

DOI: 10.12737/ 24388

## ЭНТРОПИЯ В АНАЛИЗЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММ ЗДОРОВОГО ЧЕЛОВЕКА И ЧЕЛОВЕКА БОЛЬНОГО ЭПИЛЕПСИЕЙ

Д.В.ГОРБУНОВ, Л.Г.КЛЮС, Я.Ю.АЛЕКСЕНКО, О.М.ВОРОШИЛОВА

*БУ ВО Ханты-Мансийского автономного округа – Югры «Сургутский государственный университет», проспект Ленина, 1, г. Сургут, 628412, Россия*

**Аннотация.** В клинической медицине при изучении электроэнцефалограмм обычно используются параметры амплитудно-частотных характеристик регистрируемых биопотенциалов. Статья представляет сугубо хаотический характер ЭЭГ, который проявляется в автокорреляционных функциях  $A(t)$  и функциях распределения  $f(x)$ . Предлагаются два новых подхода в оценке параметров электроэнцефалограмм. Первый из них основан на построении матриц парных сравнений регистрируемых выборок биопотенциалов мозга у испытуемых, находящихся в разных физиологических (психических) состояниях: с фотостимуляцией и без нее. Вторым методом базируется на расчётах параметров квазиаттракторов, которые на плоскости строятся в координатах  $x_1=U(t)$  – функция изменения биопотенциала в точке регистрации и  $x_2=dx_1/dt$  – скорость изменения  $x_1$ . Квазиаттракторы в таком двумерном фазовом пространстве количественно различаются по параметрам для больных (эпилепсия) и здоровых испытуемых. Возможна и трёхкомпарментная модель квазиаттрактора в фазовом пространстве состояний, которая также обсуждается. Показывается, что целесообразно использовать и стохастические расчёты, и параметры квазиаттракторов при оценке нормы или патологии. Доказывается неэффективность расчёта параметров энтропии Шеннона при моделировании ЭЭГ, что подтверждает эффект Еськова-Зинченко и в электроэнцефалографии.

**Ключевые слова:** энтропия, хаос, эффект Еськова-Зинченко, электроэнцефалограмма.

## ENTROPY IN ANALYSIS OF THE PARAMETERS OF THE ELECTROENCEPHALOGRAM HUMAN HEALTH AND HUMAN EPILEPTICS

D.V.GORBUNOV, L.G.KLYUS, YA. YU.ALEKSENKO, O.M.VOROSHILOVA

*Surgut state university, Lenina pr., 1, Surgut, 628400, Russia*

**Abstract.** Clinical medicine usually we are investigated the amplitude-frequency characteristics of recorded biopotentials. The paper present still chaotic dynamics, which takes place for the autocorrelation function  $A(t)$  and statistic function of distribution  $f(x)$ . It is proposed the two new approaches for estimation of parameters of electroencephalograms. The first is based on the construction of the matrix of pairwise comparisons of recorded samples of brain potentials in subjects in different physiological (mental) states: with photostimulation and without it. The second method is based on calculating the parameters of quasi-attractors, which are built on the plane in the coordinates  $x_1=U(t)$  – a function that changes due to registration of biopotential in current point and  $x_2=dx_1/dt$  – rate of change of  $x_1$ . Quasiattractors present the distinguishes of patients (with pathology and without it) at the phase state. It is possible to construct a three-compartmental model quasi-attractor in the phase space of states, which is also discussed. It was demonstrated the stochastic of function  $f(x)$  for normal and pathological patients. It was proved the nonfictions of entropy parameter for the EEG modeling.

**Key words:** Entropy, chaos, Eskov-Zinchenko effect, electroencephalogram.

**Введение.** Электроэнцефалограмма (ЭЭГ) представляет собой запись электриче-

ской активности нейронов различных структур головного мозга. Она является результа-

том их активности и регистрируется при помощи электродов, а отображается на мониторе при регистрации с помощью ЭВМ. Электроды накладываются на определенные части поверхности головы, и при этом регистрируют активность той или иной части мозга. Можно сказать, что ЭЭГ является записью функциональной активности головного мозга человека любого возраста.

ЭЭГ снимается для того, чтобы определить активность работы головного мозга при различных поражениях центральной нервной системы, например, при нейроинфекциях (полиомиелит и др.), менингитах, энцефалитах и др. По результатам ЭЭГ можно оценить степень поражения головного мозга вследствие различных причин, и уточнить конкретное место, подвергшееся повреждению.

ЭЭГ отражает функциональное состояние структур головного мозга, например, в условиях сна, бодрствования, активной умственной или физической работы и т.д. ЭЭГ является безопасным, простым, безболезненным, но весьма информативным методом. На сегодняшний день ЭЭГ широко используется в практике врачей-неврологов, поскольку данный метод позволяет проводить диагностику эпилепсии, сосудистых, воспалительных и дегенеративных поражений головного мозга. Кроме того, ЭЭГ помогает выяснить конкретное положение опухолей, кист и травматических повреждений структур головного мозга.

Традиционное использование *амплитудно-частотных характеристик* (АЧХ) в клинической электроэнцефалографии имеет определенные недостатки в связи с непрерывным изменением спектра ЭЭГ. Более того, другие статистические характеристики в виде *автокорреляционных функций*  $A(t)$  и функций распределения  $f(x)$  так же весьма изменчивы. Нами уже было показано ранее, что  $f(x)$  и  $A(t)$  демонстрирует непрерывный калейдоскоп изменений своих значений.

Динамика изменения биопотенциалов мозга (в виде ЭЭГ) как и многих других параметров гомеостазы является примером хаотических процессов. Суперпозиция активности многих нейронов, которые хаоти-

чески создают суммарную биоэлектрическую активность, проявляются в виде интегральной суммарной активности, которая хаотически изменяет свою характеристику не только в виде выборок, но и в виде  $A(t)$  и АЧХ. Из-за отсутствия жесткой синхронизации ее можно считать особой хаотической функцией, которая может быть описана в рамках нового подхода путем расчета параметров *квазиаттракторов* (КА) *вектора состояния системы* (ВСС). Генерация биопотенциалов мозга дает некоторую закономерность именно в рамках параметров квазиаттракторов, т. к. основные стохастические функции демонстрируют непрерывные изменения [5-7,11]. Одновременно возникает вопрос о целесообразности использования стохастики в описании ЭЭГ. Можно ли при этом предложить другие подходы.

#### **Объекты и методы исследования.**

Для анализа в рамках нового подхода были выбраны данные, которые были получены с помощью ЭЭГ от здорового человека и человека больного эпилепсией. Дискуссия о сложности интерпритации любых биопотенциалов (в частности, о ЭЭГ и ЭМГ, нейрограмм и т. д.) в описании гомеостаза усиливает актуальность этой проблемы. Мы сейчас говорим о подобии миограмм, кардиоритмов, треморограмм и электроэнцефолограмм между собой с позиций стохастики, т.е. все эти сигналы демонстрируют особый хаос их параметров [1-4].

Записи ЭЭГ мозга обрабатывались программным комплексом для формирования вектора  $x=(x_1, x_2, x_3)^T$ , где  $x_1=x(t)$  – динамика абсолютного значения биопотенциалов мозга на некотором интервале времени  $\Delta t$ ,  $x_2$  – 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 и определялись объемы полученных квазиаттракторов  $V_G$  по формуле  $V_G^{\max} \geq \Delta x_1 * \Delta x_2 * \Delta x_3 \geq V_G^{\min}$  [1-6,11-17], где  $\Delta x_1$  – вариационный размах величины биопотенциала,  $\Delta x_2$  – размах для его скорости изменения, а  $\Delta x_3$  – размах для ускорения изменения биопотенциалов. В конечном итоге анализ ЭЭГ испытуемых при

воздействии различных внешних факторов (без фотостимуляции и при фотостимуляции) проводился на основе сравнения площади КА в виде  $S$  или объема КА  $V_G$ , а также энтропии Шеннона  $E$ . В этой связи на основе анализа значений энтропии Шеннона  $E$ , где  $E$  определяется по формуле

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

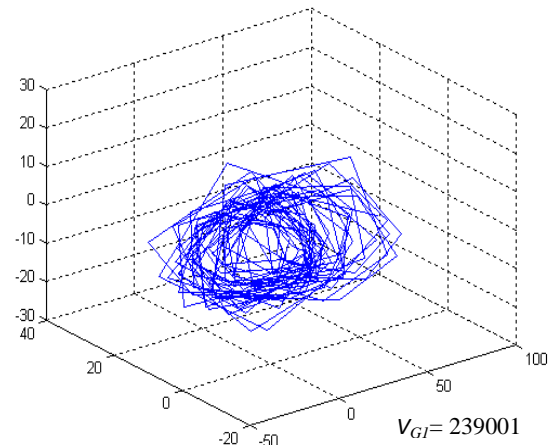
вероятности, производилось сравнение значений  $E$  с особенностями функциональных состояний испытуемых. Отметим, что энтропийный подход широко используется в медицине. ЭЭГ фиксировались при фотостимуляции и без фотостимуляции здорового и больного эпилепсией человек.

**Результаты и их обсуждения.** Регистрации ЭЭГ при нормогенезе устойчиво демонстрировала особую хаотическую динамику, которая существенно не отличается от динамики КИ, миограмм и других динамических процессов в организме (биохимические параметры гомеостаза). При возникновении управляемых режимов (за счет внешней фотостимуляции) организм переходит от одной меры хаоса к другой мере с некоторым неравномерным распределением, но свойство перемешивания не выполняется и распределение остается неравномерным (рис. 1) [8-11].

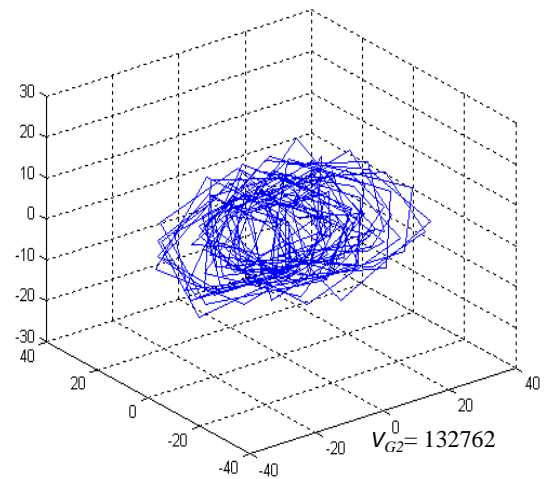
Нечто подобное мы регистрируем и с тремором. В норме постуральный тремор (физиологический) дает нам хаотические КА почти сплошь заполняющие ограниченный объем  $V$  (объем КА). При возникновении болезни Паркинсона, тремор дает нам некоторые регулярные частоты и распределение значений на фазовой плоскости становится неравномерным.

Имеется сходная динамика и при работе сердца. Например, перед смертью в ряде случаев сердце начинает биться с весьма устойчивой частотой. Остается как бы один примитивный генератор ритмики. В целом и при эпилепсии, и при треморе в условия болезни Паркинсона, и в работе сердца перед летальным исходом происходит упрощение динамики на фазовой плоскости, т.е. переход от хаоса к доминантным частотам. При этом очень выразительно просматривается такая регуляторная дина-

мика в виде определенных фигур. На рис. 1 и 2 показывается, что фактическая площадь КА изменяется и они (квазиаттракторы) принимают в условиях патологии характерную форму (рис. 2) [12-15].



A  
8

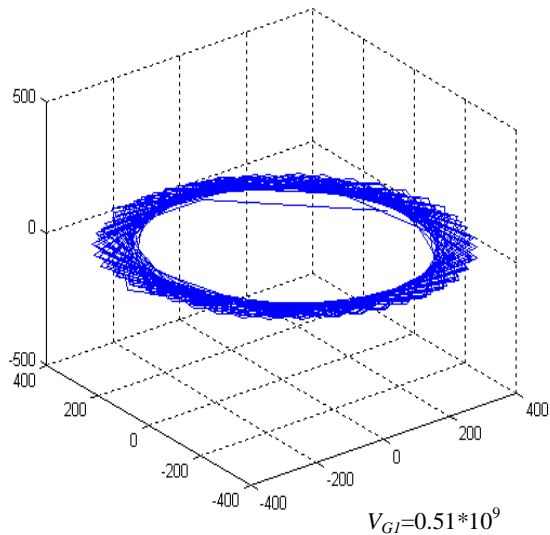


B

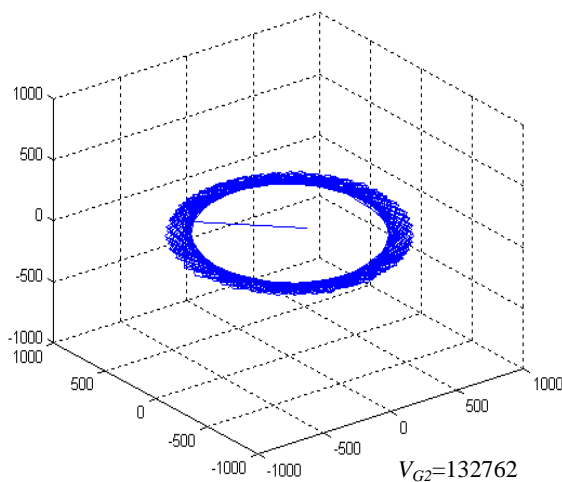
*Рис. 1.* Фазовые портреты движения вектора состояния  $(x = (x_1, x_2, x_3)^T)$  ЭЭГ условно здорового испытуемого в период: *A* – релаксации (спокойное состояние) площадь квазиаттрактора  $V_{G1} = 239001$ ; *B* – при фотостимуляции  $V_{G2} = 132762$ . Здесь по оси абсцисс откладываются величины измеряемых биопотенциалов  $x_1$  (в мкВ), по оси ординат – скорости изменения этих же биопотенциалов ( $x_2 = dx_1 / dt$ ), а по оси аппликат ускорение изменения величины биопотенциалов ( $x_3 = dx_2 / dt$ ) в отведение *Fz-Ref*

В терминах квазиаттракторов нормогенез соответствует равномерному (хаотическому) распределению параметров ВСС в

ФПС. При возникновении патологии распределение ВСС становится неравномерным, возникают доминанты патологий, что соответствует неравномерному распределению ВСС в ФПС.



А



В

Рис. 2. Фазовые портреты движения вектора состояния  $(x = (x_1, x_2, x_3)^T)$  ЭЭГ испытуемого с эпилепсией в период: А – релаксации (спокойного состояния)  $V_{G1}=0.51*10^9$ ; В – при фотостимуляции  $V_{G2}=2.12*10^9$ . Здесь по оси абсцисс откладываются величины измеряемых биопотенциалов  $x_1$  (в мкВ), по оси ординат – скорости изменения этих же биопотенциалов ( $x_2 = dx_1 / dt$ ), а по оси аппликат ускорение изменения величины биопотенциалов ( $x_3 = dx_2 / dt$ ) в отведении FП1-F3

На рис. 2 представлен трехмерный

фазовый портрет ЭЭГ человека с очаговой эпилепсией без внешних воздействий (стимулов, т.е. спокойное состояние) и фазовый портрет этого же пациента в условиях фотостимуляции (навязывания внешнего ритма). Легко видеть, что на рис. 2-А уже появляется некоторая неравномерность распределения в фазовом портрете, которая резко усиливается при фотостимуляции. Количественно это проявляется более чем в четырехкратном увеличении объема  $V_G$  КА. Например, на рис. 2-А и Рис. 2-В при внешнем возмущении у нас наблюдается увеличение площади квазиаттрактора от  $V_{G1}=0.51*10^9$  до  $V_{G2}=2.12*10^9$ , т.е.  $V_{G1}>V_{G2}$ . Такая динамика резко отличается от рис. 1 для нормального (рис. 1), где  $V_{G1}<V_{G2}$  [11-12]. Так же следует отметить, что визуально КА представляет собой приплюснутый тор в виду высокой генерализации у больного эпилепсией человека. Некие признаки присутствия генерализации видны и на примере здорового человека в период фотостимуляции при построении трехмерного КА, что не очевидно при построении двумерного КА.

Анализ матриц парного сравнения выборок ЭЭГ позволяет сделать вывод, что у человека больного эпилепсией и без фотостимуляции уже имеется большое количество совпадений ( $k=97$ ) в виду присутствия некой генерализации в работе мозга даже в период релаксации, а при фотостимуляции число совпадений несколько увеличивается ( $k=102$ ). Это свидетельствует об определенном нарастании генерализации. Такая динамика связана с возникновением в головном мозге патологических разрядов, они проявляются как временные нарушения мыслительных, вегетативных, чувствительных и двигательных функций. У здорового же человека число совпадений в период релаксации  $k=25$ , а в период фотостимуляции  $k=34$ , т.е. тоже увеличивается, но на существенную (относительную) величину (на 12%) [14-19].

В рамках новых математических под-

ходов в изучении биопотенциалов мозга и для сравнительно анализа была рассчитана энтропия Шеннона  $E$ , значения которой представлены в табл. Как мы видим энтропийный подход в сравнительном анализе обладает низкой чувствительностью, так как среднее значение энтропии  $\langle E \rangle$  для здорового человека не имеет различий даже в третьем знаке ( $\langle E_1 \rangle = 3.099$ ,  $\langle E_2 \rangle = 3.122$ ), а значимость различий выборок  $f(x)$  вообще отсутствует,  $p = 0.80$ , что гораздо выше уровня значимости критерия Вилкоксона  $p < 0.05$ . Такую же динамику мы наблюдаем и для человека больного эпилепсией, здесь среднее значение немного отличается ( $\langle E_1 \rangle = 2.840$ ,  $\langle E_2 \rangle = 2.872$ ), но этой разницы в значениях недостаточно и эти две выборки при статистическом сравнении можно отнести к одной генеральной совокупности (значимость различий выборок  $f(x)$  полученного с помощью  $T$ -критерия  $p = 0.65$ , критический уровень значимости  $T$ -критерия  $p < 0.05$ ).

Внешний вид фазовых траекторий и объемов квазиаттракторов для ЭЭГ (на примере одного опыта) мы уже представили на рис. 1 и 2. Здесь фазовые координаты  $x_1$  – реальные значения биопотенциалов мозга,  $x_2 = dx_1/dt = V$  – это скорость изменения биопотенциалов мозга, а  $x_3$  – ускорение изменения этих биопотенциалов. Очевидно уменьшение объемов  $V_{G1}$  по отношению к  $V_{G2}$  в 1.8 раза для здорового человека и увеличение объемов  $V_{G2}$  по отношению к  $V_{G1}$  в 4.15 раза для больного эпилепсией. Характерно, что для одного испытуемого (при 15-ти повторях) критерии Вилкоксона  $p < 0.05$ .

Мы высказываем утверждение, что других способов количественного описания параметров изменения биопотенциалов мозга (ЭЭГ) в период релаксации и фотостимуляции в рамках детерминизма или стохастики нет. Сейчас можно говорить о том, что квазиаттракторы ЭЭГ в ФПС

Таблица

**Значения энтропии Шеннона  $E$  для ЭЭГ здорового человека и человека больного эпилепсией в период релаксации и фотостимуляции**

	здоровый человек		человек больной эпилепсией	
	$Fz-Ref$		$FPI-F3$	
	$E_1$ , в период релаксации	$E_2$ , в период фотостимуляции	$E_1$ , в период релаксации	$E_2$ , в период фотостимуляции
1	3.122	3.122	3.122	3.122
2	3.122	3.322	2.922	3.122
3	3.322	3.322	3.322	2.722
4	3.122	3.122	2.922	2.922
5	2.846	2.922	3.122	2.722
6	3.122	3.122	2.722	2.922
7	3.122	2.922	2.446	2.446
8	3.122	3.122	2.722	2.922
9	3.122	3.122	2.722	2.922
10	3.122	3.122	2.646	3.122
11	2.846	3.122	2.446	2.646
12	2.722	3.322	2.922	2.922
13	3.322	2.922	2.922	2.922
14	3.322	3.122	2.722	2.922
15	3.122	3.122	2.922	2.722
$\langle E \rangle$	3.099	3.122	2.840	2.872
медиана	3.1219	3.1219	-	-
	Критерий Вилкоксона, значимость различий выборок $f(x)$ : $p = 0,80$		$T$ -критерий, значимость различий выборок $f(x)$ : $p = 0,65$	

являются определенными моделями состояния электрической активности мышц, т.к. мышцы управляются нейронами мозга при произвольном движении, а динамика управляющих структур (нейросетей, их ЭЭГ) уже хаотична в норме (см. выше). В рамках стохастики не только выборки ЭЭГ, но и их АЧХ,  $A(t)$ , и др. характеристики не могут продемонстрировать статистическую устойчивость. Получить модели, которые бы существенно различали дваразные состояния мозга (ЭЭГ в период релаксации и период фотостимуляции) в рамках стохастики весьма

затруднительно.

В рамках ТХС мы можем использовать фазовую плоскость при повторении опытов (получать выборки с повторением) и для них строить КА выборки ЭЭГ. При этом, полностью уходить от стохастики пока не следует. Необходимы модификации, внедрение новых методов в комплексе с методами ТХС [3-8,9-12] и традиционными статистическими расчетами, учитывая весьма ограниченные возможности стохастики в анализе биопотенциалов мозга и других структур.

#### Выводы:

1. Сравнение традиционных методов обработки электроэнцефалограмм и методов ТХС показывает низкую эффективность моделей в рамках расчета статистических функций  $f(x)$  выборок ЭЭГ и их энтропий  $E$ . ЭЭГ испытуемых, находящихся при релаксации и разных стимуляциях (в период релаксации и период фотостимуляции), весьма затруднительно анализировать с позиций стохастики.

2. Новые методы расчета ЭЭГ на основе стохастики, которые используют двумерное, а в нашем случае и трехмерное фазовое пространство с координатами ЭЭГ  $x_1$ ,  $x_2$  и  $x_3$ , и метод расчета матриц парных сравнений выборок ЭЭГ (расчет числа  $k$  пар «совпадений» выборок ЭЭГ) реально может характеризовать интегральные значения параметров ЭЭГ при разных стимуляциях функциональных состояниях мозга.

Аналог принципа Гейзенберга является наиболее эффективным и значимым методом оценки состояния ЭЭГ испытуемых. Он эффективен, когда используются фазовые координаты  $x_1 = x_1(t)$  – реальные значения биопотенциалов мозга,  $x_2 = dx_1/dt$  – скорость изменения  $x_1$  во времени и  $x_3$  – ускорение изменения  $x_1$ . Наши многочисленные исследования показывают, что хаотическая динамика ЭЭГ не может описываться в рамках стохастики или современной теории хаоса, но модели ЭЭГ всё-таки можно построить в рамках ТХС (в виде квазиаттракторов).

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №15-41-00034 р\_урал\_а «Разработка новых информационных моделей и вычислительных алгоритмов для идентификации параметров порядка в описании и прогнозах сложных медико-биологических систем»*

#### Литература

#### References

1. Адайкин В.А., Еськов В.М., Добрынина И.Ю., Дроздович Е.А., Полухин В.В. Оценка хаотичной динамики параметров вектора состояния организма человека с нарушениями углеводного обмена // Вестник новых медицинских технологий. 2007. Т. 14, № 2. С. 153–155.
  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.
  3. Вохмина Ю.В., Полухин В.В., Бикмухаметова Л.М., Тотчасова М.В. Стационар-
- Adaykin VA, Es'kov VM, Dobrynina IYu, Drozdovich EA, Polukhin VV. Otsenka khaotichnoy dinamiki parametrov vektora sostoyaniya organizma cheloveka s narusheniyami uglevodnogo obmena. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2007;14(2):153-5. Russian.
- Adaykin VI, Berestin KN, Glushchuk AA, Lazarev BV, Polukhin VV, Rusak CN, Filatova OE. Stokhasticheskie i khaoticheskie podkhody v otsenke vliyaniya meteofaktorov na zabolevaemost' naseleniya na primere KhMAO-Yugry. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2008;15(2):7-9. Russian.
- Vohmina JuV, Poluhin VV, Bikmuhametova LM, Totchasova MV. Stacionarnye rezhimy povedenija

- ные режимы поведения сложных биосистем в рамках теории хаоса-самоорганизации // Вестник новых медицинских технологий. 2014. Т. 21, № 1. С. 141–144.
4. Вохмина Ю.В., Еськов В.В., Горбунов Д.В., Шадрин Г.А. Хаотическая динамика параметров электроэнцефалограмм // Вестник новых медицинских технологий. 2015. Т. 22, № 2. С. 38–43.
  5. Гавриленко Т.В., Майстренко Е.В., Горбунов Д.В., Черников Н.А., Берестин Д.К. Влияние статической нагрузки мышц на параметры энтропии электромиограмм // Вестник новых медицинских технологий. 2015. Т. 22, № 4. С. 7–12.
  6. Добрынина И.Ю., Еськов В.М., Живогляд Р.Н., Чантурия С.М., Шипилова Т.Н. Системный кластерный анализ показателей функций организма женщин с опгестозом в условиях Севера РФ // Вестник новых медицинских технологий. 2006. Т. 13, № 4. С. 61–62.
  7. 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.
  8. Еськов В.М., Еськов В.В., Живогляд Р.Н., Попов Ю.М. Фазатон мозга в норме и при патологии // Вестник новых медицинских технологий. 2004. Т. 11, № 4. С. 5–8.
  9. 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.
  10. Еськов В.М., Мишина Е.А., Шумилов С.П., Филатова Д.Ю. Оценка параметров психофизиологических функций работников умственного и физического труда с позиции теории хаоса и синергетики // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2010. Т. 9, № 1. С. 141–144.
- slozhnyh biosistem v ramkah teorii haosamoorganizacii. Vestnik novykh medicinskih tehnologij. 2014;21(1):141-4. Russian.
- Vohmina JuV, Es'kov VV, Gorbunov DV, Shadrin GA. Naoticheskaja dinamika parametrov jelektrojencefalogramm. Vestnik novykh medicinskih tehnologij. 2015;22(2):38-43. Russian.
- Gavrilenko TV, Maystrenko EV, Gorbunov DV, Chernikov NA, Berestin DK. Vliyanie staticheskoy nagruzki myshts na parametry entropii elektromiogramm [Thermodynamic method in analyzing the parameters bioelectrical muscles at different static loads]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2015;22(4):7-12. Russian.
- Dobrynina IJu, Es'kov VM, Zhivogljad RN, Chanturija SM, Shipilova TN. Sistemnyj klasternyj analiz pokazatelej funkcij organizma zhenshhin s opgestozom v uslovijah Severa RF. Vestnik novykh medicinskih tehnologij. 2006;13(4):61-2. Russian.
- Dobrynina IYu, Gorbunov DV, Kozlova VV, Sinenko DV, Filatova DYu. Osobennosti kardiointervalov: khaos i stokhastika v opisanii slozhnykh biosistem [Features samples cardiointervals: chaos and stochastics in the description of complex biosystems]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2015;22(2):19-26. Russian.
- Es'kov VM, Es'kov VV, Zhivoglyad RN, Popov YuM. Fazaton mozga v norme i pri patologii [Encephalic phase-tone in norm and pathology]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2004;11(4):5-8. Russian.
- Es'kov VM, Khadartsev AA, Es'kov VV, Filatova OE. Fluktuatsii i evo-lyutsii biosistem – ikh bazovye svoystva i kharakteristiki pri opisanii v ramkakh si-nergeticheskoy paradigm [Fluctuation and evolution are the basic property of biosystem according to synergetic paradigm]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2010;17(1):17-9. Russian.
- Es'kov VM, Mishina EA, Shumilov SP, Filatova DYu. Otsenka parametrov psikhofiziologicheskikh funktsiy rabotnikov umstvennogo i fizicheskogo truda s pozitsii teorii khaosa i sinergetiki [Parameter estimation of psychophysiological functions of mental and manual workers from the perspective of chaos theory and synergetics]. Sis-

1. С. 98–101.
11. Еськов В.М., Хадарцев А.А., Еськов В.В., Филатов М.А. Моделирование когнитивной и эвристической деятельности мозга с помощью нейроэмуляторов // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2014. № 1. С. 62–70.
12. Еськов В.М., Еськов В.В., Филатова Д.Ю., Нехайчик С.В. Новый метод использования нейроэмуляторов в психофизиологии // Вестник новых медицинских технологий. 2014. Т. 21, № 3. С. 7–12.
13. Еськов В.М., Зинченко Ю.П., Филатов М.А., Еськов В.В. Эффект Еськова – Зинченко опровергает представления I.R. Prigogine, J.A. Wheeler и M. Gell-Mann о детерминированном хаосе биосистем – complexity // Вестник новых медицинских технологий. 2016. Т. 23, №2. С. 34–43.
14. Еськов В.М., Зинченко Ю.П., Филатова О.Е. Развитие психологии и психофизиологии в аспекте третьей парадигмы естествознания // Вестник новых медицинских технологий. 2016. Т. 23, №3. С. 187–194.
15. 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.
16. 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.
17. Еськов В.М., Еськов В.В., Вохмина Ю.В., Гавриленко Т.В. Эволюция хаотической динамики коллективных мод как способ описания поведения живых систем // temnyy analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh. 2010;9(1):98-101. Russian.
- Es'kov VM, Khadartsev AA, Es'kov VV, Filatov MA. Modelirovanie kognitivnoy i evristicheskoy deyatelnosti mozga s pomoshch'yu neyroemulyatorov [Modelling of cognitive and heuristic brain activity using Nero emulators]. Slozhnost'. Razum. Postneklassika. 2014;1:62-70. Russian.
- Es'kov VM, Es'kov VV, Filatova DYU, Nekhaychik SV. Novyy metod ispol'zovaniya neyroemulyatorov v psikhofiziologii [A new method of using neuromotors in psychophysiology]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2014;21(3):7-12. Russian.
- Es'kov VM, Zinchenko YuP, Filatov MA, Es'kov VV. Effekt Es'kova – Zinchenko oprovergaet predstavleniya I.R. Prigogine, JA. Wheeler i M. Gell-Mann o determinirovannom khaose biosistem – complexity [The effect Of eskova – Zinchenko refutes the ideas I.R. Prigogine, JA. Wheeler and M. Gell-Mann on determined chaos of the biosystems – complexity]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2016;23(2):34-43. Russian.
- Es'kov VM, Zinchenko YuP, Filatova OE. Razvitie psikhologii i psikhofiziologii v aspekte tret'ey paradigmy estestvoznaniya [Development of psychology and psychophysiology in the aspect of the third paradigm of the natural science]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2016;23(3):187-94. Russian.
- Es'kov VM, Khadartsev AA, Es'kov VV, Vokhmina YuV. Khaoticheskaya dinamika kardiintervalov trekh vozrastnykh grupp predstaviteley korenного 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.
- 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.
- Es'kov VM, Es'kov VV, Vokhmina YuV, Gavrilenko TV. Evolyutsiya khaoticheskoy dinamiki kollektivnykh mod kak sposob opisaniya povedeniya zhyvykh system [The evolution of chaotic



- Вестн. Моск. ун-та. Сер. 3. Физ. Астрон. 2016. № 2.
18. Майстренко Е.В., Еськов В.М., Майстренко В.И., Берестовая А.Ф. Сравнительный анализ параметров функциональной асимметрии полушарий и вегетативной нервной системы учащихся // Информатика и системы управления. 2009. № 4. С. 63–65.
19. Eskov V.M., Filatova O.E. Respiratory rhythm generation in rats: the importance of inhibition // Neurophysiology. 1993. T. 25, № 6. С. 420.
- 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.
- Maystrenko EV, Es'kov VM, Maystrenko VI, Bere-stovaya AF. Sravnitel'nyy analiz parametrov funk-tsional'noy asimmetrii polushariy i vegetativ-noy nervnoy sistemy uchashchikhsya [A comparative analysis of the parameters of the functional asymmetry of the hemispheres and the autonomic nervous system of students]. Informatika i sistemy upravleniya. 2009;4:63-5. Rusdsian.
- Eskov VM, Filatova OE. Respiratory rhythm generation in rats: the importance of inhibition. Neurophysiology. 1993;25(6):420.