

ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ МЫШЦ
В ОТВЕТ НА СТАТИЧЕСКОЕ УСИЛИЕ

Т.В. ГАВРИЛЕНКО, Д.В. ГОРБУНОВ, К.А. ЭЛЬМАН, Н.А. ЧЕРНИКОВ

БУ ВО ХМАО-Югры «Сургутский государственный университет», пр-т Ленина, 1, г. Сургут, Россия

Аннотация. В данной статье представлены методы анализа динамики биоэлектрической активности мышцы сгибателя мизинца правой руки, как реакции на статическое усилие при сжатии динамометра, проявляющаяся в изменении значений параметров квазиаттракторов. В качестве основных методов исследования использованы детерминистско-стохастические методы и методы теории хаоса-самоорганизации для описания сложных биосистем. Представлен сравнительный анализ расчета параметров полученных результатов исследований. В частности, в рамках теории хаоса-самоорганизации представлены расчеты фазовых плоскостей и их площадей, в рамках детерминистско-стохастического подхода выполнен расчет энтропии Шеннона. Расчеты направлены на оценку уровня хаотичности регистрируемого сигнала. Анализ регистрируемого сигнала и оценка уровня хаотичности в сигнале биоэлектрической активности мышцы показал, что при увеличении статической нагрузки квазиаттракторов биоэлектрической активности мышц резко увеличивается. Степень изменения оценивалась методом расчета параметров квазиаттракторов в рамках теории хаоса-самоорганизации. Показаны изменения состояния системы в сторону увеличения степени variability биоэлектрической активности мышцы разгибателя мизинца. Показана высокая эффективность применения методов теории хаоса-самоорганизации в оценке состояния нервно-мышечной системы человека. Полученные результаты позволяют определить уровень способности выполнения заданных операций под воздействием статической нагрузки.

Ключевые слова: биоэлектрическая активность мышцы, квазиаттрактор, теория хаоса-самоорганизация.

DYNAMICS OF PARAMETERS OF BIOELECTRICAL ACTIVITY OF MUSCLES IN RESPONSE TO
DIFFERENT STATIC FORCES

T.V. GAVRILENKO, D.V. GORBUNOV, K.A. ELMAN, N.A. CHERNIKOV

Surgut State University, Lenin av., 1, Surgut, Russia

Abstract. This article presents the methods of analysis of the dynamics of bioelectrical activity of the flexor muscles of the little finger of his right hand as a reaction to the static force in compression dynamometer, manifested in changes of the quasi-attractors parameters. The main research methods were deterministic-stochastic methods and methods of the chaos theory and self-organization to describe complex biological systems. The authors present a comparative analysis of calculating the parameters of the obtained results, in particular, in the framework of the chaos theory and self-organization - the calculations of the phase plane and their areas; in the framework of the deterministic-stochastic approach - the calculation of the Shannon entropy. Calculations are aimed at assessing the level of randomness of the recorded signal. Analysis of the recorded signal and the evaluation of the level of randomness in a signal of bioelectrical activity of muscles showed that an increase in the static load quasi-attractors bioelectric muscle activity increases dramatically. The degree of change was estimated by calculating the parameters of quasi-attractors according to the chaos theory and self-organization. The changes of state of the system in the direction of increasing the degree of variability in the bioelectric activity of the extensor muscles of the little finger are demonstrated.

The high efficiency of application of the chaos theory and self-organization in the assessment of the neuromuscular human system is showed. The obtained results allow to determining the level of the ability of performing the specified operations under the influence of static loads.

Key words: muscle electrical activity, quasi-attractor, the chaos theory and self-organization.

Введение. При изучении и моделировании сложных биологических объектов возникает возможность внедрения традиционных физических методов в биологические исследования. В частности, речь идёт о принципе неопределенности Гейзенберга и о новых методах *теории хаоса-самоорганизации* (ТХС) [1-6,11-14]. При этом можно сравнить их эффективность [7-14] с помощью метода многомерных фазовых пространств, который активно используется в различных исследованиях [1-3, 5, 6]. В настоящей работе демонстрируется реализация такого подхода на основе метода анализа многомерных фазовых

Библиографическая ссылка:

Гавриленко Т.В., Горбунов Д.В., Эльман К.А., Черников Н.А. Динамика изменения параметров биоэлектрической активности мышц в ответ на статическое усилие // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2015. №4. Публикация 1-4. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-4/5293.pdf> (дата обращения: 30.11.2015). DOI: 10.12737/16780

пространств для изучения особенностей реакции нервно-мышечной системы в ответ на дозированные статические нагрузки. Отметим, что при этом вместо традиционного понимания стационарных режимов биосистем в виде $dx/dt=0$, где $x=x(t)=(x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ является вектором состояния системы (ВСС), мы используем параметры квазиаттракторов (КА), внутри которых наблюдается движение ВСС в фазовом пространстве состояний (ФПС). Эти движения имеют хаотический характер, т.е. $dx/dt \neq 0$, но при этом движение ВСС ограничено в ФПС объемом такого КА [1-7, 11-14]. Обычно мы используем координаты $x_1=x_1(t)$ – реальная переменная (у нас это биопотенциалы мышц (БПМ) и $x_2=dx_1/dt$ – скорость изменения фазовой координаты x_1 . Иногда используется и трехмерное ФПС, где $x_3=dx_2/dt$ – ускорение для x_1 [2,5,7-9].

В задачи настоящего исследования входит доказательство возможности использования в качестве количественной меры, наблюдаемой в экспериментальных измерениях хаотической динамики электромиограмм мышцы (у нас – сгибатель мизинца), величины объемов КА в виде S или V_G многомерных фазовых пространств. Это обеспечивает идентификацию изменений параметров функционального состояния мышц при слабой и сильной статической нагрузке мышцы (мышца мизинца – *musculus adductor digiti mini* (MADM)). При этом организм испытуемых представлен особым ВСС $x=x(t)$, который совершает непрерывные хаотические движения (т.е. постоянно $dx/dt \neq 0$) в пределах ограниченных КА [8, 9, 13]. Именно это продемонстрировали ученые университета в Стенфорде при изучении произвольных движений, но они не представили меру для таких электрофизиологических процессов [7-9]. В данном исследовании представляли модели электромиограмм в ФПС в виде КА [1-7, 17-22].

Объекты и методы исследования. Начальном этапе эксперимента были установлены гендерные различия – параметры КА электромиограмм женщин и мужчин отличаются и зависят от физиологического состояния организма испытуемых [3]. В статье представлены результаты углубленного исследования одного и того же испытуемого. Для исследования был привлечен испытуемый в возрасте 24 лет. У испытуемого многократно регистрировалась электромиограмма с частотой дискретизации $\tau=0,25$ мс. Следует отметить, что электромиограммы регистрировались по 15 раз на каждом этапе исследования. Записи электромиограмм мышцы (MADM) обрабатывались программным комплексом для формирования вектора $x=(x_1, x_2, x_3)^T$, где $x_1=x(t)$ – динамика абсолютного значения биопотенциалов мышцы на некотором интервале времени Δt , x_2 – скорость изменения x_1 , т.е. $x_2=dx_1/dt$, а x_3 – ускорение изменения x_1 , т.е. $x_3=dx_2/dt$. На основе полученного вектора $x(t)=(x_1, x_2, x_3)^T$ строились КА динамики поведения ВСС, определялись объемы полученных квазиаттракторов V_G по формуле $V_G^{max} \geq \Delta x_1 * \Delta x_2 * \Delta x_3 \geq V_G^{min}$ [1-6, 11-14], где Δx_1 – вариационный размах величины биопотенциала, Δx_2 – вариационный размах для скорости изменения, а Δx_3 – вариационный размах для ускорения изменения биопотенциалов. В конечном итоге анализ состояния мышц испытуемых при различных усилиях F проводился на основе сравнения площади КА в виде S или объема КА V_G , а также расчет значений энтропии Шеннона E . Значение энтропии Шеннона E определяется по формуле $E(x) = -\sum_{i=1}^n p(i) \log_2 p(i)$, где p – функция вероятности. Одновременно производи-

лось сравнение значений E с особенностями функциональных состояний. Отметим, что энтропийный подход широко используется в медицине, но для электромиограмм нет сообщений в литературе, т.е. эта тема остается мало исследованной. Электромиограммы фиксировались для правой руки при приложенном усилии от максимально возможных данного человека в 20 % ($F_1=9$ даН), при среднем усилии 50 % ($F_2=22$) и сильном усилии 80 % ($F_3=35$ даН). При повторах формировались файлы $x_i(t)$, где x_i – это величина биосигнала с периодом квантования 0,25 сек., для 15-ти выборок ЭМГ одного и того же человека на трех этапах исследования.

Результаты и их обсуждение. Ранее было установлено, что при сравнении временных разверток электромиографического сигнала целесообразно определять V_G [2-4]. Анализ полученных временных рядов по данным электромиографии показал, что получаемый сигнал всегда уникален для каждой регистрации, но при этом сохраняется закономерность, которая связана с объемом КА V_G в фазовом пространстве x_1, x_2 и x_3 (см. рис. 1).

Каждый из наборов пары векторов перемещения x_1 и x_2 или, в нашем случае, тройки векторов перемещения x_1, x_2 и x_3 могут образовывать фазовую плоскость, описывающую динамику поведения двумерного ВСС $x=(x_1, x_2)^T$ или трехмерного ВСС $x=(x_1, x_2, x_3)^T$, на рис. 1-А представлен трехмерный ВСС для правой руки, а на рис. 1-В для левой руки.

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. Мы наблюдаем их непрерывное изменение при сравнении выборок ЭМГ и любая ЭМГ имеет свой особый закон распределения и $f(x)$ для каждого интервала. Мы составили матрицы парных сравнений выборок ЭМГ для испытуемого в трех состояниях (сила сжатия динамометра F_1 – 30%, F_2 – 50% и F_3 – 80% от максимально возможного усилия испытуемого) и установили закономерность изменения числа пар «совпадений» выборок k , получаемых параметров ЭМГ. Оказалось, что в первом случае (для $F_1=9$ даН) матрица 15×15 показывает $k_1=21$. При увеличении напряжения до

Библиографическая ссылка:

Гавриленко Т.В., Горбунов Д.В., Эльман К.А., Черников Н.А. Динамика изменения параметров биоэлектрической активности мышц в ответ на статическое усилие // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2015. №4. Публикация 1-4. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-4/5293.pdf> (дата обращения: 30.11.2015). DOI: 10.12737/16780

$F_2=22$ даН наблюдается и увеличение числа совпадений до $k_2=26$. Рост числа совпадений сохраняется и при увеличении напряжения до $F_3=35$ даН, здесь число совпадений $k_3=34$.

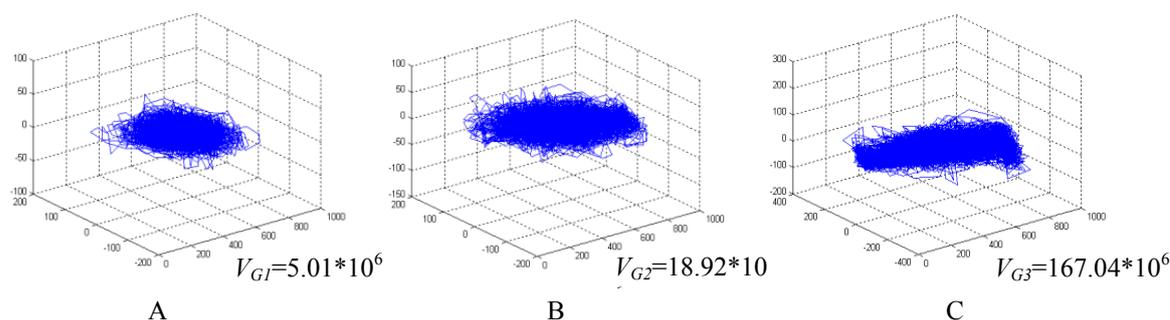


Рис. 1. Результат обработки выборок ЭМГ для правой руки испытуемого ГДА при:
 А – слабом напряжении мышцы (F_1 – 30% от мах); В – среднем напряжении мышцы (F_2 – 50% от мах);
 С – сильном напряжении мышцы (F_3 – 80% от мах)., здесь V_1 , V_2 и V_3 – объемы КА для ЭМГ.

Сравнение объемов V_G для КА выборок от одного испытуемого представлено в табл. 1. Из этой таблицы видно, что в обоих случаях четко выражено различие двух состояний при слабом напряжении F_1 и сильном напряжении мышцы F_2 (MADM). Здесь средние значения отличаются в 2-5 раз, так для правой руки испытуемого ГДА они принимают значения $\langle V_{G1} \rangle = 34.1 * 10^6$, $\langle V_{G2} \rangle = 59.3 * 10^6$ и $\langle V_{G3} \rangle = 186.8 * 10^6$. Следует отметить, что V_{G2} для правой руки в 1.73 раз превышает V_{G1} и почти в 3 раза меньше чем V_{G3} .

Таблица 1

Значение объемов квазиаттракторов V_G выборок ЭМГ одного испытуемого при слабом (F_1 – 30% от мах), среднем (F_2 – 50% от мах) и сильном (F_3 – 80% от мах) статическом напряжении мышцы сгибателя мизинца правой руки испытуемого ГДА

	$V_{G1} * 10^6$	$V_{G2} * 10^6$	$V_{G3} * 10^6$
1	4.83	3.51	79.17
2	4.75	30.54	336.15
3	2.05	10.71	181.00
4	3.74	26.95	175.18
5	5.01	18.92	167.04
6	4.78	64.21	229.09
7	8.22	127.27	277.59
8	42.94	119.93	135.86
9	5.57	46.12	134.64
10	100.23	189.35	145.04
11	37.39	16.81	366.58
12	63.19	11.65	189.83
13	40.55	36.86	201.62
14	89.62	97.92	212.04
15	98.82	88.76	138.70
$\langle V_G \rangle$	34.11	59.30	186.84

При парном сравнении объемов V_G КА (табл. 2) только пара V_{G1} и V_{G2} демонстрирует совпадение, то есть эти две выборки ЭМГ можно отнести к одной генеральной совокупности при уровне значимости критерия Вилкоксона $p < 0.05$ принимает значение $p = 0.05$, остальные две пары сравнения различаются, здесь $p = 0.00$. Так же рассчитывались значения энтропии Шеннона и проводился сравнительный анализ, как и для объемов V_G КА. Результаты парного сравнения энтропии Шеннона представлены в таблице 2. Как видно из этой таблицы значения энтропии Шеннона демонстрируют такие же результаты, как и значения V_G КА, пара E_1-E_2 совпадает и уровень значимости p принимает значения $p = 0.11$, а оставшиеся две пары E_1-E_3 и E_2-E_3 различаются и имеют значения уровня значимости $p = 0.04$ и $p = 0.02$ соответственно.

Библиографическая ссылка:

Гавриленко Т.В., Горбунов Д.В., Эльман К.А., Черников Н.А. Динамика изменения параметров биоэлектрической активности мышц в ответ на статическое усилие // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2015. №4. Публикация 1-4. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-4/5293.pdf> (дата обращения: 30.11.2015). DOI: 10.12737/16780

Значения парного сравнения объёмов V_G квазиаттракторов и энтропии Шеннона выборок ЭМГ одного и того же человека при трёх разных усилиях сжатия динамометра: при слабом усилии ($F_1=9$ даН); при среднем усилии ($F_2=22$ даН); при сильном усилии ($F_3=35$ даН). Использовался критерий Вилкоксона, уровень значимости $p<0.05$

Уровни значимости парного сравнения объёмов квазиаттракторов				Уровни значимости парного сравнения значений энтропии Шеннона			
	V_{G1}	V_{G2}	V_{G3}		E_1	E_2	E_3
V_{G1}		0.05	0.00	E_1		0.11	0.04
V_{G2}	0.05		0.00	E_2	0.11		0.02
V_{G3}	0.00	0.00		E_3	0.04	0.02	

Ранее нами было установлено, что энтропийный подход обладает низкой диагностической ценностью, хотя результаты данного исследования дают такие же результаты как и объёмы V_G КА. Это связано с тем что данный метод (энтропийный подход) обладает низкой чувствительностью при анализе параметров гомеостаза. В данной статье рассматривались данные при значительно большей разнице в изучаемых статических усилиях, из-за этого энтропийный подход смог зафиксировать только различия выборок при сравнении выборок ЭМГ при слабом F_1 и сильном усилии F_3 , а так же различается пара при среднем F_2 и сильном усилии F_3 .

Можно утверждать, что других способов количественного описания параметров изменения биопотенциалов мышц (ЭМГ) при увеличении силы напряжения мышцы 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.) нет возможностей получать модели, которые бы существенно различали эти два состояния мышцы (ЭМГ при F_1 и F_2).

В рамках ТХС можно использовать фазовые плоскости при повторении опытов (получать выборки с повторением) и для них строить КА. Однако, полностью уходить от стохастики пока не следует. Необходимы модификации, внедрение новых методов в комплексе с методами ТХС [3-8, 9-12, 24].

Выводы:

1. Сравнение традиционных методов обработки электромиограмм и методов ТХС показывает низкую эффективность моделей в рамках расчёта 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 стохастики, 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 различных 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 $V=\Delta x_1 \Delta x_2 \Delta x_3$, 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).

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ $p_{урал_a}$ 15-41-00034.

Литература

1. Оценка хаотичной динамики параметров вектора состояния организма человека с нарушениями углеводного обмена / Адайкин В.А., Еськов В.М., Добрынина И.Ю. [и др.] // Вестник новых медицинских технологий. 2007. Т. 14, № 3. С. 17–19.
2. Адайкин В.И., Берестин К.Н., Глушук А.А., Лазарев В.В., Полухин В.В., Русак С.Н., Филатова О.Е. Стохастические и хаотические подходы в оценке влияния метеофакторов на заболеваемость населения на примере ХМАО-Югры // Вестник новых медицинских технологий. 2008. Т. 15, № 2. С. 7–9.

Библиографическая ссылка:

Гавриленко Т.В., Горбунов Д.В., Эльман К.А., Черников Н.А. Динамика изменения параметров биоэлектрической активности мышц в ответ на статическое усилие // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2015. №4. Публикация 1-4. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-4/5293.pdf> (дата обращения: 30.11.2015). DOI: 10.12737/16780

3. 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.
4. Гавриленко Т.В., Горбунов Д.В., Эльман К.А., Шадрин Г.А. Динамика изменения параметров биоэлектрической активности мышц в ответ на разное статическое усилие // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2015. №3. Публикация 1–8. Режим доступа: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-3/5257.pdf> (дата обращения: 30.09.2015). DOI: 10.12737/13386
5. Вохмина Ю.В., Еськов В.М., Гавриленко Т.В., Филатова О.Е. Измерение параметров порядка на основе нейросетевых технологий // Измерительная техника. 2015. № 4. С. 65–68.
6. Ведясова О.А., Еськов В.М., Филатова О.Е. Системный компартментно-кластерный анализ механизмов устойчивости дыхательной ритмики млекопитающих. Монография; Российская акад. наук, Науч. совет по проблемам биологической физики. Самара, 2005. 198 с.
7. Ведясова О.А., Еськов В.М., Живогляд Р.Н., Зуевская Т.В., Попов Ю.М. Соотношение между детерминистскими и хаотическими подходами в моделировании синергизма и устойчивости работы дыхательного центра млекопитающих // Вестник новых медицинских технологий. 2005. Т. 12, № 2. С. 23–24.
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., Филатова О.Е., Фудин Н.А., Хадарцев А.А. Новые методы изучения интервалов устойчивости биологических динамических систем в рамках компартментно-кластерного подхода // Вестник новых медицинских технологий. 2004. Т. 11, № 3. С. 5–6.
11. Еськов В.М. Методы измерения интервалов устойчивости биологических динамических систем и их сравнение с классическим математическим подходом в теории устойчивости динамических систем // Метрология. 2005. № 2. С. 24–36.
12. Исследование корреляции показателей функциональной асимметрии полушарий головного мозга с результатами учебной деятельности учащихся / Еськов В.М., Майстренко В.И., Майстренко Е.В. [и др.] // Вестник новых медицинских технологий. 2007. Т. 14, № 3. С. 205–207.
13. Еськов В.М., Живогляд Р.Н., Кулаев С.В., Папшев В.А. Использование нейрокомпьютеров в гинекологической практике // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2005. Т. 4, № 1. С. 74–77.
14. Еськов В.М., Филатов М.А., Буров И.В., Филатова Д.Ю. Возрастная динамика изменений параметров квазиаттракторов психофизиологических функций учащихся школ Югры с профильным и непрофильным обучением // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2010. Т. 9, № 3. С. 599–603.
15. 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. 2010. Т. 17, № 3. С. 106–110.
16. Еськов В.М. Третья парадигма Российская академия наук, Научно-проблемный совет по биофизике. Самара, 2011. 295 с.
17. 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.
18. Хаотическая динамика параметров квазиаттракторов больных язвенной болезнью двенадцатиперстной кишки, находящихся в условиях медикаментозного и физиотерапевтического воздействия / Еськов В.М., Карпин В.А., Хадарцев А.А. [и др.] // Терапевт. 2013. № 5. С. 63–71.
19. Еськов В.М., Хадарцев А.А., Еськов В.В., Гавриленко Т.В., Филатов М.А. Complexity - особый тип биомедицинских и социальных систем // Вестник новых медицинских технологий. 2013. Т. 20. № 1. С. 17–22.
20. Еськов В.М., Гавриленко Т.В., Вохмина Ю.В. и др. Измерение хаотической динамики двух видов теппинга как произвольных движений // Метрология. 2014. № 6. С. 28–35.
21. 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.

Библиографическая ссылка:

Гавриленко Т.В., Горбунов Д.В., Эльман К.А., Черников Н.А. Динамика изменения параметров биоэлектрической активности мышц в ответ на статическое усилие // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2015. №4. Публикация 1–4. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-4/5293.pdf> (дата обращения: 30.11.2015). DOI: 10.12737/16780

22. Eskov V.M., Filatova O.E. Respiratory rhythm generation in rats: the importance of inhibition // *Neurophysiology*. 1993. Vol. 25, No. 6. P. 420
23. Eskov V.M., Filatova O.E. Problem of identity of functional states in neuronal networks // *Biophysics*. 2003. Vol. 48, No. 3. P. 497–505.
24. 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. Vol. 16, No. 2. P. 107–115.

References

1. Adaykin VA, Es'kov VM, Dobrynina IYu, et al. Otsenka khaotichnoy dinamiki parametrov vektora sostoyaniya organizma cheloveka s narusheniyami uglevodnogo obmena. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy*. 2007;14(3):17-9. Russian.
2. Adaykin VI, Berestin KN, Glushchuk AA, Lazarev VV, Polukhin VV, Rusak SN, Filatova OE. Stokhasticheskie i khaoticheskie podkhody v otsenke vliyaniya meteofaktorov na zaboлеваemost' naseleniya na primere KhMAO-Yugry. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy*. 2008;15(2):7-9. Russian.
3. Gavrilenko TV, Gorbunov DV, El'man KA, Grigorenko VV. Vozmozhnosti stokhastiki i teorii khaosa v obrabotke miogramm. *Slozhnost'. Razum. Postneklassika*. 2015;1:48-53. Russian.
4. Gavrilenko TV, Gorbunov DV, El'man KA, Shadrin GA. Dinamika izmeneniya parametrov bioelektricheskoy aktivnosti myshts v otvet na raznoe staticheskoe usilie. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. Elektronnoe izdanie [internet]*. 2015[cited 2015 Oct 30];3:[about 5 p.]. Russian. Available from: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-3/5257.pdf>. DOI: 10.12737/13386
5. Vokhmina YuV, Es'kov VM, Gavrilenko TV, Filatova OE. Izmerenie parametrov poryadka na osnove neyrosetevykh tekhnologiy. *Izmeritel'naya tekhnika*. 2015;4:65-8. Russian.
6. Vedyasova OA, Es'kov VM, Filatova OE. Sistemnyy kompartmentno-klasternyy analiz mekhanizmov ustoychivosti dykhatel'noy ritmiki mlekopitayushchikh. *Monografiya; Rossiyskaya akad. nauk, Nauch. sovet po problemam biologicheskoy fiziki*. Samara; 2005. Russian.
7. Vedyasova OA, Es'kov VM, Zhivoglyad RN, Zuevskaya TV, Popov YuM. Sootnoshenie mezhdru deterministskimi i khaoticheskimi podkhodami v modelirovanii sinergizma i ustoychivosti raboty dykhatel'nogo tsentra mlekopitayushchikh. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy*. 2005;12(2):23-4. 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 7 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, Filatova OE, Fudin NA, Khadartsev AA. Novye metody izucheniya intervalov ustoychivosti biologicheskikh dinamicheskikh sistem v ramkakh kompartmentno-klasternogo podkhoda. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy*. 2004;11(3):5-6. Russian.
11. Es'kov VM. Metody izmereniya intervalov ustoychivosti biologicheskikh dinamicheskikh sistem i ikh sravnenie s klassicheskim matematicheskim podkhodom v teorii ustoychivosti dinamicheskikh sistem. *Metrologiya*. 2005;2:24-36. Russian.
12. Es'kov VM, Maystrenko VI, Maystrenko EV, et al. Issledovanie korrelyatsii pokazateley funktsional'noy asimmetrii polushariy golovnogo mozga s rezul'tatami uchebnoy deyatel'nosti uchashchikhsya. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy*. 2007;14(3):205-7. Russian.
13. Es'kov VM, Zhivoglyad RN, Kulaev SV, Papshev VA. Ispol'zovaniye neyrokomp'yuterov v ginekologicheskoy praktike. *Sistemnyy analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh*. 2005;4(1):74-7. Russian.
14. Es'kov VM, Filatov MA, Burov IV, Filatova DYu. Vozrastnaya dinamika izmeneniya parametrov kvaziattraktorov psikhofiziologicheskikh funktsiy uchashchikhsya shkol Yugry s profil'nym i neprofil'nym obucheniem. *Sistemnyy analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh*. 2010;9(3):599-603. Russian.
15. Es'kov VM, Es'kov VV, Khadartsev AA, Filatov MA, Filatova DYu. Metod sistemnogo sinteza na osnove rascheta mezhattraktornykh rasstoyaniy v gipoteze ravnomernogo i neravnomernogo raspredeleniya pri izuchenii effektivnosti kineziterapii. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy*. 2010;17(3):106-10. Russian.
16. Es'kov VM. Tret'ya paradigma Rossiyskaya akademiya nauk, Nauchno-problemnyy sovet po biofizike. Samara; 2011. Russian.
17. Es'kov VM, Khadartsev AA, Filatova OE, Khadartseva KA. Okolosutochnye ritmy pokazateley kardiorespiratornoy sistemy i biologicheskogo vozrasta cheloveka. *Terapevt*. 2012;8:36-43. Russian.

Библиографическая ссылка:

Гавриленко Т.В., Горбунов Д.В., Эльман К.А., Черников Н.А. Динамика изменения параметров биоэлектрической активности мышц в ответ на статическое усилие // *Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание*. 2015. №4. Публикация 1-4. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-4/5293.pdf> (дата обращения: 30.11.2015). DOI: 10.12737/16780

18. Es'kov VM, Karpin VA, Khadartsev AA, et al. Khaoticheskaya dinamika parametrov kvaziattraktorov bol'nykh yazvennoy boleznyu dvenadtsatiperstnoy kishki, nakhodyashchikhsya v usloviyakh medikamentoznogo i fizioterapevticheskogo vozdeystviya. *Terapevt.* 2013;5:63-71. Russian.

19. Es'kov VM, Khadartsev AA, Es'kov VV, Gavrilenko TV, Filatov MA. Complexity - osoby tip biomeditsinskikh i sotsial'nykh sistem. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy.* 2013;20(1):17-22. Russian.

20. Es'kov VM, Gavrilenko TV, Vokhmina YuV, et al. Izmerenie khaoticheskoy dinamiki dvukh vidov teppinga kak proizvol'nykh dvizheniy. *Metrologiya.* 2014;6:28-35. Russian.

21. Rusak SN, Es'kov VV, Molyagov DI, Filatova OE. Godovaya dinamika pogodno-klimaticheskikh faktorov i zdorov'e naseleniya Khanty-Mansiyskogo avtonomnogo okruga. *Ekologiya cheloveka.* 2013;11:19-24. Russian.

22. Eskov VM, Filatova OE. Respiratory rhythm generation in rats: the importance of inhibition. *Neurophysiology.* 1993;25(6):420.

23. Eskov VM, Filatova OE. Problem of identity of functional states in neuronal networks. *Biophysics.* 2003;48(3):497-505.

24. Eskov 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.

Библиографическая ссылка:

Гавриленко Т.В., Горбунов Д.В., Эльман К.А., Черников Н.А. Динамика изменения параметров биоэлектрической активности мышц в ответ на статическое усилие // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2015. №4. Публикация 1-4. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-4/5293.pdf> (дата обращения: 30.11.2015). DOI: 10.12737/16780