

СТОХАСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАОТИЧЕСКОЙ ДИНАМИКИ КАРДИОРИТМОВ

В.В. ГРИГОРЕНКО, В.С. МИКШИНА, Э.Б. БУЛАТОВ, Е.С. ШЕРСТЮК

БУ ВО «Сургутский государственный университет», пр-т Ленина, 1, г. Сургут, 628412, Россия

Аннотация. Сложность биомедицинских исследований при изучении организма человека заключается в невоспроизводимости результатов измерения и уникальности каждого временного участка регистрируемого сигнала. В нашем сообщении речь идет о кардиоинтервалах, которые так же статистически почти неповторимы. Проведение повторных исследований приводит к новым выборкам, статистические функции распределений которых произвольно невозможно повторить два раза подряд. В работе использовался метод матрицы парных сравнений выборок данных параметров сердечно-сосудистой системы. Произведен многократный эксперимент для доказательства невозможности применения стохастического подхода в анализе сложных биомедицинских систем. Он показал почти полное отсутствие совпадений двух измеряемых выборок кардиоинтервалов у одного испытуемого находящегося в неизменном гомеостазе.

Ключевые слова: сердечно-сосудистая система, межимпульсный интервал, матрицы парных сравнений, функция распределения случайной величины.

STOCHASTIC MODELING OF CHAOTIC DYNAMICS OF HEART RATE

V.V. GRIGORENKO, V.S. MIKSHINA, E.B. BULATOV, E.S. SHESTRYUK

Surgut State University, Lenin av., 1, Surgut, 628412, Russia

Abstract. The complexity of biomedical research in the study of the human body is an unplayable measurement results and the uniqueness of each temporal plot of the recorded signal. This report is devoted to the cardio intervals that are as statistically almost unique. Performing repeated research leads to new samples, in which the statistical distribution functions can not be arbitrarily repeated twice. The authors used the method of paired comparisons matrix samples of these parameters of the cardiovascular system. Repeated experiment to prove the impossibility of using the stochastic approach in the analysis of complex biomedical systems was carried out. It has shown an almost complete lack of coincidence of two measured samples of the cardio intervals in one subject being in constant homeostasis.

Key words: cardiovascular system, inter-pulse interval, pairwise comparison matrix, distribution function of a random variable.

Введение. В окружающем нас мире существует огромное число уникальных объектов, и в первую очередь сам человек, его функциональные системы организма, различные органы. Эти особые системы сейчас называют *complexity*, т.к.они обладают неповторимостью и невоспроизводимостью своих параметров в принципе. Такие *системы третьего типа* (СТТ) уникальны и во многих случаях имеют свои внутренние механизмы организации. Другими словами – это хаотически структурированные системы, но их хаос особый, это не динамический хаос Лоренца. У этих систем существует особый тип хаоса – статистический хаос, когда вектор состояния системы совершает постоянные вариации (непрерывное движение) в фазовом пространстве состояний, а для получаемых выборок имеем хаотическую динамику их статистических функций $f(x)$ [4-8]. В ранних исследованиях нами было показано, что организм человека, на примере сердечно-сосудистой системы сложной биомедицинской системы, может демонстрировать непрерывно изменяющиеся во времени параметры [4-9]. Так пациент например, по своим параметрам организма выходит за пределы трех среднеквадратических отклонений (очень редкий медицинский случай в норме, но при патологии это обычно наблюдается). Ранее (в статистике) этими отклонениями пренебрегали, пациент мог умереть и медики констатировали, что это был очень необычный пациент. Такие редкие случаи почти не исследовали, но они приводили к летальному исходу. Такие системы уже более 20 лет активно изучает Сургутская научная школа в области СТТ – *complexity* [1-8].

Сердечно-сосудистая система (ССС) всегда рассматривались как пример сложной биомедицинской системы, к параметрам которой можно применить детерминистко-стохастический подход. Однако, с позиций третьей парадигмы и *теории хаоса – самоорганизации* (ТХС) в ходе эксперимента невозможно получить одинаковые характеристики по каждому параметру x_i системы, так как состояние объекта принимает новое значение в каждый следующий момент времени, которое отлично от предыдущего. Невозможно определить положение вектора состояния системы $x(t)$ в следующий момент времени [14-18].

Если в многомерном фазовом пространстве состояний представить вектор состояния системы $x=x(t)=(x_1, x_2, \dots, x_m)^T$, то конкретное значение данного вектора x_i не несет информационной значимости, так как в следующий момент времени эта точка сместится. Таким образом вектор состояния системы совершает непрерывное хаотическое движение в фазовом пространстве состояний. Трудность изучения таких СТС заключается в том, что для однотипных временных рядов функция распределения случайной величины всегда различна. При этом в меньшей степени функция распределения случайной величины подчиняется нормальному закону распределения [9-13], т.е. обычно распределения непараметрические и их вид может непрерывно изменяться.

Исследование и оценка состояния организма человека по измерениям электрокардиограммы и пульсограммы (в виде набора *кардиоинтервалов* (КИ) представляет наибольшую сложность. Эти параметры являются динамическими параметрами вектора состояния человека на некотором промежутке времени Δt . Основная причина, по которой крайне сложно создавать модели поведения вектора состояния организма человека, является статистическая невоспроизводимость результатов экспериментов [10-14]. Невозможно получить статистически точные значения динамики вектора состояния организма человека даже при одинаковых условиях эксперимента. Каждый раз регистрируемые сигналы уникальны и более того, уникальностью обладает каждый временной участок регистрируемого динамического сигнала [2-10].

Цель исследования заключается в анализе данных ССС с использованием метода матриц парных сравнений выборок, для доказательства уникальности каждого индивидуума человеческого общества.

Материалы и методы исследования. В качестве объекта исследования использовались показатели ССС населения Ханты-Мансийского автономного округа, в частности, значения межимпульсных интервалов ССС, которые регистрировались как КИ.

В эксперименте принял участие автор исследований, который 32 года проживает на территории Ханты-Мансийского округа – Югры. Эксперимент проводился 15 раз по 15 повторений, в различные сезоны года (осень, зима, лето, весна). Испытуемый находился в состоянии нормогенеза. Данные о состоянии сердечно-сосудистой системы были получены с помощью пульсоксиметра *ЭЛОКС-01 М*, регистрирующего пульсовую волну с одного из пальцев в положении сидя, в течение пятиминутного интервала времени. В качестве основного параметра использовались значения межимпульсных интервалов сердечных сокращений. Межимпульсные интервалы ССС показывают ритм работы сердца в режиме непрерывного мониторинга (время регистрации $T=5$ мин.), что обеспечивало получение числа N не менее 300 ($N \geq 300$).

Для начала все выборки (общее число 225) исследовались на предмет соответствия закону нормального распределения параметров ССС. Оценка производилась с помощью непараметрического критерия Колмогорова-Смирнова. Далее производилось попарное сравнение выборок методом матриц парных сравнений. Этот метод сейчас активно внедряется в рамках ТХС.

Результаты и их обсуждение. Стохастическая обработка осуществлялась с использованием программ – «*IBM SPSS Statistics 22*». Соответствие структуры полученных данных межимпульсного интервала ССС закону нормального распределения оценивалась на основе вычисления критерия Колмогорова-Смирнова. Изучаемые распределения отличаются от нормального, если критерий значимости p будет меньше, чем критический, т.е. принимаемый за $p=0,05$.

В табл. 1 приведен пример результатов проверки 15-ти выборок (межимпульсного интервала), полученных при проведении первого эксперимента на предмет идентификации параметрического распределения.

Как видно из табл. 1, большинство выборок не соответствуют нормальному закону распределения, за исключением $Var4$, где $p > 0,010$. То есть в этих 14 случаях из 15-ти измерений для одного испытуемого, данные о межимпульсном интервале сердечного ритма не подчиняются нормальному закону распределения.

Таблица 1

Результаты проверки 15-ти выборок одного эксперимента на идентификацию параметрического распределения (нормального) случайной величины

Номер эксперимента	Критерий Колмогорова-Смирнова	Принимаемый уровень значимости
Var 1	,000	$p=0,05$
Var 2	,000	$p=0,05$
Var 3	,000	$p=0,05$
Var 4	,010	$p=0,05$
Var 5	,000	$p=0,05$
Var 6	,000	$p=0,05$
Var 7	,000	$p=0,05$
Var 8	,000	$p=0,05$
Var 9	,000	$p=0,05$
Var 10	,000	$p=0,05$
Var 11	,000	$p=0,05$
Var 12	,000	$p=0,05$
Var 13	,000	$p=0,05$
Var 14	,000	$p=0,05$
Var 15	,000	$p=0,05$

Таблица 2

Итог проверки на нормальность распределения по всем 15 экспериментам с 15-ю повторами

Номер эксперимента	Количество выборок	Проверка на нормальность по критерию Колмогорова-Смирнова, при $p=0,05$	
		соответствует	не соответствует
1	15	0	15
2	15	1	14
3	15	1	14
4	15	2	13
5	15	0	15
6	15	1	14
7	15	3	12
8	15	0	15
9	15	1	14
10	15	2	13
11	15	1	14
12	15	2	13
13	15	2	13
14	15	0	15
15	15	1	14

Таким образом, из 225 соответствуют нормальному закону распределения 17 выборок, что является с позиций статистики (менее 10%) крайне малым числом.

Результаты попарного сравнения по критерию Кендалла кардиоритмов испытуемого при повторных измерениях за время 5 минут при первом эксперименте ($k=24$)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1,000	,131**	,075	,021	,065	,107**	,100*	,184**	,007	,111**	,117**	,043	,101**	,163**	,079*
2	,131**	1,000	,026	,043	,082*	,147**	,057	,036	,069	,092*	,018	,029	,021	,188**	,140**
3	,075	,026	1,000	,038	,098*	,069	,040	,120**	,136**	,065	,016	,010	,059	,041	,003
4	,021	,043	,038	1,000	,016	,130**	,034	,050	,098*	,158**	,073	,035	,053	,027	,001
5	,065	,082*	,098*	,016	1,000	,003	,040	,050	,083*	,002	,022	,028	,129**	,076*	,041
6	,107**	,147**	,069	,130**	,003	1,000	,095*	,012	,043	,112**	,046	,002	,046	,001	,020
7	,100*	,057	,040	,034	,040	,095*	1,000	,067	,047	,040	,084*	,084*	,190**	,018	,005
8	,184**	,036	,120**	,050	,050	,012	,067	1,000	,022	,031	,147**	,036	,108**	,097*	,007
9	,007	,069	,136**	,098*	,083*	,043	,047	,022	1,000	,093*	,009	,054	,048	,035	,051
10	,111**	,092*	,065	,158**	,002	,112**	,040	,031	,093*	1,000	,138**	,060	,012	,116**	,140**
11	,117**	,018	,016	,073	,022	,046	,084*	,147**	,009	,138**	1,000	,005	,073	,029	,042
12	,043	,029	,010	,035	,028	,002	,084*	,036	,054	,060	,005	1,000	,107**	,076	,115**
13	,101**	,021	,059	,053	,129**	,046	,190**	,108**	,048	,012	,073	,107**	1,000	,024	,009
14	,163**	,188**	,041	,027	,076*	,001	,018	,097*	,035	,116**	,029	,076	,024	1,000	,070
15	,079*	,140**	,003	,001	,041	,020	,005	,007	,051	,140**	,042	,115**	,009	,070	1,000

Для выявления различий в параметрах ССС использовался непараметрический критерий Кендалла. Методом матриц парных сравнений исследовались выборки на предмет отнесения их к одной генеральной совокупности. Пример результатов представлен в табл. 3. Данная методика позволяет оценить возможность возникновения хаотической динамики кардиоритмов у одного и того же человека. Число пар k совпадений выборок КИ показывает степень хаотичности в организации кардиоритма. Это число также невелико, т.к. обычно мы в биологии берем доверительную вероятность $\beta \geq 0,95$, а у нас $k=17$ т.е. менее 0,16.

Как видно из табл. 3, имеется ограниченное число k пар, где $p > 0,1$. Таких пар всего $k=24$ и между ними нет существенных различий. Таким образом, 81 пара не принадлежит к одной генеральной совокупности. С точки зрения медицины это можно объяснить тем, что происходит непрерывная перестройка системы регуляции ССС. А значит функция распределения $f(x)$ непрерывно изменяется и произвольно получить «похожие» выборки невозможно. На гистограмме представлены результаты всех 15 экспериментов по 15 измерений при попарном сравнении в частотном эквиваленте.

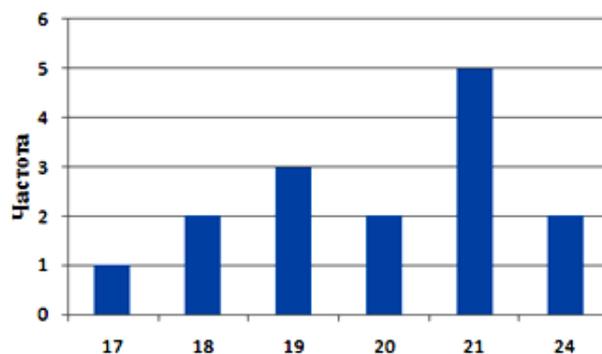


Рис. Количество пар совпадений выборок

Таким образом, на основе стохастической обработки многих одинаковых повторений, т.е. получение матриц парного сравнения выборок межимпульсного интервала сердечного ритма одного испытуемого в различные сезоны года, показано, что существуют многочисленные различия в выборках кардиоритмов, а следовательно, выборки не принадлежат одной генеральной совокупности. Из полученных результатов следует, что любой регистрируемый сигнал кардиоритма ССС уникален и неповторим. Даже когда испытуемый находится в комфортном состоянии его внутренние регуляции непрерывно изменяются и эти изменения хаотические. Сейчас мы имеем выборки КИ от 20-ти тысяч испытуемых и картина везде одинакова: нормальное различие.

Выводы:

1. Вероятность нормального закона распределения по критерию Колмогорова – Смирнова для КИ у 20000 испытуемых не превышают 0,102 (в разных группах с нормой и патологией). Отсюда следствие – КИ должны описываться непараметрическими законами распределения.

2. При многократных повторах регистрации КИ мы имеем число k пар совпадений выборок не более 10% и это доказывает неправильность использования разовых выборок КИ в медицинских измерениях. Любая выборка КИ уникальна, стохастика не может описывать работу сердца. При этом применении динамического хаоса в описании КИ также проблемно.

Литература

1. Веракса А.Н., Горбунов Д.В., Шадрин Г.А., Стрельцова Т.В. Эффект Еськова-Зинченко в оценке параметров теппинга методами теории хаоса-самоорганизации и энтропии // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2016. №1. С. 17–24.

2. Григоренко В.В., Еськов В.М. Анализ временных рядов в исследовании процессов хаотической динамики // Естественные и технические науки. 2016. №7. С. 92–98.

3. Еськов В.В., Еськов В.М., Карпин В.А., Филатов М.А. Синергетика как третья парадигма, или понятие парадигмы в философии и науке // Философия науки. 2011. № 4 (51). С. 126–128.

4. Еськов В.М., Еськов В.В., Добрынин Ю.В., Гришаева Ю.Е. Системный анализ параметров квазиаттракторов кардио-респираторной системы больных, постоянно проживающих в условиях Севера РФ, в стадии обострения хронических заболеваний в зависимости от пола и возраста // Вестник медицинских технологий. 2010. Т. 17, № 1. С. 19–21.

5. Еськов В.М., Еськов В.В., Филатова О.Е., Хадарцев А.А. Особые свойства биосистем и их моделирование // Вестник новых медицинских технологий. 2011. Т. 18, № 3. С. 331–332.

6. Еськов В.М., Хадарцев А.А., Каменев Л.И. Новые биоинформационные подходы в развитии медицины с позиций третьей парадигмы (персонифицированная медицина -реализация законов третьей парадигмы в медицине) // Вестник новых медицинских технологий. 2012. Т. 19, № 3. С. 25–28.

7. Еськов В.М., Хадарцев А.А., Козлова В.В., Филатова О.Е. Использование статистических методов и методов многомерных фазовых пространств при оценке хаотической динамики параметров нервно-мышечной системы человека в условиях акустических воздействий // Вестник новых медицинских технологий. 2014. Т. 21. № 2. С. 6–10.

8. Еськов В.М., Филатова О.Е., Хадарцева К.А., Еськов В.В. Универсальность понятия «гомеостаза» // Клиническая медицина и фармакология. 2015. № 4 (4). С. 29–33.

9. Еськов В.М., Зинченко Ю.П., Филатов М.А., Поскина Т.Ю. Эффект Н.А. Бернштейна в оценке параметров тремора при различных акустических воздействиях // Национальный психологический журнал. 2015. № 4(20). С. 66–73.

10. Еськов В.М., Хадарцев А.А., Еськов В.В., Вохмина Ю.В. Хаотическая динамика кардиоинтервалов трёх возрастных групп представителей коренного и пришлого населения Югры // Успехи геронтологии. 2016. Т. 29, № 1. С. 44–51.

11. Еськов В.М., Газя Г.В., Майстренко Е.В., Болтаев А.В. Влияние промышленных электромагнитных полей на параметры сердечнососудистой системы работников нефтегазовой отрасли // Экология и промышленность России. 2016. № 1. С. 59–63.

12. Еськов В.М., Зинченко Ю.П., Филатов М.А., Стрельцова Т.В. Стресс-реакция на холод: энтропийная и хаотическая оценка // Национальный психологический журнал. 2016. № 1(21). С. 45–52.

13. Фудин Н.А., Еськов В.М., Белых Е.В., Троицкий А.С., Борисова О.Н. Избранные медицинские технологии в работе спортивного тренера (по материалам тульской и сургутской научных школ) // Клиническая медицина и фармакология. 2015. № 3(3). С. 56–61.

14. Хадарцев А.А., Еськов В.М., Хадарцев В.А., Иванов Д.В. Клеточные технологии с позиций синергетики // Вестник новых медицинских технологий. 2009. Т. 16. № 4. С. 7–9.

15. Хадарцев А.А., Еськов В.М., Козырев К.М., Гонтарев С.Н. Медико-биологическая теория и практика: Монография / Под ред. Тыминского В.Г. Тула: Изд-во ТулГУ – Белгород: ЗАО «Белгородская областная типография», 2011. 231 с.

16. Хадарцев А.А., Зиллов В.Г., Еськов В.М., Винокуров Б.Л., Морозов В.Н., Кидалов В.Н., Филатова О.Е., Гонтарев С.Н., Хадарцева К.А., Цогоев А.С., Наумова Э.М., Крюкова С.В., Митрофанов И.В., Валентинов Б.Г., Седова О.А. Восстановительная медицина: Монография / Под ред. Хадарцева А.А., Гонтарева С.Н., Еськова В.М. Тула: Изд-во ТулГУ – Белгород: ЗАО «Белгородская областная типография», 2010. Т. I. 298 с.

17. Хадарцев А.А., Несмеянов А.А., Еськов В.М., Кожемов А.А., Фудин Н.А. Принципы тренировки спортсменов на основе теории хаоса и самоорганизации // Теория и практика физической культуры. 2013. № 9. С. 87–93.

18. Филатова О.Е., Берестин Д.К., Филатова Д.Ю., Кузнецова В.Н. Организация движений: произвольная непроизвольность или непроизвольная произвольность. Тула: Издательство ТулГУ, 2015. 272 с.

References

1. Veraksa AN, Gorbunov DV, Shadrin GA, Strel'tsova TV. Effekt Es'kova-Zinchenko v otsenke parametrov teppinga metodami teorii khaosa-samoorganizatsii i entropii [Effect Eskova Zinchenko-estimation of parameters in tapping methods of the theory of chaos and entropy, self-organization]. Slozhnost'. Razum. Postneklassika. 2016;1:17-24. Russian.
2. Grigorenko VV, Es'kov VM. Analiz vremennykh ryadov v issledovanii protsessov khaoticheskoy dinamiki [Time series analysis in the study of chaotic dynamics]. Estestvennye i tekhnicheskie nauki. 2016;7:92-8. Russian.
3. Es'kov VV, Es'kov VM, Karpin VA, Filatov MA. Sinergetika kak tret'ya paradigma, ili ponyatie paradigmy v filosofii i nauke [Synergetics as a third paradigm, or the concept of a paradigm shift in philosophy and science]. Filosofiya nauki. 2011;4(51):126-8. Russian.
4. Es'kov VM, Es'kov VV, Dobrynin YV, Grishaeva YE. Sistemnyy analiz parametrov kvaziattraktorov kardio-respiratornoy sistemy bol'nykh, postoyanno prozhivayushchikh v usloviyakh Severa RF, v stadii obostreniya khronicheskikh zabolevaniy v zavisimosti ot pola i vozrasta [System analysis of quasi-attractors parameters of cardio-respiratory system of patients constantly living in the North of Russia, in the acute stage of chronic diseases depending on sex and age]. Vestnik meditsinskikh tekhnologiy. 2010;17(1):19-21. Russian.
5. Es'kov VM, Es'kov VV, Filatova OE, Khadartsev AA. Osobyie svoystva biosistem i ikh modelirovanie [The special properties of biological systems and their modeling]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2011;18(3):331-2. Russian.
6. Es'kov VM, Khadartsev AA, Kamenev LI. Novye bioinformatsionnye podkhody v razvitii meditsiny s pozitsiy tret'ey paradigmy (personifitsirovannaya meditsina -realizatsiya zakonov tret'ey paradigmy v meditsine) [New bioinformatics approaches in the development of medical products with a third paradigm (personalized medicine -realization laws of the third paradigm in medicine)]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2012;19(3):25-8. Russian.
7. Es'kov VM, Khadartsev AA, Kozlova VV, Filatova OE. Ispol'zovanie statisticheskikh metodov i metodov mnogomernykh fazovykh prostranstv pri otsenke khaoticheskoy dinamiki parametrov nervnomyshechnoy sistemy cheloveka v usloviyakh akusticheskikh vozdeystviy [The use of statistical techniques and methods of multidimensional phase spaces in assessing the chaotic dynamics of human neuromuscular system parameters in terms of acoustic effects]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2014;21(2):6-10. Russian.
8. Es'kov VM, Filatova OE, Khadartseva KA, Es'kov VV. Universal'nost' ponyatiya «gomeostaza» [The universality of the concept of "homeostasis"]. Klinicheskaya meditsina i farmakologiya. 2015;4(4):29-33. Russian.
9. Es'kov VM, Zinchenko YP, Filatov MA, Poskina TY. Effekt Bernshteyna NA v otsenke parametrov tremora pri razlichnykh akusticheskikh vozdeystviyakh [The effect of NA Bernstein in the evaluation of tremor parameters for different acoustic effects]. Natsional'nyy psikhologicheskii zhurnal. 2015;4(20):66-73. Russian.
10. Es'kov VM, Khadartsev AA, Es'kov VV, Vokhmina YV. Khaoticheskaya dinamika kardioin-tervalov trekh vozrastnykh grupp predstaviteley koren'nogo i prishlogo naseleniya Yugry [Chaotic dynamics of cardio three age groups, the representatives of the radical and alien population of Ugra]. Uspekhi gerontologii. 2016;29(1):44-51. Russian.
11. Es'kov VM, Gazya GV, Maystrenko EV, Boltaev AV. Vliyaniye promyshlennykh elektromag-nitnykh poley na parametry serdechnosudistoy sistemy rabotnikov neftegazovoy otrasli [The impact of electromagnetic fields on the industrial parameters of the cardiovascular system of the oil and gas industry workers]. Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 2016;1:59-63. Russian.
12. Es'kov VM, Zinchenko YP, Filatov MA, Strel'tsova TV. Stress-reaktsiya na kholod: entropiynaya i khaoticheskaya otsenka [Stress reaction to cold: entropy and chaotic rating]. Natsional'nyy psikhologicheskii zhurnal. 2016;1(21):45-52. Russian.
13. Fudin NA, Es'kov VM, Belykh EV, Troitskiy AS, Borisova ON. Izbrannyye meditsinskie tekhnologii v rabote sportivnogo trenera (po materialam tul'skoy i surgutskoy nauchnykh shkol) [Selected medical technologies in the sports trainer (based on Tula and Surgut scientific schools)]. Klinicheskaya meditsina i farmakologiya. 2015;3(3):56-61. Russian.
14. Khadartsev AA, Es'kov VM, Khadartsev VA, Ivanov DV. Kletochnyye tekhnologii s pozitsiy sinergetiki [Cellular technology from the standpoint of synergy]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2009;16(4):7-9. Russian.
15. Khadartsev AA, Es'kov VM, Kozyrev KM, Gontarev SN. Mediko-biologicheskaya teoriya i praktika: Monografiya [Biomedical Theory and Practice: Monograph]. Pod red. Tyminskogo VG. Tula: Izd-vo TulGU – Belgorod: ZAO «Belgorodskaya oblastnaya tipografiya»; 2011. Russian.

16. Khadartsev AA, Zilov VG, Es'kov VM, Vinokurov BL, Morozov VN, Kidalov VN, Filatova OE, Gontarev SN, Khadartseva KA, Tsogoev AS, Naumova EM, Kryukova SV, Mitrofanov IV, Valentinov BG, Sedova OA. Vosstanovitel'naya meditsina: Monografiya [Regenerative medicine: Monograph]. Pod red. Khadartseva AA, Gontareva SN, Es'kova VM. Tula: Izd-vo TulGU – Belgorod: ZAO «Belgorodskaya oblastnaya tipografiya», 2010. T. I. Russian.

17. Khadartsev AA, Nesmeyanov AA, Es'kov VM, Kozhemov AA, Fudin NA. Printsipy trenirovki sportsmenov na osnove teorii khaosa i samoorganizatsii [Principles of training of athletes on the basis of self-organization and chaos theory]. Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury. 2013;9:87-93. Russian.

18. Filatova OE, Berestin DK, Filatova DY, Kuznetsova VN. Organizatsiya dvizheniy: proizvol'naya neproizvol'nost' ili neproizvol'naya proizvol'nost' [Organization of movements: an arbitrary inadvertent or involuntary arbitrariness.]. Tula: Izdatel'stvo TulGU; 2015. Russian.

Библиографическая ссылка:

Григоренко В.В., Микшина В.С., Булатов Э.Б., Шерстюк Е.С. Стохастическое моделирование хаотической динамики кардиоритмов // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2016. №3. Публикация 1-7. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2016-3/1-7.pdf> (дата обращения: 19.09.2016). DOI: 12737/21669.