

DOI: 10.12737/21044

ХАОТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ БИОПОТЕНЦИАЛОВ

Д.Ю. ФИЛАТОВА, Т.Ю. ПОСКИНА, Н.Ш. АЛИЕВ, Л.Г. КЛЮС

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

Аннотация. Демонстрируется практическая возможность применения метода многомерных фазовых пространств, как количественной меры, для оценки хаотической динамики на примере электромиограмм (ЭМГ) и электроэнцефалограмм (ЭЭГ). В исследованиях используется метод многомерных фазовых пространств. При изучении и моделировании сложных биологических объектов (*complexity*) в этом случае возникает возможность внедрения традиционных физических методов в биологические исследования и новых методов на базе теории хаоса-самоорганизации. В качестве меры состояния ЭМГ и ЭЭГ человека (слабое напряжение мышцы и сильное) используются объемы квазиаттракторов многомерных фазовых пространств. Это обеспечивает идентификацию реальных измерений параметров функционального состояния мышцы при слабом и сильном статическом напряжении или мозга человека при различных психических состояниях. Была построена временная развертка сигнала, полученного с электромиографа и были построены автокорреляционные функции $A(t)$ сигнала. В конечном итоге анализ состояния системы производился на основе сравнения объема VG квазиаттрактора, а также на основе анализа энтропии Шеннона E .

Ключевые слова: электромиограммы, хаос, эффект Еськова-Зинченко.

CHAOTIC ANALYSIS OF BIOPOTENTIALS

D.YU. FILATOVA, T.YU. POSKINA, N.SH. ALIEV, L.G. KLYUS

Surgut State University, Lenin str., d. 1, Surgut, 628400, Russia

Abstract. It was demonstrated the feasibility of applying the method of multi-dimensional phase space as a quantitative measure for the evaluation of chaotic dynamics on the example of the electromyogram (EMG) and electroencefalogramm (EEG). The investigation use the method of multi-dimensional phase space. In the study and modeling of complex biological objects there is the possibility of introducing traditional physical methods in biological research and new methods based on theory chaos and self-organization. As a measure of the state of the EMG and EEG of the person (weak muscle tension and strong) used quasi-attractors volumes of multidimensional phase space. It provides the identification of the actual measurements of the parameters of the functional state with weak muscles ($F_1=5$ daN) and strong static ($F_2=10$ daN) and under of stress of human brain. It was built timebase signal obtained with electromyograph and were built autocorrelation function $A(t)$ of EMG and EEG. At last we calculate the volume VG of quasiattractor and Shannon entropy E of all the signals.

Key words: electromyogram, chaos, the effect Eskova-Zinchenko.

Введение. В физиологии и психологии широко используется *электромиография* (ЭМГ) – метод исследования, позволяющий регистрировать биоэлектрическую активность групп мышц в состоянии покоя и при произвольных или непроизвольных

их сокращениях. При этом моторная единица служит окончательным блоком для реализации моторной активности в нервной системе, а мышца является окончательным эффекторным органом двигательной активности. Все движения человеческого тела,

его положение в пространстве и рефлекторная активность – это результат интегрированных импульсов большого числа моторных единиц, опосредованных как спинально, так и супраспинально. Сила мышечного сокращения зависит от числа моторных единиц, участвующих в данном сокращении; частоты, с которой происходит разрядка импульсов в моторной единице; скорости сокращения мышечных волокон в моторной единице и от природы (характера) моторной единицы (является ли она устойчивой к утомлению или, напротив, склонной к нему).

Число моторных единиц в различных мышцах различно и колеблется от 100 в мышцах кисти руки до нескольких тысяч в мышцах ног. Чтобы правильно интерпретировать результаты клинических и лабораторных исследований как нормальной, так и поврежденной мышцы, необходимо понимать организацию моторных единиц и характер их возбуждения. Моторные единицы различаются между собой как по размерам, так по биохимическим и физиологическим свойствам их мышечных волокон, но в плане регуляции все они имеют сходную структуру и общую хаотическую динамику. Именно хаос в работе мышц и лежит в основе эффекта Н.А. Бернштейна «повторение без повторений», что количественно представлено в эффекте Еськова-Зинченко [2,11,15,17].

При изучении и моделировании сложных биологических объектов возникает возможность внедрения традиционных физических методов в биологические исследования. В частности, речь идет о принципе неопределенности Гейзенберга и новых методах *теории хаоса-самоорганизации* (ТХС) [1-6,11-14]. При этом можно выполнять сравнения их эффективности [7-15] 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 матриц парного сравнения выборок биопотенциалов мышц и мозга в ответ на дозированные статические нагрузки и внешние возмущения. От-

метим, 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).

В задачи настоящего исследования входит доказательство низкой эффективности термодинамического подхода для анализа ЭМГ. В частности, будет доказано, что расчет энтропии Шеннона ЭМГ не может обеспечить идентификацию изменений параметров функционального состояния мышц при слабой и сильной статической нагрузке мышцы (мышца мизинца – *musculus adductor digiti minimi* (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 [1,9,11-14].

1. Хаотическая динамика параметров биоэлектрической активности мышц. Сразу отметим, что нами уже были установлены гендерные различия – параметры КА миограмм женщин и мужчин отличаются и зависят от физиологического состояния организма испытуемых. В нашем сообщении мы представляем результаты исследования как группы людей (мужчин), так и одного и того же человека, т.е. речь идет о проблеме изотропизма. Для исследования была привлечена группа испытуемых из 15-ти мужчин в возрасте от 20 до 25 лет и одновременно группа сравнивалась с одним человеком в возрасте 23 года. У испытуемых регистрировались ЭМГ с частотой дискретизации $\tau=0.25$ мс.

Следует отметить, что у одного и того же человека ЭМГ регистрировались по 15 повторений в каждом состоянии. Записи ЭМГ (отводящая мышца – сгибатель мизинца) обрабатывались программным комплексом для построения матриц парного сравнения, формирования вектора $x=(x_1, x_2)^T$, где $x_1=x(t)$ – динамика абсолютного значения ЭМГ на некотором интервале времени Δt , а x_2 – скорость изменения x_1 , т.е. $x_2=dx_1/dt$. Одновременно проводился

расчет энтропии Шеннона E . 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, 11-17], где Δx_1 – вариационный размах величины биопотенциала, а Δx_2 – размах для его скорости изменения.

В конечном итоге анализ состояния мышц испытуемых при развитии различных усилий F ($F_2=2F_1$) проводился на основе матриц парного сравнения и энтропии Шеннона E . В этой связи на основе анализа значений энтропии Шеннона E , где E определяется по формуле

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

а p – функция вероятности, производилось сравнение значений E с особенностями функциональных состояний испытуемых. Отметим, что энтропийный подход широко используется в медицине, но для ЭМГ мы не встретили сообщений в литературе, т.е. эта тема мало изучена. ЭМГ фиксировали при слабом статическом напряжении мышцы $F_1=5$ даН и при сильном напряжении $F_2=10$ даН. С помощью квантования сигнала регистрировались выборки x_{li} (x_l – это величина биосигнала MADM, i – номер измерения (кванта) с периодом квантования 0,25 сек). При повторах формировались файлы $x_l(t)$ для 15-ти разных выборок группы мужчин и при одинаковых повторах измерения одного испытуемого (при 15-ти повторах измерений ЭМГ у этого одного испытуемого).

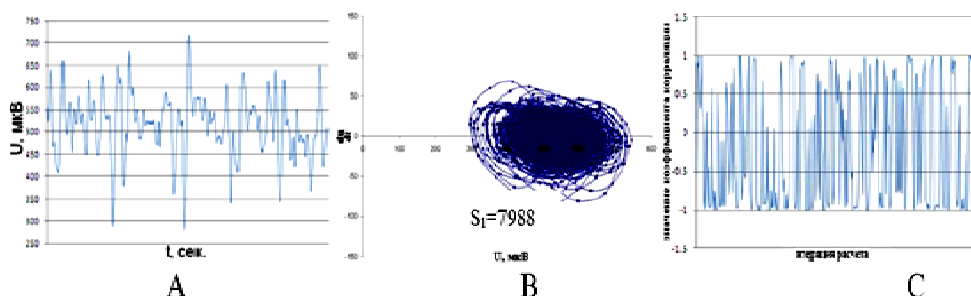


Рис. 1. Результаты обработки данных, полученных при слабом напряжении мышцы ($F_1=5$ даН); испытуемый КАЕ как типичный пример всей группы: А – временная развертка сигнала; В – фазовые траектории КА с площадью $S_1=79886$ у.е.; С – автокорреляционная функция сигнала $A(t)$

С помощью ЭВМ производилась визуализация данных, полученных с помощью электромиографа, строилась временная развертка сигнала (рис. 1-А), которая преобразовывалась дискретизацией сигнала в некоторые числовые ряды (выборки ЭМГ). Анализом полученных временных рядов по данным с ЭМГ было доказано, что получаемый сигнал всегда уникален для каждого интервала регистрации испытуемого. Однако, при этом сохраняется некоторая закономерность, которая связана с объемом КА V_G в фазовом пространстве x_1 и x_2 (рис. 1-В и 2-В).

Каждый из векторов перемещения по осям (x_1 и x_2) может образовывать фазовую плоскость, описывающую динамику поведения двумерного ВСС $x=(x_1, x_2)^T$, которая представлена на рис. 1-В. Из этих рисунков видно, что ЭМГ имеют некоторое подобие с автокорреляционной функцией $A(t)$, которая представлена на рис. 1-С. В целом, нативная ЭМГ и автокорреляционные функции $A(t)$ демонстрируют непрерывный калейдоскоп таких функций, которые отличаются друг от друга (нет повторений). Это и является основой эффекта Еськова-Зинченко [2, 11, 15].

2. Возможности стохастического подхода в анализе ЭМГ. Поскольку для многих параметров гомеостаза функции распределения для ЭМГ их $f(x)$ 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 Δt .

Были составлены матрицы парных сравнений выборок ЭМГ для всех 15-ти испытуемых при 2-х

силах сжатия динамометра ($F_2=2F_1$). При этом установили определенную закономерность изменения числа «совпадений» пар выборок k , получаемых параметров ЭМГ. Оказалось, что в первом случае (для F_1) матрица 15×15 (она дает 105 разных пар сравнений ЭМГ) при усилии $F_1=5$ даН показывает $k_1=8$, что представлено в табл. 1. При увеличении усилия (напряжения) до $F_2=10$ даН наблюдается и увеличение числа совпадений до $k_2=18$. Вид такой матрицы для F_1 представлен в табл.1, а для $F_2=2F_1$ в табл. 2. Здесь мы имеем пример сравнения ЭМГ группы из 15-ти различных испытуемых. Отметим, что 15 измерений у одного испытуемого (подряд) показывает почти аналогичную зависимость: почти двукратное увеличение k_2 против k_1 (в табл.1 $k_1=8$, а в табл.2 имеем $k_2=18$).

Матрица парного сравнения выборок ЭМГ группы из 15 мужчин при слабом напряжении мышцы ($F_1=5$ даН). Здесь использовался критерий Ньюмана-Келсо (значимость $p<0.05$, число совпадений $k_1=8$)

	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	0.00	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	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.00	0.00	0.00		0.00	0.41	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	0.02	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.00	0.00	0.41	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	1.00	0.00	0.00	0.21	1.00	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	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00		0.00	0.00	0.02	1.00	0.00	0.00
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00		0.24	0.00	0.00	0.00	0.00
11	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24		0.00	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.02	0.00	0.00		1.00	0.00	0.00
13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00		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	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

Таким образом, и для одного испытуемого (при повторях опытов) и для группы разных испытуемых (табл. 1, 2), мы предлагаем использовать подобные матрицы парных сравнений ЭМГ (и их функций распределения $f(x)$) для оценки физиологического состояния мышцы, выявления особенностей ее регуляции. Разовые же измерения и сравнения $f(x)$, которые сейчас в физиологии широко используются, не имеют информационного смысла.

Появления $p<0.05$ в таких матрицах

совершенно хаотично, имеет значение только число «совпадений» k выборок ЭМГ. Оно зависит от функционального состояния мышцы (величины усилия F , от охлаждения мышцы, введения миорелаксанта, утомления и т.д.). Величина k реально может быть использована в физиологических или психофизиологических исследованиях, т.к. является новой количественной мерой получаемых выборок ЭМГ (т.е. отнесения их к одной генеральной совокупности). Величина числа совпадений k состояния мышцы или психическое состояние испытуемого (стресс, звуковое воздействие и т.д.).

Аналогичным образом были построены матрицы парного сравнения 15×15 для одного испытуемого. Как оказалось, матрицы парного сравнения для одного человека (число повторов 15) демонстрируют схожий результат с группой испытуемых (15 человек) в первом случае (для F_1) матрица 15×15 при усилии $F_1=5$ даН показывает $k_1=6$. При двукратном увеличении напряжения ($F_2=2F_1$) наблюдается и увеличение числа совпадений до $k_2=20$. Подчеркнем, что для разных испытуемых и для одного испытуемого наблюдается такая же закономерность (k_2 больше k_1 в 2-3 раза по большим выборкам).

Фактически, такие матрицы являются некоторой моделью особых (уникальных) систем (у нас это система регуляции ЭМГ), а k – обобщенный параметр этой модели. Матрицы определяют особенность регуляции параметров ЭМГ при разных состояниях организма. Они в целом характеризуют систему регуляции мышц испытуемых в различных физиологических и психологических состояниях.

Таблица 2

Матрица парного сравнения выборок ЭМГ группы из 15 мужчин при сильном напряжении мышцы ($F_1=10$ даН). Здесь использовался критерий Ньюмана-Келсо (значимость $p<0.05$, число совпадений $k_2=18$)

	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	0.52	1.00	0.87	0.00	0.00	0.88	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	0.00
3	0.00	0.00		0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00
4	0.00	0.00	0.00		1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.03	1.00		0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00
6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	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	1.00
8	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
9	0.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.02	1.00	0.00	0.13	1.00	0.00
10	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02		0.03	0.00	0.00	0.03	0.00
11	0.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.03		0.00	0.07	1.00	0.00
12	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00
13	0.00	0.00	0.00	0.20	0.03	0.00	0.00	1.00	0.13	0.00	0.07	0.00		0.07	0.00
14	0.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.03	1.00	0.00	0.07		0.00
15	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	0.00	

3. Границы термодинамического подхода. Одновременно мы проверили значимость и эффективность критерия термодинамического типа, который используется в стохастике (и термодинамике) в виде расчета энтропии Шэннона E для этих же выборок ЭМГ для группы испытуемых и одного и того же человека. Результаты расчетов по всей группе показали, что распределения E_1 (для F_1) и E_2 (для F_2) будут параметрическими, их средние значения ($\langle E_1 \rangle = 2,58$, $\langle E_2 \rangle = 2,6$) и значения Т-критерия ($p=0,7$) значительно больше 0,05. Это означает, что они статистически не различаются при критерии значимости различий для этих двух выборок E_1 и E_2 в виде $p=0,70$. Это представлено в табл. 3.

Подобный результат расчета энтропии Шэннона E мы получили и для выборок ЭМГ от одного и того же испытуемого. Здесь, мы тоже имеем параметрическое распределение для E_1 и E_2 , средние значения не отличаются ($\langle E_1 \rangle = 2,59$, $\langle E_2 \rangle = 2,59$). Полученные результаты значений энтропии Шэннона статистически не различаются. Для этих двух выборок E_1 и E_2 критерий значимости $p=0,23$.

Таким образом, термодинамический (энтропийный) подход в оценке выборок ЭМГ (для мышц) в двух состояниях испытуемых ($F_2=2F_1$) совершенно ничего не да-

ет. Получается, что ЭМГ по данным E одинаковы в этих 2-х состояниях, хотя матрицы парных сравнений выборок все-таки показывают разное число совпадений как для группы испытуемых ($k_1=8$, $k_2=18$), так и для 15-ти повторных выборок от одного испытуемого ($k_1=6$, $k_2=20$). С позиций расчета энтропии с мышцей ничего не происходит, она находится якобы в стационарном состоянии. Это является яркой демонстрацией условности стационарности, что представлено в табл. 1, 2, 3 в виде Т-критерия для значений выборок ЭМГ и выборок энтропии E .

Таблица 3

Значения энтропии Шэннона для ЭМГ группы из 15-ти мужчин при слабом напряжении мышцы ($F_1=5$ даН) и сильном напряжении мышцы ($F_2=10$ даН)

	$E_1, 5$ даН	$E_2, 10$ даН
1	2.361	2.134
2	2.688	2.737
3	2.520	2.758
4	2.793	2.685
5	2.834	2.705
6	2.484	2.732
7	2.474	2.868
8	2.607	2.344
9	2.607	2.344
10	2.731	2.854
11	2.257	2.428
12	2.642	2.855
13	2.640	2.596
14	2.700	2.537
15	2.353	2.432
среднее	2.579	2.601
	Нормальное распределение, Т-критерий, критерий значимости $p=0,70$	

Заключение. На основе полученных результатов можно высказать 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 матрицы парных сравнений выборок ЭМГ и КА ЭМГ в ФПС являются определенными моделями состояния электрической активности мышц [2-13, 17-20]. В рамках стохастичности (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).

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 стохастичности пока не следует. Необходимы модификации, внедрение новых методов в комплексе с методами ТХС [3-8, 9-12]. При этом становится очевидным, что применение традиционных функциональных моделей и стохастичности в разовых экспериментах не имеет смысла (такие данные имеют исторический характер).

Литература

References

1. Адайкин В.И., Брагинский М.Я., Еськов В.М., Русак С.Н., Хадарцев А.А., Филатова О.Е. Новый метод идентификации хаотических и стохастических параметров экосреды // Вестник новых медицинских технологий. 2006. Т. 13, № 2. С. 39–41.
2. Веракса А.Н., Горбунов Д.В., Шадрин Г.А., Стрельцова Т.В. Эффект Еськова-Зинченко в оценке параметров теппинга методами теории хаоса-самоорганизации и энтропии // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2016. №1. С. 17–24.
3. 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.
4. Еськов В.М., Зилов В.Г., Хадарцев А.А. Новые подходы в теоретической биологии и медицине на базе теории хаоса и синергетики // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2006. Т. 5, № 3. С. 617–622.
5. Еськов В.М., Зилов В.Г., Фудин Н.А., Хадарцев А.А., Веневцева Ю.Л., Громов М.В., Карташова Н.М., Кидалов В.Н., Филатова О.Е., Цогоев А.С., Борисова О.Н., Купеев В.Г., Мельников А.Х., Наумова Э.М., Бехтерева Т.Л., Валентинов Б.Г., Демушкина И.Г., Смирнова И.Е., Сясин Н.И., Терехов И.В., Хадарцева К.А., Хижняк Л.Н., Юсупов Г.А., Адырхаева Д.А., Бочкарев Б.Ф., Хижняк Е.П. Избранные технологии диагностики: Монография / Под ред. А.А. Хадарцева, В.Г. Зиловой, Н.А. Фудина. Тула: ООО РИФ «ИНФРА», 2008. 296 с.
- Adaykin VI, Braginskiy MYa, Es'kov VM, Rusak SN, Khadartsev AA, Filatova OE. Novyy metod identifikatsii khaoticheskikh i stokhasticheskikh parametrov ekosredy. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2006;13(2):39-41. Russian.
- Veraksa AN, Gorbunov DV, Shadrin GA, Strel'tsova TV. Effekt Es'kova-Zinchenko v otsenke parametrov teppinga metodami teorii khaosa-samoorganizatsii i entropii [Effect Eskova Zinchenko-estimation of parameters in tapping methods of the theory of chaos and entropy, self-organization]. Slozhnost'. Razum. Postneklassika. 2016;1:17-24.
- Es'kov VM, Filatova OE, Fu-din 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.
- Es'kov VM, Zilov VG, Khadartsev AA. Novye podkhody v teoreticheskoy biologii i meditsine na baze teorii khaosa i sinergetiki [New approaches in theoretical biology and medicine based on the chaos theory and synergetics]. Sistemnyy analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh. 2006;5(3):617-22. Russian..
- Es'kov VM, Zilov VG, Fudin NA, Khadartsev AA, Venetseva YuL, Gromov MV, Kartashova NM, Kidalov VN, Filatova OE, Tsogoev AS, Borisova ON, Kupeeov VG, Mel'nikov AKh, Naumova EM, Bekhtereva TL, Valentinov BG, Demushkina IG, Smirnova IE, Syasin NI, Terekhov IV, Khadartseva KA, Khizhnyak LN, Yusupov GA, Adyrkhaeva DA, Bochkarev BF, Khizhnyak EP. Izbrannye tekhnologii diagnostiki: Monografiya / Pod red. A.A. Khadartseva, V.G. Zilova, N.A. Fudina. Tula: ООО РИФ «ИНФРА»; 2008. Russian.

6. Еськов В.М., Еськов В.В., Филатова О.Е. Особенности измерений и моделирования биосистем в фазовых пространствах состояний // Измерительная техника. 2010. № 12. С. 53–57.
Es'kov VM, Es'kov VV, Filatova OE. Osobennosti izmereniy i modelirovaniya biosistem v fazovykh prostranstvakh sostoyaniy [Features of measurements and modeling of biological systems in the phase space of states]. Izmeritel'naya tekhnika. 2010;12:53-7. Russian.
7. 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.
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 [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 kinesitherapy]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2010; 17(3):106-10. Russian.
8. 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. С. 126–128.
Es'kov VV, Es'kov VM, Karpin VA, Filatov MA. Sinergetika kak tret'ya paradigma, ili ponyatie paradigmy v filosofii i nauke [Synergetics as a third paradigm, or the concept of a paradigm shift in philosophy and science]. Filosofiya nauki. 2011;4:126-8. Russian.
9. Еськов В.М. Третья парадигма. Самара: Российская академия наук, 2011.
Es'kov V.M. Tret'ya paradigma. Samara: Rossiyskaya akademiya na-uk, 2011. Russian.
10. Еськов В.М., Хадарцев А.А., Каменев Л.И. Новые биоинформационные подходы в развитии медицины с позиций третьей парадигмы (персонифицированная медицина - реализация законов третьей парадигмы в медицине) // Вестник новых медицинских технологий. 2012. Т. 19, № 3. С. 25–28.
Es'kov VM, Khadartsev AA, Kamenev LI. Novye bioinformatsionnye podkhody v razvitii meditsiny s pozitsiy tret'ey paradigmy (personifitsirovannaya meditsina - realizatsiya zakonov tret'ey paradigmy v meditsine). Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2012;19(3):25-8. Russian.
11. Еськов В.М., Зинченко Ю.П., Филатов М.А., Поскина Т.Ю. Эффект Н.А. Бернштейна в оценке параметров тремора при различных акустических воздействиях // Национальный психологический журнал. 2015. № 4. С. 66–73.
Es'kov VM, Zinchenko YuP, Filatov MA, Poskina TYu. Effekt N.A. Bernshteyna v otsenke parametrov tremora pri razlichnykh akusticheskikh vozdeystviyakh [The effect of NA Bernstein in the evaluation of tremor parameters for different acoustic effects]. Natsional'nyy psikhologicheskiy zhurnal. 2015;4:66-73. Russian.
12. Еськов В.М., Хадарцев А.А., Еськов В.В., Вохмина Ю.В. Хаотическая динамика кардиоинтервалов трёх возрастных групп представителей коренного и пришлого населения Югры // Успехи геронтологии. 2016. Т. 29, № 1. С. 44–51.
Es'kov VM, Khadartsev AA, Es'kov VV, Vokhmina YuV. Khaoticheskaya dinamika kardiointervalov trekh vozrastnykh grupp predstaviteley korennoy i prishlogo naseleniya Yugry [Chaotic dynamics of cardio three age groups, the representatives of the radical and alien population of Ugra]. Uspekhi gerontologii. 2016;29(1):44-51. Russian.
13. Еськов В.М., Газя Г.В., Майстренко Е.В., Болтаев А.В. Влияние промышленных электромагнитных полей на параметры сердечнососудистой системы работников нефтегазовой отрасли // Экология и промышленность России. 2016. № 1. С. 59–63.
Es'kov VM, Gazya GV, Maystrenko EV, Boltaev AV. Vliyanie promyshlennykh elektromagnitnykh poley na parametry serdechnososudistoy sistemy rabotnikov neftegazovoy otrasli [The impact of electromagnetic fields on the industrial parameters of the cardiovascular system of the oil and gas industry workers]. Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 2016;1:59-63. Russian.
14. Еськов В.М., Еськов В.В., Вохмина Ю.В.,
Es'kov VM, Es'kov VV, Vokhmina YuV,

Гавриленко Т.В. Эволюция хаотической динамики коллективных мод как способ описания поведения живых систем // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 3. Физ. Астрон. 2016. № 2.

Gavrilenko TV. Evolyutsiya khaoticheskoy dinamiki kolektivnykh mod kak sposob opisaniya povedeniya zhivyykh system [The evolution of chaotic dynamics of collective modes as a way to describe the behavior of living systems]. Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 3. Fiz. Astron. 2016;2. Russian.

15. Зинченко Ю.П., Еськов В.М., Еськов В.В. Понятие эволюции Гленсдорфа-Пригожина и проблема гомеостатического регулирования в психофизиологии // Вестник Московского университета. Серия 14: Психология. 2016. № 1. С. 3–24.

Zinchenko YuP, Es'kov VM, Es'kov VV. Ponya-tie evolyutsii Glensdorfa-Prigozhina i problema gomeostaticheskogo regulirovaniya v psikhofiziologii. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 14: Psikhologiya. 2016;1:3-24. Russian.

16. Сафоницева О.Г., Хадарцев А.А., Еськов В.М., Кидалов В.Н. Теория и практика восстановительной медицины. Сер. Мануальная диагностика и терапия: монография. Москва: Изд-во: «ИНФРА», 2006. 151 с.

Safonicheva OG, Khadartsev AA, Es'kov VM, Kidalov VN. Teoriya i praktika vosstanovitel'noy meditsiny. Ser. Manual'naya diagnostika i terapiya: monografiya. Moscow: Izd-vo: «INFRA»; 2006. Russian.

17. Филатов М.А., Веракса А.Н., Филатова Д.Ю., Поскина Т.Ю. Понятие произвольных движений с позиций эффекта Еськова-Зинченко в психофизиологии движений // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2016. №1. С. 24–32.

Filatov MA, Veraksa AN, Filatova DYU, Poski-na TYU. Ponyatie proizvol'nykh dvizheniy s pozi-tsiy effekta Es'kova-Zinchenko v psikhofiziologii dvizheniy [The concept of voluntary movements with positions Eskova-Zinchenko effect in psychophysiology of movements]. Slozhnost'. Razum. Postneklassika. 2016;1:24-32. Russian.

18. Хадарцев А.А., Еськов В.М., Хадарцев В.А., Иванов Д.В. Клеточные технологии с позиций синергетики // Вестник новых медицинских технологий. 2009. Т. 16, № 4. С. 7–9.

Khadartsev AA, Es'kov VM, Khadartsev VA. Ivanov DV. Kletochnye tekhnologii s pozitsiy sinergetiki [Cell' Technologies from Synergy Point of Vien]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2009;16(4):7-9. Russian.

19. Хадарцев А.А., Еськов В.М., Козырев К.М., Гонтарев С.Н. Медико-биологическая теория и практика: Монография / Под ред. В.Г. Тыминского. Тула: Изд-во ТулГУ – Белгород: ЗАО «Белгородская областная типография», 2011. 231 с.

Khadartsev AA, Es'kov VM, Kozyrev KM, Gontarev SN. Mediko-biologicheskaya teoriya i praktika: Monografiya / Pod red. V.G. Tyminskogo. Tula: Izd-vo TulGU – Belgorod: ZAO «Belgorodskaya oblastnaya tipografiya»; 2011. Russian.

20. Хадарцев А.А., Несмеянов А.А., Еськов В.М., Фудин Н.А., Кожемов А.А. Принципы тренировки спортсменов на основе теории хаоса и самоорганизации // Теория и практика физической культуры. 2013. №9. 87–93.

Khadartsev AA, Nesmeyanov AA, Es'kov VM, Fudin NA, Kozhemov AA. Printsipy trenirovki sportsmenov na osnove teorii khaosa i samoorganizatsii. Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury. 2013;9:87-93. Russian.