

# Стресс-реакция на холод: энтропийная и хаотическая оценка

В.М. Еськов, М.А. Филатов, Т.В. Стрельцова

Сургутский государственный университет, Сургут, Россия

Ю.П. Зинченко

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Поступила 20 декабря 2015/ Принята к публикации: 27 декабря 2015

## Stress reaction to cooling: entropic and chaotic estimation

Valery M. Eskov\*, Mikhail A. Filatov, Tatiana V. Streltsova

Surgut State University, Surgut, Russia

Yuriy P. Zinchenko

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Received: December 20, 2015 / Accepted for publication: 27, December 2015

\*Corresponding author. E-mail: valery.eskov@gmail.com

Возникновение психофизиологических реакций на локальное охлаждение (кисти) в виде изменения параметров треморограмм изучалось с позиций теории хаоса-самоорганизации и расчета энтропий Шеннона. Показывается эффективность такого подхода для количественной оценки эффекта Еськова-Зинченко в биомеханике. Рассматривается динамика поведения параметров квазиаттракторов и значений энтропий для треморограмм в режиме многократных ( $N = 225$ ) повторений опытов у одного испытуемого. Доказывается почти полное совпадение энтропии площади квазиаттракторов по 15-ти выборкам в каждой из 15-ти серий треморограмм. Это подобно детерминированному хаосу при инвариантности мер в оценке реальных аттракторов Лоренца. Стрессовое воздействие (5 мин. охлаждение конечности в воде при  $t = 5$  °C) не вызывает существенного изменения параметров энтропий  $E$  для треморограмм всех трёх групп испытуемых при их сравнении с исходным (спокойным) состоянием. Высказывается необходимость применения других критериев оценки холодового стресса в психофизиологии. Такие новые подходы сейчас нами выполняются в рамках теории хаоса-самоорганизации. В итоге мы получили отсутствие изменений параметров энтропии  $E$ , но при этом параметры квазиаттракторов ( $S$ ) для треморограмм изменялись существенно. Это доказывает уникальность теории хаоса-самоорганизации и открывает новые возможности использования этой новой теории в психологии и психофизиологии. Объективная оценка стресс – реакции человека на внешние агенты – очень сложная задача для количественного описания и моделирования. В рамках теории хаоса – самоорганизации это сейчас становится возможным. В этом случае эффект Еськова-Зинченко будет регистрироваться только с позиций квазиаттракторов и матриц парного сравнения выборок с расчётом числа совпадений  $k$ .

**Ключевые слова:** тремор, хаос, энтропия, квазиаттракторы, холодовой стресс.

The local limb cooling provides the special psychophysiology reaction as alteration of tremor parameters. Shannon's entropy after limb cooling is researched. The efficacy of such approaches for quantity estimation according to Eskov-Zinchenko effect at biomechanics is presented. Entropy  $E$  value and quasi-attractor parameters for one person with multi repetition of tremor registration ( $N=225$  repetition) is shown. All these 15 samples with 15 series (registration of tremorogramm of one person) present the stable value of  $E$  and quasi-attractor sequence for 225 repetitions. When the Lorenz attractors demonstrate mixing property the invariant means correspond the determined chaos. But the stress perturbation (5 min. cooling of limb in water  $t = 5$  °C) does not change the  $E$  value. Three groups of subjects do not present the distinction between groups without stress and after cooling of limb. So it is necessary to construct the new theory for cooling stress (not stochastic approach) in psychophysiology. The new approaches is realized according to the new theory of self-organization chaos. As a result,  $E$  entropy parameters are not obtained while the quasi-attractor ( $S$ ) parameter for termograms differ significantly. This proves the uniqueness of self-organization chaos theory, and opens up new opportunities to use this new theory in psychology and psychophysiology. Objective evaluation of stress – the human response to external agents – is a very difficult task for the quantitative description and simulation. As part of chaos theory self-organizing it now becomes possible. In this case, Eskov-Zinchenko effect will be recorded only regarding quasi-attractors and matrix of pairwise comparison of samples with the calculation of  $k$  matches.

**Keywords:** tremor, chaos, entropy, quasi-attractors, cooling stress.

Эффект Н.А. Бернштейна по выявлению особенностей организации движений с позиций «повторение без повторений», открыл новую эпоху в изучении сложных систем – *complexity*. До настоящего времени этот эффект никем так и не был изучен и не смоделирован. Постуральный тремор сейчас с позиций новой, разрабатываемой нами теории хаоса-самоорганизации (ТХС) реально представляет наглядный пример организации движений

без повторений (Еськов, 2015, 2016а, 2016б; Майстренко, 2009; Русак, 2014; Филатова, 2015). Эта проблема сейчас нами расширена до понимания произвольных и непроизвольных движений и роли хаоса в организации любых видов движения (Гавриленко, 2013, 2015; Добрынина, 2015; Дудин, 2011; Еськов, 2013, 2015). Одновременно, такой подход может служить связующим звеном при переходе от движения физическое к движению абстрактному в фазовом

пространстве состояний (ФПС) вектора состояния  $x = x(t) = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T$  любой биомеханической системы. В настоящее время хаотические биомеханические системы обычно представляют в рамках детерминированного хаоса как особый вид движения, которое совершенно некорректно описывать в рамках традиционной статистики, столь широко распространённой в психологии (Адайкин, 2007; Ануфриев, 2008; Гавриленко, 2013; Еськов, 2004).

Попытки построения детерминистских и стохастических моделей в изучении биомеханических процессов (в частности теппинга или тремора) неизбежно приводят к изучению возможности моделирования хаотической динамики и постурального тремора, и теппинга. При этом возникает одна из фундаментальных задач психологии: чем произвольное движение отличается от непроизвольного? Ответ на этот вопрос касается и психологов, и физиологов, что сближает позиции этих двух наук. Решение этой проблемы – ключ к пониманию особенностей гомеостаза и эволюции любых биосистем – *complexity* (Еськов, 2004, 2010а, 2010б, 2012, 2013), в нашем случае речь идёт о психологическом гомеостазе как сохранении стабильного психического состояния.

В новом эффекте Еськова-Зинченко численно доказывается почему любой интервал треморограммы (ТМГ) будет уникальным и неповторимым. Это описывается в эффекте Еськова – Зинченко не только для выборок ТМГ, но и их амплитудно-частотных характеристик (АЧХ), автокорреляционных функций  $A(t)$  и фрактальных размерностей. Иными словами, ТМГ и ее любой участок будут уникальны и неповторимы, а любой анализ этого участка с позиции стохастического подхода будет применим только для конкретного интервала времени  $\Delta t$ . В другой момент времени все статистические параметры будут другими и, соответственно, мы будем получать другие результаты стохастического анализа как ТМГ, так и других видов движения (на других интервалах времени  $\Delta t_1, \Delta t_2, \dots, \Delta t_n$ ) (Гавриленко, 2013, 2015; Добрынина, 2015; Дудин, 2011; Еськов, 2013, 2015; Еськов, 2012, 2013, 2015а, 2015б, 2016а, 2016б).



**Валерий Матвеевич Еськов** – доктор физико-математических наук, доктор биологических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, заведующий лабораторией биокибернетики и биофизики сложных систем Института естественных и технических наук Сургутского государственного университета Ханты-Мансийского автономного округа – Югры  
E-mail: valery.eskov@gmail.com



**Юрий Петрович Зинченко** – академик и вице-президент РАО, главный ученый секретарь президиума РАО, президент РПО, доктор психологических наук, профессор, заведующий кафедрой методологии психологии, декан факультета психологии МГУ имени М.В. Ломоносова.  
E-mail: dek@psy.msu.ru



**Михаил Александрович Филатов** – доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой биофизики и нейрокибернетики Института естественных и технических наук Сургутского государственного университета Ханты-Мансийского автономного округа – Югры  
E-mail: filatovmik@yandex.ru



**Татьяна Владимировна Стрельцова** – аспирант кафедры биофизики и нейрокибернетики Института естественных и технических наук Сургутского государственного университета Ханты-Мансийского автономного округа – Югры  
E-mail: stv@no.surgu.ru

Все статистические характеристики любых движений будут показывать разные статистические функции  $f(x)$ , разные их АЧХ,  $A(t)$ , другие характеристики. Тогда возникает базовый вопрос: может ли сознание человека точно управлять процессом движения (или где граница произвольности?) и какова роль ВНД? Ответы на эти вопросы для психологии имеют фундаментальное значение. Это понимал Н.А. Бернштейн, но количественное изучение движений «без повторов» было сделано только в наше время (Ануфриев, 2008; Гавриленко, 2013; Еськов, 2016; Филатова, 2015).

### 1. Оценка статичности тремора в рамках энтропийного подхода

Исследования проводились на базе Сургутского государственного университета (СурГУ) в период 2014 – 2015 годов. Во все три группы входили студенты СурГУ (мужского и женского пола), средний возраст 21 год в каждой группе (студенты старших курсов).

Сразу отметим, что при квантовании треморограмм мы получали некоторые выборки координат  $x_i = x_i(t)$ , которые представляли положение пальца в пространстве по отношению к датчику регистрации координаты  $x_i$  (положение пальца в пространстве). Регистрировался набор дискретных величин  $x_i$ , т.е. выборки треморограмм  $x_i$ , как непрерывно изменяющихся координат. Эти выборки  $x_i$  для каждого интервала  $\Delta t_j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ , где  $n = 15$  обычно в наших исследованиях) статистически обрабатывались. Далее  $x_i(t)$  дифференцировался, т.е. находилась скорость движения конечности  $x_2(t) = dx_1/dt$  и получался вектор  $x(t) = (x_1, x_2)^T$ , в таком двумерном фазовом пространстве. Причём  $x_1$  и скорость  $x_2$  с позиций физики образовывали сопряжённые координаты (Гавриленко, 2013; Еськов, 2016а, 2016б) для некоторого вектора  $x = x(t) = (x_1, x_2)^T$  в двумерном фазовом пространстве состояний (ФПС).

Вся установка включала в себя токовихревой датчик (1), усилители сигнала, аналого-цифровой преобразователь – АЦП и ЭВМ, которая кодировала и сохраняла информацию для каждого интервала  $\Delta t_j$  в виде отдельных файлов (выборки  $x_i$ ) с реальной длительностью  $T = 5$  сек для каждой треморограммы.

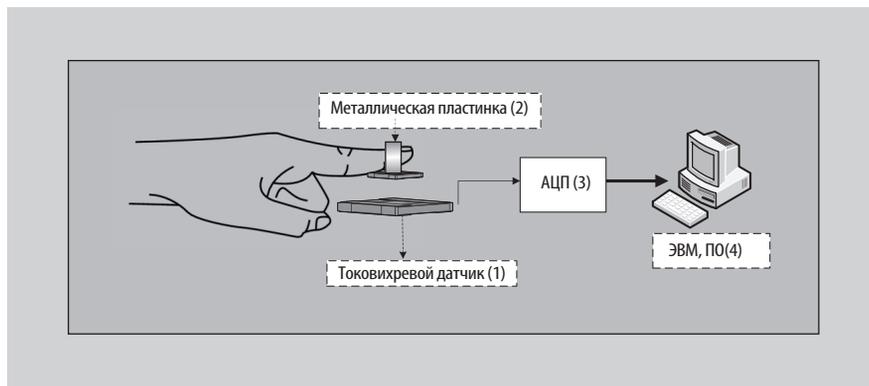


Рис 1. Схема биоизмерительного комплекса регистрации тремора и теппинга

Fig 1. Bioinstrumentation complex of registering tremor and tapping

Металлическая пластинка (2), которая крепилась к пальцу, обеспечивала регистрацию  $\Delta x_i$  с точностью, 0,1 мм в частном диапазоне от 0 Гц до 1000 Гц, что весьма затруднительно для акселерометрических датчиков (или других типов регистраторов).

В целом, мы сейчас говорим о высокоточной регистрации как по  $x_1$ , так и по частотному диапазону, что позволяет оперировать координатой  $x_1$  и скоростью  $x_2$  с высокой точностью (сравнительно с другими работами). Для обработки полученных файлов (выборок  $x_1$  и  $x_2 = x_2(t)$ ) первоначально использовались методы статистики (*Statistica* – 6) для получения статистических функций  $f(x)$  (обычно это были непараметрические распределения) а затем определяли АЧХ и  $A(t)$ . Одновременно рассчитывались площади квазиаттракторов вектора  $x(t) = (x_1, x_2)^T$ , в виде  $S = \Delta x_1 \cdot \Delta x_2$ , где  $\Delta x_1$  – вариационный размах треморограммы.

Одновременно использовался один из методов стохастики, широко применяемой в теории информации и термодинамике, в виде расчета значения энтропии Шеннона. Энтропия Шеннона связана с распределением вероятностей амплитуд колебаний движения. Фактически, это мера упорядоченности выборок  $x_i$  – компонент вектора состояния системы  $x(t)$  в фазовом пространстве состояний (ФПС). Характерно, что для странных аттракторов их  $f(x)$  для разных  $\Delta t_j$  получаются практически одинаковыми, что для ТМГ невозможно в принципе и это (неповторяемость  $f(x)$ , АЧХ и  $A(t)$ ) составляет сейчас основу эффекта Еськова-Зинченко (Еськов, 2015;

Еськов, 2004, 2010, 2012, 2013, 2015а, 2015б).

Формальное определение энтропии для независимых случайных событий  $x$  с  $n$  возможными состояниями (от 1 до  $n$ ,  $p$  – функция вероятности) рассчитывается по формуле:

$$H(x) = - \sum_{i=1}^n p(i) \log_2 p(i).$$

где  $p$  – функция вероятности. Для равномерного распределения (как мы проверили экспериментально) обычно число  $k$  повторов выборок  $E$  бывает  $k \approx 98\%$ , что отлично от ТМГ при расчёте выборок в режиме неизменного психического и физиологического гомеостаза. Отдельно, нами производилось сравнение значений  $E$  с особенностями функциональных состояний испытуемых. Это делалось для учёта возможных влияний высшей нервной деятельности (ВНД) на параметры ТМГ (Еськов, 2012, 2013, 2015а, 2015б, 2016а, 2016б).

Главное во всех наших исследованиях – это многочисленные повторы измерений у одного и того же человека, находящегося в условиях одинакового или разного гомеостаза. При этом можно считать, что психическое состояние испытуемого не изменяется во всех 15-ти сериях повторов (по 15-ти выборок ТМГ в каждой серии), т.е. мы можем говорить о сохранении одинакового психического гомеостаза (ПГ). Разработка критериев идентификации ПГ и составляет основу наших всех усилий, т.е. разработки и применения ТХС в психологии. Итого, в первой части исследования мы имели всего 225 выборок

(по 15 серий). Для каждого испытуемого, находящегося в условиях разной адаптации к холодным воздействиям (1-я группа без закаливания, 2-я группа – 1 год и 3-я группа – 2 года закаливания), в качестве теста было предложено погружение в воду с  $t = 4$  °С. Результаты таких испытаний (для одного человека) представлены в табл. 1, где мы демонстрируем матрицу статистической обработки поведения площади  $S$  квазиаттракторов измеряемых треморограмм всех 15-ти серий испытаний до предъявления стресс-агента (охлаждения) (Добрынина, 2015; Дудин, 2011; Еськов, 2013, 2015; Еськов, 2004, 2016а, 2016б, Майстренко, 2009).

**Таблица 1.** Результаты статистической обработки динамики поведения  $S^*10-6$  – площади квазиаттракторов для тремора одного и того же человека для 225 выборок ( $n = 15$  экспериментов по  $N = 15$  выборок в каждом)

**Table 1.** The results of statistical processing of the  $S^*10-6$  dynamic behavior - Square quasi-attractors for tremor of the same person for 225 samples ( $n = 15$  experiments,  $N = 15$  samples in each)

№	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15
1	1.57	3	2.46	4.13	1.07	1.94	1.37	2.86	1.74	1.02	1.24	1.05	1.56	0.55	0.14
2	1.33	1.34	2.72	2	2.2	1.99	0.81	3.27	1.9	2.2	1.53	1.31	2.59	1.43	5.78
3	1.7	1.61	1.89	3.99	1.6	0.79	1.49	1.99	1.88	1.86	1.45	1.35	4.83	0.55	9.38
4	1.17	1.36	4.36	2.22	1.64	1.61	1.01	1.46	1.6	2.26	2.86	1.47	2.03	1.03	3.48
5	0.87	1.34	3.06	1.5	3.16	1.04	1.26	4.82	1.3	1.07	1.31	1.91	1.9	1.24	3
6	2.93	1.5	2.82	1.06	4.07	1.08	1.13	6.79	1.69	1.8	1.17	3.84	2.7	1.51	3.8
7	2.08	1.86	5.49	1.25	3.33	5.96	0.51	2.56	0.98	1.62	1.48	1.78	1.6	0.93	2.52
8	0.89	4.2	2	1.32	1.9	3.63	0.98	1.94	1.24	1.1	0.50	1.2	0.97	2.07	4.17
9	0.79	1.74	2.76	1.06	1.1	1.82	0.73	1.49	1.67	1.35	0.83	1.39	0.90	1.42	4.67
10	2.03	1.65	1.42	1.94	0.56	2.15	0.79	2	1.25	2.72	0.46	1.3	1.95	0.49	4.22
11	3.31	2.75	2.88	1.81	2.22	1.46	2.05	3.54	2.82	1.39	0.79	3.15	0.96	2.21	0.90
12	0.97	1.55	1.25	0.85	1.86	0.85	1.02	1.42	1.79	2.02	1.63	2.57	1.29	1.19	6.22
13	1.31	0.73	3.78	1.17	1.54	1.15	1.42	4.01	2.15	1.87	3.18	1.53	1.18	1.02	2.56
14	1.87	1.29	1.94	1.72	2.16	2.36	2.35	1.81	2.07	1.17	0.62	1.38	1.11	3.22	5
15	1.19	0.67	1.9	1.03	0.95	1.96	1.64	2.71	2.07	0.65	0.81	1.41	0.68	2.39	2.4
<S>	1.6	1.77	2.71	1.8	1.96	1.99	1.24	2.84	1.74	1.61	1.33	1.78	1.75	1.42	4.86

Эти многократные повторы с одной стороны выполняли требования «повторений» Н.А. Бернштейна (в его эффекте «повторение без повторений») и позволяли оценить количественно устойчивость параметров ТМГ, оценить само понятие *психического гомеостаза* – ПГ, насколько этот гомеостаз статичен с позиций традиционной стохастичности. В табл. 1 мы представляем результаты расчёта всех 15-ти серий измерений  $S$  для квазиаттракторов по 15-ти выборкам в каждой серии. Итого мы имеем 225 разных (!) выборок значений площади квазиаттракторов  $S$  для одного и того же испытуемого. Такое многократное повторение опытов с испытуемым, находящимся в одном

гомеостазе, раскрывает нам сущность самого *психического гомеостаза* (ПГ) и особенности поведения квазиаттракторов при одинаковом гомеостазе. Это составляет основу первой части наших исследований в области устойчивости параметров квазиаттракторов для одного ПГ испытуемого.

Для идентификации существенных или несущественных различий в повторяющихся сериях опытов для полученных 225 выборок расчётов также значения энтропии Шеннона  $E$  (разделенных на  $N = 15$  серий по  $n = 15$  выборок ТМГ в каждой) и строилась матрица парного сравнения этих всех  $n$  выборок энтропий (число серий  $N = 15$ ) для одного и того же испытуемого. Результаты такого сравнения показали, что число совпадений пар вы-

в нашем случае с ТМГ мы с исходными выборками треморограмм этого не имеем. Обычно для ТМГ мы в подобных матрицах имеем число совпадений не более  $k \approx 5\%$ . В этом заключается эффект Еськова-Зинченко, когда число статистических совпадений выборок ТМГ или теппинграмм невелико и мы имеем хаотическую динамику самих *функций распределения*  $f(x)$ . Выборки не могут быть повторяемыми, мы имеем «повторение без повторений» Н.А. Бернштейна. Суммарные значения числа пар совпадений выборок  $k$  для всех 15-ти серий представили для тремора устойчивость (статистическую) числа совпадений выборок. Общее число совпадений показало среднее значение  $\langle k \rangle$  для всех пятнадцати выборок  $k$  в пределах  $\langle k \rangle \leq 5\%$ .

Таким образом, становится очевидным, что энтропия  $E$  даёт почти абсолютную статистическую устойчивость ( $k_s = 100$ ) а квазиаттракторы несколько ниже ( $\approx 70\%$ ), при психическом гомеостазе (в задачах регуляции тремора), а число совпадений выборок самих треморограмм для  $k$  при 15-ти сериях опытов тоже даёт высокую степень устойчивости этих  $k$  для ТМГ. Однако при этом сами выборки ТМГ очень далеки от стохастичности ( $k \approx 5\%$ ).

В целом, энтропия Шеннона  $E$  не даёт существенных различий для повторов измерения ТМГ подряд от одного испытуемого (100 совпадений пар из 105 разных) в сравнение с повторением самой энтропии. Если система находится в условном статическом состоянии (в гомеостазе регуляции тремора), то выборки повторить два раза подряд (произвольно!) совершенно невозможно, хаотически иногда происходят повторения отдельных выборок. Этот вывод составил основу эффекта Еськова-Зинченко в условиях многократных повторов испытаний одного человека в одном гомеостазе (Добрынина, 2015; Дудин, 2011; Еськов, 2013, 2015; Еськов, 2004, 2010а, 2010б, 2012, 2013, 2015а, 2015б, 2016а, 2016б; Майстренко, 2009; Русак, 2014; Филатова, 2015).

## 2. Локальные охлаждения как стресс – агент: энтропийный подход в оценке треморограмм

Можно ли объективно зарегистрировать изменения психического гомеостаза по параметрам ТМГ? Одновременно к этому возникает и закономерный второй вопрос – можно ли создать условия, при которых  $k$  изменяются, система регуляции тремора перейдёт в другой гомеостаз? В данном параграфе рассматривается влияние локального холодного воздей-

борок (т.е. возможность их отнесения к одной генеральной совокупности)  $k=100$ . Такое же количество числа совпадений получается и для детерминированного хаоса (выборки, полученные с помощью стандартного хаотического генератора чисел), т.е. мы имеем почти абсолютную статистическую устойчивость для  $E$  при одном ПГ. Для квазиаттракторов  $k = 68$ , что больше 50 % но меньше, чем у  $E$ .

Для хаоса всегда мы получаем одинаковое равномерное распределение (инвариантность мер). Хаотические выборки всегда демонстрируют 97-99 % совпадений и имеют равномерное распределение, что демонстрирует динамический хаос Лоренца-Арнольда. Однако в

ствия на параметры нервно – мышечной системы (НМС) человека (треморграммы) у 3-х групп испытуемых (1-я группа из 15-ти человек, не закаливающихся; 2-я группа из 15-ти человек, закаливающихся менее года; 3-я группа из 15-ти человек, закаливающихся более 2-х лет). Для каждого испытуемого производилась регистрация параметров ТМГ до и после локального охлаждения кисти, как стресс-воздействия. Очевидно, что охлаждение кисти вызывает определённый психогенный стресс и возмущение психического гомеостаза (наряду с физиологическими изменениями в самой НМС, т.е. это комплексное воздействие на психику и НМС). Для охлаждения кисть помещалась в воду с  $t = 4\text{ }^{\circ}\text{C}$  (до субъективной потери чувствительности на время  $\tau = 2$  мин). При этом охлаждении регистрировались стандартно (за  $\tau = 5$  сек.) треморограммы и затем для каждой полученной выборки производился расчет энтропии Шеннона  $E$ . В этом случае мы не использовали повтор измерений, а работали с группой в целом (Еськов, 2010, 2012, 2013, 2015а, 2015б).

Отметим, что всегда для тремора у любого человека (если нет нарушений двигательных функций) мы имеем небольшие вариации энтропии  $E$ , что доказывает табл. 2. Поэтому использование группы из разных испытуемых или опыта с одним испытуемым дают несущественные различия. Однако, имеет значение психический статус испытуемого или изменение его функционального гомеостаза. В нашем случае мы сейчас имеем сочетанные изменения и психики (стрессовая ситуация), и физиологических параметров НМС. В целом, очень часто бывает весьма сложно чётко разделить доминанты ВНД или специфику физиологии периферической НМС, т.к. изменения на периферии всегда вызывают изменения и в ЦНС (ВНД всегда реагирует). Мы считаем, что это приемлемо именно для психофизиологии, которая и должна сочетать учёт психических и физиологических функций человека (Адайкин, 2007; Ануфриев, 2008; Бернштейн, 1947; Гавриленко, 2013, 2015; Добрынина, 2015; Дудин, 2011; Еськов, 2013, 2015).

Как видно из таблицы 2, первая группа испытуемых показала динамику (после локального охлаждения конечности) в сторону небольшого увеличения энтропии Шеннона ( $E_{\text{до}} = 3,76$ ,  $E_{\text{после}} = 3,79$ ). Однако, такие изменения, как показали наши расчёты, статистически не могут быть выявлены. Лица, не занимающиеся закаливанием организма, образовали эту первую

**Таблица 2.** Результаты статистической обработки динамики поведения  $E$  – энтропии Шеннона для тремора до и после локального холодого воздействия (до-после) для трех групп испытуемых (1-я группа – 15 человек не закаливающихся, 2-я группа – 15 человек закаливающихся менее года, 3-я группа – 15 человек закаливающихся более 2-х лет)

№	1 группа – E1		2 группа – E2		3 группа – E3	
	до	после	до	после	до	после
1	3,86	3,81	3,68	3,67	3,67	3,73
2	3,40	4,05	3,89	3,48	3,83	3,54
3	3,75	3,89	3,86	4,08	3,78	3,59
4	3,75	4,05	3,67	3,81	4,13	3,59
5	3,81	3,97	3,59	3,94	3,57	3,68
6	3,75	3,75	3,92	3,64	3,81	3,54
7	3,60	3,48	4,13	3,56	3,89	3,68
8	4,16	3,78	3,86	3,64	3,64	3,68
9	3,86	3,65	3,81	3,62	3,62	3,83
10	3,89	3,54	3,51	3,67	3,80	3,59
11	3,65	3,84	3,89	4,02	3,88	4,00
12	3,70	3,94	3,75	3,78	3,59	3,54
13	3,94	3,62	3,68	3,35	3,65	3,97
14	3,64	3,75	3,84	3,78	3,86	3,81
15	3,59	3,62	3,78	3,73	3,56	3,67
<E>	3,76	3,79	3,79	3,72	3,75	3,70

Примечание:  $E$  – значение энтропии Шеннона, <E> – среднее значение энтропии Шеннона

**Table 2.** The results of statistical processing of the dynamic behavior of  $E$  - Shannon entropy of tremor before and after local cold exposure (pre-post) for the three test groups (group 1 - 15 people not quenched, Group 2 - 15 people hardenable less than a year, 3-1 group - 15 people hardenable more than 2 years)

#	1 Group – E1		2 Group – E2		3 Group – E3	
	Before	After	Before	After	Before	After
1	3.86	3.81	3.68	3.67	3.67	3.73
2	3.40	4.05	3.89	3.48	3.83	3.54
3	3.75	3.89	3.86	4.08	3.78	3.59
4	3.75	4.05	3.67	3.81	4.13	3.59
5	3.81	3.97	3.59	3.94	3.57	3.68
6	3.75	3.75	3.92	3.64	3.81	3.54
7	3.60	3.48	4.13	3.56	3.89	3.68
8	4.16	3.78	3.86	3.64	3.64	3.68
9	3.86	3.65	3.81	3.62	3.62	3.83
10	3.89	3.54	3.51	3.67	3.80	3.59
11	3.65	3.84	3.89	4.02	3.88	4.00
12	3.70	3.94	3.75	3.78	3.59	3.54
13	3.94	3.62	3.68	3.35	3.65	3.97
14	3.64	3.75	3.84	3.78	3.86	3.81
15	3.59	3.62	3.78	3.73	3.56	3.67
<E>	3.76	3.79	3.79	3.72	3.75	3.70

Note:  $E$  - the value of the Shannon entropy, <E> - the average value of the Shannon entropy

группу, которая, очевидно, имеет и другие физиологические параметры, и психические (при реакции на стрессорное воздействие – охлаждение кисти). Вторая группа наблюдения представлена людьми более тренированными к холодному стрессу, использующими закаливающие процедуры менее 1 года. Третья группа наблю-

дения – закаливающиеся на протяжении длительного времени (более 2-х лет). Очевидно, что вторая и третья группы показали обратную динамику в сторону уменьшения (хотя и статистически незначимо) значения энтропии: для второй группы ( $E_{\text{до}} = 3,79$ ,  $E_{\text{после}} = 3,72$ ), для третьей группы ( $E_{\text{до}} = 3,75$ ,  $E_{\text{после}} = 3,70$ ).

Это характерные изменения  $E$  в результате холодового воздействия у людей, которые адаптируются к холоду. Очевидно, что с позиций теоремы Глендсдорфа-Пригожина мы не получили существенных изменений  $E$ , т.е. скорость изменения (прироста) энтропии  $P = dE/dt$  у нас почти нулевая (с позиций статистики). При уходе из положения равновесия, ВНД, психический гомеостаз не показывают изменение энтропии  $E$ . Согласно базовой теореме термодинамики неравновесных систем, мы в точке равновесия (покое) должны иметь  $E \rightarrow \max$  и  $dE/dt \rightarrow 0$ . При уходе от равновесия  $E$  должно убывать (у нас для разных групп получается разная динамика  $E$ ), а  $dE/dt$  должно нарастать (у нас она статистически не изменяется, т.к.  $dE/dt = 0$ ). Это характеризует возможности стохастики и ТХС в оценке физиологических эффектов тремора при холодовом стрессе, когда точно известно об изменении ПГ (возникают болевые ощущения).

Из полученных результатов значений энтропии Шеннона, можно видеть, что при выходе организма из стационарного состояния (т.е. гомеостаза) изменение величин энтропий  $E$  происходит в сотых или в десятых долях значений. Это говорит о слабой чувствительности

метода расчета  $E$  при использовании стохастических подходов для измерения параметров гомеостаза и сложных биосистем (*complexity*). Низкая чувствительность энтропии  $E$  может не показать различий в состоянии системы регуляции тремора при физических воздействиях на испытуемого или эти различия будут статистически недостоверны (что мы и имеем в табл. 2). Оценка стрессорных холодовых эффектов и изменений в периферическом звене *нервно-мышечной системы* – НМС следует производить другими методами. Мы предлагаем использовать матрицы парных сравнений самих выборок ТМГ или производить расчёт параметров квазиаттракторов (КА) для сравниваемых ТМГ (Еськов, 2010а, 2010б, 2012, 2013, 2015а, 2015б, 2016а, 2016б, Майстренко, 2009; Русак, 2014).

#### Выводы

1. Психический гомеостаз (как требование неизменности состояния психических функций человека), о котором впервые начал говорить Н.А. Бернштейн при изучении организаций движений (Бернштейн, 1947), можно оценивать энтропией Шеннона  $E$  в режиме многократных повторений

тремора. При этом  $E$  как оказалось, не изменяется существенно, если гомеостаз не изменяется. Получаемые выборки для  $E$  дают почти 95% совпадений их статистических функций  $f(x)$ . Этого нельзя сказать про сами выборки ТМГ, которые хаотически и непрерывно изменяются вместе с их (ТМГ) статистическими функциями  $f(x)$ .

2. Расчет энтропий Шеннона  $E$  может быть использован в оценке адаптивных изменений в системе регуляции тремора (к холодовым стрессорным воздействиям), но он обладает слабой чувствительностью и с позиций стохастики может быть вообще не применим для оценки холодового стресса. Требуются другие методы и критерии оценки холодового стресса и других изменений психического гомеостаза.

3. Оценка стрессорных изменений по параметрам треморограмм с помощью энтропии  $E$  не даёт существенных результатов. Это означает, что теорема Глендсдорфа-Пригожина для биомеханических систем не применима, скорость изменения энтропии  $P = dE/dt = 0$  при условии, что система регуляции тремора выходит из состояния равновесия (психического гомеостаза).

#### Литература

- Адайкин В.А., Еськов В.М., Добрынина И.Ю., Дроздович Е.А., Полухин В.В. Оценка хаотичной динамики параметров вектора состояния организма человека с нарушениями углеводного обмена // Вестник новых медицинских технологий. – 2007. – Т. 14. – № 3. – С. 17-19.
- Ануфриев А.С., Еськов В.М., Назин А.Г., Полухин В., Третьяков С.А., Хадарцева К.А. Медико-биологическая трактовка понятия стационарных режимов биологических динамических систем // Вестник новых медицинских технологий. – 2008. – Т. 15. – № 1. – С. 29-32.
- Бернштейн Н.А. О построении движений - М.: Медгиз, 1947. – 254с.
- Гавриленко Т.В., Баженова А.Е., Балтикова А.А., Башкатова Ю.В., Майстренко Е.В. Метод многомерных фазовых пространств в оценке хаотической динамики тремора // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. – 2013. – № 1. – С. 5.
- Гавриленко Т.В., Горбунов Д.В., Эльман К.А., Григоренко В.В. Возможности стохастики и теории хаоса в обработке миограмм // Сложность. Разум. Постнеклассика. – 2015. – № 1. – С. 48-53.
- Добрынина И.Ю., Горбунов Д.В., Козлова В.В., Синенко Д.В., Филатова Д.Ю. Особенности кардиоинтервалов: хаос и стохастика в описании сложных биосистем // Вестник новых медицинских технологий. – 2015. – Т. 22. – № 2. – С. 19-26.
- Дудин Н.С., Русак С.Н., Хадарцев А.А., Хадарцева К.А. Новые подходы в теории устойчивости биосистем – альтернатива теории А.М. Ляпунова // Вестник новых медицинских технологий. – 2011. – Т. 18. – № 3. – С. 336.
- Еськов В.В., Вохмина Ю.В., Гавриленко Т.В., Зимин М.И. Модели хаоса в физике и теории хаоса-самоорганизации // Сложность. Разум. Постнеклассика. – 2013. – № 2. – С. 42-56.
- Еськов В.В., Гараева Г.Р., Синенко Д.В., Филатова Д.Ю., Третьяков С.А. Кинематические характеристики движения квазиаттракторов в оценке лечебных эффектов кинезотерапии // Вестник новых медицинских технологий. – 2015. – Т. 22. – № 1. – С. 128-136.
- Еськов В.М., Еськов В.В., Живогля Р.Н., Попов Ю.М. Фазатон мозга в норме и при патологии // Вестник новых медицинских технологий. – 2004. – Т. 11. – № 4. – С. 5-8.
- Еськов В.М., Еськов В.В., Хадарцев А.А., Филатов М.А., Филатова Д.Ю. Метод системного синтеза на основе расчета межаттракторных расстояний в гипотезе равномерного и неравномерного распределения при изучении эффективности кинезитерапии // Вестник новых медицинских технологий. – 2010а. – Т. 17. – № 3. – С. 106-110.

- Еськов В.М., Брагинский М.Я., Козлова В.В., Майстренко Е.В. Диагностика физиологических функций женщин-пловцов Югры методом расчета матриц межкластерных расстояний // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2010б. – Т. 9. – № 3. – С. 500-504.
- Еськов В.М., Гавриленко Т.В., Дегтярев Д.А., Еськов В.В., Балтикова А.А. Динамика квазиаттракторов параметров произвольных микродвижений конечностей человека как реакция на локальные термические воздействия // Вестник новых медицинских технологий. – 2012. – Т. 19. – № 4. – С. 26-29.
- Еськов В.М., Добрынина И.Ю., Дрожжин Е.В., Живогляд Р.Н. Разработка и внедрение новых методов теории хаоса и самоорганизации в медицину и здравоохранение // Северный регион: наука, образование, культура. – 2013. – № 1 (27). – С. 150-163
- Еськов В.М., Еськов В.В., Филатова О.Е., Филатова Д.Ю. Сравнительная характеристика возрастных изменений сердечно - сосудистой системы населения Севера РФ // Вестник новых медицинских технологий. – 2015а. – Т. 22. – № 3. – С. 15-20.
- Еськов В.М., Полухин В.В., Филатова Д.Ю., Эльман К.А., Глазова О.А. Гомеостатические системы не могут описываться стохастически или детерминированным хаосом // Вестник новых медицинских технологий. – 2015б. – Т. 22. – № 4. – С. 28-33.
- Еськов В.М., Газа Г.В., Майстренко Е.В., Болтаев А.В. Влияние промышленных электромагнитных полей на параметры сердечнососудистой системы работников нефтегазовой отрасли // Экология и промышленность России. – 2016а. – № 1. – С. 59-63.
- Еськов В.М., Еськов В.В., Вохмина Ю.В., Гавриленко Т.В. Эволюция хаотической динамики коллективных мод как способ описания поведения живых систем // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 3. Физ. Астрон. – 2016б. – № 2.
- Майстренко Е.В., Еськов В.М., Майстренко В.И., Берестова А.Ф. Сравнительный анализ параметров функциональной асимметрии полушарий и вегетативной нервной системы учащихся // Информатика и системы управления. – 2009. – № 4. – С. 63-65.
- Русак С.Н., Молягов Д.И., Бикмухаметова Л.М., Филатова О.Е. Биоинформационные технологии в анализе фазовых портретов погодноклиматических факторов в m-мерном пространстве признаков // Сложность. Разум. Постнеклассика. – 2014. – № 3. – С. 24-28.
- Филатова Д.Ю., Вохмина Ю.В., Гараева Г.Р., Синенко Д.В., Третьяков С.А. Неопределенность 1-го рода в восстановительной медицине // Вестник новых медицинских технологий. – 2015. – Т. 22. – № 1. – С. 136-143.

## References:

- Adaykin, V.A., Es'kov, V.M., Dobrynin, I.Yu., Drozdovich, E.A., & Polukhin, V.V. (2007) Evaluation of the chaotic dynamics of the parameters of the state vector of the human body with carbohydrate metabolism disorders. *Journal of New Medical Technologies [Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy]*. Vol. 14, 3, 17-19.
- Anoufrieu, A.S., Es'kov, V.M., Nazin, A.G., Polukhin, V., Tretyakov, S.A., & Khadartseva, K.A. (2008) Medical and biological interpretation of the concept of stationary regimes of biological dynamic systems. *Journal of New Medical Technologies [Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy]*. Vol. 15, 1, 29-32.
- Bernstein, N.A. (1947) On the construction of movements. Moscow, Medgiz, 254.
- Dobrynin, I.Yu., Gorbunov, D.V., Kozlov, V.V., Sinenko, D.V., & Filatov, D.Yu. (2015) Features cardio intervals: chaos and stochastic in the description of complex biological systems. *Journal of New Medical Technologies [Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy]*. Vol. 22, 2, 19-26.
- Dudin, N.S., Rusak, S.N., Khadartsev, A.A., & Khadartseva, K.A. (2011) New approaches in the theory of stability of biosystems – alternative to A.M. Lyapunov's theory. *Journal of New Medical Technologies [Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy]*. Vol. 18, 3, 336.
- Eskov, V.V., Vokhmina, Yu.V., Gavrilenko, T.V., & Zimin, M.I. (2013) Models of chaos in physics and chaos theory, self-organization. *Complexity. Mind. Postnonclassics [Slozhnost'. Razum. Postneklassika]*. 2, 42-56.
- Eskov, V.V., Garayev, G.R., Sinenko, D.V., Filatov, D.Yu., & Tretyakov, S.A. (2015) Kinematic characteristics of quasi-attractors movement in the evaluation of therapeutic effects kinesotherapy. *Journal of New Medical Technologies [Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy]*. Vol. 22, 1, 128-136.
- Eskov, V.M., Eskov, V.V., Zhivoglyadov, R.N., & Popov, Yu.M. (2004) Fazaton brain in normal and pathological conditions. *Journal of New Medical Technologies [Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy]*. Vol. 11, 4, 5-8.
- Eskov, V.M., Eskov, V.V., Khadartsev, A.A., Filatov, M.A., & Filatov, D.Yu. (2010a) System synthesis method based on the calculation of distances mezhattraktornykh in the hypothesis of uniform and non-uniform distribution in the study of the effectiveness of kinesotherapy. *Journal of New Medical Technologies [Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy]*. Vol. 17, 3, 106-110.
- Eskov, V.M., Braginsky, M.Ya., Kozlov, V.V., & Maystrenko, E.V. (2010b) Diagnostics of the physiological functions of female swimmers Ugra method of calculating the matrix of inter-cluster distances. *System analysis and control in biomedical systems [Sistemnyy analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh]*. Vol. 9, 3, 500-504.
- Eskov, V.M., Gavrilenko, T.V., Degtyarev, D.A., Eskov, V.V., & Baltikova, A.A. (2012) The dynamics of quasi-attractors parameters involuntary micro-movements of human limbs in response to local thermal effects. *Journal of New Medical Technologies [Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy]*. Vol. 19, 4, 26-29.
- Eskov, V.M., Dobrynin, I.Yu., Drozhzhin, E.V., & Zhivoglyadov, R.N. (2013) Development and introduction of new methods of chaos theory and self-organization in the medicine and health. *Northern region: science, education, culture [Severnnyy region: nauka, obrazovanie, kul'tura]*. 1 (27), 150-163.
- Eskov, V.M., Eskov, V.V., Filatova, O.E., & Filatova, D.Yu. (2015a) Comparative characteristics of age-related changes of cardio - vascular system of the people of the North of Russia. *Journal of New Medical Technologies [Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy]*. Vol. 22, 3, 15-20.
- Eskov, V.M., Polukhin, V.V., Filatov, D.Yu., Elman, K.A., & Glazov, O.A. (2015b) Homeostatic systems cannot be described by a stochastic or determined chaos. *Journal of New Medical Technologies [Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy]*. Vol. 22, 4, 28-33.
- Eskov, V.M., Gazya, G.V., Maystrenko, E.V., & Boltaev, A.V. (2016a) The impact of electromagnetic fields on the industrial parameters of the cardiovascular system of workers of oil and gas industry. *Ecology and Industry of Russia [Ekologiya i promyshlennost' Rossii]*. 1, 59-63.
- Eskov, V.M., Eskov, V.V., Vokhmina, Yu.V., & Gavrilenko, T.V. (2016b) The evolution of chaotic dynamics of collective modes as a way to describe the behavior of living systems. *Bulletin of Moscow University [Vestnik Moskovskogo universiteta]*. Series 3, Astron, 2.
- Filatov, D.Yu., Vokhmina Yu.V., Garayev, G.R., Sinenko, D.V., & Tretyakov, S.A. (2015) The uncertainty of the 1st kind in regenerative medicine. *Journal of New Medical Technologies [Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy]*. Vol. 22, 1, 136-143.

- Gavrilenko, T.V., Bazhenova, A.E., Baltikova, A.A., Bashkatova, Yu.V., & Maystrenko, E.V. (2013) The method of multidimensional phase spaces in assessing the dynamics of chaotic tremor. *Journal of New Medical Technologies [Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy]*. The electronic edition. 1, 5.
- Gavrilenko, T.V., Gorbunov, D.V., Elman, K.A., & Grigorenko, V.V. (2015) Features stochastics and chaos theory in processing myograms. *Complexity. Mind. Postnonclassics [Slozhnost'. Razum. Postneklassika]*. 1, 48-53.
- Maystrenko, E.V., Eskov, V.M., Maystrenko, V.I., & Berestovaya, A.F. (2009) A comparative analysis of the parameters of the functional asymmetry of the hemispheres and the autonomic nervous system of students. *Informatics and control systems [Informatika i sistemy upravleniya]*. 4, 63-65.
- Rusak, S.N., Molyagov, D.I., Bikmukhametova, L.M., & Filatov, O.E. (2014) Bioinformatic analysis of the technology in the phase portraits of climatic factors in the m-dimensional feature space *Complexity. Mind. Postnonclassics [Slozhnost'. Razum. Postneklassika]*. 3, 24-28.