

III. МАТЕМАТИКА В ОПИСАНИИ ХАОСА И СИНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

DOI: 12737/ 14977

ЭНТРОПИЙНЫЙ ПОДХОД В ОЦЕНКЕ БИОПОТЕНЦИАЛОВ МЫШЦ

Д.В. ГОРБУНОВ, В.В. ПОЛУХИН, Н.Ш. АЛИЕВ, И.Н. САМСОНОВ

*БУ ВО «Сургутский государственный университет ХМАО – Югры»,
пр. Ленина, д. 1, г. Сургут, Россия, 628400*

Аннотация. Представлен сравнительный анализ динамики изменения биоэлектрической активности мышц в ответ на изменение статического напряжения. В качестве базового результата после анализа данных, которые были получены методами теории хаоса-самоорганизации для описания сложных биосистем, была установлена низкая эффективность детерминистско-стохастического подхода. В частности, производился расчет энтропии Шеннона в разных функциональных состояниях мышцы. Анализ регистрируемого сигнала и оценка хаотичности в регистрируемом сигнале электромиограмм показал, что с увеличением нагрузки площадь квазиаттракторов регистрируемых биоэлектрических потенциалов мышцы резко возрастает, но при этом результаты анализа на основе расчета энтропии, т.е. термодинамического подхода, статистически незначимы. Полученные результаты позволяют сделать вывод, что детерминистско-стохастические методы (в частности, термодинамические методы) в оценки миограмм имеют крайне низкую эффективность и целесообразно использовать расчет площади квазиаттракторов S в оценке физиологического состояния организма человека (его гомеостаза).

Ключевые слова: биоэлектрический потенциал мышцы, квазиаттрактор, теория хаоса-самоорганизации, энтропия.

THE ENTROPY APPROACH IN THE EVALUATION OF MUSCLE BIOPOTENTIALS

D.V. GORBUNOV, V.V. POLUKHIN, N.S. ALIYEV, I.N. SAMSON

Surgut state University, Lenin pr., 1, Surgut, Russia, 628400

Abstract. The comparative analysis of the dynamics of changes in the bioelectric activity of muscles in response to static electricity. As a result after the analysis of the underlying data, which were obtained by using the theory of chaos, self-organization to describe complex biological systems, it was set low efficiency determininistsko-stochastic approach. In particular, the calculation is the Shannon entropy in different functional states of the muscles. Analysis of the recorded signal and evaluation of randomness in the recorded signal electromyogram showed that with increasing load area quasi-attractors muscle action potentials recorded increases sharply, but the results of the analysis based on the calculation of entropy, ie, thermodynamic approach, not statistically significant. The results allow to conclude that deterministic and stochastic methods (in particular, the thermodynamic methods) in the assessment myogram have extremely low efficiency and should be used for calculating the area quasi-attractors of S in evaluating the physiological state of the human body (its homeostasis).

Key words: muscle action potential, quasi-attractor, chaos theory self-organization, entropy.

Введение. В ряде наших предыдущих публикаций [1-7,18-20] было установлено, что методы в рамках *теории хаоса-самоорганизации* (ТХС) могут выявить различия в параметрах гомеостаза, в частности биоэлектрических потенциалов. Метод многомерных фазовых пространств в настоящее время все более активно используется в различных исследованиях параметров гомеостаза [7-13]. При изучении и моделировании сложных биологических объектов существует возможность внедрения традиционных физических методов в биологические исследования и новых методов теории хаоса-самоорганизации для сравнения их эффективности [6-14]. В этой связи представляет интерес демонстрация реализации такого подхода на основе метода анализа двумерных фазовых пространств при изучении особенностей реакции нервно-мышечной системы человека в ответ на дозированные статические нагрузки. Вместо традиционного понимания стационарных режимов биосистем в виде $dx/dt \neq 0$, где $x=x(t)=(x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ является *вектором состояния системы* (ВСС), в этом случае используются параметры *квазиаттракторов* (КА), внутри которых наблюдается движение ВСС в *фазовом пространстве состояний* (ФПС). Эти движения имеют хаотический характер, т.е. всегда $dx/dt \neq 0$, но при этом движение ВСС ограничено в ФПС объемом квазиаттрактора [1-7, 17-19]. Все это лежит в основе новой теории хаоса-самоорганизации – ТХС [7-14]

В задачи настоящего исследования входит проверка эффективности термодинамического подхода при анализе миограмм и его сравнение в методами ТХС. В свою очередь возможности использовать в качестве количественной меры, наблюдаемой в экспериментальных измерениях хаотической динамики миограмм мышцы (сгибатель мизинца), величина объемов КА многомерных фазовых пространств была установлена нами ранее [1-7]. Это обеспечивает идентификацию изменений параметров функционального состояния мышц при слабой и сильной статической нагрузке мышц (мышца мизинца – *musculus adductor digiti mini* (MADM)). При этом организм

испытываемых представлен особым ВСС $x=x(t)$, который совершает непрерывные хаотические движения (т.е. постоянно $dx/dt \neq 0$) в пределах ограниченных КА [14-20]. Именно это пытались выразить ученые университета в Стенфорде [14] при изучении произвольных движений, но они не представили меру для таких измерений электрофизиологических процессов [14-18]. В настоящей работе мы демонстрируем так же модели в рамках ТХС [7-16].

1. Объект и методы исследования.

Для исследования была привлечена группа испытуемых (15 девушек) в возрасте от 20 до 25 лет. У испытуемых регистрировались миограммы с частотой дискретизации $\mu=0.25$ мс. Записи миограмм мышцы (разгибателя мизинца) обрабатывались программным комплексом для формирования вектора $x=(x_1, x_2)^T$, где $x_1=x(t)$ – абсолютное значение *биопотенциалов мышцы* (БПМ) на некотором интервале времени Δt , а x_2 – скорость изменения x_1 , т. е. $x_2=dx_1/dt$. На основе полученного вектора $x(t)=(x_1, x_2)^T$ строились КА динамики поведения ВСС и определялись объемы полученных квазиаттракторов V_G по формуле $V_G^{\max} \geq \Delta x_1 \times \Delta x_2 \geq V_G^{\min}$ [1-6,8-12], где Δx_1 – вариационный размах величины биопотенциала, а Δx_2 – вариационный размах для его скорости изменения. В конечном итоге анализ состояния биомеханической системы проводился на основе сравнения V_G КА, а также на основе анализа значений энтропии Шеннона E , где E определяется по формуле:

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

где p – функция вероятности. Миограммы фиксировали при слабом статическом напряжении мышцы $p=5$ даН и при сильном напряжении $p=10$ даН.

2. Результаты и их обсуждение.

Для визуальной оценки данных, полученных с миографа, строилась временная развертка сигнала (рис. 1-А), которая преобразовывалась в некоторые числовые ряды. При анализе полученных временных рядов по данным с миографии видно, что получаемый сигнал уникален для каждого испытуемого, но при этом сохраняется некоторая законо-

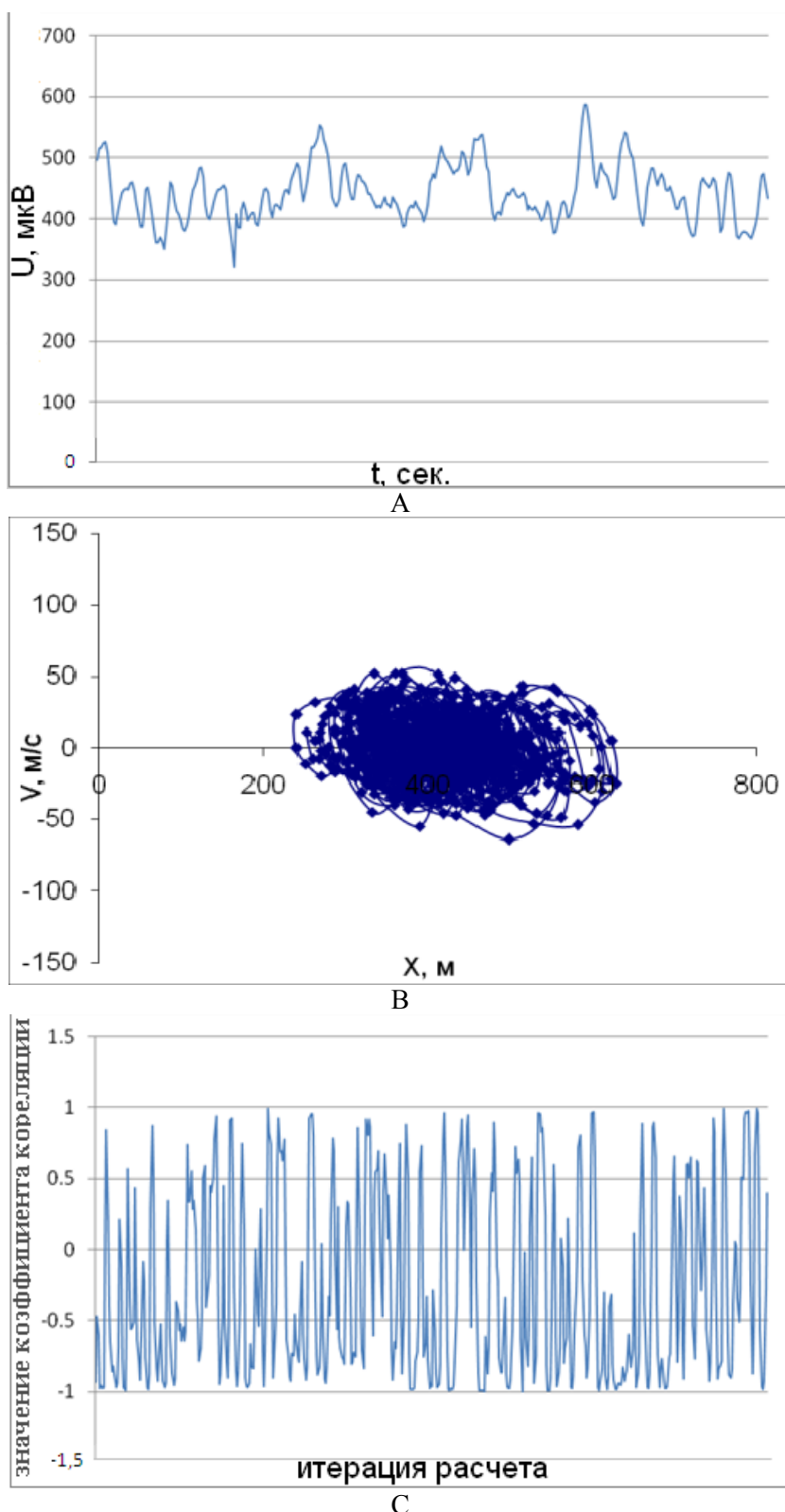


Рис. 1. Результат обработки данных, полученных при слабом напряжении мышцы ($F_1=5$ даН); испытуемый КАЕ как типичный пример всей группы: А – временная развертка сигнала; В – фазовые траектории КА с площадью $S_f=29824$ у.е.; С – автокорреляционная функция сигнала $A(t)$

Поскольку для многих параметров гомеостаза функции распределения $f(x)$ не могут показывать устойчивость ($f(x)$ непрерывно изменяются), то возникает вопрос о целесообразности использования функций распределения $f(x)$ для ЭМГ. Наблюдается их непрерывное изменение при сравнении выборок ЭМГ и любая ЭМГ имеет свой особый закон распределения и $f(x)$ для каждого интервала. Были составлены матрицы парных сравнений выборок ЭМГ для всех 15-ти испытуемых при 2-х силах сжатия динамометра ($F_2=2F_1$) и установлена закономерность изменения числа «совпадений» пар выборок k , получаемых параметров ЭМГ. Оказалось, что в первом случае (для F_1) матрица 15×15 (105 разных пар сравнений) при усилии $F_1=5$ даН показывает $k_1=5$. При увеличении напряжения до $F_2=10$ даН наблюдается и увеличение числа совпадений до $k_2=20$. Вид такой матрицы для F_1 представлен в табл. 1. Аналогичные расчёты производились и для 15 выборок ЭМГ от одной испытуемой. Здесь получилось, что число пар совпадений $k_1=11$ при слабой статической нагрузке, а при двукратном увеличении прилагаемого усилия число пар увеличилось до $k_2=22$.

Сравнение площадей S для КА для группы из 15 девушек и 15 выборок от одной испытуемой представлены в табл. 2. Из этой таблицы видно, что в обоих случаях четко выражено различие в этих двух состояниях при слабом напряжении и сильном на-

пряжении мышцы (MADM). Здесь средние значения S приблизительно отличаются в 5 раз. Например, для группы девушек $\langle S_1 \rangle = 32721$ и $\langle S_2 \rangle = 129155$. Сходную кратную динамику демонстрируют данные, полученные от одной испытуемой: $\langle S_1 \rangle = 23992$ и $\langle S_2 \rangle = 115333$.

Одновременно, в сравнительном варианте для анализа уровня хаотичности во временной развертке миограмм была рассчитана энтропия Шеннона. Оказалось, что энтропийный подход при анализе миограмм не демонстрирует различий. Согласно его результатам, выборки данных для группы

Таблица 1

Матрица парного сравнения ЭМГ группы девушек (число повторов $N=15$) при слабом напряжении мышцы ($F_1=5$ даН) использовался критерий Вилкоксона (значимость $p<0,05$, число совпадений $k=5$)

	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	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	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	0.18	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	1.00	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	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.04	0.00
9	0.00	0.01	0.00	0.00	1.00	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	1.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00
13	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	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	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

Таблица 2

Значение площадей квазиаттракторов S выборок миограмм группы из 15 девушек и одной и той же девушки при слабом ($F_1=5$ даН) и сильном ($F_2=10$ даН) напряжении мышцы

	группа девушек		Одна и та же девушка	
	$S_1, 5$ даН	$S_2, 10$ даН	$S_1, 5$ даН	$S_2, 10$ даН
1	26794	106222	26508	107260
2	29824	203886	24300	114935
3	42051	101192	35802	139755
4	77848	149919	27459	111734
5	15420	102954	32208	119712
6	23095	123024	18792	101084
7	42824	105701	29848	152609
8	39128	298496	24336	191360
9	16435	72625	16968	100000
10	17770	81557	16968	68904
11	41832	189280	21242	116864
12	18028	162909	15200	101403
13	28586	61712	18984	104682
14	26342	93635	20304	113634
15	45124	84224	30965	86064
$\langle S \rangle$	32721	129155	23992	115333
	Критерий Вилкоксона, значимость функций $f(x)$ $p=0,01$		Т-критерий значимости функций $f(x)$ $p=0,00$	

девушек и для одной и той же девушке, можно отнести к одной генеральной совокупности. Более того, согласно данных приведённых в табл. 3 все выборки относятся к одной генеральной совокупности, даже если сравнивать группу с одним человеком с помощью термодинамического подхода [11,12].

Внешний вид фазовых траекторий и площадей квазиаттракторов для F_1 и F_2 (на примере одного опыта) мы уже представили на рис. 1. Здесь фазовые координаты x_1 – реальные значения биопотенциалов, а $x_2=dx_1/dt=V$ – это скорость изменения биопотенциалов мышц. Очевидно трехкратное увеличение площади S_2 по отношению к S_1 . Расчёт этих двух значений площадей КА в виде S_1 и S_2 мы производили для многих испытуемых и везде картина одинакова: увеличение силы напряжения мышцы в 2 раза увеличивает площадь квазиаттрактора ЭМГ в 2-3 раза от исходного (при $F_1=5$ даН и при $F_2=10$ даН). Характерно, что для одного испытуемого (при 15-ти повторах)

всегда критерии Вилкоксона $p < 0,05$ (за редким исключением).

Таблица 3

Матрица парного сравнения энтропий от выборок миограмм для группы девушек и одной и той же девушки

		группа девушек		Одна и та же девушка	
		E_1	E_2	E_1	E_2
группа девушек	E_1		0.82	0.05	0.14
	E_2	0.82		0.13	0.27
одна и та же девушка	E_1	0.05	0.13		0.28
	E_2	0.14	0.27	0.28	

Мы высказываем утверждение, что других способов количественного описания параметров изменения биопотенциалов мышц (ЭМГ) при увеличении силы напряжения мышцы (при $F_2 = 2F_1$) на сегодня в рамках детерминизма или стохастики нет. Сейчас можно говорить о том, что квазиаттракторы ЭМГ в ФПС являются определенными моделями состояния электрической активности мышц. В рамках стохастики (АЧХ, $A(t)$, $f(x)$ и др.) мы не можем получить модели, которые бы существенно различали эти два состояния мышцы (ЭМГ при F_1 и F_2). Очевидно, что для эффективной оценки хаоса в ЭМГ в рамках ТХС мы можем использовать фазовую плоскость при повторении опытов (получать выборки с повторением) и для них строить КА выборок ЭМГ. Однако, полностью уходить от стохастики пока не следует. Необходимы модификации, внедрение новых методов в комплексе с методами ТХС [3-8, 9-12].

Выводы:

1. Традиционные статистические методы обработки электромиограмм, по сравнению с методами ТХС показывает низкую эффективность. В рамках расчета энтропий E , расчёта АЧХ, автокорреляционных функций $A(t)$. ЭМГ испытуемых, находящихся в разных физиологических состояниях (напряжениях мышц), весьма затруднительно (с позиций стохастики).

2. Новые методы расчёта ЭМГ на основе ТХС, которые используют двумерное фазовое пространство с координатами ЭМГ x_1 и x_2 , и метод расчёта матриц парных сравнений выборок ЭМГ (расчёт числа k

пар «совпадений» выборок ЭМГ) реально может характеризовать интегральные значения параметров ЭМГ при разных состояниях мышц.

3. Аналог принципа Гейзенберга является наиболее эффективным и значимым методом оценки состояния ЭМГ испытуемых. Он эффективен, когда используются фазовые координаты $x_1 = x_1(t)$ – реальные значения биопотенциалов мышц и $x_2 = dx_1/dt$ – скорость изменения x_1 во времени. В этом двумерном (а в общем случае мы использовали и $x_3 = dx_2/dt$, то есть трёхмерное ФПС) фазовом пространстве можно рассчитывать параметры квазиаттракторов (у нас площади S или объёмы $V = \Delta x_1 \cdot \Delta x_2 \cdot \Delta x_3$, где Δx_i – вариационные размахи координаты x_i), которые являются моделями физиологического состояния мышцы. Очевидно, что хаотическая динамика ЭМГ не может описываться в рамках стохастики или современной теории хаоса, но модели ЭМГ всё-таки можно построить в рамках ТХС (в виде КА).

Литература

1. Башкатова Ю.В., Карпин В.А., Попов Ю.М., Рассадина Ю.В., Шилиева О.С. Оценка состояния параметров нервно-мышечного кластера в условиях дозированной физической нагрузки // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. – 2014. – № 1. – Публикация 2-18. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2014-1/4772.pdf> (Дата обращения: 30.04.2014). DOI: 10.12737/3860
2. 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. DOI: 10.12737/10864
3. Хаотическая динамика кардиоинтервалов трёх возрастных групп представителей коренного населения Югры / Гараева Г.Р., Еськов В.М., Еськов В.В. [и др.] // Экология человека. – 2015. – № 09. – С. 50–55.
4. 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. DOI: 10.12737/11827
5. 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.

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

7. 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.

8. Еськов В.В., Гараева Г.Р., Эльман К.А., Горбунов Д.В., Третьяков С.А. Физиотерапия при гипертонической болезни с позиций хаотической динамики параметров ССС у пациентов // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. – 2014. – № 1. – Публикация 1-12. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2014-1/5030.pdf>. (Дата обращения: 16.12.2014). DOI: 10.12737/7242

9. Еськов В.В., Филатова О.Е., Гавриленко Т.В., Химикова О.И. Прогнозирование долгожительства у российской народности ханты по хаотической динамике параметров сердечно-сосудистой системы // Экология человека. – 2014. – № 11. – С. 3–8.

10. Еськов В.М., Нанченко Е.А., Козлова В.В., Климов О.В., Майстренко Е.В. Параметры квазиаттракторов поведения вектора состояния организма пловцов // Вестник новых медицинских технологий. – 2009. – Т. 16, № 4. – С. 24–26.

11. 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. – 2010. – Т. 9, № 3. – С. 500–504.

12. Еськов В.М., Хадарцев А.А., Еськов В.В., Филатова О.Е. Флуктуации и эволюции биосистем - их базовые свойства и характеристики при описании в рамках синергетической парадигмы // Вестник новых медицинских технологий. – 2010. – Т. 17, № 1. – С. 17–19.

13. Еськов В.М., Хадарцев А.А., Филатова О.Е., Хадарцева К.А. Околосуточные ритмы показателей кардиореспираторной системы и биологического возраста человека // Терапевт. – 2012. – № 8. – С. 36–43.

14. Еськов В.М., Еськов В.В., Гавриленко Т.В., Вохмина Ю.В. Кинематика биосистем как эволюция: стационарные режимы и скорость движения сложных систем – complexity // Вест-

ник Московского университета. Серия 3: Физика. Астрономия. – 2015. – № 2. – С. 62–73.

15. Карпин В.А., Башкатова Ю.В., Коваленко Л.В., Филатова Д.Ю. Состояние сердечно-сосудистой системы тренированных и нетренированных студентов с позиции стохастики и теории хаоса // Теория и практика физической культуры. – 2015. – № 3. – С. 83–85.

16. Русак С.Н., Еськов В.В., Молягов Д.И., Филатова О.Е. Годовая динамика погодноклиматических факторов и здоровье населения ханты-мансийского автономного округа // Экология человека. – 2013. – № 11. – С. 19–24.

17. Русак С.Н., Козуница Г.С., Филатова О.Е., Еськов В.В., Шевченко Н.Г. Динамика статуса вегетативной нервной системы у учащихся младших классов в погодных условиях г. Сургута // Вестник новых медицинских технологий. – 2013. – Т. 20, № 4. – С. 92–95.

18. Eskov V.M., Eskov V.V., Filatova O.E. Characteristic features of measurements and modeling for biosystems in phase spaces of states // Measurement Techniques. – 2010. – Т. 53, № 12. – С. 1404.

19. Eskov V.M., Khadartsev A.A., Eskov V.V., Filatova O.E., Filatova D.U. Chaotic approach in biomedicine: individualized medical treatment // Journal of Biomedical Science and Engineering. – 2013. – Т. 6. – P. 847.

20. Eskov V.M. Evolution of the emergent properties of three types of societies: the basic law of human development // E:CO Emergence: Complexity and Organization. 2014. – Т. 16, № 2. – С. 107–115.

References

1. Bashkatova YuV, Karpin VA, Popov YuM, Rassadina YuV, Shilyaeva OS. Otsenka sostoyaniya parametrov nervno-myshechnogo klastera v usloviyakh dozirovannoy fizicheskoy nagruzki [Assessment of parameters state of neuromuscular cluster in the conditions of the dosed physical activity]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. Elektronnoe izdanie [internet]. 2014[cited 2014 Apr 30];1:[about 6 p.]. Russian. Available from: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2014-1/4772.pdf>. DOI: 10.12737/3860

2. Gavrilenko TV, Gorbunov DV, El'man KA, Grigorenko VV. Vozmozhnosti stokhastiki i teorii khaosa v obrabotke miogramm. Slozhnost'. Razum. Postneklassika. 2015;1:48-53. DOI: 10.12737/10864 Russian.

3. Garaeva GR, Es'kov VM, Es'kov VV, et al. Khaoticheskaya dinamika kardiointervalov trekh vozrastnykh grupp predstaviteley korennoy naseleniya Yugry. *Ekologiya cheloveka*. 2015;09:50-5. Russian.
4. Dobrynina IYu, Gorbunov DV, Kozlova VV, Sinenko DV, Filatova DYU. Osobennosti kardiointervalov: khaos i stokhastika v opisani slozhnykh biosistem. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy*. 2015;22(2):19-26. DOI: 10.12737/11827. Russian.
5. Dudin NS, Rusak SN, Khadartsev AA, Khadartseva KA. Novye podkhody v teorii ustoychivosti biosistem – al'ternativa teorii A.M. Lyapunova. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy*. 2011;18(3):336. Russian.
6. Es'kov VV, Es'kov VM, Karpin VA, Filatov MA. Sinergetika kak tret'ya paradigma, ili ponyatie paradigmy v filosofii i nauke. *Filosofiya nauki*. 2011;4(51):126-8. Russian.
7. Es'kov VV, Vokhmina YuV, Gavrilenko TV, Zimin MI. Modeli khaosa v fizike i teorii khaosa-samoorganizatsii. *Slozhnost'. Razum. Postneklassika*. 2013;2:42-56. Russian.
8. Es'kov VV, Garaeva GR, El'man KA, Gorbunov DV, Tret'yakov SA. Fizioterapiya pri gipertonicheskoy bolezni s pozitsiy khaoticheskoy dinamiki parametrov SSS u patsientov. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy*. Elektronnoe izdanie [internet]. 2014 [cited 2014 Dec 16]:1:[about 8 p.]. Russian. Available from: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2014-1/5030.pdf>. DOI: 10.12737/7242
9. Es'kov VV, Filatova OE, Gavrilenko TV, Khimikova OI. Prognozirovaniye dolgozhitel'stva u rossiyskoy narodnosti khanty po khaoticheskoy dinamike parametrov serdechno-sosudistoy sistemy. *Ekologiya cheloveka*. 2014;11:3-8. Russian.
10. Es'kov VM, Nanchenko EA, Kozlova VV, Klimov OV, Maystrenko EV. Parametry kvaziattraktorov povedeniya vektora sostoyaniya organizma plovtsov. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy*. 2009;16(4):24-6. Russian.
11. Es'kov VM, Braginskiy MYa, Kozlova VV, Maystrenko EV. Diagnostika fiziologicheskikh funktsiy zhenshchin-plovtsov Yugry metodom rascheta matrits mezhklasternykh rasstoyaniy. *Sistemnyy analiz i upravleniye v biomeditsinskikh sistemakh*. 2010;9(3):500-4. Russian.
12. Es'kov VM, Khadartsev AA, Es'kov VV, Filatova OE. Fluktuatsii i evolyutsii biosistem - ikh bazovye svoystva i kharakteristiki pri opisani v ramkakh sinergeticheskoy paradigmy. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy*. 2010;17(1):17-9. Russian.
13. Es'kov VM, Khadartsev AA, Filatova OE, Khadartseva KA. Okolosutochnye ritmy pokazateley kardiorespiratornoy sistemy i biologicheskogo vozrasta cheloveka. *Terapevt*. 2012;8:36-43. Russian.
14. Es'kov VM, Es'kov VV, Gavrilenko TV, Vokhmina YuV. Kinematika biosistem kak evolyutsiya: statsionarnye rezhimy i skorost' dvizheniya slozhnykh sistem – complexity. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 3: Fizika. Astronomiya*. 2015;2:62-73. Russian.
15. Karpin VA, Bashkatova YuV, Kovalenko LV, Filatova DYU. Sostoyaniye serdechno-sosudistoy sistemy trenirovannykh i netrenirovannykh studentov s pozitsii stokhastiki i teorii khaosa. *Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury*. 2015;3:83-5. Russian.
16. Rusak SN, Es'kov VV, Molyagov DI, Filatova OE. Godovaya dinamika pogodno-klimaticheskikh faktorov i zdorov'e naseleniya khanty-mansiyskogo avtonomnogo okruga. *Ekologiya cheloveka*. 2011;11:19-24. Russian.
17. Rusak SN, Kozupitsa GS, Filatova OE, Es'kov VV, Shevchenko NG. Dinamika statusa vegetativnoy nervnoy sistemy u uchashchikhsya mladshikh klassov v pogodnykh usloviyakh g. Surguta. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy*. 2013;20(4):92-5. Russian.
18. Es'kov VM, Es'kov VV, Filatova OE. Characteristic features of measurements and modeling for biosystems in phase spaces of states. *Measurement Techniques*. 2010;53(12):1404.
19. Es'kov VM, Khadartsev AA, Es'kov VV, Filatova OE, Filatova DU. Chaotic approach in biomedicine: individualized medical treatment. *Journal of Biomedical Science and Engineering*. 2013;6:847.
20. Es'kov VM. Evolution of the emergent properties of three types of societies: the basic law of human development. *E:CO Emergence: Complexity and Organization*. 2014;16(2):107-15.