

ЭРГОДИЧНОСТЬ СИСТЕМ ТРЕТЬЕГО ТИПА

А.А. ХАДАРТЦЕВ¹, Ю.П. ЗИНЧЕНКО², В.А. ГАЛКИН³, Л.С. ШАКИРОВА⁴¹ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», медицинский институт, ул. Болдина, д. 128, г. Тула, 300012, Россия²ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова», Ленинские горы, 1, Москва, Россия, 119991³ФГУ ФНЦ Научно-исследовательский институт системных исследований Российской Академии наук, пр-т Нахимовский, 36, Москва, Россия, 117218⁴ТОУ Роспотребнадзора по ХМАО-Югре в г. Сургуте и Сургутском районе, ул. Республики, 75/1, Сургут, Россия, 628408

Аннотация. Группа ученых из Стэнфордского университета доказала участие неперiodических нейронов в организации периодических движений и наоборот. Цель исследования: доказательство отсутствия любой периодичности в организации движений на уровне центральной нервной системы и работы мышц. У группы из 15-ти человек регистрировались электроэнцефалограммы (в спокойном состоянии) и электромиограммы при различных напряжениях *abductor digiti nova*. Процедура регистрации этих биопотенциалов повторялась многократно и полученные выборки попарно сравнивались в матрицах парного сравнений (выборки электроэнцефалограмм и электромиограмм). В результате были построены 15 матриц парных сравнений выборок (электроэнцефалограмм и 225 матриц парных сравнений электромиограмм, в которых находилось число пар выборок, имеющих одну (общую) генеральную совокупность. Оказалось, что такие числа k имеют крайне малые значения. Выводы: динамика поведения биопотенциалов мозга и мышц имеет хаотический характер. При этом нейросети менее хаотичны, чем биопотенциалы мышц. В любом случае доля стохастики невелика и это означает завершение дальнейшего применения статистических методов в электрофизиологии.

Ключевые слова: компартиментно-кластерная теория биосистем, нейросети, стохастика, эргодические системы.

ERGODICITY OF THIRD TYPE SYSTEMS

А.А. KHADARTSEV¹, Yu.P. ZINCHENKO², V.A. GALKIN³, L.S. SHAKIROVA⁴¹FSBEI HE "Tula State University", Medical Institute, Boldin Str., 128, Tula, 300012, Russia²Lomonosov Moscow State University, Leninckie Gory, GSP 1, Moscow, Russia, 119991³Federal Science Center Scientific-research Institute for System Studies of the Russian Academy of Sciences, Nakhimovsky pr., 36, Moscow, Russia, 117218⁴TOU Rospotrebnadzor in the Khanty-Mansi Autonomous Okrug-Ugra in the city of Surgut and Surgut district, st. Republic, 75/1, Surgut, Russia, 628408

Abstract. A group of scientists from Stanford University proved the participation of non-periodic neurons in the organization of periodic movements and on the contrary. Objective: to prove the absence of any periodicity in the organization of movements at the level of the central nervous system and muscle work. A group of 15 people recorded electroencephalograms (in a calm state) and electromyograms at various voltages *abductor digiti nova*. The procedure for recording these biopotentials was repeated many times and the obtained samples were compared in pairs in the matrices of pairwise comparisons (samples of electroencephalograms and electromyograms). As a result, 15 matrices of pairwise comparisons of samples (electroencephalograms and 225 matrices of pairwise comparisons of electromyograms, which contained the number of pairs of samples having one general population) were constructed. It turned out that such numbers k has extremely small values. Conclusions: dynamics of the behavior of brain biopotentials and muscles has a chaotic character. At the same time, neural networks are less chaotic than muscle biopotentials. In any case, the proportion of stochastics is small. This fact shows the completion application of statistical methods in electrophysiology.

Key words: compartment-cluster theory of biosystems, neural networks, statistics, ergodic systems.

Введение. В 2012 году группа ученых из Стэнфордского университета представила доказательства того, что в

организации периодических движений участвуют неперiodически работающие нейроны (и наоборот) [20]. В этой связи

возникает глобальная проблема о возможности периодических движений в целом, т.к. еще в 1947 г. Н.А. Бернштейн выдвинул гипотезу о «повторении без повторений» [19].

По мнению Н.А. Бернштейна периодические движения вообще не возможны, т.к. любое движение происходит «без повторений». При этом выдающийся физиолог говорил об интимных механизмах организации движений (на уровне центральной нервной системы, где по его мнению имеется пять систем организации движений: А, В, С, D, Е). В этой связи возникает закономерный вопрос: могут ли нейросети мозга и мышцы генерировать периодически повторяющиеся биопотенциалы? Возможна ли строгая периодичность в генерации электроэнцефалограмм (ЭЭГ) и электромиограмм (ЭМГ)?

Для ответов на эти вопросы мы попытаемся разобраться с позиций возможности каких-либо повторений ЭЭГ и ЭМГ в принципе. Иными словами, мы ставим вопрос о статистической устойчивости выборок ЭЭГ и ЭМГ у одного и того же испытуемого, находящегося в одном (неизменном) физиологическом состоянии.

1. Понятие «повторяемости» в биомедицине.

Следует сразу сказать, что периодические процессы довольно широко распространены в физике и технике. Обычно они описываются гармоническими функциями или некоторыми суперпозициями этих функций. Очевидно, что построение статистических функций для таких периодических процессов должно приводить нас к воспроизводству этих статистических функций $f(x)$ для таких периодических сигналов [1-5, 7-15].

На практике обычно находят спектральные характеристики сигналов (СПС) и производят сравнения их. Если СПС совпадают при повторных измерениях, то можно говорить об устойчивости периодического процесса. В противном случае мы говорим о нестационарных процессах. Во многих случаях для таких процессов может не

выполняться свойство эргодичности. Если спектральные плотности сигналов хаотически изменяются на последовательно регистрируемых интервалах времени $\Delta t_1, \Delta t_2, \dots, \Delta t_n$, то мы говорим об отсутствии периодичности этих сигналов.

Очевидно, что для эргодичных процессов статистические функции $f(x)$, СПС, автокорреляций $A(t)$ не могут сохраняться. Они должны непрерывно и хаотически изменяться. В этой связи возникает принципиальный вопрос об эргодичности любых биологических процессов, протекающих в живых системах, в частности, в организме человека. Одновременно мы ставим вопрос и о возможности идентификации точек покоя в биосистемах?

Напомним, что многие процессы в биосистемах могут быть описаны в рамках компартментно-кластерной теории биосистем (ККТБ) [6], основы которой были заложены в конце 20-го века В.М. Еськовым, А.А. Хадарцевым и рядом других ученых. Базовые уравнения в ККТБ основаны на матрично-функциональных уравнениях вида:

$$\begin{aligned} dx/dt &= A(y)x - bx + ud \\ y &= C^T x \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь вектор $x(t) = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T$ описывает динамику поведения биосистемы, матричная функция $A(y)$ представляет межкомпарментные и межкластерные связи, слагаемое $-bx$ представляет процессы диссипации в биосистеме, а ud – внешние управляющие драйвы. Подчеркнем, что все биосистемы диссипативные, а внешние потоки ($+ud$) могут обеспечивать поддержание жизнедеятельности. Эти внешние потоки представляют трофические связи, внешнюю афферентацию (различные звуковые, световые, тепловые и др. потоки).

Напомним, что термодинамика неравновесных систем (ТНС) *I.R. Prigogine* [25] изучает открытые, неравновесные системы с различными типами связей. Очевидно, что в системе (1) существуют точки покоя (ТП) в виде $dx/dt=0$. Однако их число невелико и они биологически никогда не реализуются. В новой теории

хаоса-самоорганизации (ТХС) мы постулируем, что для биосистем постоянно $dx/dt \neq 0$. Какова же динамика поведения реальных биосистем вдали от равновесия? Как себя ведет вектор $x(t)$ за пределами ТП в моделях (1) и (2), т.е. в ККТБ?

Отметим, что ТНС является линейной теорией, а все исследователи считают биосистемы нелинейными, т.е. находящимися далеко от положения равновесия. Какова должна быть теория и какие модели необходимы для описания сложных биосистем? Для ответа на эти вопросы рассмотрим проблему устойчивости биосистем и свойство эргодичности с позиций новой ТХС и стохастики [21-28, 30].

2. Проблема устойчивости в организации движений.

Еще раз отметим, что для не эргодичных систем мы не можем говорить о повторяемости в динамике поведения вектора состояния $x(t)$. Это означает (в экспериментальном плане), что при повторных измерениях параметров биосистемы мы не можем наблюдать, например, для $x(t)$ повторения статистических функций распределения $f(x)$, их СПС и $A(t)$. Поскольку за организацию движений отвечает центральная нервная система (ЦНС), работу которой мы можем оценивать по параметрам электроэнцефалограмм (ЭЭГ), то именно ЭЭГ мы и изучали в наших

исследованиях [1, 18, 22, 30, 31]. Математически мы отвечаем на принципиальный вопрос: могут ли ЭЭГ являться периодическим (повторяющимся) процессом?

Наши многочисленные исследования активности нейросетей мозга дают отрицательный ответ на этот вопрос. В качестве характерного примера мы представляем табл. 1 в виде матрицы парных сравнений выборок параметров ЭЭГ одного и того же испытуемого, находящегося в одном (неизменном) физиологическом состоянии. Очевидно, что число k_I пар выборок ЭЭГ, которые имеют критерий Вилкоксона $p \geq 0,05$ невелико. При $p \geq 0,05$ эти две ЭЭГ могут быть отнесены к одной генеральной совокупности. Поскольку $k_I < 30\%$, т.е. преобладает статистический хаос в параметрах ЭЭГ, то говорить о повторяемости в активности нейросетей не имеет смысла.

Выборки статистически не повторяемы и это приводит к большим проблемам в доказательстве возможности периодических процессов в динамике ЭЭГ. Одновременно построение матриц парных сравнений выборок СПС и $A(t)$ для ЭЭГ также показало крайне низкое значение k – числа пар, которые статистически совпадают. Отсутствие совпадений статистических характеристик (в первую очередь в СПС) показывает отсутствие периодичности в работе нейросетей мозга.

Таблица 1

Матрица парного сравнения ЭЭГ одного и того же здорового человека (число повторов $n=15$) в период релаксации в отведении *T6-Ref*, использовался критерий Вилкоксона (значимость $p < 0.05$, число совпадений $k_I=33$)

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|------|------|-------------|-------------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------|-------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 1 | | 0,00 | 0,32 | 0,05 | 0,10 | 0,64 | 0,01 | 0,55 | 0,00 | 0,28 | 0,31 | 0,00 | 0,90 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | 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 | 0,58 |
| 3 | 0,32 | 0,00 | | 0,75 | 0,00 | 0,03 | 0,67 | 0,19 | 0,00 | 0,01 | 0,30 | 0,02 | 0,10 | 0,00 | 0,00 |
| 4 | 0,05 | 0,00 | 0,75 | | 0,00 | 0,07 | 0,83 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,06 | 0,03 | 0,04 | 0,00 | 0,00 |
| 5 | 0,10 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | 0,00 | 0,00 | 0,41 | 0,38 | 0,66 | 0,03 | 0,00 | 0,21 | 0,00 | 0,00 |
| 6 | 0,64 | 0,00 | 0,03 | 0,07 | 0,00 | | 0,21 | 0,86 | 0,00 | 0,21 | 0,52 | 0,00 | 0,66 | 0,00 | 0,00 |
| 7 | 0,01 | 0,00 | 0,67 | 0,83 | 0,00 | 0,21 | | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 8 | 0,55 | 0,00 | 0,19 | 0,00 | 0,41 | 0,86 | 0,02 | | 0,08 | 0,93 | 0,15 | 0,00 | 0,97 | 0,00 | 0,00 |
| 9 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,38 | 0,00 | 0,00 | 0,08 | | 0,06 | 0,00 | 0,00 | 0,07 | 0,00 | 0,01 |
| 10 | 0,28 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,66 | 0,21 | 0,00 | 0,93 | 0,06 | | 0,00 | 0,00 | 0,36 | 0,00 | 0,00 |
| 11 | 0,31 | 0,00 | 0,30 | 0,06 | 0,03 | 0,52 | 0,01 | 0,15 | 0,00 | 0,00 | | 0,00 | 0,05 | 0,00 | 0,00 |
| 12 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 13 | 0,90 | 0,00 | 0,10 | 0,04 | 0,21 | 0,66 | 0,00 | 0,97 | 0,07 | 0,36 | 0,05 | 0,00 | | 0,00 | 0,00 |
| 14 | 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 |
| 15 | 0,00 | 0,58 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |

Еще более значимые результаты у нас получаются при анализе электромиограмм (ЭМГ). Напряжение мышцы обусловлено сигналами, идущими от ЦНС, от нейросетей мозга. Если ЭЭГ демонстрируют отсутствие повторяемости (периодичности), то сложно ожидать от ЭМГ наличие строгой периодичности. Действительно, в табл. 2 мы представляем результаты парного сравнения 15-ти выборок ЭМГ, которые получены при напряжении мышцы разгибателя мизинца (*abductor digiti nova*) с силой $F_1=50\text{Н}$.

Очевидно, что числа $k_2 < k_1$ и это наблюдается для всех ЭМГ, которые были

обследованы нами за последние 15 лет. Это доказывает, что доля хаоса нарастает при переходе от ЦНС к периферии (к мышцам) [28-31]. Во всех таких матрицах парных сравнений выборок ЭМГ мы всегда наблюдали $k_2 \leq 10\%$ от всех 105-ти разных пар сравнения. В итоге мы можем сейчас говорить об отсутствии периодичности не только для ЭЭГ, но и в работе мышц. При многократном повторении регистрации выборок ЭЭГ и ЭМГ мы не можем получить произвольно повторение выборок ЭЭГ и ЭМГ, а так же их СПС и $A(t)$.

Таблица 2

Матрица парного сравнения электромиограмм (ЭМГ) одного и того же человека при слабом напряжении мышцы ($p=50\text{ Н}$), представляющая критерий Вилкоксона (критерий значимости $p < 0,05$, число совпадений $k_2=9$)

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|----|-------------|-------------|-------------|------|------|-------------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|
| 1 | | 0,00 | 0,51 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,69 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | 0,00 | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,05 | 0,01 | 0,10 | 0,00 | 0,79 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,31 | 0,00 |
| 3 | 0,51 | 0,00 | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,70 | 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 | 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 | 0,05 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | 0,79 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 |
| 7 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,79 | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 8 | 0,00 | 0,10 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 |
| 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 | 0,79 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,09 | 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 | 0,69 | 0,00 | 0,70 | 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 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | 0,00 | 0,00 |
| 14 | 0,00 | 0,31 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,09 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | 0,00 |
| 15 | 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 | |

Отсутствие повторений СПС подводит нас к выводу об отсутствии периодичности в работе мозга и мышц. Как следствие этому мы можем говорить об отсутствии и периодичности в организации движений, т.к. любое движение сопровождается биоэлектрической работой мышц. Если мы имеем дело с нестационарными процессами в двигательной активности человека, то это означает и потерю эргодичности в динамике поведения $x(t)$.

Заключение. Эргодические системы требуют возможности повторяемости процессов и наличия причинно-следственных связей. До настоящего времени в биологии, медицине,

психологии, экологии и других «неточных» науках господствовало мнение (и убеждение) о повторяемости биопроцессов и возможности их описания в рамках стохастики. Однако уже ГНС *I.R. Prigogine* поставила проблему изучения биосистем, находящихся вдали от равновесия.

Более глобально эта проблема звучит так: эргодичны ли биосистемы и имеется ли возможность их повторения в рамках стохастики? То, что их невозможно повторить с позиций детерминизма (в рамках функционального анализа) это доказал *I.R. Prigogine* в своей монографии «*The end of certainty*» [29]. Мы сейчас в рамках ТХС доказываем отсутствие

периодичности в работе нейросетей мозга и в динамике поведения мышц. Многочисленные построения матриц парных сравнений выборок ЭЭГ и ЭМГ доказывают наличие статистической неустойчивости и как следствие отсутствие эргодичности в поведении биосистем. Это означает завершение применения стохастики в биомедицине.

Литература

1. Ватамова С.Н., Вохмина Ю.В., Даянова Д.Д., Филатов М.А. Детерминизм, стохастика и теория хаоса-самоорганизации в описании стационарных режимов сложных биосистем // Сложность. Разум. Постнеклассика. – 2013. – № 4. – С. 70-81.
2. Денисова Л.А., Белощенко Д.В., Башкатова Ю.В., Горбунов Д.В. Особенности регуляции двигательных функций у женщин // Клиническая медицина и фармакология. – 2017. – Т. 3, № 4. – С. 11-16.
3. Еськов В.М., Филатов М.А., Добрынин Ю.В., Еськов В.В. Оценка эффективности лечебного воздействия на организм человека с помощью матриц расстояний // Информатика и системы управления. – 2010. – № 2(24). – С. 105-108.
4. Еськов В.В., Башкатова Ю.В., Соколова А.А. Оценка степени синергизма в динамике кардиореспираторной системы // Сложность. Разум. Постнеклассика. – 2017. – № 1. – С. 87-96.
5. Еськов В.В., Филатова О.Е., Башкатова Ю.В., Филатова Д.Ю., Иляшенко Л.К. Особенности возрастных изменений кардиоинтервалов у жителей Севера России // Экология человека. – 2019. – № 2. – С. 21-26.
6. Еськов В.М., Галкин В.А., Хвостов Д.Ю., Ерега И.Р. Проблема компартментно-кластерного моделирования биосистем // Сложность. Разум. Постнеклассика. – 2019. – № 2. – С. 61-70.
7. Еськов В.М., Филатова О.Е., Полухин В.В., Нувальцева Я.Н., Веденева Т.С. Новое понимание статичности в биомеханике и проблема стандартов гомеостаза // Сложность. Разум. Постнеклассика. – 2019. – № 3. – С.22-31.
8. Зилов В.Г., Киричук В.Ф., Фудин Н.А. Экспериментальное обоснование иерархической организации хаоса в нервно-мышечной физиологии // Вестник новых медицинских технологий. – 2019. – Т. 26, № 1. – С. 133-136.
9. Зинченко Ю.П., Еськов В.М., Филатов М.А., Григорьева С.В. Стохастика и хаос в организации движений // Вестник новых медицинских технологий. – 2019. – Т. 26, № 2. – С. 101-106.
10. Зинченко Ю.П., Еськов В.М., Филатов М.А., Григорьева С.В. Квантово-механический подход в изучении сознания // Вестник новых медицинских технологий. – 2019. – Т. 26, № 2. – С. 111-117.
11. Ивахно Н.В., Гумарова О.А., Лупынина Е.Ю., Воробей О.А., Афаневич И.А. Оценка параметров треморограмм с позиций теории хаоса-самоорганизации // Вестник новых медицинских технологий. – 2019. – Т. 26, № 3. – С. 117-121.
12. Киричук В.Ф., Филатов М.А., Григорьева С.В., Мельникова Е.Г., Тагирова Е.Д. Квантово-механический подход в изучении сознания // Сложность. Разум. Постнеклассика. – 2019. – № 1. – С. 5-15.
13. Нифонтова О.Л., Шакирова Л.С., Нерсиян Н.Н., Рассадина Ю.В. Динамика параметров спектральной мощности вариабельности сердечного ритма школьников при широтном перемещении // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. – 2016. – № 1. – С. 34-42.
14. Филатов М.А., Иляшенко Л.К., Макеева С.В. Психофизиологические параметры учащихся в условиях трансширотных перемещений // Экология человека. – 2019. – № 4. – С. 18-24.
15. Филатова Д.Ю., Башкатова Ю.В., Филатов М.А., Иляшенко Л.К. Анализ параметров деятельности сердечно-

- сосудистой системы у школьников в условиях широтных перемещений // Экология человека. – 2018. – № 4. – С. 30-35.
16. Филатова О.Е., Башкатова Ю.В., Мельникова Е.Г., Воробей О.А. Фазовые портреты нейровегетативной системы человека на Севере РФ // Сложность. Разум. Постнеклассика. – 2019. – № 3. – С. 14-21.
 17. Филатова О.Е., Башкатова Ю.В., Мельникова Е.Г., Чемпалова Л.С. Параметры кардиоинтервалов женщин Севера РФ при дозированных нагрузках // Клиническая медицина и фармакология. – 2019. – Т. 5, № 4. – С. 6-10.
 18. Пятин В.Ф., Еськов В.В., Миллер А.В., Ермак О.А. Стохастика и хаос в нейросетях мозга // Клиническая медицина и фармакология. – 2018. – Т. 4, № 4. – С. 14-19.
 19. Bernshtein N.A. The coordination and regulation of movements // Oxford, New York, Pergamon Press. – 1967. – 196 p.
 20. Churchland M.M, Cunningham J.P., Kaufman M.T, Foster J. D., Nuyujukian P, Ryu S. I., Shenoy K. V. Neural population dynamics during reaching // Nature. – 2012. – Vol. 487. – Pp. 51-58.
 21. Eskov V.M., Bazhenova A.E., Ilyashenko L.K., Grigorieva S.V. Effect of cold on involuntary movements in men with different levels of physical fitness in the Russian North // Human ecology. – 2019. – Vol. 6. – Pp. 39-44.
 22. 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.
 23. Eskov V.V., Filatova O.E., Bashkanova Y.V., Filatova D.Y., Ilyashenko L.K. Age-related changes in heart rate variability among residents of The Russian North // Human ecology. – 2019. – Vol. 2. – Pp. 21-26.
 24. Filatov M.A., Ilyashenko L.K., Makeeva S.V. Psychophysiological parameters of students before and after translatititude travels // Human ecology. – 2019. – Vol. 4. – Pp. 18-24.
 25. Filatov M.A., Ilyashenko L.K., Kolosova A.I., Makeeva S.V. Stochastic and chaotic analysis of students' attention parameters of different ecological zones // Human ecology. – 2019. – Vol. 7. – Pp. 11-16.
 26. Filatova O.E., Berestin D.K., Ilyashenko L.K., Bashkatova Y.V. The influence of hypothermia on the parameters of the electromyogram at low muscle tone state // Human ecology. – 2019. – Vol. 5. – Pp. 43-48.
 27. Filatova O.E., Bashkatova Y.V., Filatova D.Y., Ilyashenko L.K. Human organism in the conditions of homeostatic dynamics of meteorological parameters of the Russian north // Human ecology. – 2019. – Vol. 9. – Pp. 24-30.
 28. Kolosova A.I., Filatov M.A., Maistrenko E.V., Ilyashenko L.K. An analysis of the attention indices in students from Surgut and Samara oblast from the standpoint of stochastics and chaos // Biophysics. – 2019. – Vol. 64(4). – Pp. 662–666.
 29. Prigogine I.R. The End of Certainty: Time, Chaos, and the New Laws of Nature (Free Press, 1996).
 30. Zilov V.G., Khadartsev A. A., Eskov V.M., Ilyashenko L.K. New effect in physiology of human nervous muscle system // Bulletin of experimental biology and medicine. – 2019. – Vol. 167(4). – Pp. 419-423.
 31. 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.

References

1. Vatamova S.N., Vokhmina Yu.V., Dayanova D.D., Filatov M.A. Determinizm, stokhastika i teoriya khaosa-samoorganizatsii v opisanii statsionarnykh rezhimov slozhnykh biosistem [Determinism, stochastics and the theory of chaos-self-organization in the description of stationary modes of

- complex biosystems] // Slozhnost'. Razum. Postneklassika [Complexity. Mind. Postnonclassic]. – 2013. – No. 4. – S. 70-81.
2. Denisova L.A., Beloshchenko D.V., Bashkatova Yu.V., Gorbunov D.V. Osobnosti regulyatsii dvigatel'nykh funktsii u zhenshchin [Features of the regulation of motor functions in women] // Klinicheskaya meditsina i farmakologiya [Clinical Medicine and Pharmacology]. – 2017. – T. 3, No. 4. – S. 11-16.
 3. Es'kov V.M., Filatov M.A., Dobrynin Yu.V., Es'kov V.V. Otsenka effektivnosti lechebnogo vozdeistviya na organizm cheloveka s pomoshch'yu matrits rasstoyanii [Evaluation of the effectiveness of therapeutic effects on the human body using distance matrices] // Informatika i sistemy upravleniya [Information science and control systems]. – 2010. – No. 2(24). – S. 105-108.
 4. Es'kov V.V., Bashkatova Yu.V., Sokolova A.A. Otsenka stepeni sinergizma v dinamike kardiorespiratornoi sistemy [Assessment of the degree of synergism in the dynamics of the cardiorespiratory system] // Slozhnost'. Razum. Postneklassika [Complexity. Mind. Postnonclassic]. – 2017. – No. 1. – S. 87-96.
 5. Es'kov V.V., Filatova O.E., Bashkatova Yu.V., Filatova D.Yu., Ilyashenko L.K. Osobnosti vozrastnykh izmenenii kardiointervalov u zhitelei Severa Rossii [Features of age-related changes in cardio intervals in the inhabitants of the North of Russia] // Ekologiya cheloveka [Human Ecology]. – 2019. – No. 2. – S. 21-26.
 6. Es'kov V.M., Galkin V.A., Khvostov D.Yu., Erega I.R. Problema kompartmentno-klasternogo modelirovaniya biosistem [The problem of compartment-cluster modeling of biosystems] // Slozhnost'. Razum. Postneklassika [Complexity. Mind. Postnonclassic]. – 2019. – No. 2. – S. 61-70.
 7. Es'kov V.M., Filatova O.E., Polukhin V.V., Nuval'tseva Ya.N., Vedeneeva T.S. Novoe ponimanie statichnosti v biomekhanike i problema standartov gomeostaza [A new understanding of static in biomechanics and the problem of standards for homeostasis] // Slozhnost'. Razum. Postneklassika [Complexity. Mind. Postnonclassic]. – 2019. – No. 3. – S. 22-31.
 8. Zilov V.G., Kirichuk V.F., Fudin N.A. Eksperimental'noe obosnovanie ierarkhicheskoi organizatsii khaosa v nervno-myshechnoi fiziologii [Experimental substantiation of the hierarchical organization of chaos in neuromuscular physiology] // Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii [Bulletin of new medical technologies]. – 2019. – T. 26, No. 1. – S. 133-136.
 9. Zinchenko Yu.P., Es'kov V.M., Filatov M.A., Grigor'eva S.V. Stokhastika i khaos v organizatsii dvizhenii [Stochastics and chaos in the organization of movements] // Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii [Bulletin of new medical technologies]. – 2019. – T. 26, No. 2. – S. 101-106.
 10. Zinchenko Yu.P., Es'kov V.M., Filatov M.A., Grigor'eva S.V. Kvantovomekhanicheskii podkhod v izuchenii soznaniya [Quantum-mechanical approach to the study of consciousness] // Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii [Bulletin of new medical technologies]. – 2019. – T. 26, No. 2. – S. 111-117.
 11. Ivakhno N.V., Gumarova O.A., Lupynina E.Yu., Vorobei O.A., Afanevich I.A. Otsenka parametrov tremorogramm s pozitsii teorii khaosa-samoorganizatsii // Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii [Bulletin of new medical technologies]. – 2019. – T. 26, No. 3. – S. 117-121.
 12. Kirichuk V.F., Filatov M.A., Grigor'eva S.V., Mel'nikova E.G., Tagirova E.D.

- Kvantovo-mekhanicheskii podkhod v izuchenii soznaniya [Quantum-mechanical approach to the study of consciousness] // Slozhnost'. Razum. Postneklassika [Complexity. Mind. Postnonclassic]. – 2019. – No. 1. – S. 5-15.
13. Nifontova O.L., Shakirova L.S., Nersisyan N.N., Rassadina Yu.V. Dinamika parametrov spektral'noi moshchnosti variabel'nosti serdechnogo ritma shkol'nikov pri shirotnom peremeshchenii [Dynamics of the spectral power parameters of the heart rate variability of schoolchildren during latitudinal movement] // Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii [Bulletin of new medical technologies]. – 2016. – No. 1. – S. 34-42.
14. Filatov M.A., Ilyashenko L.K., Makeeva S.V. Psikhofiziologicheskie parametry uchashchikhsya v usloviyakh transshirotnykh peremeshchenii [Psychophysiological parameters of students in trans-latitudinal movements] // Ekologiya cheloveka [Human ecology]. – 2019. – No. 4. – S. 18-24.
15. Filatova D.Yu., Bashkatova Yu.V., Filatov M.A., Ilyashenko L.K. Analiz parametrov deyatel'nosti serdechno-sosudistoi sistemy u shkol'nikov v usloviyakh shirotnykh peremeshchenii [Analysis of the parameters of the cardiovascular system in schoolchildren in conditions of latitudinal movements] // Ekologiya cheloveka [Human ecology]. – 2018. – No. 4. – S. 30-35.
16. Filatova O.E., Bashkatova Yu.V., Mel'nikova E.G., Vorobei O.A. Fazovye portrety neirovegetativnoi sistemy cheloveka na Severe RF [Phase portraits of the human neurovegetative system in the North of the Russian Federation] // Slozhnost'. Razum. Postneklassika [Complexity. Mind. Postnonclassic]. – 2019. – No. 3. – S. 14-21.
17. Filatova O.E., Bashkatova Yu.V., Mel'nikova E.G., Chempalova L.S. Parametry kardiointervalov zhenshin Severa RF pri dozirovannykh nagruzkakh [The parameters of the cardio intervals of women in the North of the Russian Federation at dosed loads] // Klinicheskaya meditsina i farmakologiya [Clinical Medicine and Pharmacology]. – 2019. – T. 5, No. 4. – S. 6-10.
18. Pyatin V.F., Es'kov V.V., Miller A.V., Ermak O.A. Stokhastika i khaos v neirosetyakh mozga [Stochastics and chaos in brain neural networks] // Klinicheskaya meditsina i farmakologiya [Clinical Medicine and Pharmacology]. – 2018. – T. 4, No. 4. – S. 14-19.
19. Bernshtein N.A. The coordination and regulation of movements // Oxford, New York, Pergamon Press. – 1967. – 196 p.
20. Churchland M.M, Cunningham J.P., Kaufman M.T, Foster J. D., Nuyujukian P, Ryu S. I., Shenoy K. V. Neural population dynamics during reaching // Nature. – 2012. – Vol. 487. – Pp. 51-58.
21. Eskov V.M., Bazhenova A.E., Ilyashenko L.K., Grigorieva S.V. Effect of cold on involuntary movements in men with different levels of physical fitness in the Russian North // Human ecology [In Russian]. – 2019. – Vol. 6. – Pp. 39-44.
22. 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.
23. Eskov V.V., Filatova O.E., Bashkanova Y.V., Filatova D.Y., Ilyashenko L.K. Age-related changes in heart rate variability among residents of The Russian North // Human ecology [In Russian]. – 2019. – Vol. 2. – Pp. 21-26.
24. Filatov M.A., Ilyashenko L.K., Makeeva S.V. Psychophysiological parameters of students before and after translatitude

- travels // Human ecology [In Russian]. – 2019. – Vol. 4. – Pp. 18-24.
25. Filatov M.A., Ilyashenko L.K., Kolosova A.I., Makeeva S.V. Stochastic and chaotic analysis of students' attention parameters of different ecological zones // Human ecology [In Russian]. – 2019. – Vol. 7. – Pp. 11-16.
26. Filatova O.E., Berestin D.K., Ilyashenko L.K., Bashkatova Y.V. The influence of hypothermia on the parameters of the electromyogram at low muscle tone state // Human ecology [In Russian]. – 2019. – Vol. 5. – Pp. 43-48.
27. Filatova O.E., Bashkatova Y.V., Filatova D.Y., Ilyashenko L.K. Human organism in the conditions of homeostatic dynamics of meteorological parameters of the Russian north // Human ecology [In Russian]. – 2019. – Vol. 9. – Pp. 24-30.
28. Kolosova A.I., Filatov M.A., Maistrenko E.V., Ilyashenko L.K. An analysis of the attention indices in students from Surgut and Samara oblast from the standpoint of stochastics and chaos // Biophysics. – 2019. – Vol. 64(4). – Pp. 662–666.
29. Prigogine I.R. The End of Certainty: Time, Chaos, and the New Laws of Nature (Free Press, 1996).
30. Zilov V.G., Khadartsev A. A., Eskov V.M., Ilyashenko L.K. New effect in physiology of human nervous muscle system // Bulletin of experimental biology and medicine. – 2019. – Vol. 167(4). – Pp. 419-423.
31. 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.