

DOI: 10.127037/7655

СТОХАСТИКА И ХАОС В ОЦЕНКЕ ПАРАМЕТРОВ ПОРЯДКА В ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ МЕДИЦИНЕ

В.В. ЕСЬКОВ*, Г.Р. ГАРАЕВА*, Д.В. СИНЕНКО**, А.М. ВОРОШИЛОВА*

* ГБОУ ВПО «Сургутский государственный университет ХМАО-Югры»,
пр. Ленина, д. 1, г. Сургут, Россия, 628412

** ООО «Газпром трансгаз Сургут», ул. Университетская, д.1, г. Сургут, Россия, 628406

Аннотация. Основу третьей глобальной парадигмы составляет теория хаоса-самоорганизации, в которой основное внимание уделяется оценке хаотичной динамике вектора состояния сложной биосистемы с использованием многомерного фазового пространства состояний. В работе представлена сравнительная характеристика эффективности применения традиционных стохастических методов и методов расчёта параметров квазиаттракторов. Показывается недостаточная эффективность стохастики, которая приводит к неопределённости 1-го рода, и значимость методов многомерных фазовых пространств, обеспечивающих решение задачи системного синтеза. Объёмы квазиаттракторов при кинезотерапии у больных с острым нарушением мозгового кровообращения увеличиваются в 5,3 раза на начальной стадии лечения, а затем резко снижаются. Обсуждается необходимость параллельного применения и стохастических методов, и методов теории хаоса-самоорганизации в изучении сложных медико-биологических систем, которые представляют организм человека в виде композиции сложных регуляторных систем.

Ключевые слова: стохастика, хаос, квазиаттракторы, кинезотерапия.

STOCHASTIC AND CHAOS IN EVALUATION ORDER PARAMETER IN REGENERATIVE MEDICINE

V.V. ESKOV*, G.R. GARAEVA*, D.V. SINENKO**, A.M. VOROSHILOVA*

* Medical University "Surgut State University Khanty-Ugra"
pr. Lenina, d. 1, Surgut, Russia, 628412

** "Gazprom Transgaz Surgut" Universitetskaya, 1, Surgut, Russia, 628406

Abstract. The basis of the third global paradigm of theory of chaos and self-organization, which focuses on the assessment of the chaotic dynamics of the state vector of complex biological systems using multi-dimensional phase space of states. The paper presents a comparative description of the effectiveness of the traditional stochastic methods and methods of calculating the parameters of quasi-attractors. It is showed the difference in efficiency (low) of stochastics, which leads to the uncertainty of the 1st kind, and methods of multidimensional phase spaces, providing the solution of system synthesis. Volumes quasi-attractors with kinesotherapy in patients with acute stroke increased 5.3 times in the initial stage of treatment, and then falling off sharply. It is discussed the need for parallel applications and stochastic methods and methods of theory of chaos and self-organization in the study of complex medical and biological systems.

Key words: stochastic chaos, quasi-attractor, kinesotherapy.

Введение. Дискуссия об ограниченных возможностях в применении функционального анализа и методов стохастики при изучении систем третьего типа (СТТ) продолжается. Доказаны особые свойства живых систем (СТТ) и практическая беспо-

лезность применения вероятностных методов изучения сложных систем – complexity [3-12]. Одна из главных причин такой ситуации – это возникновение неопределённости 1-го рода, которая приводит к полной неопределённости в изучении СТТ в рам-

ках стохастического подхода [10-20]. Существенно, что для СТТ не выполняется свойство эргодичности из-за непрерывной эволюции биосистем в *фазовом пространстве состояний* (ФПС).

Такие неопределённости 1-го рода возникают при сравнении групп испытуемых, когда выборки значений координат x_i их вектора состояния $x=x(t)=(x_1, x_2, \dots, x_m)^T$ не могут демонстрировать различий в рамках стандартных стохастических критериев. Это означает (применительно к медицине), что методы терапии не эффективны и усилия врача якобы были напрасны. Однако, в действительности, это не так, и *теория хаоса-самоорганизации* (ТХС) предлагает другие методы и подходы в изучении таких complexity [1-8,20,21].

В наших примерах использовалась кинезотерапия, которая, по параметрам состояния *сердечно-сосудистой системы* (ССС) пациентов в рамках стохастики, была якобы малоэффективной. Однако, в рамках ТХС удается выявить не только эффективность методов восстановительной медицины, но и получить *параметры порядка*, что решает задачу *системного синтеза* – установление наиболее значимых диагностических признаков.

Цель исследования – математическое описание анализа наблюдаемых закономерностей в аспекте практического применения ТХС в области восстановительной медицины для СТТ, которые не могут удовлетворять свойству эргодичности и требуют новых методов изучения.

1. Особенности стохастического анализа параметров ССС при кинезотерапии. В работе изучалась группа из 30-ти больных с *острым нарушением мозгового кровообращения* (ОНМК), которым применялись (длительно, около 1 месяца) методы кинезотерапии и одновременно регистрировались пятнадцать параметров ССС. Эти измерения проводились четыре раза: перед сеансом физиотерапии и сразу после сеанса. Такая процедура использовалась в первые дни терапии и в конце курса лечения. Таким образом, были получены четыре серии из наборов выборок по 15 кластеров в каждой серии (из четырёх). При этом в каждом кла-

стере было получено не менее трехсот для каждого из 15-ти x_i значений параметров ССС для каждого из 30 обследованных больных. Всего измерений было проведено: $30 \times 4 \times 15 \times 300 = 540\,000$. Эти точки в ФПС образовывали 1800 *квазиаттракторов*, которые затем были сгруппированы в 60, подвергнутых сравнению с позиций стохастики и методов ТХС в ФПС.

Общее число сравниваемых выборок, которые демонстрируют отсутствие возможности установить различия до и после воздействия исчислялось сотнями. Это означает, что стохастические методы не могут выявить различия в состояниях параметров организма человека, находящегося в разных физиологических состояниях. Возникает неопределённость 1-го рода (стохастика не показывает различий между выборками).

В нашем случае это было четыре состояния одной и той же группы из 30 человек в условиях перед применением кинезотерапии и после её применения. В табл. 1 приводится характерный пример такой ситуации, когда стохастика демонстрирует отсутствие нормального закона распределения для пяти наиболее важных параметров ССС пациентов (параметр состояния *симпатической* (SIM) *вегетативной нервной системы* (ВНС), аналогично для *парасимпатотонии* (PAR), *уровень оксигенации крови* (SpO_2), *стандарт отклонения для кардиоинтервалов* (SDNN), *индекс по Р.М. Баевскому* (INB). Из табл. 1 следует, что перед кинезотерапией (кинезотерапия до начала всего курса терапии) и после кинезотерапии (кинезотерапия после одного сеанса) все выборки показывают *непараметрическое распределение* (NN). Далее, эти же выборки сравнивались в рамках стохастики, т.е. была попытка выявить влияние разового сеанса кинезотерапии на организм человека.

В табл. 2 представлены результаты статистической проверки значимости различий по Вилкоксоу при парном сравнении выборок из табл. 1 в раннем периоде лечения (начало кинезотерапии). Если различия существенны, то критерий должен быть $p < .05$, что показал только 1-ый параметр – SIM ($p = .045$) из всех 5-ти параметров x_i ($i = 1, 2, \dots, m$, где $m = 5$) *вариабельности сер-*

Таблица 2

Статистическая проверка (значимость $p < 0.05$ по Вилкоксона) различий между параметрами выборок x_i показателей variability сердечного ритма у пациентов до разовой процедуры кинезотерапии и после кинезотерапии (число обследуемых $N=30$) на начальном этапе всего курса лечения

		Параметры ВСР				
		1	2	3	4	5
		SIM	PAR	INB	SpO ₂	SDNN
медиана	До	14,70	3,57	172,74	97,97	20,42
	После	15,52	2,41	169,54	97,45	21,97
оценка $p < 0.05$		0,045	0,057	0,060	0,480	0,845

Примечание: SIM, у.е. – индекс активности симпатического звена ВНС, PAR, у.е. – индекс активности парасимпатического звена ВНС, INB, у.е. – индекс напряжения регуляторных систем по Р.М. Баевскому, SpO₂, % – уровень насыщения гемоглобина крови кислородом, SDNN – стандартное отклонение измеряемых кардиоинтервалов, мс. p – достоверность значимых различий по критерию Вилкоксона ($p < 0,05$)

чальном этапе лечения терапия была возмущающим фактором для больных [7-14], она расширяет вариацию x_i в ФПС. Это особая реакция организма на внешнее воздействие [1-7].

Если стохастика не обеспечивает идентификацию наиболее значимых диагностических признаков из этих пяти x_i ($m=5$), то методы ТХС демонстрируют такую идентификацию. Это представлено в табл. 3. В данном случае производится сравнение относительных изменений объемов при последовательном исключении каждого из 5-ти признаков x_i (см. левую половину табл. 3 с V_X до и после исключения x_i из общего числа) и одновременно мы изучаем динамику изменения межаттракторных расстояний Z_i также при последовательном исключении каждого x_i (здесь R_i – относительное изменение межаттракторных расстояний). Этот метод исключения сейчас активно используется в ТХС [11-14] для решения задачи системного синтеза.

Таблица 3

Растет методом исключения параметров x_i в пятимерном ФПС ($m=5$) из всех 15-ти параметров ССС у пациентов с острым нарушением мозгового кровообращения на раннем периоде лечения до применения кинезотерапии и после кинезотерапии

Vx0	1256379600	Vy0	240 231 420	dif	1016148180	R0	80,88	%	Z0	126,80
Vx1	16 751 728	Vy1	6 159 780	dif1	10 591 948	R1	63,23	%	Z1	126,64
Vx2	54 625 200	Vy2	12 011 571	dif2	42 613 629	R2	78,01	%	Z2	126,80
Vx3	676 200	Vy3	358 020	dif3	318 180	R3	47,05	%	Z3	6,54
Vx4	179 482 800	Vy4	26 692 380	dif4	152 790 420	R4	85,13	%	Z4	126,80
Vx5	22 435 350	Vy5	4 710 420	dif5	17 724 930	R5	79,00	%	Z5	126,80

Таким образом, стохастика показывает значительное различие только для SIM, остальные координаты x_i всего вектора состояния ССС изменяются несущественно. Однако, расчёт параметров квазиаттракторов даёт другую картину. Объём квазиаттрактора в пятимерном ФПС изменяется (перед кинезотерапией) от $V^1_G=240,23 \times 10^6$ у.е. до $V^2_G=1256,38 \times 10^6$ у.е. после кинезотерапии на этом начальном периоде лечения. В группе из 30 пациентов с ОНМК это составляет увеличение в 5,3 раза, т.е. на на-

Гистограммы рис. 1 представляют относительное изменение объемов квазиаттракторов $V_i = [(V^1_X - V^2_X) / V^1_X] \times 100\%$ (левый график) и изменение расстояний Z_i между центрами квазиаттракторов Z_i , тоже при последовательном исключении каждого x_i . Легко видеть, что для этих двух оценок на первом месте тоже стоит x_3 – INB, который для объемов V вызывает двукратное уменьшение V^2_{Gi} по отношению к исходному V^1_{X3} . Параметр Z_3 вообще уменьшается кратно. Отсюда следует, что по двум критериям одновременно пара-

метром порядка является x_3 – INB. На втором месте по значимости находится параметр x_1 – SIM, который по объёму V вызывает уменьшение почти на 40%, но по межаттракторному расстоянию это всё весьма незначительно. Межаттракторное расстояние изменяется значительно только для x_3 (по Z_3), что тоже говорит о параметре порядка именно этого x_3 .

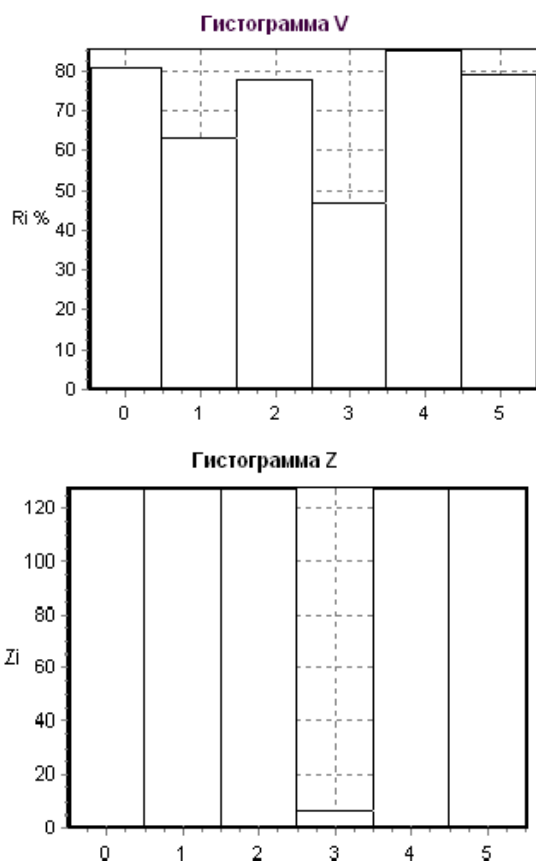


Рис. 1. Гистограммы относительных изменений объёмов квазиаттракторов ($[(V^1_x - V^2_x)/V^1_x] \times 100\%$) и относительные расстояния Z_i между центрами квазиаттракторов при последовательном исключении отдельных диагностических признаков x_i ($m=5$) на начальном этапе лечения кинезотерапией у больных с диагнозом острое нарушение мозгового кровообращения

Существенно, что в рамках стохастики только x_1 – SIM даёт различие при применении кинезотерапии (разово, при одной процедуре). По критерию Вилкоксона ($p < .05$) статистически значимо различается x_1 . При этом x_3 – INB не удовлетворяет этому критерию ($p = .06$), что означает отсутствие статистических различий в величинах параметров INB до и после кинезотерапии на на-

чальном этапе всего курса лечения (1 месяц). Характерно, что x_5 – в рамках стохастики вообще незначимый признак, тогда как в ТХС x_5 даёт различия по относительному изменению объёма V (табл. 3, рис. 1).

В рамках стохастики имеются самые худшие показатели для x_5 ($p = .845$), что говорит почти о полном совпадении этого параметра до начала лечения и после применения кинезотерапии (разово) на первых этапах всего лечения (1 месяц). Однако, по параметрам V квазиаттрактор x_5 даёт изменение объёмов V почти на 20%. Это представлено на рис. 1 (левая гистограмма).

Таким образом, использование метода расчёта параметров квазиаттракторов, в частности, расчёт координат центров и объёмов в ФПС, позволяет не только количественно идентифицировать различие между состоянием организма группы больных с ОНМК до начала процедуры кинезотерапии и после её проведения, но и установить параметры порядка. Это уже задача системного синтеза, когда из набора координат x_i всего вектора состояния биосистемы мы можем выбрать наиболее важные. Эти параметры порядка не могут быть определены для наших задач в рамках стохастики (только одна координата x_1 – SIM ещё как-то различается), а в рамках ТХС такая процедура возможна и она обеспечивает системный синтез [13-16].

Весьма важно отметить, что эта процедура позволяет получить и различия после одного месяца кинезотерапии. Так, в табл. 4 представлены сводные результаты измерений всех 5-ти x_i для ССС у тех же пациентов, но после месяца лечения. Делается это опять в сравнении: до начала кинезотерапии и сразу после её проведения (разово). Характерно, что если в начале курса лечения (табл. 1), для 10 выборок (5 из них до начала разового лечения и 5 – после лечения) мы не имели возможность установить наличие нормального закона распределения, то после месяца лечения мы уже можем наблюдать для x_2 – PAR (до начала кинезотерапии) и для SpO2 – x_4 (после процедуры) возможность нормального распределения. Это тоже характеризует курс лечения как нормализацию ВСР.

Таблица 4

**Результаты статистической обработки выборок x_i
в пятимерном ФПС ($m=5$) параметров ССС
пациентов до кинезотерапии и после кинезотерапии
в поздний период (число обследуемых $N=30$)**

	Кинезотерапия «до»					Кинезотерапия «после»				
	SIM	PAR	INB	SpO2	SDNN	SIM	PAR	INB	SpO2	SDNN
10	6	135	98	25	54	8	25	102	34	
20	1	222	99	15	22	6	322	99	21	
2	17	20	99	60	4	16	39	98	45	
3	9	50	99	41	15	7	110	99	27	
4	14	50	99	41	3	13	45	98	44	
10	6	135	98	25	21	1	273	97	16	
14	4	213	98	24	13	6	113	99	26	
2	14	20	98	47	2	14	20	96	50	
7	8	90	92	28	11	5	153	97	24	
23	1	438	98	14	23	3	389	98	19	
16	1	227	99	18	30	1	334	98	32	
6	9	74	97	34	3	12	32	97	58	
6	9	62	99	40	8	5	108	97	27	
6	7	87	98	30	6	8	48	98	39	
6	10	56	98	36	8	7	125	99	28	
6	11	73	97	35	58	0	986	97	8	
8	11	61	99	42	4	13	72	98	35	
40	1	690	99	10	17	1	182	99	18	
36	0	431	95	13	20	3	288	96	16	
4	14	50	99	41	23	3	379	98	19	
12	2	223	99	19	49	1	917	99	10	
18	3	164	98	20	16	6	262	98	23	
5	11	40	99	42	11	12	13	101	42	
6	11	73	97	35	13	2	164	97	22	
5	14	56	98	36	7	8	100	99	30	
12	9	71	98	30	11	6	10	98	33	
41	0	537	95	11	27	1	188	95	37	
16	4	174	98	19	14	4	224	98	22	
14	12	10	91	255	10	4	93	96	27	
4	12	50	99	40	3	16	28	98	60	
среднее	11,97	7,72	152,70	97,70	37,60	16,88	6,35	201,41	97,97	49,91
Стд. Откл.	10,75	4,97	165,49	1,94	42,83	14,52	4,73	233,93	1,31	65,19
доверит. -95	7,96	5,86	90,90	96,98	21,61	11,46	4,58	114,06	97,48	25,57
доверит. +95	15,98	9,57	214,49	98,43	53,59	22,30	8,11	288,76	98,46	74,25
медиана	7,39	8,63	73,22	98,16	31,99	12,78	5,65	119,12	97,92	27,38
процентль 5	2,12	0,36	20,08	92,19	11,31	2,59	0,62	12,56	96,15	10,09
процентль 95	40,42	14,45	536,80	99,00	60,30	53,82	15,67	916,88	100,61	239,33
p	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,10	0,00
проверка на тип распределения	NN	N	NN	NN	NN	NN	NN	NN	N	NN

Действительно, такая ситуация в прямом смысле демонстрирует нормализацию некоторых параметров $x(t)$ под действием месяца терапевтических воздействий. Однако, как и в самом начале курса терапии статистическая проверка всех парных сравнений выборок (до процедуры и после кинезотерапии в одном сеансе) для изучаемых 5-ти x_i не даёт статистически значимых различий, более того, ситуация резко ухудшилась, что представлено в табл. 5. Из этой таблицы видно, что все x_i показывают не просто $p>.05$, но даже минимальное значение x_1 – SIM показывает теперь $p=.171$. Это существенно больше $.05$. Таким образом статистика демонстрирует полное отсутствие различий между параметрами ССС в конце месяца лечения в условиях разовой кинезотерапии (разовой процедуры). Отметим, что исходно при начале лечения мы для x_1 – SIM могли наблюдать статистические различия.

Таблица 5

Статистическая проверка (значимость $p < 0.05$ по Вилкоксоу) различий между параметрами выборок x_i показателей ВСР у пациентов после 1-го месяца кинезотерапии до разовой процедуры кинезотерапии и после кинезотерапии (число обследуемых $N=30$)

		Параметры ВСР				
		1	2	3	4	5
		SIM	PAR	INB	SpO2	SDNN
медиана	До	7,39	8,63	73,22	98,16	31,99
	После	12,78	5,65	119,12	97,92	27,38
оценка $p < 0.05$		0,171	0,262	0,254	0,909	0,644

Примечание: SIM, у.е. – индекс активности симпатического звена ВНС, PAR, у.е. – индекс активности парасимпатического звена ВНС, INB, у.е. – индекс напряжения регуляторных систем по Р.М. Баевскому, SpO2, % – уровень насыщения гемоглобина крови кислородом, SDNN – стандартное отклонение измеряемых кардиоинтервалов, мс. p – достоверность значимых различий по критерию Вилкоксона ($p < 0,05$)

С позиций ТХС, на основе анализа параметров квазиаттракторов, мы также имеем иную картину различий между ССС до разовой процедуры и после процедуры кинезотерапии. Так, например, общий объём квазиаттрактора теперь V_X не увеличивается, а уменьшается. Это говорит не об возмущении – активации ССС, а о некотором нормализующем эффекте воздействия методами восстановительной медицины. Теперь объём уменьшается с $V^1_X = 883,64 \times 10^6$ у.е. до $V^2_X = 318,16 \times 10^6$ у.е. после процедуры кинезотерапии.

Одновременно изменяются и параметры порядка при использовании метода исключения признаков x_i последовательно и расчёте относительного изменения объёмов V_X до и после процедуры. В табл. 6 представлены расчёты изменения объёмов V_X (левая половина) и расстояний R между центрами квазиаттракторов. На рис. 2 представлены итоговые гистограммы изменения относительных величин объёмов V_X до и после исключения x_i из общего числа $m=5$. Легко видеть, что теперь x_5 становится параметром (по гистограмме V) порядка, т.к.

V относительное уменьшается до 30%. Далее по значимости на втором месте находится x_4 (около 60% уменьшение V при исключении x_4 из m) и на третьем месте находится x_2 – PAR. Третий признак (x_3 – INB) теряет своё решающее значение и становится слабо значимым признаком для x_i в конце курса лечения при разовом воздействии кинезотерапии (при анализе V_X).

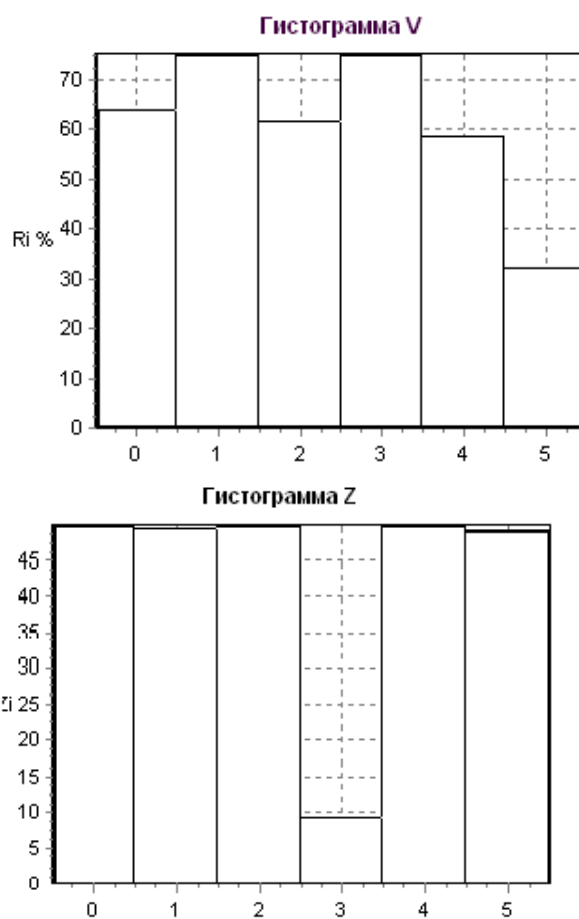


Рис. 2. Гистограммы относительных изменений объёмов квазиаттракторов $[(V^1_G - V^2_G)/V^1_G] \times 100\%$ и относительные расстояния Z_i между центрами квазиаттракторов при последовательном исключении отдельных диагностических признаков x_i ($m=5$) на **конечном** этапе лечения кинезотерапии

Отсутствие статистических различий в параметрах ВСР в конце месячного лечения методами восстановительной медицины (табл. 5) свидетельствует об определённой нормализации функций ССС под действием этого курса лечения. Это свидетельствует также о положительной динамике выздоровления, когда мы приходим к ин-

версии в величинах изменения объёмов *квазиаттракторов*: на ранних этапах лечения разовое воздействие кинезотерапии увеличивало их объём в 5,3 раза, а в конце лечения разовое воздействие приводило к уменьшению их объёма в 2,8 раза. Резко изменялись (в конце курса лечения) и параметры порядка в оценке разового воздействия кинезотерапии на пациентов. В частности, в исходном состоянии x_3 и x_1 были *параметрами порядка*, однако в конце терапии уже x_5 (SpO₂), а также x_3 и x_4 по относительному изменению объёмов (гистограмма для V на рис. 2) и по x_3 (гистограмма для z на рис. 2).

Расчёт методом исключения в пятимерном ФПС ($m=5$) параметров порядка для ССС у пациентов на раннем периоде и позднем периоде до применения кинезотерапии и после кинезотерапии

Vx0	883 646 400	Vy0	318 316 544	dif	565 329 856	R0	64	%	Z0	49,5
Vx1	22 657 600	Vy1	5 684 224	dif1	16 973 376	R1	74,9	%	Z1	49,3
Vx2	51 979 200	Vy2	19 894 784	dif2	32 084 416	R2	61,7	%	Z2	49,5
Vx3	1 299 480	Vy3	326 144	dif3	973 336	R3	74,9	%	Z3	9,26
Vx4	110 455 800	Vy4	45 473 792	dif4	64 982 008	R4	58,8	%	Z4	49,5
Vx5	3 606 720	Vy5	6 121 472	dif5	2 514 752	R5	41,1	%	Z5	48,9

Таким образом, метод исключения параметров x_3 в табл. 6 и на рис. 2 представляет другие важнейшие диагностические признаки в конце лечения при разовом воздействии кинезотерапии. Но что очень важно – эти параметры выявляются на фоне полного отсутствия статистических различий x_i в рамках критерия Вилкоксона (табл. 5). Создаётся такое впечатление (в рамках стохастики), что в конце курса лечения кинезотерапия вообще никак не влияет на ССС. Действительно, все значения критерия Вилкоксона в табл. 5 больше .17. Однако, методы ТХС всё-таки выявляют существенные различия по параметрам x_i именно по параметрам объёмов *квазиаттракторов* (методом исключения признаков) и на основе расстояний между центрами *квазиаттракторов* Z (табл. 6 и рис. 2). Эти результаты показывают необходимость применения методов ТХС для разрешения неопределённости первого рода, когда статистика не может показывать существенных различий между выборками [13-16].

Ещё более существенные результаты

мы получаем при сравнении исходных выборок x_i до начала процедуры кинезотерапии в исходном состоянии (начало лечения) и аналогично (т.е. до процедуры), но в конце лечения. Эти выборки мы в таблицах обозначаем как «до-до», т.е. до начала сеанса (разово) терапии, и они представлены в табл. 7. Легко видеть, что нормальное распределение имеется только для SIM во втором измерении. С другой стороны, статистическое различие между этими двумя наборами x_i из табл. 7 уже весьма существенно. Здесь кроме параметра x_1 – SIM ($p=.027$) различие уходит за пределы критерия $p=.01$ и даже .001. Это демонстрирует весьма достоверные различия в параметрах ССС между начальным этапом

Таблица 6

курса («до-до») и в конце курса («до-до»), т.е. перед применением процедуры кинезотерапии (разово). Более того, квазиаттракторы ВСР в режиме сравнения «до-до» резко приблизились ($z=97,12$ у.е.), хотя в режиме «до-после» в начале $z=594,77$ у.е.

Следует отметить, что организм пациентов за месяц терапии совершил столь существенное изменение ССС, что го-

ворить о неопределённости первого типа уже нет смысла. Все различия x_i (по всем $m=5$) существенны и достоверны, они статистически подтверждены. Это показывает количественно эффективность методов кинезотерапии в ходе лечения. Однако, *параметры порядка* мы не можем определить, статистика не даёт нам возможность выявить наиболее значимых x_i . Если судить по критерию Вилкоксона, то у x_2 – PAR и у x_5 – SDNN мы имеем $p>.0009$, что косвенно говорит о существенной значимости именно этих двух параметров (у них самый низкий индекс p) [10-14] (табл. 7).

Характерно, что при оценке параметров *квазиаттракторов* (табл. 8 и рис. 3) это тоже подтверждается. Действительно, x_1 – SIM вообще не даёт изменений V и Z на гистограммах. Одновременно x_5 , x_4 и x_2 являются *параметрами порядка* по значению относительного изменения объёмов *квазиаттракторов*. С другой стороны x_3 всё-таки показывает существенные изменения и по параметру межаттракторных расстояний Z_3

(самое низкое значение – около 10%).

Таблица 7

Результаты статистической обработки в пятимерном ФПС (m=5) параметров ССС пациентов до кинезотерапии на раннем периоде и до кинезотерапии на позднем периоде (число обследуемых N=30)

	SIM	PAR	INB	SpO2	SDNN	SIM	PAR	INB	SpO2	SDNN
	10	7	90	90	28	10	6	135	98	25
	5	11	41	95	45	20	1	222	99	15
	24	1	244	99	14	2	17	20	99	60
	20	4	175	97	23	3	9	50	99	41
	16	4	226	99	17	4	14	50	99	41
	20	1	222	99	15	10	6	135	98	25
	21	1	233	99	15	14	4	213	98	24
	16	6	171	96	21	2	14	20	98	47
	27	2	507	98	14	7	8	90	92	28
	13	3	136	95	20	23	1	438	98	14
	14	4	214	98	23	16	1	227	99	18
	21	2	235	96	16	6	9	74	97	34
	24	1	244	99	14	6	9	62	99	40
	2	13	20	98	47	6	7	87	98	30
	16	1	227	99	18	6	10	56	98	36
	13	3	136	95	20	6	11	73	97	35
	6	9	62	99	40	8	11	61	99	42
	3	20	19	98	61	40	1	690	99	10
	9	6	153	97	23	36	0	431	95	13
	12	1	155	94	20	4	14	50	99	41
	13	2	137	98	20	12	2	223	99	19
	40	1	690	99	10	18	3	164	98	20
	15	4	184	98	22	5	11	40	99	42
	8	7	119	97	25	6	11	73	97	35
	11	4	99	96	23	5	14	56	98	36
	5	14	56	98	36	12	9	71	98	30
	6	8	63	99	31	41	0	537	95	11
	16	4	226	99	17	16	4	174	98	19
	41	0	537	95	11	14	12	10	91	255
	16	4	174	98	19	4	12	50	99	40
среднее	15,48	4,84	193,15	97,22	23,65	11,97	7,72	152,70	97,70	37,60
Стд. Откл.	9,40	4,63	149,87	2,07	11,54	10,75	4,97	165,49	1,94	42,83
доверит. -95	11,97	3,11	137,19	96,44	19,34	7,96	5,86	90,90	96,98	21,61
доверит. +95	18,99	6,57	249,12	97,99	27,96	15,98	9,57	214,49	98,43	53,59
медиана	14,70	3,57	172,74	97,97	20,42	7,39	8,63	73,22	98,16	31,99
процентль 5	3,37	0,79	20,24	94,26	11,30	2,12	0,36	20,08	92,19	11,31
процентль 95	40,43	14,23	536,80	99,00	47,06	40,42	14,45	536,80	99,00	60,30
p	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00
проверка на тип распределения	NN	NN	NN	NN	NN	NN	N	NN	NN	NN

табл. 9.

Таким образом, в случае выраженных статистических различий на основе методов стохастики и ТХС (в виде значений параметров квазиаттракторов) даже дают определённое совпадение при идентификации параметров порядка. Однако, гораздо чаще у нас наблюдаются несовпадения между стохастикой и ТХС. Так, например, при сравнении 5-ти выборок параметров ССС после проведения разовой кинезотерапии (но исходно это было начало курса и в конце, но «до» начала процедуры, месяца лечения кинезотерапией) мы видим полное отсутствие возможности получения нормального закона распределения. Однако, как и при сравнении в предыдущем случае («до-до») мы при статистическом сравнении всех 10 выборок получили достоверное различие по критерию Вилкоксона (табл. 9). Иными словами, ситуация «до-до» и «после-после» демонстрирует некоторое сходство в аспекте существенных различий между параметрами, чего не было в двух предыдущих случаях (когда мы сравнивали эффекты разовой терапии «до-после» в самом начале лечения и через один месяц лечения). Сравнение до и после разовой терапии (исходно и в конце лечения) существенно отличаются в стохастике от табл. 8 и

Таблица 8

Статистическая проверка значимости $p < 0.05$ по Вилкоксону различий между параметрами выборок x_i показателей ВСП у пациентов до кинезотерапии на раннем периоде и до кинезотерапии на позднем периоде (число обследуемых $N=30$)

		Параметры ВСП				
		1	2	3	4	5
		SIM	PAR	INB	SpO2	SDNN
медиана	До	14,70	3,57	172,74	97,97	20,42
	После	7,39	8,63	73,22	98,16	31,99
оценка $p < 0.05$		0,041	0,025	0,034	0,217	0,025

Примечание: SIM, у.е. – индекс активности симпатического звена ВНС, PAR, у.е. – индекс активности парасимпатического звена ВНС, INB, у.е. – индекс напряжения регуляторных систем по Р.М. Баевскому, SpO2, % – уровень насыщения гемоглобина крови кислородом, SDNN – стандартное отклонение измеряемых кардиоинтервалов, мс. p – достоверность значимых различий по критерию Манна-Уитни ($p < 0,05$)

Таблица 9

Растет методом исключения параметров в в пятимерном ФПС ($m=5$) параметров ССС у пациентов на раннем периоде и позднем периоде до применения кинезотерапии и после кинезотерапии

Vx0	883 646 400.0000	Vy0	883 646 400	dif	240 231 420	R0	643 414 980	%Z0	42,99
Vx1	22 657 600.0000	Vy1	22 657 600	dif1	6 159 780	R1	16 497 820	%Z1	42,86
Vx2	51 979 200.0000	Vy2	51 979 200	dif2	12 011 571	R2	39 967 629	%Z2	42,9
Vx3	1 299 480.0000	Vy3	1 299 480	dif3	358 020	R3	941 460	%Z3	14,61
Vx4	110 455 800.0000	Vy4	110 455 800	dif4	26 692 380	R4	83 763 420	%Z4	42,99
Vx5	4 710 420	Vy5	3 606 720	dif5	1 103 700	R5	23,43	%Z5	40,67

В табл. 9 представлены все парные сравнения, где только SIM приблизился к $p = .05$ ($p = .048$), а остальное даёт величину p в третьем порядке после запятой. Таким образом, сравнение параметров ССС перед началом курса и в конце курса демонстрирует существенное различие в рамках стохастического подхода, как и при сравнении перед началом кинезотерапии. Однако, *параметры порядка* здесь другие, что представлено в табл. 10 и на рис. 4.

Наибольшее различие здесь имеет x_3 – INB, далее следует x_2 и x_1 по параметрам относительного изменения объёма V (рис. 4). Однако по гистограмме расстояний Z наиболее значимым параметром остаётся всё-таки x_3 (и только).

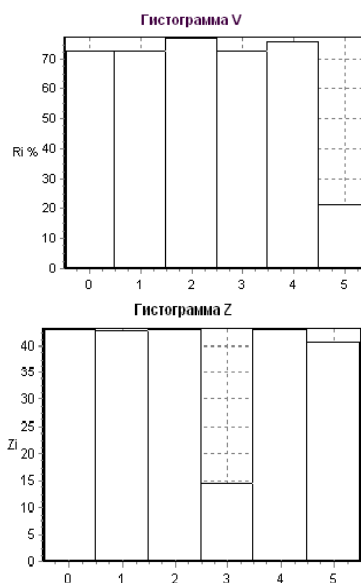


Рис. 3. Гистограммы относительных изменений объёмов квазиаттракторов ($[(V^1_G - V^2_G)/V^1_G] \times 100\%$) и относительные расстояния Z_i между центрами квазиаттракторов при последовательном исключении отдельных диагностических признаков x_i ($m=5$) в конце курса лечения (1 месяц) в режиме «до-до».

В целом, мы опять имеем некоторое совпадение со статистическими результатами, но *параметры порядка* всё-таки различаются и методы ТХС являются предпочтительными [12,13]. Более того, расчёт квазиаттракторов всегда даст нам не только различие в выборках (стохастика не всегда это даёт), но и обеспечивает системный синтез.

Можно утверждать, что методы ТХС (основанные на расчёте параметров *квазиаттракторов*) являются весьма эффективными методами расчёта наиболее важных диагностических признаков в медицине. Они количественно решают задачу *системного синтеза* – определение *параметров порядка*, когда стохастические методы демонстрируют худший результат – неопределённость первого типа (выборки между собой статистически не различаются) [2,3,6-9]. Более того, даже когда стохастика даёт различие между выборками, то найти параметры порядка (задача системного синтеза) не решается однозначно. ТХС и в этом случае даёт эффект.

Таблица 11

Статистическая проверка значимости $p < 0.05$ по Вилкоксоу различий между параметрами выборок x_i показателей ВСР у пациентов до кинезотерапии и после кинезотерапии (число обследуемых $N=30$)

		Параметры ВСР				
		1	2	3	4	5
медиана	До	15,52	2,41	169,54	97,45	21,97
	После	12,78	5,65	119,12	97,92	27,38
оценка $p < 0.05$		0,130	0,009	0,071	0,193	0,056

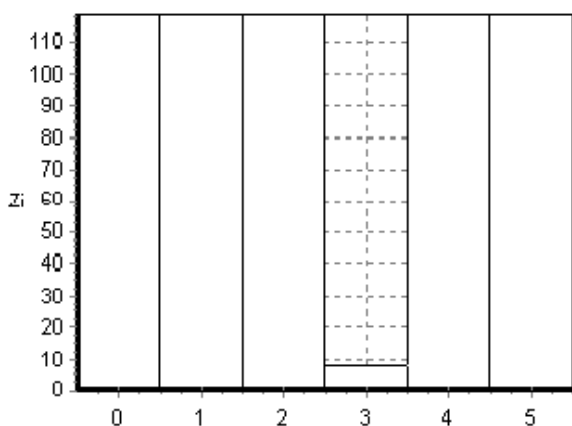
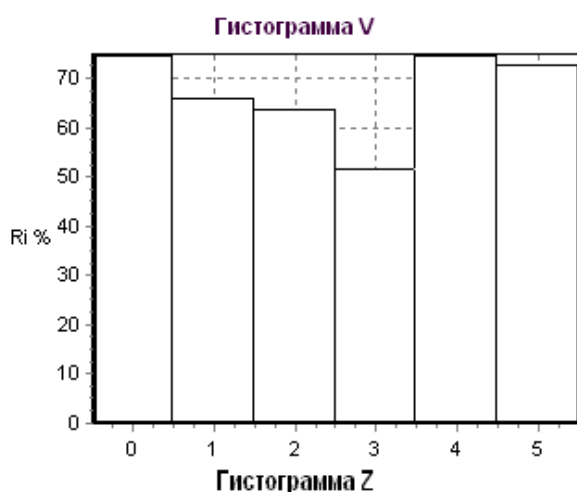


Рис. 4. Гистограммы относительных изменений объемов квазиаттракторов $[(V_G^1 - V_G^2)/V_G^1 \times 100\%]$ и относительные расстояния Z_i между центрами квазиаттракторов при последовательном исключении отдельных диагностических признаков x_i ($m=5$) в конце курса лечения (1 месяц) в режиме «после-после»

Выводы:

1. При изучении СТТ (сложных биомедицинских систем) методы стохастики и детерминированного хаоса не являются эффективными, задача системного синтеза неразрешима.

2. Очень часто такие СТТ демонстрируют неопределённость первого типа: выборки параметров организма человека статистически не различаются.

3. Используя сравнение параметров квазиаттракторов в виде относительного изменения объёмов квазиаттракторов – V и изменения межаттракторных расстояний – Z , мы можем решить задачу системного синтеза, т.е. найти параметры порядка (наиболее важные диагностические признаки), и устранить неопределённость.

4. В целом, новые методы расчёта параметров квазиаттракторов позволяют разрешить проблему неопределённости первого типа, что и было продемонстрировано на примере использования методов кинезотерапии при лечении последствий ОНМК в настоящей работе. Очевидно, что такой подход необходим именно при изучении систем третьего типа – complexity.

Литература

1. Вахмина Ю.В., Гавриленко Т.В., Зимин М.И. Модели сложных систем с позиций физики и теории хаоса-самоорганизации // Сложность. Разум. Постнеклассика.– 2013, № 1.– С. 51–59.
2. Ведясова О.А., Еськов В.М., Живогляд Р.Н. Соотношение между детерминистскими и стохастическими подходами в моделировании синергизма и устойчивости работы дыхательного центра млекопитающих // Вестник новых медицинских технологий.– 2005.– Т. 12, № 2.– С. 23–24.
3. Гавриленко Т.В., Еськов В.М., Хадарцев А.А. Новые методы для геронтологии в прогнозах долгожительства коренного населения Югры // Успехи геронтологии.– 2014.– Т. 27, № 1.– С. 30–36.
4. Еськов В.М., Филатова О.Е., Папшев В.А. Сканирование движущихся поверхностей биологических объектов // Измерительная техника.– 1996, № 5.– С. 66.

5. Еськов В.М., Зилов В.Г., Хадарцева 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.

6. Еськов В.М., Назин А.Г., Русак С.Н. Системный анализ и синтез влияния динамики климатозокологических факторов на заболеваемость населения Севера РФ // Вестник новых медицинских технологий.– 2008.– Т. 15, № 1.– С. 26–29.

7. Еськов В.М., Еськов В.В., Филатова О.Е. Особенности измерений и моделирования биосистем в фазовых пространствах состояний // Измерительная техник.– 2010, № 12.– С. 53–57.

8. Еськов В.М., Филатова О.Е., Хадарцев А.А., Хадарцева К.А. Фрактальная динамика поведения человекомерных систем // Вестник новых медицинских технологий.– 2011.– Т. 18, № 3.– С. 330–331.

9. Еськов В.М., Еськов В.В., Филатова О.Е. Особые свойства биосистем и их моделирование // Вестник новых медицинских технологий.– 2011.– Т. 18, № 3.– С. 331–332.

10. Карпин В.А., Филатова О.Е., Солтыс Т.А., Соколова А.А., Башкатова Ю.В., Гудков А.Б. Сравнительный анализ и синтез показателей сердечно-сосудистой системы у представителей арктического и высокогорного адаптивных типов // Экология человека.– 2013, № 7.– С. 3–9.

11. Еськов В.М., Еськов В.В., Гавриленко Т.В., Зимин М.И. Неопределенность в квантовой механике и биофизике сложных систем // ВМУ. Серия 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ.– 2014, № 5.– С. 41–46.

12. Eskov V.M. Models of hierarchical respiratory neuron networks // Neurocomputing.– 1996.– V. 11, № 2-4.– С. 203–226.

13. Eskov V.M., Filatova O.E. Respiratory rhythm generation in rats: the importance of inhibition // Neurophysiology.– 1993.– V. 25, № 6.– P. 420.

14. Es'kov V.M., Kulaev S.V., Popov Yu.M., Filatova O.E. Computer technology for measurement of instability origin in stationary regimes of biological dynamic system // Measurement techniques.– 2006, № 1.–

P. 40–45.

15. Eskov V.M., Eskov V.V., Filatova O.E. Medical and biological measurements: characteristic features of measurements and modeling for biosystems in phase spaces of states // Measurement techniques.– 2011.– V. 53, № 12.– P. 1404–1410.

16. Eskov V.M., Eskov V.V., Filatova O.E., Filatov M.A. Two types of systems and three types of paradigms in systems philosophy and system science // Journal of Biomedical Science and Engineering.– 2012.– V. 5, № 10.– P. 602.

17. 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.– № 3.– С. 5–6.

18. 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.

19. Филатова О.Е., Хадарцев А.А., Еськов В.В., Филатова Д.Ю. Неопределенность и непрогнозируемость – базовые свойства систем в биомедицине // Complexity. Mind. Postnonclassic.– 2013.– № 1.– С. 68–82.

20. Еськов В.М., Хадарцев А.А., Камнев 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.– № 3.– С. 25–28.

21. 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.– № 1.– С. 17–22.

References

1. Vakhmina YuV, Gavrilenko TV, Zimin MI. Modeli slozhnykh sistem s pozitsiy fiziki i teorii khaosa-samoorganizatsii. Slozhnost'. Razum. Postneklassika. 2013;1:51-9. Russian.

2. Vedyasova OA, Es'kov VM, Zhivoglyad RN. Sootnoshenie mezhdu deterministskimi i stokhasticheskimi podkhodami v modelirovanii sinergizma i ustoychivosti raboty dykhatel'nogo tsentra mlekopitayushchikh. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2005;12(2):23-4. Russian.
3. Gavrilenko TV, Es'kov VM, Khadartsev AA. Novye metody dlya gerontologii v prognozakh dolgozhitel'stva korennoho naseleniya Yugry. Uspekhi gerontologii. 2014;27(1):30-6. Russian.
4. Es'kov VM, Filatova OE, Papshev VA. Skanirovanie dvizhushchikhysya po-verkhnostey biologicheskikh ob"ektov. Izmeritel'naya tekhnika. 1996;5:66. Russian.
5. Es'kov VM, Zilov VG, Khadartseva AA. Novye podkhody v teoreticheskoy biologii i meditsine na baze teorii khaosa i sinergetiki. Sistemnyy analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh. 2006;5(3):617-22. Russian.
6. Es'kov VM, Nazin AG, Rusak SN. Sistemnyy analiz i sintez vliyaniya dinamiki klimatoekologicheskikh faktorov na zabolevaemost' naseleniya Severa RF. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2008;15(1):26-9. Russian.
7. Es'kov VM, Es'kov VV, Filatova OE. Osobennosti izmereniy i modelirovaniya biosistem v fazovykh prostranstvakh sostoyaniy. Izmeritel'naya tekhnika. 2010;12:53-7. Russian.
8. Es'kov VM, Filatova OE, Khadartsev AA, Khadartseva KA. Fraktal'naya dinamika povedeniya chelovekomernykh sistem. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2011;18(3):330-1. Russian.
9. Es'kov VM, Es'kov VV, Filatova OE. Osoby svoystva biosistem i ikh modelirovanie. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2011;18(3):331-2. Russian.
10. Karpin VA, Filatova OE, Soltys TA, Sokolova AA, Bashkatova YuV, Gudkov AB. Sravnitel'nyy analiz i sintez pokazateley serdechno-sosudistoy sistemy u predstaviteley arkticheskogo i vysokogornogo adaptivnykh tipov. Ekologiya cheloveka. 2013;7:3-9. Russian.
11. Es'kov VM, Es'kov VV, Gavrilenko TV, Zimin MI. Neopredelennost' v kvantovoy mekhanike i biofizike slozhnykh sistem. VMU. Seriya 3. FIZIKA. ASTRONOMIYA. 2014;5:41-6. Russian.
12. Eskov VM. Models of hierarchical respiratory neuron networks. Neurocomputing. 1996;11(2-4):203-26.
13. Eskov VM, Filatova OE. Respiratory rhythm generation in rats: the importance of inhibition. Neurophysiology. 1993;25(6):420.
14. Es'kov VM, Kulaev SV, Popov YuM, Filatova OE. Computer technology for measurement of instability origin in stationary regimes of biological dynamic system. Measurement techniques. 2006;1:40-5.
15. Eskov VM, Eskov VV, Filatova OE. Medical and biological measurements: characteristic features of measurements and modeling for biosystems in phase spaces of states. Measurement techniques. 2011;53(12):1404-10.
16. Eskov VM, Eskov VV, Filatova OE, Filatov MA. Two types of systems and three types of paradigms in systems philosophy and system science. Journal of Biomedical Science and Engineering. 2012;5(10):602.
17. 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;3:5-6. Russian.
18. Es'kov VM, Zilov VG, Khadartsev AA. Novye podkhody v teoreticheskoy biologii i meditsine na baze teorii khaosa i sinergetiki. Sistemnyy analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh. 2006;5(3):617-22. Russian.
19. Filatova OE, Khadartsev AA, Es'kov VV, Filatova DYU. Neopredelennost' i neprognoziruemost' – bazovye svoystva sistem v biomeditsine. Complexity. Mind. Postnon-classic. 2013;1:68-82. Russian.
20. Es'kov VM, Khadartsev AA, Kamee LI. Novye bioinformatsionnye podkhody v razviti meditsiny s pozitsiy tret'ey paradigmy (personifitsirovannaya meditsina – realizatsiya zakonov tret'ey paradigmy v meditsine). Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2012;3:25-8. Russian.
21. 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;1:17-22. Russian.