulonephritis and to estimate an effectiveness of a new medical method – systemic enzymotherapy – in comparison with known ways of treatment.

The offered diagnostic way can be applied for forecasting of a disease, course, differential diagnostics, estimation of clinical course and a degree of an activity of a pathological process, an efficiency of treatment. Unlike conventional agents of pathogenetic therapy an application of systemic enzymotherapy to a chronic glomerulonephritis results in partial or full normalization of parameters of surface tension of blood and urine and can be used to select a treatment of this pathology both independently and in a complex with conventionally used drugs.



Мухин Игорь Витальевич, 1964 года рождения, работает в должности врача-нефролога Донецкого областного клинического медицинского объединения с 1989 года. В 1996 году защитил кандидатскую диссертацию на тему «Сравнительная эффективность лечения подагры», автор 36 печатных работ и 6 рационализаторских предложений по внедрению новых методов лечения хронического гломерулонефрита. В настоящее время занимается проблемой диагностики и эффективного лечения хронических гломерулонефритов.

УДК 616.12-073.97

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТЕПЕНИ ХАОТИЧНОСТИ ПРОЦЕССА ФИБРИЛЛЯЦИИ ЖЕЛУДОЧКОВ У РАЗНЫХ ЖИВОТНЫХ

Л. В. МЕЗЕНЦЕВА*, С. И. КАШТАНОВ*, М. А. ЗВЯГИНЦЕВА*, И. Л. КОШАРСКАЯ*, В. А. ВОСТРИКОВ*

1. Введение

Фибрилляция желудочков (ФЖ) внешне проявляется на ЭКГ как хаотическое чередование возбуждений, разных по амплитуде и длительности. Для количественной оценки степени нерегулярности этого процесса в последние годы получили широкое распространение подходы, использующие представления о динамическом хаосе [1–3]. Уровень хаоса в системе миокарда оценивается по таким показателям, как размерность аттрактора хаотической системы, энтропия, константы Ляпунова и другим. В наших предыдущих исследованиях [4, 5] для оценки уровня хаоса ФЖ использовалась величина энтропии, и было показано, что этот показатель возрастает по мере углубления ФЖ и убывает непосредственно перед ее спонтанным прекращением. Настоящая работа посвящена дальнейшему развитию методов анализа степени хаотичности процесса ФЖ, основанных на теории динамического хаоса. Целью работы явилось выявление наиболее информативных показателей уровня хаоса при ФЖ и сравнение их оценок, полученных для различных видов экспериментальных животных: крысы, кролики и собаки.

2. Методика эксперимента

Для анализа использовали результаты острых опытов, поставленных на наркотизированных животных. ФЖ вызывали пачкой электрических импульсов длительностью 5 мс, наносимых в ранний период сердечного цикла (восходящая часть зубца "Т" ЭКГ) через электроды, расположенные на миокарде левого желудочка. Амплитуду стимулов постепенно увеличивали до достижения ПФЖ (порога фибрилляции желудочков). Регистрировали ЭКГ во II стандартном отведении в исходном состоянии (синусовый ритм) и на фоне ФЖ. Всего было записано 215 эпизодов ФЖ на 17 животных, из которых: 111 – на 7 крысах линии Вистар массой 250–300 г., 56 – на 5 кроликах породы шиншилла массой 2 100–2 500 г., 48 – на 5 собаках массой 8 000–16 000 г.

Для регистрации электрической активности сердца применяли кардиополиграф миниграф-82 фирмы Siemens (крысы, кролики) и регистратор Lifepack-7 (собаки).

При достижении амплитудой стимула ПФЖ возникала ФЖ, причем внутренняя структура этого процесса отличалась большим разнообразием: у одного и того же животного визуально можно было отличить фрагменты с различной степенью упорядоченности, начиная от процесса, подобного тахикардии, и до нерегулярного чередования низкоамплитудных возбуждений различной длительности. Для дальнейшего анализа записи электрической активности сердца с бумажного носителя вводили в компьютер с помощью сканера HT-800 Turbo фирмы Mustek (разрешение 800 точек на дюйм). Далее осуществлялась дискретизация графических файлов с помощью специально разработанной нами программы. Частота дискретизации – до 1000 Гц, на одну волну фибриллярных осцилляций приходилось 30–50 точек. Для анализа использовали фрагменты, длительность которых не превышала 50 с. Это насчитывало более 1000 точек для каждого анализируемого фрагмента. Достаточно короткие отрезки анализируемых фрагментов выбирались с целью исключения влияния нестационарности процесса, а проблема точности анализа графической информации была решена программно-математическими методами редактирования графических файлов. Используемая нами методика работы с графическими файлами позволила нам сформировать компьютерную базу данных DBVF (Data Base Ventricular Fibrillation), включающую не только результаты текущих экспериментов, но и архивные записи ФЖ, накопленные в нашей лаборатории начиная с 60-х годов. Желая воспользоваться базой данных DBVF могут обращаться к авторам настоящей статьи.

3. Методика анализа экспериментальных данных

Для количественного анализа внутренней структуры процесса ФЖ использовались следующие показатели: корреляционная размерность хаоса $PD2i$; индекс кратности $W=T/d$, служащий оценкой степени дробления периода исходного ритма; T – длительность периода синусового ритма, предшествующего ФЖ (среднее значение), d – средний интервал между последовательными осцилляциями ФЖ. Кроме этого, для каждого фрагмента измеряли частоту ФЖ f (Гц).

Корреляционная размерность хаоса $D2$, впервые введенная Грассбергером для характеристики хаотического поведения, генерируемого нелинейными динамическими системами, определялась как

$$C(l, n) = \exp(D2), \quad (1)$$

где $C(l, n)$ – кумулятивная функция накопленных разностей всех векторов, определяющих состояние системы; n – число этих разностей, l – размер области (длина интервала наблюдения). Более поздние модификации этого алгоритма – алгоритм поточечной корреляционной размерности (Point Wise Scaling Dimension), предложенный Фармером и соавт. [7], а также алгоритм $PD2i$, предложенный Скиннером [8]. Последний – наиболее подходящий для анализа нестационарных процессов, основанный на том, что при построении векторов, используемых при определении $C(l, n)$, определяются значения регистрируемой величины, следующие через интервал TAU . Затем вычисляется разница между векторами i и j , где векторы i и j пробегают все значения измеряемой величины для исследуемого фрагмента, при условии, что текущий i -вектор фиксируется, а j -векторы сравни-

* 103009, Москва, Б. Никитская, 6, кор.4., НИИ нормальной физиологии им. П.К. Анохина РАМН, лаборатория физиологии эмоций, группа экспериментальной и клинической кардиологии

ваются с этим единственным вектором. Так как этот исходный вектор выбирается последовательно для каждой точки исследуемой временной серии, вычисляемая таким образом размерность представляет собой функцию времени, что позволяет проследить хаотическую динамику процесса. В настоящей работе для оценки степени хаотичности процесса ФЖ мы использовали точечные оценки корреляционной размерности хаоса $PD2i$, получаемые с помощью алгоритма Скиннера.

4. Результаты

Методика формирования графических файлов ФЖ для последующего компьютерного анализа показана на рис. 1. На верхней кривой (рис. 1, А) – запись на бумажном носителе фрагмента ФЖ крысы; на рис. 1, Б показан графический файл, сформированный в компьютере в результате сканирования этого процесса, а на рис. 1, В – процесс, воспроизведенный по цифровому массиву, полученному после дискретизации этого графического файла. Частота дискретизации – 600 Гц, интервал дискретизации – 1,67 мс (40 точек на 1 волну фибриллярной осцилляции). Общий объем цифрового массива этого фрагмента – 2250 точек. При разрешении сканера 800 точек на дюйм погрешность анализа не превышает 0,01 %.

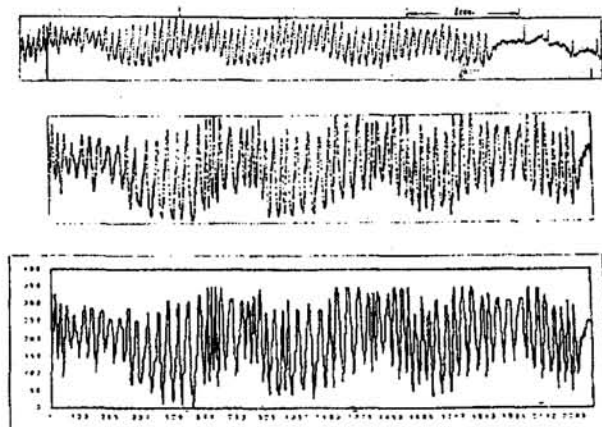


Рис. 1. Методика формирования графических файлов для последующего компьютерного анализа: А. Исходный процесс ФЖ крысы (крыса 29.04.98/2). Ось абсцисс – время (мс), ось ординат – сигнал ЭКГ (условные единицы); Б. Графический файл, сформированный в компьютере в результате сканирования исходного процесса ФЖ. Ось абсцисс – время (мс), ось ординат – сигнал ЭКГ (условные единицы); В. Процесс, воспроизведенный по цифровому массиву в результате дискретизации графического файла. Ось абсцисс – номер точки цифрового файла. Ось ординат – величина сигнала (условные единицы). Частота дискретизации – 600 Гц, интервал дискретизации – 1,67 мс

Рис. 2 иллюстрирует метод хаос-анализа с использованием корреляционной размерности хаоса $PD2i$. На верхней кривой (рис. 2, а) изображен фрагмент оцифрованного файла процесса ФЖ крысы, на рис. 2, б – последовательные значения величин $PD2i$, а на рис. 2, в – гистограмма распределения размерностей хаоса. Как можно видеть из этого рисунка, большая часть значений размерностей хаоса находится внутри диапазона 2–4, пиковое значение – 2,9. Подобные расчеты были выполнены для всех 215 эпизодов ФЖ всех экспериментальных животных, по которым были рассчитаны средние значения размерностей хаоса $PD2i$ для крыс (121 эпизод ФЖ), кроликов (56 эпизодов) и собак (48 эпизодов). Результаты анализа показали, что наибольшие значения хаотической компоненты характерны для собак, для них среднее значение $PD2i$ по всем фрагментам составило 3,2...0,19. Наименьшее значение хаотической компоненты отмечалось у крыс, для них среднее значение $PD2i$ составило 2,7...0,22. Промежуточное положение наблюдалось для кроликов. Для них среднее значение размерности хаоса $PD2i$, равное 2,9...0,21, было несколько меньше, чем для собак, но больше, чем для крыс, однако эти отклонения не достоверны, для дальнейшего анализа требуется больший объем выборки.

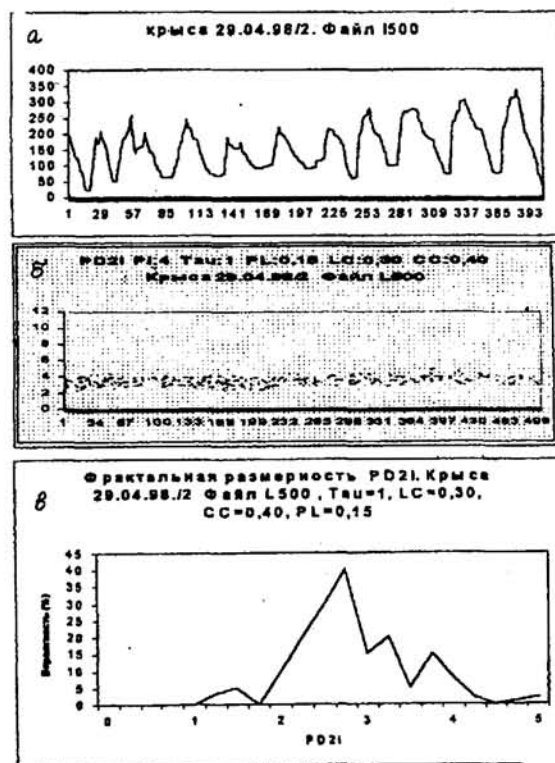


Рис. 2. Расчет фрактальной размерности хаоса при ФЖ: а) Фрагмент оцифрованного файла исходного процесса. Ось абсцисс – номер точки цифрового массива. Ось ординат – сигнал ЭКГ (условные единицы); б) Последовательные значения величин $PD2i$ (интервал дискретизации 1,67 мсек). Ось абсцисс – величина $PD2i$. Ось ординат – номер точки оцифрованного файла; в) Распределение вероятностей значений размерностей хаоса. Ось абсцисс – величины $PD2$. Ось ординат – вероятности (%)

Таким образом, метод хаос-анализа показал, что внутренняя структура процесса ФЖ у различных животных обнаруживает различную степень упорядоченности с различными количественными значениями хаотической компоненты. Для того чтобы понять механизмы возникновения этих различий, мы проанализировали характеристики аритмии, возникающие при постепенном увеличении амплитуды стимула, вызывающего эту аритмию. Анализ показал, что интервалы между последовательными возбуждениями при фибрилляции группируются в комплексы, длительность которых кратны периоду T , предшествующему ФЖ. Это иллюстрирует рис. 3, на котором показаны записи электрической активности миокарда крысы при постепенном увеличении амплитуды стимуляции от нуля до ПФЖ. Можно видеть, что при амплитуде стимуляции, меньшей, чем ПФЖ, возникают одиночные или множественные возбуждения желудочков в зависимости от величины амплитуды стимула. Причем длительность временного интервала, прошедшего от момента возникновения аритмии и до восстановления нормального ритма, составляет величину, кратную периоду исходного ритма T . Так, на рис. 3, а, при амплитуде стимула 2 мА длительность аритмии равна 0,36 с, а длительность исходного ритма – 0,18 с, т. е. между ними имеет место кратное соотношение $2T$. На рис. 3, б амплитуда стимула равна 4 мА. В ответ на этот стимул возникли множественные возбуждения желудочков, причем общая длительность возникшей в ответ на этот стимул аритмии равна утроенному нормальному ритму, т. е. $3T$. На рис. 3, в ответ на дальнейшее увеличение амплитуды стимула до 5 мА возникают множественные возбуждения желудочков, причем общая длительность этой аритмии равна $4T$. Рис. 3, г иллюстрирует возникновение фибрилляции желудочков, когда амплитуда стимула достигает ПФЖ=7 мА. При этом длительность процесса фибрилляции равна 2,34 с. Как можно видеть из этого рисунка, при ФЖ интервалы между последовательными возбуждениями желудочков группируются в комплексы, кратные периоду T , когда имеет место чередование интервалов, кратных $2T$ и $3T$.

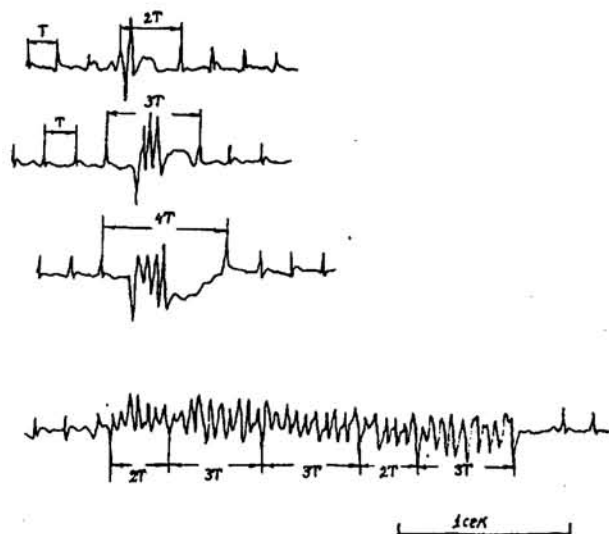


Рис. 3. Электрическая активность миокарда крысы при постепенном увеличении амплитуды стимуляции: а) стимуляция с амплитудой 2 мА; б) стимуляция с амплитудой 4 мА; в) стимуляция с амплитудой 5 мА; г) стимуляция с амплитудой 7 мА. Ось абсцисс – время, ось ординат – сигнал ЭКГ (условные единицы)

В общем случае процесс ФЖ представлял собой неустойчивое чередование комплексов возбуждений с различными кратностями M/N : 1/2, 1/3, 1/4, 2/3, 3/5 и т.д. Здесь N – число интервалов ФЖ, приходящихся на M интервалов нормального исходного ритма. Степень нерегулярности процесса ФЖ зависит от вклада различных кратностей M/N в общую структуру процесса и того, насколько стабильна картина чередования этих кратностей. Так, для крыс картина была более стабильной, напоминающей тахикардию с устойчивым чередованием какой-либо одной кратности, в то время как ФЖ у собак отличалась большей степенью нерегулярности, когда наблюдалось хаотическое чередование комплексов с различными величинами кратностей M/N . Для количественной оценки этих явлений мы использовали показатель W – индекс кратности, характеризующий степень дробления периода исходного ритма, равный среднему числу интервалов ФЖ, приходящихся на один период исходного ритма.

Таблица

Минимальные, максимальные и средние значения количественных показателей ФЖ у разных животных

Вид животного	Показатель	Исходный ритм T , м	Размерность хаоса $PD2i$	Индекс кратности W	Частота ФЖ f , Гц
Собаки	Min-Max	360–460	3,0–3,5	3,3–4,5	8,1–13,2
	Средн.	382±32	3,2±0,19	4,05±0,25	10,6±2,1
Кролики	Min-Max	250–270	2,7–3,1	2,1–2,9	8,4–11,2
	Средн.	260±10	2,9±0,21	2,6±0,25	10,03±1,01
Крысы	Min-Max	170–220	2,5–2,9	2,2–3,7	10,1–20,1
	Средн.	190±200	2,7±0,22	3,01±0,25	16,01±1,8

В табл. 1 приведены минимальные и максимальные и средние значения величины W для крыс, кроликов и собак, частотные характеристики ФЖ, а также длительности цикла нормального исходного ритма, и корреляционные размерности хаоса $PD2i$, а на рис. 4 – гистограммы индексов кратностей и размерностей хаоса для различных животных. Как можно видеть из представленных данных, показатель W – индекс кратности подтверждает результаты расчета размерностей хаоса $PD2i$: наибольший уровень хаоса наблюдается у собак, у них же и наибольшее значение величины индекса кратности W . Наименьший уровень хаоса $PD2i$ отмечается для крыс, у них же и наименьшее значение индекса кратности W . Промежуточное положение занимают кролики.

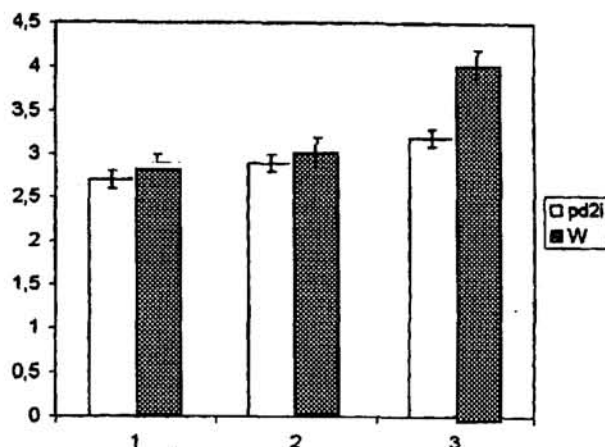


Рис. 4. Гистограмма распределения величины корреляционной размерности хаоса ($PD2i$) и индекса кратности W у различных животных. 1 – крысы, 2 – кролики, 3 – собаки

5. Анализ результатов

На прямой вопрос: «является ли фибрилляция хаосом?» – Д.Каллан и Р.Кохен [2] пишут: «... хотя мы не можем прямо доказать, что процесс фибрилляции не является хаосом, наши результаты свидетельствуют в пользу того, что это не хаотический, а скорее переходный процесс». Наши настоящие исследования также подтверждают предположение, что процесс фибрилляции – это не хаос, он содержит в себе больше закономерностей, чем случайностей. В данной работе мы попытались выявить эти закономерности, вскрыть внутреннюю структуру нерегулярностей, присущих этому процессу.

Полученные результаты свидетельствуют о наличии кратных взаимоотношений между периодом нормального ритма сердца и группами периодов возбуждений миокарда при фибрилляции. Переход миокарда от нормы к фибрилляции происходит через широкий спектр различных нарушений ритма с определенными кратными соотношениями между периодами. Количественной характеристикой этих соотношений является индекс кратности W , который, как оказалось, является такой же информативной характеристикой уровня хаоса в системе миокарда при ФЖ, как и корреляционная размерность хаоса $PD2i$. Полученные нами результаты согласуются с исследованиями Голдбергера [1], показавшего, что спектральные характеристики процесса ФЖ, помимо основной гармоник, содержат дополнительные пики небольшой амплитуды, частоты которых находятся в определенных кратных соотношениях с частотой основного максимума спектра. В некоторых случаях дополнительные пики группировались в кратные соотношения 1:2:4, в других случаях – 1:2:3.

Аналогичная картина имеет место при желудочковых аритмиях, вызванных частой электрической стимуляцией предсердий. В этом случае между циклами возбуждений предсердий и желудочков устанавливаются кратные взаимоотношения типа N/M [10]. Подобные отношения характерны для любых возбудимых тканей и в работе [11] объясняются на основе предложенной нами ранее [12] математической модели нарушений сердечного ритма при частой электрической активности предсердий. Физиологическую основу для понимания динамики тех или иных кратных взаимоотношений составляет кривая восстановления (Recovery Curve). Эта кривая описывает закономерности изменения рефрактерного периода проводящей системы при нанесении на предсердие пары стимулов с различной величиной интервала между ними. В зависимости от вида этой кривой, рекуррентное уравнение

$$r(n+1) = r(T-r(n)) \quad (2)$$

позволяет предсказать по начальному значению рефрактерного периода $r(0)$ последовательность рефрактерных периодов при всех последующих импульсах $r(1), r(2), r(3)...r(n)$. Периодиче-

ская стимуляция любой возбудимой ткани при низких частотах приводит к возникновению периодических распространяющихся волн возбуждений, следующих 1:1 за периодическими стимулами. При увеличении частоты возникают ритмы вида N/M .

По-видимому, подобные механизмы имеют место и при стимуляции миокарда пачкой импульсов, наносимых в уязвимый период сердечного цикла. Стимулы небольшой амплитуды не нарушают динамику распространения волн возбуждений по миокарду. Гетерогенный миокард, представленный в виде ансамбля кластеров [13], в этом случае функционирует как единое целое. Степень упорядоченности процесса в этом случае максимальна, а энтропия минимальна. При увеличении амплитуды стимуляции гетерогенный миокард подвергается десинхронизирующему воздействию, вследствие которого единый фронт волны возбуждений разбивается на несколько фрагментов. Вследствие того, что различные фрагменты отражают функционирование различных гетерогенных структур, отличающихся рефракторными периодами и характеристиками кривой восстановления, синхронизация между фрагментами нарушается. Вследствие этого суммарная динамика желудочковых возбуждений приобретает нерегулярный характер, возникают периодики типа N/M . При амплитуде стимула, равной ПФЖ, степень нерегулярности суммарного процесса резко возрастает. Фронт волны возбуждения дробится на несколько независимых фрагментов, каждый из которых характеризуется своим отношением N/M собственного периода возбуждений к периоду исходного ритма. Количественной оценкой числа независимых волновых фронтов является индекс кратности W .

Степень упорядоченности суммарного процесса, по-видимому, будет определяться во-первых, количеством независимых фронтов возбуждений W и, во-вторых, числовыми выражениями N и M : чем больше среди них простых чисел, тем больше потребуется времени для достижения синхронизации между фрагментами, тем ниже степень упорядоченности процесса.

Обнаруженные нами различия в характеристиках уровня хаоса при ФЖ у различных животных, вероятно, также свидетельствуют в пользу предположения о наличии связи между нелинейной фрактальной структурой проводящей системы сердца и нелинейностью функционирования этой структуры. Эту гипотезу выдвигает Голдбергер [1], объясняющий смещение частоты спектра мощности при ФЖ фрактальной геометрией проводящей системы сердца. Таким образом, наши исследования, обнаружившие различия в характеристиках уровня хаоса при ФЖ у различных животных (крысы, кролики и собаки), согласуются с гипотезой Голдбергера. Они, по-видимому, отражают различия в характеристиках степени гетерогенности структурно-функциональной организации системы миокарда у разных видов животных, а также особенности фрактальной геометрии проводящей системы сердца у разных видов животных. Эти явления также согласуются с представлениями о бифуркациях, происходящих в системе миокарда при переходе от устойчивого состояния с нормальным синусовым ритмом к неустойчивому состоянию ФЖ, представляющему собой суперпозицию гармоник с различными кратными соотношениями частот [9]. По-видимому, ФЖ – это путь в хаос через гармонические колебания.

Литература

1. Goldberger A.L., Bhargava V., West B.J., Mandell A.J. On a Mechanism of Cardiac Electrical Stability. The Fractal Hypothesis // *Biophys J.* – 1985. – Vol. 48. – P. 525–528.
2. Kaplan D.T., Cohen R.J. Searching for Chaos in Fibrillation // *Mathematical approaches to cardiac arrhythmias.* – New York. – 1990. – P. 367–374.
3. Kasmacher-Leidinger H., Schmid-Schonbein H. Complex Dynamic Order in ventricular Fibrillation // *J. of Electrocardiol.* – 1994. – Vol. 27, № 4. – P. 287–299.
4. Мезенцева Л.В. Метод анализа степени упорядоченности электрической активности сердечной мышцы при фибрилляции желудочков // *Вестник новых медицинских технологий.* – 1998. – Т. V, № 3–4. – С. 71–73.

5. Мезенцева Л.В., Каштанов С.И., Звягинцева М.А. Фибрилляция желудочков как нестационарный процесс: метод анализа хаотической динамики // *Биофизика.* В печати.

6. Grassberger P., Procaccia I. Characterisation of strange attractors // *Phys. Rev. Letters.* – 1983. – Vol. 50, № 5. – P. 346–349.

7. Farmer J.D., Ott E., Yorke J.A. Dimension of chaotic attractors // *Physica.* – 1983. – Vol. 7. – P. 153–180.

8. Skinner J.E., Carpeggiani C., Landisman C.E., Fulton K.W. // The correlation-dimension of the heartbeat is reduced by myocardial ischemia in conscious pigs // *Circ. Res.* – 1991. – Vol. 68. – P. 966–976.

9. Smith J.M., Cohen R.J. Simple finite-element model accounts for wide range of cardiac dysrhythmias // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* – 1984. – Vol. 81, № 1. – P. 233–237.

10. Бабский Е.Б., Мезенцева Л.В., Ульянинский Л.С. Анализ желудочковых аритмий, возникающих при моделировании трепетания или мерцания предсердий // *Докл. АН СССР.* – 1974. – Т. 214. – № 4. – С. 966–969.

11. Гласс Л., Мэки М. От часов к хаосу. – М.: Мир. – 1990. – С. 164–169.

12. Мезенцева Л.В., Ульянинский Л.С. Математическая модель нарушений сердечного ритма при частой электрической активности предсердий // *Физиол. Ж. СССР.* – 1975. – Т. LXI, № 3. – С. 400–405.

13. Кобрин В.И. Гетерогенность миокарда и аритмии сердца // *Успехи физиол. наук.* – 1993. – № 4. – С. 47–59.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE DEGREE OF IRRREGULARITY OF VENTRICULAR FIBRILLATION IN DIFFERENT ANIMALS

L.V. MEZENSEVA, S.I. KASHTANOV, M.A. ZVYAGINTSEVA, I.L. KOSHARSKAYA, V.A. VOSTRIKOV

Summary

Ventricular Fibrillation (VF) has traditionally been described as "chaotic", but in recent years it is often interpreted as "deterministic chaos" in the context of the nonlinear dynamical systems theory. In this study we applied methods from the chaos theory to investigate the degree of irregularity of VF in different experimental animals to test the hypothesis that the global organisation in electrocardiographic data patterns depends on a type of an animal. Data were collected from experiments on 7 rats (111 episodes of VF), 5 rabbits (56 episodes of VF) and 5 dogs (48 episodes of VF). The degree of irregularity of VF was estimated by means of two parameters: correlation dimension of chaos (PD2i) and period-splitting index (W).

We found out, that both these parameters depend on a type of an animal. The degree of irregularity of VF was more for dogs than for rats. Rabbits were between dogs and rats. The connection between a nonlinear (fractal) structure and a nonlinear (fractal) function of myocardium is discussed.



Мезенцева Лариса Валентиновна. В 1969 г. окончила физический факультет Московского Государственного Университета им. М.В. Ломоносова. Работает научным сотрудником в Институте нормальной физиологии им. П.К. Анохина РАМН, г. Москва. Область научных интересов: математическое моделирование физиологических процессов, математические методы анализа сердечного ритма, порядок и хаос в биологических системах.



Каштанов Сергей Иванович, 1948 г. рождения, канд. мед. наук, руководитель группы экспериментальной и клинической кардиологии лаборатории физиологии эмоций (рук. акад. К.В. Судаков) НИИ нормальной физиологии им. П.К. Анохина РАМН. Область научных интересов: фибрилляция желудочков сердца, психоземotionalный стресс, устойчивость сердечно-сосудистых функций к эмоциональному стрессу, адаптация сердечно-сосудистой системы к периодическим и случайным воздействиям внешней среды, теория динамического хаоса и сердечно-сосудистая система.