

## ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ТРЕМОРОГРАММ С ПОЗИЦИИ ЭФФЕКТА ЕСЬКОВА–ЗИНЧЕНКО

© 2018 г. О.Е. Филатова, А.Е. Баженова, Л.К. Иляшенко\*, С.В. Григорьева

*Сургутский государственный университет,  
628400, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра, Сургут, просп. Ленина, 1  
E-mail: ae\_bazhenova@mail.ru*

*\*Сургутский институт нефти и газа (филиал Тюменского индустриального университета),  
628404, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра, Сургут, ул. Энтузиастов, 38  
E-mail: end\_fiz@mail.ru*

Поступила в редакцию 08.12.17 г.

Изучены особенности хаотической динамики параметров нервно-мышечной системы (на примере тремора) при помощи традиционных и новых биологических методов исследования на основе метода многомерных фазовых пространств. Динамика произвольных микродвижений конечностей (тремора пальцев рук), как в режиме релаксации ( $F = 0$ ), так и при статической нагрузке ( $F = 3H$ ), проявлялась в изменении числа «совпадений» произвольных пар выборок ( $k$ ) матриц ( $15 \times 15$ ) парного сравнения треморограмм, которые демонстрировали глобальную статистическую неустойчивость выборок (статистических функций распределения  $f(x)$ , их спектральных плотностей сигнала и их автокорреляции  $A(t)$ ). Получаемые выборки в одном эксперименте невозможно произвольно повторить в следующем эксперименте (с аналогичным гомеостазом). Это представляет количественную меру эффекта Еськова–Зинченко в анализе хаотически изменяющихся статистических функций распределения выборок треморограмм. В данном сообщении предлагается использовать параметры квазиаттракторов треморограмм (их площади) для представления изменений нервно-мышечной системы при переходе из одного гомеостаза в другой ( $G_1 \neq G_2$ ).

*Ключевые слова: гомеостаз, тремор, хаос, эффект Еськова–Зинченко.*

Актуальность изучения одной из фундаментальных проблем управления движением, а именно управление отдельными частями тела человека со стороны мозга, с точки зрения биомеханических и функциональных характеристик очевидна. Тогда возникает проблема количественного описания эффекта Еськова–Зинченко, в котором наблюдается статистическая неустойчивость параметров движения и который впервые дал количественные подтверждения гипотезы Н.А. Бернштейна [1] о «повторении без повторений» в биомеханике [2–10].

Функциональное состояние организма человека в условиях выполнения специфических двигательных задач представляет особый интерес именно в рамках теории хаоса-самоорганизации, так как стохастический подход дает низкую эффективность в количественном описании любого движения. В наших исследованиях выполнялся анализ параметров нервно-

мышечной системы (НМС) человека, который базируется именно на хаотических изменениях параметров НМС у женщин, занимающихся регулярными физическими упражнениями. Более того, при целенаправленном управлении физической активностью (в виде спорта) регулярные физические упражнения жителей Севера Российской Федерации могут обеспечить пролонгацию их жизни. Объективная оценка состояния НМС при систематических физических нагрузках требует новых методов обработки данных и расширения диагностических признаков, что становится возможным сейчас с позиции новой теории хаоса-самоорганизации в отношении не только НМС, но и других гомеостатических систем [11–18]. Изучение таких систем наталкивается на определенные сложности их моделирования [19–22], которые обусловлены отсутствием статистической устойчивости подряд получаемых выборок треморограмм (ТМГ) для одного испытуемого (находящегося в неизменном гомеостазе) [3–10].

В данном сообщении предлагается внедрение традиционных и новых физических методов

Сокращения: НМС – нервно-мышечная система, ТМГ – треморограмма, СПС – спектральная плотность сигнала.

в биологические исследования на основе метода многомерных фазовых пространств. В рамках теории хаоса-самоорганизации сейчас становится возможным изучение особенностей реакции НМС в ответ на дозированные статические нагрузки. При этом вместо традиционного понимания стационарных режимов биосистем в виде  $dx/dt = 0$ , где  $x = x(t) = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$  является вектором состояния системы, или при расчете статистических функций распределения  $f(x)$ , когда стационарный режим требует неизменности этих  $f(x)$  для полученных подряд выборок параметра  $x$ , мы используем матрицы парных сравнений таких, подряд полученных (в неизменном гомеостазе) выборок. Эти движения имеют хаотический характер, т.е. постоянно  $dx/dt \neq 0$ , а получить для двух соседних выборок  $f_j(x_i(t)) = f_{j+1}(x_i(t))$  имеет вероятность  $p \leq 0,05$ . В этой связи предложены и новые методы расчета хаотической динамики тремора (как якобы произвольного движения) в рамках теории хаоса-самоорганизации [5–10, 23–29], которые И.Р. Пригожин определял как *complexity* [30], а Г.Р. Иваницкий [19–21] выделял как особую проблему биофизики сложных систем.

Целью данного исследования является оценка параметров ТМГ испытуемых, их спектральных плотностей сигнала (СПС) и автокорреляций  $A(t)$  в двух разных гомеостазах, с позиции эффекта Еськова–Зинченко.

## ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие женщины, проживающие на территории северного округа – Югры – не менее 5 лет (средний возраст обследуемых – 31 год). В зависимости от степени физической активности были сформировано две группы по 15 человек: «не спортсменки» (женщины, занимающиеся физическими упражнениями нерегулярно, менее двух раз в неделю) и «спортсменки» (женщины, профессионально занимающиеся спортом, имеющие спортивную квалификацию не ниже 1-го взрослого разряда и продолжающие заниматься систематическими физическими упражнениями более трех раз в неделю).

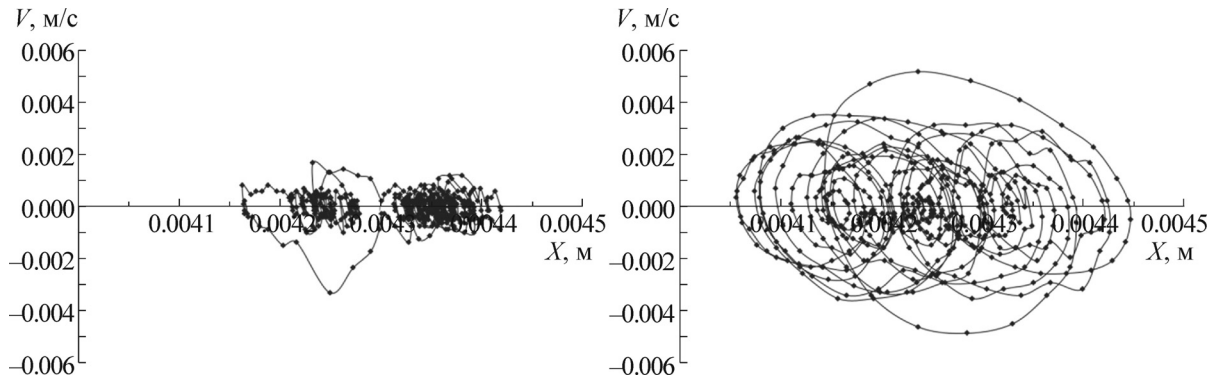
Регистрация постурального тремора осуществлялась с помощью измерительного комплекса на базе токовихревых датчиков и металлической пластины, которая жестко крепится к пальцу испытуемого. Данный измерительный комплекс имеет высокую точность регистрации движений (погрешность измерения координаты  $x_1(t)$  не менее 0,01 мм, а частотный диапазон охватывает от 0 Гц до 1000 Гц включительно). Период  $T$  квантования регистрируемых ТМГ

$T = 0,01$  с (с помощью аналогово-цифрового преобразователя, что снижает верхнюю границу регистрации  $x_1(t)$  по частоте, но и этих 100 Гц вполне достаточно, так как в наших исследованиях амплитудно-частотные характеристики тремора не выходили за пределы 1–20 Гц), и в каждом файле ТМГ мы имеем не менее 500 точек для первой фазовой координаты  $x_1(t)$  – положения конечности с пластинкой по вертикали. По специальной (зарегистрированной в РОСАПО) программе мы рассчитывали скорость изменения  $x_1(t)$  в виде  $x_2(t) = dx_1/dt$  и строили фазовые портреты в координатах вектора  $x(t) = (x_1, x_2)^T$  для всех ТМГ, полученных в каждом измерении [31–37].

Исходя из того, что мы никогда не получим повтора начального состояния  $x(t_0)$  в момент  $t = t_0$  и нет произвольного повтора статистических функций распределений  $f(x)$  для получаемых подряд у одного испытуемого выборок ТМГ, предлагается использовать параметры квазиаттракторов ТМГ (а именно, их площади  $S$ ), что сейчас делается не только в биомеханике, но и в других разделах биофизики и физиологии, теории электрогенеза [22, 37–41]. Именно квазиаттракторы в теории хаоса-самоорганизации представляют гомеостаз НМС или его изменения, если человек реально переходит из одного гомеостаза  $G_1$  в другой гомеостаз  $G_2$  ( $G_1 \neq G_2$ ).

В нашем исследовании мы предлагали испытуемым статическую нагрузку в виде груза весом  $F = 3H$  (крепится к указательному пальцу), которая (нагрузка) приводила к существенным изменениям параметров квазиаттракторов. В рамках теории хаоса-самоорганизации это описывается как переход от одного гомеостаза ( $G_1$ ) в другой ( $G_2$ ). До некоторого времени критерием таких изменений традиционно в стохастике были статистические функции  $f(x)$  получаемых выборок ТМГ, их СПС или их автокорреляции  $A(t)$ . Все эти статистические характеристики у нас рассчитывались для всех испытуемых (т.е. для всех выборок ТМГ рассчитывались  $f(x)$ , СПС,  $A(t)$ ) и при этом мы получали хаотический калейдоскоп их значений [32–38].

Всего для каждого испытуемого, находящегося в двух разных состояниях ( $G_1 \neq G_2$ ), мы строили 450 фазовых портретов для 30-ти серий экспериментов с 15-ю повторами регистрации выборок ТМГ в каждой такой серии для  $G_1$  (при нагрузке  $F_1 = 0$ ) и для  $G_2$  ( $F_2 = 3H$ ), по 500 точек в каждой такой выборке ТМГ для одного испытуемого.



Фазовые портреты движения пальцев руки для площади квазиаттрактора  $S$  у испытуемой БЮВ («не спортсменки»): (а) – при нагрузке  $F_1 = 0$ ,  $S_1 = 1,28 \cdot 10^{-6}$ ; (б) – при нагрузке  $F_2 = 3H$ ,  $S_2 = 3,97 \cdot 10^{-6}$ .

При использовании непараметрического парного сравнения с помощью критерия Вилкоксона были получены 30 таблиц для каждого испытуемого, в которых представлены результаты расчета  $N$  – 30-ти матриц ( $15 \times 15$ ) парного сравнения ТМГ, т.е.  $N_1 = 15$  для  $F_1$  и  $N_2 = 15$  для  $F_2$  по  $n = 15$  выборок ТМГ в каждой серии (матрице). Динамика произвольных микродвижений конечностей (тремора пальцев рук), как реакция на статическую нагрузку, проявлялась в изменении числа совпадений произвольных пар выборок ( $k$ ) для ТМГ, а также для их СПС и  $A(t)$ , которые (пары) можно отнести к одной генеральной совокупности.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В рамках теории хаоса-самоорганизации нами были построены фазовые плоскости для всех 15-ти выборок ( $N$ ) из 15-ти серий ( $n$ ) экспериментов каждого испытуемого в спокойном состоянии  $F_1 = 0$  и под воздействием статической нагрузки  $F_2 = 3H$ . Для этих квазиаттракторов были рассчитаны площади  $S$ , которые находились как произведение двух вариационных размахов фазовых координат  $\Delta x_1$  и  $\Delta x_2$ , т.е.  $S = \Delta x_1 \Delta x_2$ . При этом вектор  $x(t) = (x_1, x_2)^T$  совершал хаотические движения в пределах этих квазиаттракторов (их  $S$ ). На рисунке представлены типовые фазовые портреты испытуемой БЮВ («не спортсменки»).

Анализ всех полученных значений  $S$  представляет схожую картину в виде данных для всех испытуемых. В качестве типового примера рассмотрим результаты анализа ТМГ у «не спортсменки» БЮВ и «спортсменки» БДВ (это характерные примеры). В табл. 1 представлены значения  $S$  выборок ТМГ испытуемых БЮВ и БДВ для  $N_1 = 15$ -ти серий эксперимента в двух разных гомеостазах НМС ( $G_1$  и  $G_2$ , при  $G_1 \neq$

$G_2$ ). Уже в первом приближении  $S$  для квазиаттракторов демонстрировали различия значений в спокойном состоянии ( $F_1 = 0$ ) и под воздействием статической нагрузки ( $F_2 = 3H$ ). При расчете среднего значения площадей ( $\langle S \rangle$ ) были получены существенные различия: среднее значение для одной серии площадей квазиаттракторов  $\langle S \rangle$  испытуемой БЮВ в спокойном состоянии ( $F_1 = 0$ ) равно  $\langle S_1 \rangle = 0,72 \cdot 10^{-6}$  усл. ед., а под воздействием статической нагрузки ( $F_2 = 3H$ )  $\langle S_2 \rangle = 3,67 \cdot 10^{-6}$  усл. ед. В случае с испытуемой БДВ («спортсменка») среднее значение площадей квазиаттракторов  $\langle S \rangle$  при  $F_1 = 0$ :  $\langle S_3 \rangle = 0,26 \cdot 10^{-6}$  усл. ед., а при  $F_2 = 3H$ :  $\langle S_4 \rangle = 1,38 \cdot 10^{-6}$  усл. ед. Таким образом, под воздействием статической нагрузки у обеих испытуемых («не спортсменка» и «спортсменка») происходит увеличение площади квазиаттракторов приблизительно в пять раз. В целом динамика увеличения  $S$  для квазиаттракторов наблюдается у всех испытуемых, но каждый человек имеет индивидуальные параметры  $\langle S_1 \rangle$  и  $\langle S_2 \rangle$ .

Для этих же выборок ТМГ мы построили 15 матриц парных сравнений для каждой серии экспериментов ( $j = 1, \dots, 15$ ), где каждая матрица содержала 15 выборок ТМГ, для всех испытуемых в двух разных гомеостазах НМС. Таким образом, мы получили сначала 15 матриц для  $F_1 = 0$ , и затем 15 матриц для  $F_2 = 3H$  (и так для каждого испытуемого, всего для каждого человека было получено по 30 серий – матриц парных сравнений выборок). В качестве примера в табл. 2 представлена характерная матрица для испытуемой БЮВ («не спортсменки»), находящейся в гомеостазе  $G_1$  – без нагрузки ( $F_1 = 0$ ), где  $k_{11} = 3$ . Результат общего расчета таких повторов для каждой испытуемой всегда дает  $k_{12j} > k_{11j}$ , где  $k_{11j}$  – число  $k$  при  $F_1$  для  $j$ -й серии экспериментов, а  $k_{12j}$  для  $F_2$ . Для матрицы, аналогичной табл. 2, но с на-

**Таблица 1.** Значение площадей  $S$  для квазиаттракторов выборок треморограмм одной серии у испытуемых БЮВ и БДВ

№	БЮВ («не спортсменка»)		БДВ («спортсменка»)	
	$S_1 \cdot 10^{-6}$ усл. ед. при $F_1 = 0$	$S_2 \cdot 10^{-6}$ усл. ед. при $F_2 = 3H$	$S_3 \cdot 10^{-6}$ усл. ед. при $F_1 = 0$	$S_4$ при $F_2 = 3H$
1	0,75	5,24	0,23	0,42
2	1,17	5,16	0,74	0,79
3	0,23	2,89	0,13	0,58
4	0,23	3,98	0,16	0,71
5	1,36	4,61	0,39	2,76
6	0,39	2,73	0,09	1,07
7	0,72	5,73	0,09	0,71
8	0,46	4,37	0,29	3,19
9	0,36	2,13	0,29	3,19
10	0,74	2,88	0,46	2,62
11	1,22	2,99	0,14	0,48
12	1,24	3,43	0,23	0,70
13	0,84	3,20	0,23	0,85
14	0,20	2,26	0,11	0,85
15	0,94	3,37	0,28	1,83
<S>	<b>0,72</b>	<b>3,67</b>	<b>0,26</b>	<b>1,38</b>

**Таблица 2.** Матрица парного сравнения треморограмм испытуемой БЮВ

	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	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00		0,00	0,00	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,93	0,00
3	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	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
5	0,00	<b>0,22</b>	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
6	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
7	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
8	0,00	0,00	<b>0,20</b>	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
9	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
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,01	0,00	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	0,01		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	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00
14	0,00	<b>0,93</b>	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Примечание. Число повторов  $n = 15$ , использовали критерий Вилкоксона (значимость  $p < 0,05$ , число совпадений  $k_{11} = 3$ ).

грузкой  $F_2 = 3H$  мы получили  $k_{12} = 6$  ( $k_{12} = 2k_{11}$ ).

Далее для этих ТМГ мы рассчитывали матрицы парных сравнений выборок ТМГ для их

СПС, а также для их автокорреляций  $A(t)$ . Оказалось, что эти 15 матриц СПС и 15 матриц  $A(t)$  будут тоже демонстрировать статистическую неустойчивость (т.е. и для СПС и  $A(t)$ )

**Таблица 3.** Среднее число совпадений ( $k$ ) матриц парного сравнения треморограмм, СПС и  $A(t)$  испытуемых, находящихся в двух разных гомеостазах ( $G_1$  и  $G_2$ , при  $G_1 \neq G_2$ )

	БЮВ («не спортсменка»)		БДВ («спортсменка»)	
	$G_1$	$G_2$	$G_1$	$G_2$
ТМГ ( $k_1; k_2$ )	2,93	5,27	2,13	3,13
СПС ( $k_3; k_4$ )	32,8	37,8	29	34,6
$A(t)$ ( $k_5; k_6$ )	45,3	35,9	42	37,9

статистической функции  $f_j(x_i) \neq f_{j+1}(x_i)$ . Однако для СПС и  $A(t)$  значения  $k$  (для этих же выборок ТМГ) дают более высокие значения (но всегда меньше 50%). В табл. 3 представлены усредненные результаты в виде значений чисел совпадений ( $k$ ) матриц парного сравнения ТМГ ( $k_{1G1}$  и  $k_{1G2}$  – «не спортсменка»,  $k_{2G1}$  и  $k_{2G2}$  – «спортсменка»), СПС ( $k_{3G1}$  и  $k_{3G2}$  – «не спортсменка»,  $k_{4G1}$  и  $k_{4G2}$  – «спортсменка») и  $A(t)$  ( $k_{5G1}$  и  $k_{5G2}$  – «не спортсменка»,  $k_{6G1}$  и  $k_{6G2}$  – «спортсменка») испытуемых с разной физической подготовкой, находящихся в двух разных гомеостазах ( $G_1$  и  $G_2$ , при  $G_1 \neq G_2$ ).

Среднее число совпадений ( $k$ ) матриц парного сравнения ТМГ «не спортсменки» (в нашем случае – БЮВ) равно  $k_{1G1} = 2,93$  при  $F_1 = 0$  и  $k_{1G2} = 5,27$  при  $F_2 = 3H$ , что несколько выше, чем для «спортсменки» ( $k_{2G1} = 2,13$  при  $F_1 = 0$  и  $k_{2G2} = 3,13$  при  $F_2 = 3H$ ). В обоих случаях влияние статической нагрузки приводит к увеличению числа совпадений  $k_1$  и  $k_2$  (в 1,7 раз для БЮВ, в 1,4 раза – для БДВ). Такая закономерность наблюдалась у всех испытуемых в режиме 225 повторов измерения ТМГ с грузом ( $F = 3H$ ) и без груза, однако величины  $k_{G1}$  и  $k_{G2}$  имели индивидуальный характер (у некоторых испытуемых  $\langle k_1 \rangle = 4$ , а  $\langle k_2 \rangle = 7,4$  и т.д.). Итог сравнения 15-ти серий выборок ТМГ у двух разных групп испытуемых, находящихся в двух разных гомеостазах НМС ( $G_1$  и  $G_2$ , при  $G_1 \neq G_2$ ) в режиме повторений, показывает, что отсутствует статистическая устойчивость выборок ТМГ как для «спортсменок» (в нашем случае – БДВ), так и для «не спортсменок» (БЮВ).

Аналогичная ситуация у обеих испытуемых происходит с их СПС. Среднее число совпадений ( $\langle k \rangle$ ) матриц парного сравнения СПС испытуемой БЮВ ( $k_{3G1}$ ), находящейся в гомеостазе  $H_1$ , выше, чем у испытуемой БДВ ( $k_{4G1}$ ). Влияние статической нагрузки  $F_2 = 3H$  приводит к увеличению числа совпадений ( $k_{3G2}$  и  $k_{4G2}$ ) в обоих случаях примерно в 1,2 раза. Однако для автокорреляций  $A(t)$  ситуация несколько иная. Здесь при нагрузке  $F_2$  число совпадений  $k$  уменьшается. Среднее число совпа-

дений ( $\langle k \rangle$ ) матриц парного сравнения  $A(t)$  испытуемой «не спортсменки» также выше, чем у «спортсменки» ( $k_{5G1} > k_{6G1}$ ), но влияние статической нагрузки  $F_2 = 3H$  приводит к уменьшению числа совпадений ( $k$ ) в обоих случаях, причем у БЮВ число совпадений  $k$  становится меньше, чем у БДВ ( $k_{5G2} < k_{6G2}$ ).

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Расчет матриц парных сравнений выборок ТМГ (в режиме многократных повторений) позволяет выявить различия в состоянии гомеостаза НМС испытуемого, находящегося в различных физических (и физиологических) состояниях. Более того, мы можем установить различия в гомеостазах НМС у спортсмена и не спортсмена. Однако вся эта процедура довольно трудоемкая. Мы использовали 225 выборок ТМГ для гомеостаза  $G_1$  и 225 выборок ТМГ при  $G_2$  ( $F_2 = 3H$ ) для каждого испытуемого. Очевидно, что такой низкий процент статистических совпадений выборок ТМГ у испытуемого, находящегося в неизменном гомеостазе, доказывает наличие особого хаоса  $x_1(t)$  в виде эффекта Еськова–Зинченко. Получить совпадение соседних выборок для одного испытуемого, находящегося в неизменном гомеостазе ( $G_1$  или  $G_2$ ) – задача крайне сложная. Для ТМГ равенство статистических функций  $f_j(x_i(t)) = f_{j+1}(x_i(t))$  выполняется с вероятностью  $p \leq 0,05$  (в табл. 2 эта  $p_{j,j+1} < 0,01$ ), т.е. статистика не может быть применима в изучении движений (из-за уникальности получаемых выборок ТМГ).

Для реальной (и быстрой) оценки  $G_1$  или  $G_2$  для НМС мы предлагаем рассчитывать параметры квазиаттракторов. В этом случае мы имеем неопределенность второго типа, которая характерна и для квантовой механики (где работает принцип неопределенности Гейзенберга для двух сопряженных величин – координаты  $x_1(t)$  и импульса  $p = mx_2$ , где  $x_2 = dx_1/dt$  – это вторая фазовая координата общего вектора  $x(t) = (x_1, x_2)^T$ .

## ВЫВОДЫ

Использование традиционных статистических методов в оценке биомеханических систем наталкивается на определенные трудности из-за гипотезы Н.А. Бернштейна и эффекта Еськова–Зинченко. Отсутствует статистическая устойчивость у подряд получаемых выборок ТМГ (и других движений),  $f_j(x_i) \neq f_{j+1}(x_i)$  с вероятностью  $p \geq 0,95$ .

Для таких неустойчивых систем можно использовать матрицы парных сравнений выборок (у нас – треморограмм), которые демонстрируют статистическую устойчивость числа  $k$  – совпадений пар выборок  $x_i$  для одного испытуемого в неизменном гомеостазе. В этом случае можно регистрировать различия между двумя разными гомеостазисами  $G_1$  и  $G_2$  по количеству  $k_{G_1}$  и  $k_{G_2}$  в этих гомеостазах. Более того, число  $k$  демонстрирует различия между спортсменом и не спортсменом, т.е. является диагностическим признаком в оценке уровня физической подготовки. Статистика при этом демонстрирует хаос статистических функций распределения  $f(x_i)$  при неизменном гомеостазе. Уместно пересмотреть и понятие гомеостаза для НМС (как статистическую устойчивость признака  $k$  или устойчивость параметров квазиаттракторов).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. N. A. Bernstein, *The co-ordination and regulation of movements* (Oxford: Pergamon Press, 1967).
2. В. М. Еськов, Ю. П. Зинченко, М. А. Филатов и др., *Экология человека*, № 5, 27 (2017).
3. В. Г. Зилов, А. А. Хадарцев, В. В. Еськов и др., *Бюл. эксперим. биологии и медицины* **164** (8), 136 (2017).
4. V. B. Betelin, V. M. Eskov, V. A. Galkin, et al., *Dokl. Mathematics* **95** (1), 92 (2017).
5. V. V. Eskov, T. V. Gavrilenko, V. M. Eskov, et al., *Technic. Phys.* **62** (11), 1611 (2017).
6. V. M. Eskov and O. E. Filatova, *Biophysics* **48** (3), 497 (2003).
7. В. А. Галкин, Ю. М. Попов, Д. К. Берестин и др., *Сложность. Разум. Постнеклассика*, № 2, 63 (2017).
8. V. M. Es'kov, S. V. Kulaev, Yu. M. Popov, et al., *Measurement Techniques* **49** (1), 59 (2006).
9. V. M. Eskov, T. V. Gavrilenko, Y. V. Vokhmina, et al., *Meas. Techniques* **57** (6), 720 (2014).
10. V. M. Eskov, V. V. Eskov, T. V. Gavrilenko, et al., *Moscow University Phys. Bull.* **69** (5), 406 (2014).
11. V. V. Eskov, O. E. Filatova, T. V. Gavrilenko, et al., *Human Ecology*, № 11, 3 (2014).
12. V. M. E'skov, V. V. Eskov, O. E. Filatova, et al., *Adv. Gerontology* **6** (1), 24 (2016).
13. V. M. Eskov, V. V. Eskov, J. V. Vochmina, et al., *Moscow University Phys. Bull.* **71** (2), 143 (2016).
14. V. M. Eskov, A. A. Khadartsev, V. V. Eskov, et al., *Adv. Gerontology* **6** (3), 191 (2016).
15. V. M. Eskov, A. B. Gudkov, A. E. Bazhenova, et al., *Human Ecology*, № 3, 38 (2017).
16. D. U. Filatova, A. N. Veraksa, D. K. Berestin, et al., *Human Ecology*, № 8, 15 (2017).
17. S. N. Rusak, V. V. Eskov, D. I. Molyagov, et al., *Human Ecology*, № 11, 19 (2013).
18. Y. V. Vokhmina, V. M. Eskov, T. V. Gavrilenko, et al., *Meas. Techniques* **58** (4), 462 (2015).
19. G. R. Ivanitskii, *Phys. Usp.* **53**, 327 (2010).
20. G. R. Ivanitskii, *Phys. Usp.* **55**, 1155 (2012).
21. G. R. Ivanitskii, *Phys. Usp.* **187**, 757 (2017).
22. V. M. Eskov, *Modelling, Measurement and Control C* **48** (1–2), 47 (1995).
23. V. M. Eskov, V. V. Eskov, T. V. Gavrilenko, et al., *Biophysics* **62** (1), 143 (2017).
24. V. M. Eskov, V. V. Eskov, Y. V. Vochmina, et al., *Moscow University Phys. Bull.* **72** (3), 309 (2017).
25. V. M. Eskov, O. E. Filatova, V. V. Eskov, et al., *Biophysics* **62** (5), 809 (2017).
26. В. М. Еськов, Г. С. Козупица и Л. И. Шелим, *Сложность. Разум. Постнеклассика*, № 3, 60 (2017).
27. В. В. Еськов, *Вестн. новых мед. технологий* **24** (3), 33 (2017).
28. O. E. Filatova, V. M. Eskov, and Y. M. Popov, in *Proc. Int. RNNS/IEEE Symp. on Neuroinformatics and Neurocomputers* (1995), p. 166.
29. O. E. Filatova, V. V. Eskov, M. A. Filatov, et al., *Rus. J. Biomechanics* **21** (3), 224 (2017).
30. I. R. Prigogine, *The End of Certainty: Time, Chaos, and the New Laws of Nature* (Free Press, 1997).
31. В. В. Еськов, *Вестн. новых мед. технологий* **24** (2), 3 (2017).
32. В. В. Еськов, О. Е. Филатова, Т. В. Гавриленко и др., *Биофизика* **62** (6), 1167 (2017).
33. V. M. Eskov, V. V. Eskov, T. V. Gavrilenko, et al., *Moscow University Phys. Bull.* **70** (2), 140 (2015).
34. V. M. Eskov, O. E. Filatova, O. V. Provorova, et al., *Human Ecology*, № 5, 57 (2015).
35. V. G. Zilov, V. M. Eskov, A. A. Khadartsev, et al., *Bull. Exp. Biol. Med.* **1**, 4 (2017).
36. T. V. Gavrilenko, V. M. Es'kov, A. A. Khadartsev, et al., *Adv. Gerontology*, **27** (1), 30 (2014).
37. V. M. Eskov, V. V. Eskov, T. V. Gavrilenko, et al., *Moscow University Phys. Bull.* **69** (5), 406 (2014).
38. V. M. Eskov, *Emergence: Complexity and Organization*, **16** (2), 107 (2014).
39. V. M. Eskov, *Neural Network World*, **4** (4), 403 (1994).
40. V. M. Eskov, V. V. Eskov, M. Ya. Braginskii, et al., *Meas. Techniques* **54** (7), 832 (2011).
41. G. R. Garaeva, V. M. Eskov, V. V. Eskov, et al., *Human Ecology*, № 9, 50 (2015).

## Estimation of the Parameters for Tremograms according to Eskov–Zinchenko Effect

**O.E. Filatova\***, **A.E. Bazhenova\***, **L.K. Pyashenko\*\***, and **S.V. Grigorieva\***

*\*Surgut State University, prosp. Lenina 1, Surgut, Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra, 628400 Russia*

*\*\*Surgut Institute of Oil and Gas (Surgut Branch of the Industrial University of Tyumen),  
ul. Entuziastov 38, Surgut, Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra, 628404 Russia*

The features of chaotic dynamics of neuromuscular system parameters (tremor) have been studied using conventional and novel biological research methods based on multidimensional phase space representation. The dynamics of involuntary micromovements of limbs (finger tremor) in a relaxation phase ( $F = 0$ ) and when static load was applied ( $F = 3N$ ) was evident as a change in the number of «coincidences» of randomly selected ( $k$ ) matrix sampling ( $15 \times 15$ ) in paired comparison of tremograms. The tremograms reflected global statistical instability of samples (statistic distribution functions  $f(x)$ , spectral densities of signals, and autocorrelation  $A(t)$ ). Sampling from one experiment cannot be randomly repeated in the next experiment (with the same homeostasis). This represents a quantitative measure of the Eskov–Zinchenko effect in analysis of chaotically changing statistical distribution functions of tremogram samples. In this paper, the use of quasi-attractors parameters of tremograms (their areas) has been proposed to represent changes in the neuromuscular system during transition from one homeostasis to another ( $G_1 \neq G_2$ ).

*Keywords: homeostasis, tremor, chaos, Eskov–Zinchenko effect*