



DOI: 10.15593/RZhBiomech/2018.1.06

УДК 531/534: [57+61]

ХАОТИЧЕСКАЯ ДИНАМИКА ПАРАМЕТРОВ ТРЕМОРОГРАММ В УСЛОВИЯХ СТРЕСС-ВОЗДЕЙСТВИЙ

Л.К. Иляшенко¹, А.Е. Баженова², Д.К. Берестин³, С.В. Григорьева⁴

¹ Кафедра естественнонаучных и гуманитарных дисциплин, Сургутский институт нефти и газа, Филиал Тюменского индустриального университета, Россия, 628400, Сургут, ул. Энтузиастов, 38

² Научно-исследовательская лаборатория биокibernетики и биофизики сложных систем Института естественных и технических наук, Сургутский государственный университет, Россия, 628400, Сургут, проспект Ленина, 1, e-mail: ae_bazhenova@mail.ru

³ Научная лаборатория функциональных систем организма человека на Севере Института естественных и технических наук, Сургутский государственный университет, Россия, 628400, Сургут, проспект Ленина, 1, e-mail: bdk0720@gmail.com

⁴ Кафедра биофизики и нейрокибернетики Института естественных и технических наук, Сургутский государственный университет, Россия, 628400, Сургут, проспект Ленина, 1

Аннотация. Выполнено практическое применение теории хаоса – самоорганизации в оценке стресс-реакции нервно-мышечной системы испытуемых на локальное низкотемпературное воздействие (охлаждение кисти руки). Показана низкая эффективность статистических методов расчета параметров треморограмм и высокая эффективность расчета параметров хаоса треморограмм. Практическая возможность применения метода расчета параметров фазовых пространств в двухмерном фазовом пространстве демонстрирует количественную меру реальных изменений параметров нервно-мышечной системы человека в условиях холодового воздействия. Анализ состояния биомеханической системы производился на основе сравнения площадей s фазовых плоскостей мужчин с различной физической подготовкой и метода расчета матриц парных сравнений выборок треморограмм. В конечном итоге анализ состояния биомеханической системы проводился на основе сравнения площадей фазовых плоскостей. Площади находились как произведение двух вариационных размахов фазовых координат Δx_1 и Δx_2 , где x_1 – перемещения конечности, а x_2 – координата скорости перемещения конечности, $x_2 = dx_1/dt$. Уже в первом приближении площади фазовых плоскостей демонстрировали различия значений до и после локального холодового воздействия. После локального холодового воздействия на конкретных примерах происходит увеличение площадей фазовых плоскостей в 2–3 раза. При внешнем воздействии (холодовом) увеличивается доля стохастичности, и у обоих испытуемых распределение площадей нормальное (в спокойном состоянии распределение ненормальное). Локальное холодовое воздействие приводит к трехкратному увеличению числа пар k совпадений выборок треморограмм у мужчин, и это не зависит от их физической подготовки. Такие охлаждения (как стресс-агенты) проявляются в рамках именно нового подхода (по параметрам площадей фазовых плоскостей).

Ключевые слова: тремор, фазовая плоскость, холодовый стресс, матрица парных сравнений.

© Иляшенко Л.К., Баженова А.Е., Берестин Д.К., Григорьева С.В., 2018

Иляшенко Любовь Кирилловна, к.пед.н, заведующая кафедрой естественнонаучных и гуманитарных дисциплин, Сургут

Баженова Анастасия Егоровна, к.б.н., с.н.с. лаборатории, Сургут

Берестин Дмитрий Константинович, к.ф.-м.н., с.н.с. лаборатории, Сургут

Григорьева Светлана Владимировна, аспирант, Сургут

ВВЕДЕНИЕ

Локальное или общее (при закаливании, например) охлаждение человека является мощным стресс-агентом, который вызывает существенную реакцию во всей нервно-мышечной системе. Существенно, что в условиях Севера РФ такие воздействия довольно частые и они обусловлены особыми климато-географическими факторами, которые оказывают негативное влияние на качество жизни и здоровья каждого жителя Югры [10, 19–21]. Низкотемпературным воздействиям характерна хаотическая динамика их изменения. Одновременно возможно также резкое изменение атмосферного давления, влажности и температуры атмосферного воздуха. Необходимо отметить, что температуры около минус 30–35°C являются характерными для зимнего периода территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. Поэтому изучение низкотемпературного воздействия как стресс-агента не только имеет научное значение (для биомеханики и физиологии), но и связано с производительностью и работоспособностью населения северных регионов РФ (в нашем случае речь идет о Югре). Влияние гипотермальных воздействий на состояние нервно-мышечной системы приводит к различным негативным последствиям [22–25, 27]. Реакция же самого организма человека зависит от возрастных периодов и его физической активности, что уже отмечалось рядом авторов [1–6]. Адаптация человека в этих условиях достигается путём напряжения и сложной перестройки гомеостатических систем организма [7–12].

В связи с этим изучение реакции нервно-мышечной системы на холодовый стресс-агент является одним из важных направлений развития психофизиологии и биомеханики. При этом необходимо понимать, что традиционные статистические методы в изучении тремора или теппинга не дают объективных результатов в силу непрерывной и хаотической динамики поведения регистрируемых параметров треморограмм и теппинграмм. В рамках новых подходов, обеспечивающих регистрацию реального гомеостаза нервно-мышечной системы, общее состояние функциональных систем организма человека к гипотермальным воздействиям представляет особый интерес в рамках именно теории хаоса-самоорганизации [13–18, 26, 29]. В наших исследованиях выполнялся анализ параметров нервно-мышечной системы человека, который характеризует изменения параметров треморограмм именно у мужчин при локальном холодовом воздействии. Более того, вся теория хаоса-самоорганизации разрабатывается сейчас для индивидуальной биомеханики, медицины и физиологии. В рамках этих результатов предлагаются новые тесты по параметрам треморограмм, которые можно использовать в практической деятельности тренера или медицинского работника [1–6, 19–25] (именно на основе регистрации треморограмм).

Целью исследования является оценка особенностей хаотической динамики тремора как микродвижений верхних конечностей мужчин, которые имеют различную физическую активность.

МЕТОДЫ И ОРГАНИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект и методы исследования. В исследовании приняли участие мужчины, проживающие на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры не менее 5 лет. Средний возраст обследуемых 28 лет. В зависимости от степени физической активности было сформировано две группы мужчин по 15 человек. В первую группу вошли испытуемые мужчины, занимающиеся физическими упражнениями нерегулярно (неспортсмены), т.е. менее трех раз в неделю. Во вторую

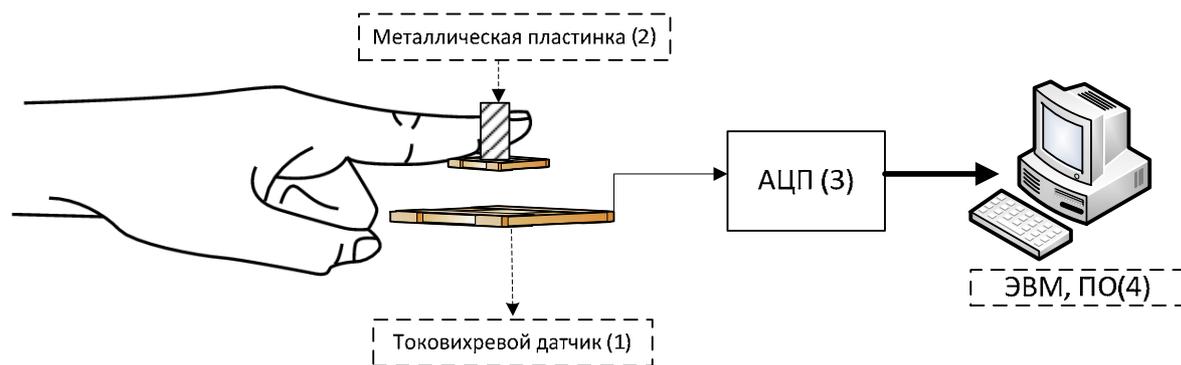


Рис. 1. Схема биоизмерительного комплекса регистрации тремора

группу вошли мужчины, профессионально занимающиеся спортом (спортсмены), имеющие спортивную квалификацию не ниже первого взрослого разряда и продолжающие заниматься систематическими физическими упражнениями более трех раз в неделю.

У испытуемых регистрировались параметры тремора с помощью биофизического измерительного комплекса, разработанного в Лаборатории биокибернетики и биофизики сложных систем при Сургутском государственном университете (рис. 1) [11–14]. Установка включает металлическую пластинку 2, которая крепится жестко к пальцу испытуемого, токовихревой датчик 1, усилитель, аналого-цифровой преобразователь 3 и компьютер с оригинальным программным обеспечением [12–14]. В качестве фазовых координат, помимо первой координаты $x_1 = x(t)$ в виде перемещения конечности, второй координатой (x_2) была скорость перемещения пальца $x_2 = v(t) = dx_1/dt$. Регистрируемые с помощью аналого-цифрового преобразователя 3 треморограммы квантовались с постоянным периодом квантования $t = 0,01$ с и регистрировались в виде файлов (общее время регистрации i -й выборки $T = 5$ с, количество точек в таком биомеханическом файле $z = 500$). Перед испытуемыми стояла задача удерживать палец в пределах заданной области, осознанно контролируя его неподвижность. Все испытуемые прошли 15 серий эксперимента ($N = 15$), в каждой из которых регистрация тремора проводилась 15 раз ($n = 15$) в спокойном состоянии и аналогично ($N = 15$, $n = 15$) после локального холодового воздействия (испытуемый погружал кисть на 2 минуты в емкость с водой температурой $T \approx 4$ °C), т.е. всего имеем 225 выборок треморограмм для каждого испытуемого [1–6, 14, 28].

Обработка данных и регистрация тремора конечности испытуемых проводилась с помощью компьютера (использовалась программа *Charts 3*). Благодаря запатентованному программному продукту строились фазовые плоскости и рассчитывались их площади S в виде $S = \Delta x_1 \cdot \Delta x_2$, где Δx_1 – вариационный размах для треморограмм по x_1 ; Δx_2 – вариационный размах по x_2 . Производились также попарное сравнение отрезков треморограмм для каждой выборки $x_1 = x_1(t)$ треморограмм испытуемого на предмет принадлежности всех этих выборок к общей генеральной совокупности (у одного и того же испытуемого). Делали это путем расчета матриц парных сравнений выборок x_1 .

Статистическая обработка данных осуществлялась при помощи программного пакета *Statistica 10*. Анализ соответствия вида распределения полученных данных закону нормального распределения производился на основе вычисления критерия Шапиро-Уилка. Было установлено, что распределение Гаусса не может быть применено для всех выборок треморограмм. Далее при использовании непараметрического парного сравнения треморограмм с помощью критерия

Вилкоксона были построены 30 таблиц парных сравнений выборок треморограмм для каждого испытуемого в виде 15 серий экспериментов, в каждой из которых было по 15 сравниваемых выборок треморограмм в спокойном состоянии и после локального холодого воздействия. Одновременно для этих же выборок треморограмм рассчитывались параметры квазиаттракторов (в частности площади).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В рамках теории хаоса-самоорганизации нами были построены фазовые плоскости для всех 225 выборок, т.е. для всех 15 серий (N) экспериментов по 15 выборок в каждой (n) у каждого испытуемого до и после локального холодого воздействия. Для квазиаттракторов были рассчитаны площади S , которые находились как произведение двух вариационных размахов фазовых координат Δx_1 и Δx_2 , т.е. $S = \Delta x_1 \cdot \Delta x_2$, характерный пример фазовых траекторий до и после локального холодого воздействия представлен на рис. 2.

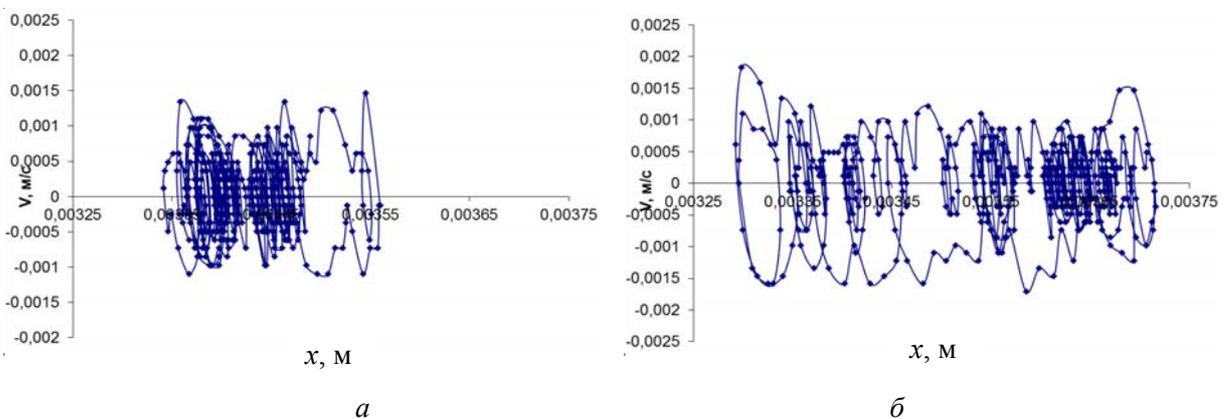


Рис. 2. Пример фазовых траекторий одного из экспериментов испытуемого 1:

a – до локального холодого воздействия ($S_{\text{до}} = 0,56 \cdot 10^{-6}$ у.е.);
 b – после локального холодого воздействия ($S_{\text{после}} = 1,5 \cdot 10^{-6}$ у.е.)

При этом вектор $x(t) = (x_1, x_2)^T$ совершал хаотические движения в пределах этих квазиаттракторов (их S). Анализ всех полученных значений S представляет схожую картину в виде данных для каждого испытуемого: отдельно для неспортсменов и спортсменов. Подчеркнем, что статистическая обработка данных всей группы не имеет смысла (постулат теории хаоса-самоорганизации), и мы производим сравнения для каждого испытуемого отдельно именно его площади квазиаттракторов (табл. 1), так как имеем хаотический калейдоскоп статистических функций распределения $f(x_i)$.

В табл. 1 представлен пример значений площадей квазиаттракторов S выборок треморограмм испытуемых 1 (неспортсмен) и 2 (спортсмен) для одной из серий эксперимента: до и после локального холодого воздействия. Уже из одной серии опытов легко видеть, что S для квазиаттракторов демонстрируют различия значений до и после локального холодого воздействия. При расчете среднего значения площадей квазиаттракторов ($\langle S \rangle$), пример на рис. 2, и стандартного отклонения (σ , \pm), в представленном примере с двумя испытуемыми были получены следующие данные: среднее значение площадей квазиаттракторов $\langle S \rangle$ испытуемого 1 до локального холодого воздействия равно $\langle S_1 \rangle = 0,61 \cdot 10^{-6}$ ($\sigma = 0,38 \cdot 10^{-6}$ у.е.), а после $\langle S_2 \rangle = 1,53 \cdot 10^{-6}$ ($\sigma = 1,08 \cdot 10^{-6}$ у.е.). В случае с испытуемым 2 среднее значение площадей

Таблица 1

Площади ($S \cdot 10^{-6}$) фазовых плоскостей выборок треморограмм испытуемых

№ эксперимента	Неспортсмен		Спортсмен	
	до холодого воздействия	после холодого воздействия	до холодого воздействия	после холодого воздействия
1	0,89	2,32	0,33	1,03
2	0,44	4,14	0,22	0,89
3	0,32	2,37	0,26	0,17
4	0,56	0,93	0,62	1,44
5	0,48	1,35	0,14	0,60
6	1,75	0,29	0,31	1,23
7	0,77	0,43	0,52	1,15
8	0,34	2,10	0,23	1,06
9	0,23	2,41	0,28	1,18
10	0,45	0,28	0,35	0,53
11	0,55	1,39	0,32	1,03
12	0,48	2,15	0,18	0,28
13	0,49	1,50	0,31	0,77
14	0,42	0,96	0,31	0,92
15	1,04	0,26	0,71	0,39
$\langle S \rangle$	0,61	1,53	0,34	0,84
σ, \pm	0,38	1,08	0,16	0,38

квазиаттракторов $\langle S_3 \rangle$ до локального холового воздействия равно $0,34 \cdot 10^{-6}$ ($\sigma = 0,16 \cdot 10^{-6}$ у.е.), а после $\langle S_4 \rangle = 0,84 \cdot 10^{-6}$ ($\sigma = 0,38 \cdot 10^{-6}$ у.е.). Таким образом, после локального холодового воздействия у обоих испытуемых (неспортсмен и спортсмен) происходит увеличение площади квазиаттракторов почти в 2,5 раза. В целом такая динамика наблюдается у всех испытуемых. И это характеризует количественно стресс-реакцию спортсмена и неспортсмена на локальное охлаждение конечности.

Следует отметить, что при проверке на соответствие вида распределения полученных данных площадей S обоих испытуемых ($n = 15$) при многократных повторях до холодого воздействия имеется ненормальное распределение, т.е. мы использовали непараметрические распределения. Медианное значение (Me) S испытуемого 1 в спокойном состоянии равно $0,48 \cdot 10^{-6}$ (0,23; 1,75) у.е. и испытуемого 2 – $Me = 0,31 \cdot 10^{-6}$ (0,14; 0,71) у.е. При внешнем воздействии (холодовом) увеличивается доля стохастики, и у обоих испытуемых распределение площадей нормальное.

Одновременно с расчетом площадей квазиаттракторов мы применили и метод расчета матриц парного сравнения выборок треморограмм, которые получаются у одного и того же испытуемого (находящегося в неизменном гомеостазе) в режиме многократных повторений ($n = 15$). Для каждого испытуемого строились две матрицы (до и после воздействия стресс-агента) по 15 измерений (выборок) в каждой, в результате для одной матрицы получалось 105 независимых пар сравнения. Среди полученных 105 пар сравнения находились пары, которые при сравнении по критерию Вилкоксона имели уровень значимости (p) больше 0,05, т.е. $p > 0,05$. Это означает, что такую пару треморограмм можно отнести к одной генеральной совокупности (эти две выборки статистически совпадают, они одинаковые с позиции стохастики).

Для наглядного представления мы приводим два характерных примера (табл. 2 и табл. 3), в которых $k_1 = 3$ для испытуемого 1 (спокойное состояние, табл. 2) и $k_2 = 9$ после стресс-воздействия (табл. 3). Это характерный пример для испытуемых, которые

не занимаются регулярно физическими нагрузками и у них всегда различаются k_1 (до охлаждения) и k_2 (после охлаждения кисти), т.е. имеют немного завышенные значения, чем у спортсменов. Последние в нашем примере (см. табл. 4 и 5) дают значение числа k пар совпадений треморограмм до воздействия $k_3 = 2$ (табл. 4) и после $k_4 = 6$ (табл. 5), т.е. несколько более низкие у спортсмена, чем мы это наблюдаем в предыдущих матрицах (см. табл. 2 и 3) у лиц без физической подготовки.

В целом при использовании непараметрического парного сравнения с помощью критерия Вилкоксона для каждого испытуемого были получены четыре таблицы, в которых представлены результаты расчета матриц (15×15) парного сравнения треморограмм $N = 15$, $n = 15$. Динамика произвольных микродвижений конечностей (тремора пальцев рук) как реакция на стресс-агент (в нашем случае локальное гипотермическое воздействие) проявлялась в изменении числа совпадений пар выборок (k), которые можно отнести к одной генеральной совокупности. Представленные матрицы парных сравнений в табл. 2–5, в которых количественной мерой является число совпадений пар выборок (k), для обоих испытуемых в спокойном состоянии и после локального холодового воздействия (всего 450 выборок треморограмм у обоих испытуемых) являются фактически средними (по результатам k) матрицами из всех четырех наборов (серий по 15 матриц), значит $\langle k_1 \rangle = 3$; $\langle k_2 \rangle = 6$; $\langle k_3 \rangle = 2$; $\langle k_4 \rangle = 6$.

Наш пример, когда число увеличивается с $k_1 = 3$ совпадений в спокойном состоянии до $k_2 = 9$ совпадений после локального холодового воздействия у испытуемого 1 и с $k_3 = 2$ до $k_4 = 6$ у испытуемого 2 является характерным для всех наших измерений. Таким образом, локальное холодовое воздействие приводит почти к двух- или трехкратному увеличению числа пар совпадений (k) у мужчин вне зависимости от их физической подготовки.

Таблица 2

Матрица парных сравнений 15 выборок треморограмм испытуемого 1 до локального холодового воздействия (число пар совпадений $k_1 = 3$)

	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	0,87	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	0,15	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	0,00	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	0,00	0,00	0,03	0,00	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	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
9	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
10	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	0,87	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
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,05	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	0,05		0,00
15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Таблица 3

Матрица парных сравнений 15 выборок треморограмм испытуемого 1 после холодого воздействия (число пар совпадений $k_2 = 9$)

	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	0,31	0,00	0,75	0,00	0,00	0,00	0,63
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		0,64	0,00	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	0,64		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,83	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,38	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,83		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
9	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00		0,00	0,17	0,00	0,00	0,00	0,01
10	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
11	0,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00		0,00	0,00	0,00	0,69
12	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
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,38	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
15	0,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,69	0,00	0,00	0,00	

Таблица 4

Матрица парных сравнений 15 выборок треморограмм испытуемого 2 до локального холодого воздействия (число пар совпадений $k_3 = 2$)

	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	0,17
2	0,00		0,88	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	0,88		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	0,00	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	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	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	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	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
10	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
11	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
12	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
13	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
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	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Таблица 5

**Матрица парных сравнений 15 выборок треморограмм испытуемого 2 после локального
холодового воздействия (число пар совпадений $k_4 = 6$)**

	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	0,10	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	0,09	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	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,67	0,15
5	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
6	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
7	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,34	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	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	0,10	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
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,10	0,00
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00
14	0,00	0,00	0,00	0,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00		0,00
15	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

ОБСУЖДЕНИЕ

Новая методика расчета матрицы парных сравнений выборок позволяет оценить влияние локального холодового воздействия на функциональные системы организма, но эта оценка сильно варьируется, и она требует многократных повторов экспериментов. В наших наблюдениях для каждого испытуемого мы производим 15 серий исследований по 15 повторов измерений треморограмм в каждой серии. Это требует огромного времени и весьма трудоемких вычислений, которые связаны с расчетом всех 225 выборок треморограмм ($N \cdot n = 15 \cdot 15 = 225$) для каждого испытуемого. В результате таких расчетов мы получаем выборки уже самих чисел k (пар совпадений выборок треморограмм). Очевидно, что любое число k_i из серии $N = 15$ не может нам представлять среднее значение k для данного испытуемого, и поэтому одна серия не может представлять общие результаты измерений.

Однако простое измерение разовой выборки треморограмм и их традиционный статистический расчет теперь уже становятся бесполезными, так как такая (разовая) выборка будет уникальной (неповторимой) и мы по ней не можем судить о динамике изменения двигательных функций испытуемых, находящихся в условиях стрессовых (холодовых) воздействий. Поэтому все выборки разные (не менее 10% пар треморограмм не могут показать статистическое совпадение), следовательно, совершенно непонятно, что брать за изменение под действием холода, если без холодового воздействия все подряд полученные треморограммы у одного испытуемого (находящегося в одном гомеостазе) и так существенно различаются. Гипотеза Н.А. Бернштейна реализовалась в эффект Еськова–Зинченко (нет совпадений подряд получаемых выборок).

Для выхода из возникшего процесса в биомеханике и психологии мы предлагаем производить повторы измерений и рассчитывать матрицы парных сравнений выборок до воздействия и после него (у нас это было локальное охлаждение).

Однако более простой способ – это расчет параметров площадей фазовых плоскостей треморограмм. Во всех нами выполненных исследованиях тренированные испытуемые (спортсмены) всегда показывали меньшее значение площадей квазиаттракторов треморограмм, чем лица без специальной физической подготовки. В наших примерах средняя площадь $\langle S_1 \rangle$ для квазиаттракторов у треморограмм неспортсмена почти в 2 раза больше, чем средняя площадь $\langle S_3 \rangle$ у спортсмена ($\langle S_1 \rangle = 0,61$; $\langle S_3 \rangle = 0,34$), медианы дают несколько меньший эффект, но он тоже значителен (0,48 и 0,31 соответственно).

Аналогичную (и устойчивую) картину различий дают площади S для квазиаттракторов у треморограмм испытуемых после холодового воздействия. Здесь $\langle S_2 \rangle = 1,53$ у неспортсмена и $\langle S_4 \rangle = 0,84$ у спортсмена, размеры площади квазиаттракторов количественно представляют реакцию нервно-мышечной системы на стресс-воздействие (локальное охлаждение). Расчет параметров квазиаттракторов является весьма эффективным методом в биомеханике для оценки особенностей регуляции двигательных функций (в нашем примере это были произвольные движения в виде постурального тремора). Отметим, что такой подход дает реальную количественную оценку состояния нервно-мышечной системы, работы всей системы организации движений, которую еще 70 лет назад наш выдающийся предшественник Н.А. Бернштейн пытался сформулировать в качестве гипотезы «о повторении без повторений».

Таким образом, расчет матриц парных сравнений выборок и параметров квазиаттракторов для треморограмм дает возможность не только оценить стационарное состояние гомеостаза (у нас на примере нервно-мышечной системы), но и различать эти стационарные состояния гомеостаза между отдельными испытуемыми. В нашем случае речь идет о гомеостазе спортсменов и лиц без специальной физической тренировки. Мы сейчас демонстрируем, что число пар k совпадений выборок треморограмм в матрицах (см. табл. 2–5) различается для спортсмена и неспортсмена. Одновременно, мы наблюдаем и выраженные изменения в числах k_2 и k_4 у разных испытуемых после холодового воздействия на нервно-мышечную систему. При этом однонаправленно изменяются значения площади квазиаттракторов, которые в спокойном состоянии у спортсменов всегда имеют более низкие значения, чем у лиц без специальной физической подготовки. Расчет матриц и квазиаттракторов дает новый и эффективный метод диагностики состояния испытуемых, находящихся в различных физиологических и психических состояниях. На фоне статистического хаоса выборок треморограмм мы можем наблюдать определенные закономерности в рамках теории хаоса – самоорганизации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Прослеживается динамика увеличения площадей фазовых плоскостей после локального холодового воздействия в 2,5 как у неспортсменов, так и у спортсменов. Прослеживается трехкратное превышение k_2 и k_4 по отношению к k_1 и k_3 , что характеризует различия между свободным состоянием и треморограммами после локального холодового воздействия у испытуемых. При этом различия в значениях k не зависят от физической подготовки.

БЛАГОДАРНОСТИ

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».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веракса А.Н., Горбунов Д.В., Шадрин Г.А., Стрельцова Т.В. Эффект Еськова–Зинченко в оценке параметров теппинга методами теории хаоса и самоорганизации и энтропии // Сложность. Разум. Постнеклассика. – 2016. – № 1. – С. 17–24.
2. Еськов В.М., Зинченко Ю.П., Хадарцев А.А., Филатова О.Е. Основы физического (биофизического) понимания жизни // Сложность. Разум. Постнеклассика. – 2016. – № 2. – С. 58–65.
3. Зилов В.Г., Еськов В.М., Хадарцев А.А., Еськов В.В. Экспериментальное подтверждение эффекта «Повторение без повторения» Н.А. Бернштейна // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. – 2017. – № 1. – С. 4–9.
4. Зинченко Ю.П., Хадарцев А.А., Филатова О.Е. Введение в биофизику гомеостатических систем (complexity) // Сложность. Разум. Постнеклассика. – 2016. – № 3. – С. 6–15.
5. 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.
6. Филатова О.Е., Зинченко Ю.П., Еськов В.В., Стрельцова Т.В. Сознательное и бессознательное в организации движений // Сложность. Разум. Постнеклассика. – 2016. – № 3. – С. 23–30.
7. Bernstein N. The coordination and regulation of movements. – London: Pergamon, 1967.
8. Betelin V.B., Eskov V.M., Galkin V.A., Gavrilenko T.V. The principle of uncertainty in the dynamics of the behavior of complex homeostatic systems // Doklady Mathematics. – 2017. – Vol. 472, № 6.
9. Eskov V.M., Filatova O.E., Ivashenko V.P. Computer identification of compartmental neuron circuits // Measurement Techniques. – 1994. – Vol. 37, № 8. – P. 967–971.
10. Eskov V.M., Filatova O.E. Problem of identity of functional states in neuronal networks // Biophysics. – 2003. – Vol. 48, № 3. – P. 526–534.
11. Eskov V.M., Kulaev S.V., Popov Yu.M., Filatova O.E. Computer technologies in stability measurements on stationary states in dynamic biological systems // Measurement Techniques. 2006. – Vol. 49, № 1. – P. 59–65.
12. 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. – Vol. 53, № 12. – P. 1404–1410.
13. Eskov V.M., Gavrilenko T.V., Kozlova V.V., Filatov M.A. Measurement of the dynamic parameters of microchaos in the behavior of living biosystems // Measurement Techniques. – 2012. – Vol. 55, № 9. – P. 1096–1101.
14. Eskov V.M., Gavrilenko T.V., Vokhmina Y.V., Zimin M.I., Filatov M.A. Measurement of chaotic dynamics for two types of tapping as voluntary movements // Measurement Techniques. 2014. – Vol. 57, № 6. – P. 720–724.
15. Eskov V.M., Eskov V.V., Gavrilenko T.V., Zimin M.I. Uncertainty in the quantum mechanics and biophysics of complex systems // Moscow University Physics Bulletin. – 2014. – Vol. 69, № 5. – P. 406–411.
16. Eskov V.M., Eskov V.V., Gavrilenko T.V., Vochmina J.V. Biosystem kinematics as evolution: stationary modes and movement speed of complex systems: complexity // Moscow University Physics Bulletin. – 2015. – Vol. 70, № 2. – P. 140–152.
17. Eskov V.M., Filatova O.E., Provorova O.V., Khimikova O.I. Neural emulators in identification of order parameters in human ecology // Human Ecology. – 2015. – № 5. – P. 57–64.
18. Eskov V.M., Eskov V.V., Vahmina Y.V., Gavrilenko T.V. The evolution of chaotic dynamics of collective modes as a way to describe the behavior of living systems // Moscow University Physics Bulletin. – 2016. – Vol. 71, № 2. – P. 143–154.
19. Eskov V.M., Eskov V.V., Filatova O.E., Khadartsev A.A., Sinenko D.V. Neurocomputational identification of order parameters in gerontology // Advances in Gerontology. – 2016. – Vol. 6, № 1. – P. 24–28.
20. Eskov V.M., Khadartsev A.A., Eskov V.V., Vokhmina J.V. Chaotic dynamics of cardio intervals in three age groups of indigenous and nonindigenous populations of Ugra // Advances in Gerontology. – 2016. – Vol. 6, № 3. – P. 191–197.
21. Eskov V.M., Eskov V.V., Gavrilenko T.V., Vochmina Yu.V. Formalization of the Effect of “Repetition without Repetition” by N.A. Bernstein // Biofizika. – 2017. – Vol. 62, № 1.
22. Eskov V.V., Filatova O.E., Gavrilenko T.V., Khimikova O.I. Prediction of Khanty people life expectancy according to chaotic dynamics of their cardiovascular system parameters // Human Ecology. – 2014. – № 11. – P. 3–8.

23. Garaeva G.R., Eskov V.M., Eskov V.V., Gudkov A.B., Filatova O.E., Khimikova O.I. Chaotic dynamics of cardiointervals in three age groups of indigenous people of Ugra // *Human Ecology*. – 2015. – № 9. – P. 50–55.
24. Gavrilenko T.V., Eskov V.M., Khadartsev A.A., Khimikova O.I., Sokolova A.A. The new methods in gerontology for life expectancy prediction of the indigenous population of Yugra // *Advances in Gerontology*. – 2014. – Vol. 27, № 1. – P. 30–36.
25. Karpin V.A., Filatova O.E., Soltys T.V., Sokolova A.A., Bashkatova Yu.V., Gudkov A.B. Comparative analysis and synthesis of the cardiovascular system indicators of representatives of arctic and alpine adaptive types // *Human Ecology*. – 2013. – №7. – P. 3–9.
26. Prigogine I. *The end of certainty: time, chaos, and the new laws of nature*. – Free press, 1997. – P. 228.
27. Rusak S.N., Eskov V.V., Molyagov D.I., Filatova O.E. Annual dynamics of climatic factors and population health in Khanty–Mansiysk autonomous area. // *Human Ecology*. – 2013. – № 11. – P. 19–24.
28. Vokhmina Y.V., Eskov V.M., Gavrilenko T.V., Filatova O.E. Medical and biological measurements: Measuring order parameters based on neural network technologies // *Measurement Techniques*. – 2015. – № 58(4), A018. – P. 65–68.
29. Weaver W. *Science and Complexity* // *American Scientist*. – 1948. – Vol. 36. – P. 536–544.

CHAOTIC DYNAMICS OF PARAMETERS OF THE TREMORGRAM AT THE STRESS IMPACTS

L.K. Ilyashenko, A.E. Bazhenova, D.K. Berestin, S.V. Grigorieva (Surgut, Russia)

It is presented new application of chaos-selforganization theory for investigation of stress-reaction neuromuscular systems of local cooling of human hand. The bad effecting evens of traditional stochastic methods for tremorgram parameters and high effectiveness of new chaotic methods for tremorgram modeling was presented too. The feasibility of applying the method for calculating the parameters of quasi-attractor in two-dimensional phase plane as a quantitative measure of real changes in the parameters of the neuromuscular system of the person in conditions of cold exposure was presented too. Analysis of the state of the biomechanical system was made on the basis of a comparison of the areas S of the quasi-attractor of men with different physical training and method of calculation of matrices of pairwise comparisons of samples of tremorgram. The proposed new approach for calculating the parameters of quasi-attractor is similar to the uncertainty principle of Heisenberg of quantum mechanics. Ultimately, the analysis of the state of the biomechanical system was based on comparison of the areas of quasi-attractor. Square was the product of two variation ranges of the phase coordinates Δx_1 and Δx_2 , where x_1 is the displacement of the limb, and x_2 is the coordinate speed of movement of the limb, $x_2 = dx_1/dt$. Already in the first approximation, the squares of the quasi-attractors showed the differences in the values before and after local cold exposure. After local cold exposure, in a specific example, there is an 2.5 times increase in squares S of the quasi-attractors. When an external impact (cold) increases the share of stochastic at both subjects, the distribution of areas is normal (nonparametric distribution in case of rest). Also, local cold exposure leads to a 3-fold increase in the number of pairs k of special matrix of tremorgram comparison for men, regardless of their physical fitness. The cooling as a stress-agent is realized according to new understanding (as a parameters of quasiattractors).

Key words: tremor, quasiattractor, cold exposure, matrix of pairwise comparison.

Получено 1 декабря 2017