

## ПРОБЛЕМА СТАТИСТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ КАРДИОРИТМА

М.А. ФИЛАТОВ, А.Р. МЕЛЬНИК, С.Р. ЛИТВИНОВ, В.О. ПЕТРУЧИК, В.С. ШЕНИН

*БУ ВО «Сургутский государственный университет», ул. Ленина, 1, Сургут, Россия, 628400*

**Аннотация.** Существует определённое количество научных публикаций, в которых делаются попытки доказать наличие динамического хаоса в организации кардиоритма. Однако, при изучении работы сердца в аспекте биофизического моделирования кардиоритма превалирует классический статистический подход. Более 70-ти лет назад один из основоположников теории информации W. Weaver предложил вывести все живые системы за пределы стохастики. Для доказательства этой гипотезы W. Weaver в биомеханике был установлен эффект Еськова-Зинченко в виде отсутствия статистической устойчивости выборок треморограмм и теппинграмм. В развитии этого эффекта мы представляем результаты многократных повторных регистраций выборок кардиоинтервалов (по 225 выборок для каждого испытуемого) для группы из 15-ти человек. Показано отсутствие статистической устойчивости этих выборок и предлагается анализ фазовых портретов (в виде псевдоаттракторов) выборок кардиоинтервалов.

**Ключевые слова:** кардиоритм, псевдоаттрактор, стохастика, эффект Еськова-Зинченко.

## THE PROBLEM OF STATISTICAL STABILITY OF CARDIORHYTHM

M.A. FILATOV, A.R. MELNIK, S.R. LITVINOV, V.O. PETRUCHIK, V.S. SHENIN

*Surgut State University, Lenin Ave., 1, Surgut, Russia, 628408*

**Abstract.** There are a certain number of scientific publications that attempt to prove the presence of dynamic chaos in the organization of cardiac rhythm. However, when studying the work of the heart in the aspect of biophysical modeling of cardiac rhythm, the classical statistical approach prevails. More than 70 years ago, one of the founders of information theory, W. Weaver, proposed to take all living systems beyond stochastics. To prove this hypothesis, W. Weaver in biomechanics established the Eskov-Zinchenko effect in the form of the lack of statistical stability of samples of tremorograms and teppingrams. In developing this effect, we present the results of multiple repeated registrations of cardiac interval samples (225 samples for each subject) for a group of 15 people. The lack of statistical stability of these samples is shown, and an analysis of phase portraits (in the form of pseudo-attractors) of cardiac interval samples is proposed.

**Key words:** *cardiorhythm, pseudoattractor, stochastics, Eskov-Zinchenko effect.*

**Введение.** Активное изучение параметров кардиоинтервалов (КИ) при изучении устойчивости кардиоритма обычно производят в рамках стохастики [1-4]. При этом все исследовали не подвергают сомнению устойчивость кардиоритма с позиций стохастики. Считается, что любая выборка объективно может представлять состояние кардиоритма любого испытуемого с позиций стохастических моделей.

Вместе с тем, ещё 70 лет назад (в 1948 году) W. Weaver предложил революционную гипотезу о системах третьего типа (СТТ) – живых системах [5]. В этой гипотезе W. Weaver вывел все живые системы за пределы стохастики и предложил для СТТ использовать новую науку (за пределами детерминистского и

стохастического подхода). На рубеже 20-го и 21-го веков в биомеханике был доказан эффект Еськова-Зинченко (ЭЭЗ), в котором отсутствует статистическая устойчивость выборок треморограмм (ТМГ) и теппинграмм (ТПГ) [6-11]. В итоге, в биомеханике была доказана гипотеза W. Weaver о СТТ.

В настоящее время ЭЭЗ мы распространяем на разные другие параметры функций организма человека. В частности, мы сейчас представляем результаты многократных повторных регистраций параметров кардиоинтервалов у каждого испытуемого из группы в 15 человек. Статистическое сравнение таких выборок для каждого испытуемого показало отсутствие статистической устойчивости выборок КИ. Это ставит под

сомнение дальнейшее использование статистики в изучении кардиоритма из-за потери статистической устойчивости выборок.

### 1. Является ли кардиоритм статистически устойчивым?

Традиционно работу сердца в биофизике сложных систем и медицине изучают с позиций стохастики. Например, Европейская ассоциация кардиологов рекомендует регистрировать кардиоритм не менее 5 минут, чтобы в выборки КИ попадало не менее 300 КИ. При этом считается, что такая выборка должна быть репрезентативной. Иными словами, она должна объективно представлять работу сердца с позиций стохастики.

Для такой выборки можно рассчитать статистическую функцию распределения  $f(x)$ , ее статистические характеристики (статистическое среднее  $\langle x \rangle$ , статистическую дисперсию  $D_x^*$  и т.д.). Очень часто для КИ рассчитывают спектральные плотности сигнала (СПС), автокорреляции (АК) и считается, что все эти характеристики, и статистические функции объективно представляют работу сердца. При этом никто и никогда не пытался проверить статистическую устойчивость полученных выборок КИ в условиях многократных повторных регистраций выборок КИ для одного испытуемого.

Вместе с тем ещё W. Weaver в 1948 году пытался выдвинуть гипотезу о бесполезности стохастики в изучении СТТ. Такое утверждение требовало реальных экспериментальных доказательств, и мы их выполнили 20 лет назад в биомеханике. Фактически, это было проверкой гипотезы Н.А. Бернштейна о «повторении без повторений» при многократных повторениях регистрации треморограмм (ТМГ) и теппинграмм (ТПГ). Оказалось, что вероятность статистического совпадения двух соседних ТМГ (при релаксации у одного испытуемого) крайне мала ( $P_1^* \leq 0,01$ ). Для ТПГ две соседние выборки совпадают с частотой  $P_2^* \leq 0,03$  [12-19].

Позже такая статистическая неустойчивость была доказана для

электромиограмм (ЭМГ) и нейрограмм [20-24]. В итоге, вся нервно-мышечная система (по своим параметрам) оказалась статистически неустойчивой. Этот ЭЭЗ мы сейчас постараемся доказать и в работе сердца. Напомним, что биофизика сердца основана на использовании традиционной стохастики. Только в последние годы ряд учёных (в том числе и нобелевские лауреаты I.R. Prigogine [25] и M. Gell-Mann [26], R. Penrose [27]) высказывали мнения о перспективах применения динамического хаоса в изучении СТТ-complexity. Однако, СТТ не демонстрируют динамический хаос Лоренца [6-11].

В наших исследованиях мы регистрировали за интервал 5 минут (у каждого испытуемого мы построили по 15 матриц парных сравнений) выборки КИ. В каждой такой матрице мы сравнивали 15 выборок КИ и находили числа  $K$ , для которых критерий Вилкоксона  $P \geq 0,05$ . В этом случае возникает возможность отнести эти две сравниваемые ( $i$ -ю и  $j$ -ю) выборки КИ к одной, общей генеральной совокупности.

В итоге, для всех 15-ти человек мы построили 225 таких матриц парных сравнений выборок КИ и выявили процент пар выборок КИ, для которых  $P_{ij} \geq 0,05$ . Оказалось, что число  $K$  во всех случаях не превышает обычно 15% от всех 105-ти разных пар сравнения в каждой такой матрице. Это очень малое значение статистически совпадающих пар. Для примера мы представляем табл.1, где  $K_7=11$ .

Очевидно, что доля стохастики крайне мала во всех 225-ти таких матрицах и это означает невозможность дальнейшего применения стохастических методов в изучении ритма сердца. Напомним, что в статистике обычно требуют не менее 95% статистических совпадений, например, с доверительной вероятностью  $\beta \geq 0,95$ . А у нас всё наоборот, более 85% выборок КИ статистически не совпадают (см. табл.1). Фактически, это доказывает уникальность этих выборок. Более того, знание первой выборки не даёт нам возможность делать прогноз относительно следующей, второй выборки.

Таблица 1

**Матрица парного сравнения 15-ти кардиоинтервалов одного тренированного испытуемого до физической нагрузки при повторных экспериментах ( $K_1=11$ ), по критерию Вилкоксона (для непараметрического распределения)**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00		0,27	0,00	0,00	0,11	0,00	0,04	0,00	0,77	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	<b>0,27</b>		0,00	0,00	0,25	0,00	0,01	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,12
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,00	0,00
7	<b>0,19</b>	0,00	<b>0,11</b>	<b>0,25</b>	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00
9	0,00	0,00	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
10	<b>0,08</b>	<b>0,23</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	0,00	0,00	<b>0,77</b>	<b>0,09</b>	0,00	0,00	0,02	0,00	0,03	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,18</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	<b>0,11</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
15	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,12</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Таблица 2

**Матрица парного сравнения 15-ти КИ для группы тренированных испытуемых до нагрузки ( $K_2=21$ ), расчет по критерию Ньюмена-Кейлса**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,42	0,00	0,00	0,00
2	<b>0,13</b>		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00		1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	<b>1,00</b>		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>1,00</b>		0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00
8	<b>1,00</b>	<b>0,25</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,73	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	0,00		0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00
10	0,00	<b>1,00</b>	<b>0,06</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00
12	<b>0,42</b>	<b>1,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,73</b>	0,00	<b>1,00</b>	0,00		0,00	0,00	0,00
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	0,00	<b>1,00</b>	0,00	0,00	0,00		1,00	0,00
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	0,00	<b>1,00</b>	0,00	0,00	0,00	<b>1,00</b>		0,00
15	0,00	0,00	0,00	<b>1,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

В итоге, мы приходим к потере причинно-следственных связей. Прошлые состояние кардиоритма не даёт нам возможность прогнозировать будущее состояние кардиоритма (с позиции стохастики). Если прошлое не определяет и не влияет на будущее состояние кардиоритма, то как его можно прогнозировать? Как можно диагностировать изменения в работе сердца, если в неизменном физиологическом состоянии человека его

выборки КИ непрерывно и хаотически изменяются?

Более того, если изучать выборки всей группы, т.е. взять по одной выборке (от каждого испытуемого) и сравнить их попарно (в виде матриц), то наблюдается статистическая картина в виде ЭЗЗ. Все выборки КИ (от 15-ти разных испытуемых) показывают крайне малое число  $K_2$  статистических совпадений. Обычно  $K_2 \leq 20\%$  от 105-ти разных пар сравнения. Это означает, что в матрице парных

сравнений выборок КИ (от разных испытуемых) число  $K$ , для которых  $P_{ij} \geq 0,05$  (сравнения уже по критерию Ньюмена-Кейлса и других критериев), в матрице (см. табл.2) парных сравнений выборок разных испытуемых тоже очень мало. Однако, это означает потерю однородности всей группы, т.к. выборки принадлежат разным генеральным совокупностям (они статистически разные).

Если выборки от разных испытуемых принадлежат разным генеральным совокупностям, то таких испытуемых мы не можем объединять в одну, общую группу. Группа статистически не однородна. Это доказывает табл.2 и стони других подобных ей матриц, которые мы получали в наших исследованиях (за более, чем 10 лет). В итоге, мы сейчас говорим о потере статистической устойчивости выборок для одного испытуемого (в виде ЭЭЗ), а для группы разных испытуемых мы наблюдаем потерю однородности выборок. Работать с подобной группой в стохастике невозможно.

В этой связи возникает сразу две фундаментальные проблемы в биофизике и всей биомедицине! Как регистрировать стационарные режимы и изменение параметров организма человека, если все выборки, например, для КИ, являются уникальными. Наблюдается явление, когда прошлое состояние кардиоритма не может дать прогноз будущему состоянию выборок КИ. Статистическое совпадение выборок КИ имеет крайне низкую вероятность,  $P_{j, j+1} \leq 0,01$ . Будущее состояние кардиоритма не зависит от прошлого состояния с позиций стохастики. Любая выборка КИ уникальна – это первая проблема.

Вторая проблема возникает в связи с табл.2 и сотней других матриц, которые похожи на табл.1. В этом случае мы работаем с неоднородными группами испытуемых. С позиций стохастики мы не имеем право объединять таких испытуемых, если они не имеют одну общую генеральную совокупность. Этот эффект также связан с отсутствием статистической устойчивости выборок КИ, но теперь для разных испытуемых. Очевидно, что статистические критерии

однородности группы не работают и нужны новые методы. Эти новые методы разработаны в теории хаоса-самоорганизации (ТХС) [28-31].

**2. Новые методы оценки стационарных режимов и изменений для СТТ.** Ещё раз отметим, что W. Weaver только предложил гипотезу [5], а её доказательство было выполнено в рамках ЭЭЗ и разработки новой теории хаоса-самоорганизации (ТХС) [6-11]. В основе этой теории лежит принцип неопределённости, который является аналогом принципа неопределённости Гейзенберга в квантовой механике. Напомним, что Гейзенберг для квантовых объектов ввёл неравенство для двух фазовых координат  $x_1(t)$  - координата и  $x_2 = dx_1/dt$  – её скорость.

Для квантовых объектов было предложено неравенство:

$$\Delta x_1 \cdot \Delta(x_2 \cdot m) \geq h/4\pi \quad (1)$$

Это неравенство (1) можно переписать только для двух фазовых координат  $x_1$  и  $x_2$ , если будем считать массу  $m$  объекта постоянной (при малых скоростях  $m \approx const$ ). Тогда мы получим неравенство для двух фазовых координат в виде:

$$\Delta x_1 \cdot \Delta x_2 \geq h/(4\pi m) \quad (2)$$

Поскольку для СТТ (живых систем) мы имеем также неопределённость (в виде ЭЭЗ), то для любой координаты  $x_1(t)$  описывающей ту или иную функцию организма человека и её скорость изменения  $x_2 = dx_1/dt$  мы также можем записать систему неравенств:

$$Z_{min} \leq \Delta x_1 \cdot \Delta x_2 \leq Z_{max} \quad (3)$$

В этой системе неравенств (3) под  $\Delta x_1$  и  $\Delta x_2$  мы будем понимать вариационные размахи для каждой фазовой координаты ( $x_1$  и  $x_2$ ). В итоге, такое произведение для данного испытуемого будет ограничено сверху в виде  $Z_{max} = const$ . Фактически, речь идет о неопределённости второго типа [6-11], когда вектор состояния биосистемы  $x = x(t) = (x_1, x_2)^T$  в таком двумерном фазовом пространстве состояний совершает непрерывные и хаотические движения. Однако эти движения происходят внутри площади  $S = \Delta x_1 \cdot \Delta x_2$  и оно не является динамическим хаосом Лоренца [6-11].

Такая площадь  $S$  (назовём её псевдоаттрактор) ограничивает движение вектора  $x(t)$ . При этом всегда можно получить  $Z_{min}=const=0$  для любой биосистемы. В итоге мы получаем ограничение на движение вектора состояния биосистемы в виде  $Z_{max}=S$  в двумерном ФПС. Наши многочисленные исследования КИ показали, что в неизменном физиологическом состоянии вектор  $x(t)$  для КИ ( $x_1$  – величина КИ, а  $x_2$  – приращение  $x_1(t)$ ) может быть инвариантом для оценки кардиоритма [28-33].

Например, мы получили параметры псевдоаттракторов (ПА) для всех 225-ти выборок КИ для каждого из 15-ти испытуемых. В итоге, для каждого испытуемого получили для каждой такой

матрицы (вида табл.1) выборку из 15-ти площадей  $S$  для ПА, а затем эти 15 выборок ПА для всех матриц (вида табл.1) статистически сравнили. В этом случае мы строили уже матрицы парных сравнений выборок площадей ПА для каждого испытуемого.

Для примера мы представляем типовую матрицу парных сравнений выборок  $S$  для КИ одного испытуемого в виде табл.3. Очевидно, что табл. 3 демонстрирует проверку на статистическую устойчивость выборок уже самих площадей  $S$  для ПА, для которых критерий Вилкоксона  $P_{ij} \geq 0,05$ , в таких матрицах для  $S$  получили очень высоким. Обычно  $K_3 \geq 90\%$  (чаще  $K_3 \geq 95\%$ ). С позиций стохастики это очень высокие показатели. Напомним, что сами выборки КИ у нас совпадали с  $K_1 \leq 15\%$ .

Таблица 3

**Матрица парных сравнений выборок  $S$  для псевдоаттракторов тренированного испытуемого АИА (без нагрузки, число повторов  $n=15$ ), использовался критерий Вилкоксона (значимость  $P < 0,05$ , число совпадений  $K_3=91$ )**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		0,82	0,69	0,78	0,02	0,46	0,86	0,57	0,86	0,91	0,33	0,82	0,69	0,31	0,73
2	0,82		0,43	0,95	0,02	0,95	0,65	0,13	0,31	0,26	0,78	0,65	0,19	0,43	0,73
3	0,69	0,43		0,31	0,02	0,53	0,46	0,13	0,78	1,00	0,31	0,47	0,91	0,14	0,50
4	0,78	0,95	0,31		0,02	0,86	0,78	0,07	0,36	0,31	0,86	0,78	0,46	0,53	0,69
5	0,02	0,02	0,02	0,02		0,04	0,01	0,17	0,05	0,04	0,00	0,01	0,14	0,02	0,01
6	0,46	0,95	0,53	0,86	0,04		0,31	0,08	0,53	0,82	0,91	0,82	0,33	0,26	0,57
7	0,86	0,65	0,46	0,78	0,01	0,31		0,17	0,86	0,73	0,50	1,00	0,43	0,12	0,78
8	0,57	0,13	0,13	0,07	0,17	0,08	0,17		0,19	0,07	0,04	0,36	0,36	0,01	0,09
9	0,86	0,31	0,78	0,36	0,05	0,53	0,86	0,19		0,95	0,21	0,82	0,36	0,13	0,46
10	0,91	0,26	1,00	0,31	0,04	0,82	0,73	0,07	0,95		0,73	0,91	0,73	0,06	0,57
11	0,33	0,78	0,31	0,86	0,00	0,91	0,50	0,04	0,21	0,73		0,69	0,36	0,73	0,69
12	0,82	0,65	0,47	0,78	0,01	0,82	1,00	0,36	0,82	0,91	0,69		0,78	0,36	0,91
13	0,69	0,19	0,91	0,46	0,14	0,33	0,43	0,36	0,36	0,73	0,36	0,78		0,07	0,28
14	0,31	0,43	0,14	0,53	0,02	0,26	0,12	0,01	0,13	0,06	0,73	0,36	0,07		0,11
15	0,73	0,73	0,50	0,69	0,01	0,57	0,78	0,09	0,46	0,57	0,69	0,91	0,28	0,11	

Таким образом, мы доказали отсутствие (почти полное) статистических совпадений выборок КИ, но при этом выборки площадей ПА почти полностью совпадали. В итоге, мы доказали возможность использования площади  $S$  для ПА как некоего инварианта в оценке параметров кардиоритма. При этом статистическая неопределённость выборок ПА всё-таки остаётся для КИ. Внутри ПА выборки КИ одного и того же испытуемого непрерывно и хаотически изменяются. Для

них выполняется ЭЭЗ, т.е. они уникальны [28-33].

**Обсуждение.** Доказательство гипотезы W. Weaver о том, что живые системы не являются объектом детерминистского и стохастического подхода, нашло подтверждение в виде эффекта Еськова-Зинченко. Фактически, речь идёт об отсутствии статистической устойчивости любых выборок, в нашем случае речь идёт о выборках КИ. Иными словами, любая выборка КИ любого человека является

уникальной, её очень сложно статистически повторить.

Многочисленные повторные регистрации выборок КИ у одного и того же испытуемого (по 225 выборок) и их парное сравнение в виде матриц парных сравнений (по 15 выборок в каждой такой матрице) показало, что число статистически совпадающих пар (у них критерий Вилкоксона  $P_{ij} \geq 0,05$ ) очень мало. Обычно это число  $K \leq 15\%$  от всех 105 разных пар сравнения в каждой такой матрице.

В итоге, для каждого испытуемого было построено по 15 таких матриц, а для всех 15-ти испытуемых мы построили 225 таких матриц парных сравнений. Для всех этих матриц число  $K \leq 15\%$ , что доказывает крайне низкую статистическую устойчивость выборок КИ. Сейчас можно уверенно говорить, что любая выборка КИ является уникальной, т.е. статистически (произвольно) не повторимой.

Однако, уникальные системы не могут быть объектом детерминистской и стохастической науки (ДСН). Именно это пытался сказать W. Weaver в 1948 году. Знание выборки КИ в данный момент времени не позволяет делать нам прогноз (с позиций стохастики) о будущем состоянии работы сердца. Следующая выборка не будет совпадать с предыдущей (без изменения физиологического состояния испытуемого).

ЭЗ распространяется не только на выборки отдельного испытуемого, но и на изучение группы испытуемых. Мы изучили несколько сотен испытуемых и построили сотни матриц парных сравнений выборок для 15-ти разных испытуемых (сходных с табл.2). В итоге, число  $K_2$  статистических совпадений выборок разных испытуемых также не превышает  $K_2 \leq 15\%$ .

Однако, такой результат уже квалифицируется как потеря однородности (статистической) группы. Невозможно изучать такую группу, если выборки двух (любых) испытуемых из группы принадлежат двум разным генеральным совокупностям. Как дальше изучать ритмику сердца в биофизике, если выборки статистически не совпадают, а любая группа испытуемых будет неоднородной?

Для ответа на эти вопросы нам пришлось вводить новый принцип неопределенности, но уже для живых систем. Оказалось, что вектор состояния биосистемы  $x(t)$  в двумерном фазовом пространстве состояний (с координатами  $x_1(t)$  и  $x_2=dx_1/dt$ ) совершает непрерывное и хаотическое движение. Однако эти движения ограничены площадью псевдоаттрактора  $S$ . Эта площадь  $S$  для ПА может быть инвариантом.

В неизменном физиологическом состоянии выборки таких площадей  $S$  для ПА сохраняют статистическую устойчивость (они статистически повторяются с частотой  $P^* \geq 0,9$  (а часто и с  $P^* \geq 0,95$ )). В итоге мы приходим к новому пониманию стандарта (нормы) для КИ. Теперь стандарт – это не статистическое среднее  $\langle x \rangle$ , статистическая дисперсия  $D_x^*$ , спектральные плотности сигнала (СПС), автокорреляции (АК) и т.д., а площадь  $S$  для КИ в ФПС.

Регистрация кардиоритма происходит в рамках ПА, но внутри такого ПА регистрируется непрерывно изменяющиеся статистические функции распределения  $f(x)$ , числовые характеристики и т.д.

**Выводы.** Исследование особенностей регуляции кардиоритма в рамках биофизики сложных систем традиционного базируется на методах и моделях теории динамических систем (в виде дифференциальных, разностных, интегральных и других уравнений) или на стохастике. В последнем случае исследователи работают с выборками.

Однако, еще в 1948 году W. Weaver выдвинул гипотезу о системах трёх типов. При этом он подчёркивал, что системы второго типа (стохастические) невозможно описывать одной точкой  $x(t)$  в конце процесса. Необходимо повторять процесс и работать с выборками. Следуя логике W. Weaver одна выборка уже не может описывать системы третьего типа (СТТ), т.е. живые системы. При изучении СТТ необходимо работать с выборками выборок.

Двадцать лет назад в биомеханике мы начали проверять статистическую устойчивость выборок ТМГ и ТПГ и

доказали эффект Еськова-Зинченко (ЭЕЗ). Фактически, ЭЕЗ доказывает уникальность ТМГ и ТПГ. В настоящем исследовании мы доказали ЭЕЗ и для кардиоинтервалов. Более того, сравнение выборок КИ для 15-ти разных испытуемых показывает их статистическую неустойчивость, т.е. группа разных испытуемых не может быть однородной.

В итоге, предлагается рассчитывать площади псевдоаттракторов  $S$ , внутри которых вектор параметров КИ совершает непрерывные и хаотические движения. Показано, что площадь ПА  $S$  может быть инвариантом для описания неизменного физиологического состояния испытуемого. При изменении физиологического состояния человека изменяется и площадь  $S$  для ПА. Фактически, в рамках новой теории хаоса-самоорганизации вводится глобальная неопределённость для кардиоритма. Ни одна точка  $x(t_j)$ , ни одна выборка КИ не могут объективно характеризовать работу сердца человека, т.к. любая выборка КИ уникальна.

### Литература

1. Chan N., Choy C. Screening for atrial fibrillation in 13 122 Hong Kong citizens with smartphone electrocardiogram // *Heart*. 2017. Vol. 103. Pp. 24-31.
2. Brown R., Macefield V.G. Skin sympathetic nerve activity in humans during exposure to emotionally-charged images: sex differences // *Frontiers in Physiology*. 2014. V. 5. P. 111.
3. Nobrega A., O'Leary D., Silva B.M. et al. Neural regulation of cardiovascular response to exercise: role of central command and peripheral afferents // *BioMed. Res. Int.* – 2014. – V. 2014. – Article ID 478965. 20 p.
4. Reynard A, Gevirtz R, Berlow R, Brown M, Boutelle K. Heart rate variability as a marker of self-regulation // *Applied Psychophysiology and Biofeedback*. – 2011. – Vol. 36(3). – Pp. 209-215.
5. Weaver W. Science and Complexity // *American Scientist*. – 1948. – Vol. 36, №4. – Pp. 536-544.
6. Eskov V.V., Gavrilenko T.V., Eskov V.M., Vokhmina Y.V. Phenomenon of statistical instability of the third type systems – complexity // *Technical physics*. 2017. Vol. 62(11). Pp. 1611-1616.
7. Eskov V.V., Filatova D.Y., Ilyashenko L.K., Vochmina Y.V. Classification of uncertainties in modeling of complex biological systems // *Moscow university physics bulletin*. 2019. Vol. 74(1). Pp. 57-63.
8. Betelin V.B., Eskov V.M., Galkin V.A., Gavrilenko T.V. Stochastic volatility in the dynamics of complex homeostatic systems // *Doklady Mathematics*. – 2017. – Vol. 95(1). – Pp. 92-94.
9. Eskov V.M., Eskov V.V., Gavrilenko T.V., Vochmina J.V. Biosystem kinematics as evolution: Stationary modes and movement speed of complex systems: Complexity // *Moscow university physics bulletin*. 2015. Vol. 70(2). Pp. 140-152.
10. Eskov V.M., Eskov V.V., Vochmina J.V., Gavrilenko T.V. The evolution of the chaotic dynamics of collective modes as a method for the behavioral description of living systems // *Moscow university physics bulletin*. 2016. Vol. 71(2). Pp. 143-154.
11. Zilov V. G., Eskov V. M., Khadartsev A. A., Eskov V. V. Experimental confirmation of the effect of "Repetition without repetition" N. A. Bernstein // *Bulletin of experimental biology and medicine*. 2017. Vol. 163 (1). P. 4-8.
12. Eskov V.M., Eskov V.V., Gavrilenko T.V., Zimin M.I. Uncertainty in the quantum mechanics and biophysics of complex systems // *Moscow university physics bulletin*. 2014. Vol. 69 (5). Pp. 406-411.
13. Eskov V.M., Gavrilenko T.V., Kozlova V.V., Filatov M.A. Measurement of the dynamic parameters of microchaos in the behavior of living biosystems // *Measurement techniques*. 2012. Vol. 55(9). Pp. 1096-1101.
14. Vokhmina Y.V., Eskov V.M., Gavrilenko T.V., Filatova O.E. Measuring order parameters based on neural network

- technologies // Measurement techniques. 2015. Vol. 58(4). Pp. 462-466.
15. Filatova O.E. Standardizing measurements of the parameters of mathematical models of neural networks // Measurement techniques. 1997. Vol. 40(1). Pp. 55-59.
  16. Filatova O.E. Measurement and control facilities for investigating neuron systems // Measurement techniques. 1998. Vol. 41(3). Pp. 229-232.
  17. Eskov V.M., Eskov V.V., Filatova O.E. Characteristic features of measurements and modeling for biosystems in phase spaces of states // Measurement techniques. 2011. Vol. 53 (12). Pp. 1404-1410.
  18. Eskov V.M., Kulaev S.V., Popov Yu.M., Filatova O.E. Computer technologies in stability measurements on stationary states in dynamic biological systems // Measurement techniques. 2006. Vol. 49(1). Pp. 59-65.
  19. Eskov V.M., Gavrilenko T.V., Vokhmina Y.V., Zimin M.I., Filatov M.A. Measurement of chaotic dynamics for two types of tapping as voluntary movements // Measurement techniques. 2014. Vol. 57(6). Pp. 720-724.
  20. Eskov V.M. Models of hierarchical respiratory neuron networks // Neurocomputing. 1996. Vol. 11(2-4). Pp. 203-226.
  21. Zilov V.G., Khadartsev A.A., Ilyashenko L.K., Eskov V.V., Minenko I.A. Experimental analysis of the chaotic dynamics of muscle biopotentials under various static loads // Bulletin of experimental biology and medicine. 2018. 165(4). Pp. 415-418.
  22. Zilov V.G., Khadartsev A.A., Eskov V.V., Ilyashenko L.K., Kitanina K.Yu. Examination of statistical instability of electroencephalograms // Bulletin of experimental biology and medicine. 2019. Vol. 168(7). Pp. 5-9.
  23. Eskov V.M., Eskov V.V., Braginskii M.Ya., Pashnin A.S. Determination of the degree of synergism of the human cardiorespiratory system under conditions of physical effort // Measurement techniques. 2011. Vol. 54(7). Pp. 832-837.
  24. Eskov V.M., Papshev V.A., Eskov V.V., Zharkov D.A. Measuring biomechanical parameters of human extremity tremor // Measurement techniques. 2003. Vol. 46 (1). Pp. 93-99.
  25. Prigogine I.R. The End of Certainty: Time, Chaos, and the New Laws of Nature (Free Press, 1996).
  26. Gell-Mann M. Fundamental Sources of Unpredictability // Complexity. – 1997. – Vol. 3, №1. – Pp.13-19.
  27. Penrose R. The Emperor's New Mind: Concerning Computers, Mind and Laws of Physics (Oxford: Oxford University Press, 1989).
  28. Grigorenko V.V., Eskov V.M., Nazina N.B., Egorov A.A. Information-analytical system of cardiographic information functional diagnostics // Journal of Physics: Conference Series. 2020. Vol. 1515. Pp. 052027.
  29. Grigorenko V.V., Bashkatova Yu.V., Shakirova L.S., Egorov A.A., Nazina N.B. New information technologies in the estimation of stationary modes of the third type systems // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 862. Pp. 052034.
  30. Zilov V.G., Khadartsev A.A., Eskov V.V. and Eskov V.M. Experimental Study of Statistical Stability of Cardiointerval Samples // Bulletin of experimental biology and medicine. 2017. Vol. 164 (2). Pp. 115–117.
  31. Es'kov V.M., Filatova O.E., Ivashenko V.P. Computer identification of compartmental neuron circuits // Measurement techniques. 1994. Vol. 37(8). Pp. 967-971.
  32. Eskov V.M., Eskov V.V., Vochmina Y.V., Gorbunov D.V., Ilyashenko L.K. Shannon entropy in the research on stationary regimes and the evolution of complexity // Moscow University Physics Bulletin. 2017. Vol. 72(3). Pp. 309-317.
  33. Eskov V.M., Papshev V.A., Kulaev S.V. Biosensor measurements on diffusion coefficients of physiologically active substances in brain tissue // Measurement techniques. 2004. Vol. 47(7). Pp. 715-718.

## References

1. Chan N., Choy C. Screening for atrial fibrillation in 13 122 Hong Kong citizens with smartphone electrocardiogram // *Heart*. 2017. Vol. 103. Pp. 24-31.
2. Brown R., Macefield V.G. Skin sympathetic nerve activity in humans during exposure to emotionally-charged images: sex differences // *Frontiers in Physiology*. 2014. V. 5. P. 111.
3. Nobrega A., O'Leary D., Silva B.M. et al. Neural regulation of cardiovascular response to exercise: role of central command and peripheral afferents // *BioMed. Res. Int.* – 2014. – V. 2014. – Article ID 478965. 20 p.
4. Reynard A, Gevirtz R, Berlow R, Brown M, Boutelle K. Heart rate variability as a marker of self-regulation // *Applied Psychophysiology and Biofeedback*. – 2011. – Vol. 36(3). – Pp. 209-215.
5. Weaver W. Science and Complexity // *American Scientist*. – 1948. – Vol. 36, №4. – Pp. 536-544.
6. Eskov V.V., Gavrilenko T.V., Eskov V.M., Vokhmina Y.V. Phenomenon of statistical instability of the third type systems – complexity // *Technical physics*. 2017. Vol. 62(11). Pp. 1611-1616.
7. Eskov V.V., Filatova D.Y., Ilyashenko L.K., Vochmina Y.V. Classification of uncertainties in modeling of complex biological systems // *Moscow university physics bulletin*. 2019. Vol. 74(1). Pp. 57-63.
8. Betelin V.B., Eskov V.M., Galkin V.A., Gavrilenko T.V. Stochastic volatility in the dynamics of complex homeostatic systems // *Doklady Mathematics*. – 2017. – Vol. 95(1). – Pp. 92-94.
9. Eskov V.M., Eskov V.V., Gavrilenko T.V., Vochmina J.V. Biosystem kinematics as evolution: Stationary modes and movement speed of complex systems: Complexity // *Moscow university physics bulletin*. 2015. Vol. 70(2). Pp. 140-152.
10. Eskov V.M., Eskov V.V., Vochmina J.V., Gavrilenko T.V. The evolution of the chaotic dynamics of collective modes as a method for the behavioral description of living systems // *Moscow university physics bulletin*. 2016. Vol. 71(2). Pp. 143-154.
11. Zilov V. G., Eskov V. M., Khadartsev A. A., Eskov V. V. Experimental confirmation of the effect of "Repetition without repetition" N. A. Bernstein // *Bulletin of experimental biology and medicine*. 2017. Vol. 163 (1). P. 4–8.
12. Eskov V.M., Eskov V.V., Gavrilenko T.V., Zimin M.I. Uncertainty in the quantum mechanics and biophysics of complex systems // *Moscow university physics bulletin*. 2014. Vol. 69 (5). Pp. 406-411.
13. Eskov V.M., Gavrilenko T.V., Kozlova V.V., Filatov M.A. Measurement of the dynamic parameters of microchaos in the behavior of living biosystems // *Measurement techniques*. 2012. Vol. 55(9). Pp. 1096-1101.
14. Vokhmina Y.V., Eskov V.M., Gavrilenko T.V., Filatova O.E. Measuring order parameters based on neural network technologies // *Measurement techniques*. 2015. Vol. 58(4). Pp. 462-466.
15. Filatova O.E. Standardizing measurements of the parameters of mathematical models of neural networks // *Measurement techniques*. 1997. Vol. 40(1). Pp. 55-59.
16. Filatova O.E. Measurement and control facilities for investigating neuron systems // *Measurement techniques*. 1998. Vol. 41(3). Pp. 229-232.
17. Eskov V.M., Eskov V.V., Filatova O.E. Characteristic features of measurements and modeling for biosystems in phase spaces of states // *Measurement techniques*. 2011. Vol. 53 (12). Pp. 1404-1410.
18. Eskov V.M., Kulaev S.V., Popov Yu.M., Filatova O.E. Computer technologies in stability measurements on stationary states in dynamic biological systems // *Measurement techniques*. 2006. Vol. 49(1). Pp. 59-65.
19. Eskov V.M., Gavrilenko T.V., Vokhmina Y.V., Zimin M.I., Filatov M.A. Measurement of chaotic dynamics for two types of tapping as voluntary movements

- // Measurement techniques. 2014. Vol. 57(6). Pp. 720-724.
20. Eskov V.M. Models of hierarchical respiratory neuron networks // Neurocomputing. 1996. Vol. 11(2-4). Pp. 203-226.
  21. Zilov V.G., Khadartsev A.A., Ilyashenko L.K., Eskov V.V., Minenko I.A. Experimental analysis of the chaotic dynamics of muscle biopotentials under various static loads // Bulletin of experimental biology and medicine. 2018. 165(4). Pp. 415-418.
  22. Zilov V.G., Khadartsev A.A., Eskov V.V., Ilyashenko L.K., Kitanina K.Yu. Examination of statistical instability of electroencephalograms // Bulletin of experimental biology and medicine. 2019. Vol. 168(7). Pp. 5-9.
  23. Eskov V.M., Eskov V.V., Braginskii M.Ya., Pashnin A.S. Determination of the degree of synergism of the human cardiorespiratory system under conditions of physical effort // Measurement techniques. 2011. Vol. 54(7). Pp. 832-837.
  24. Eskov V.M., Papshev V.A., Eskov V.V., Zharkov D.A. Measuring biomechanical parameters of human extremity tremor // Measurement techniques. 2003. Vol. 46 (1). Pp. 93-99.
  25. Prigogine I.R. The End of Certainty: Time, Chaos, and the New Laws of Nature (Free Press, 1996).
  26. Gell-Mann M. Fundamental Sources of Unpredictability // Complexity. – 1997. – Vol. 3, №1. – Pp.13-19.
  27. Penrose R. The Emperor's New Mind: Concerning Computers, Mind and Laws of Physics (Oxford: Oxford University Press, 1989).
  28. Grigorenko V.V., Eskov V.M., Nazina N.B., Egorov A.A. Information-analytical system of cardiographic information functional diagnostics // Journal of Physics: Conference Series. 2020. Vol. 1515. Pp. 052027.
  29. Grigorenko V.V., Bashkatova Yu.V., Shakirova L.S., Egorov A.A., Nazina N.B. New information technologies in the estimation of stationary modes of the third type systems // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 862. Pp. 052034.
  30. Zilov V.G., Khadartsev A.A., Eskov V.V. and Eskov V.M. Experimental Study of Statistical Stability of Cardiointerval Samples // Bulletin of experimental biology and medicine. 2017. Vol. 164 (2). Pp. 115–117.
  31. Es'kov V.M., Filatova O.E., Ivashenko V.P. Computer identification of compartmental neuron circuits // Measurement techniques. 1994. Vol. 37(8). Pp. 967-971.
  32. Eskov V.M., Eskov V.V., Vochmina Y.V., Gorbunov D.V., Ilyashenko L.K. Shannon entropy in the research on stationary regimes and the evolution of complexity // Moscow University Physics Bulletin. 2017. Vol. 72(3). Pp. 309-317.
  33. Eskov V.M., Papshev V.A., Kulaev S.V. Biosensor measurements on diffusion coefficients of physiologically active substances in brain tissue // Measurement techniques. 2004. Vol. 47(7). Pp. 715-718.