



DOI: 10.15593/RZhBiomeh/2017.3.03

УДК 612.766

ФЕНОМЕН СТАТИСТИЧЕСКОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ В ОЦЕНКЕ ПРОИЗВОЛЬНЫХ И НЕПРОИЗВОЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ

О.Е. Филатова¹, В.В. Еськов², М.А. Филатов³, Л.К. Иляшенко³

¹ Научно-исследовательская лаборатория «Функциональные системы организма человека на Севере» Института естественных и технических наук Сургутского государственного университета, Россия, 628400, Сургут, проспект Ленина, 1, e-mail: ae_bazhenova@mail.ru

² Кафедра биофизики и нейрокибернетики Института естественных и технических наук Сургутского государственного университета, Россия, 628400, Сургут, проспект Ленина, 1, e-mail: firing.squad@mail.ru

³ Кафедра естественно-научных и гуманитарных дисциплин Тюменского индустриального университета. Филиал в г. Сургуте, Россия, 628400, Сургут, ул. Энтузиастов, 38, e-mail: filatovmik@yandex.ru

Аннотация. В 2016 году исполняется 120 лет со дня рождения Н.А. Бернштейна. Его критическая статья в адрес условно-рефлекторной теории И.П. Павлова была опубликована почти 60 лет назад, но до настоящего времени гипотеза «повторение без повторения» Бернштейна так и не изучена. Количественное описание подобных экспериментальных результатов сейчас выполнено нами на основе построения матриц парных сравнений выборок, в условиях многократных повторений регистрации движений. Конкретные количественные результаты демонстрируют различия между произвольными (теппинг) и непроизвольными (постуральный тремор) движениями. Доказывается, что в рамках статистической оценки существенных различий между этими движениями нет. Представлены новые методы расчета психофизиологических параметров человека. Вводится новое понятие эффекта Еськова–Зинченко, который демонстрирует хаотический kaleidoscope статистических функций распределения $f(x)$ получаемых выборок, спектральных плотностей сигналов и их автокорреляций $A(t)$. Обсуждается роль сознания в организации различных видов движения. Доказывается, что якобы непроизвольные движения (тремор) и произвольные движения (теппинг) с позиций стохастического подхода мало отличаются друг от друга. Эти два типа движений хаотичны по сути, так как статистические функции распределения $f(x)$ получаемых подряд выборок хаотически изменяются. В рамках новой теории хаоса-самоорганизации предлагаются методы расчета матриц парных сравнений выборок, которые обеспечивают выявление четких различий между тремором и теппингом, т.е. между непроизвольными и произвольными движениями. Сама произвольность, т.е. усиление сознания в организации движений, осуществляется увеличением доли стохастичности в сравниваемых подряд выборках треморограмм и теппинграмм испытуемых. Это представляет количественно эффект Еськова–Зинченко не только в оценке организации движения, но и в осуществлении регуляции различных других функциональных систем организма, которые обеспечивают гомеостаз.

Ключевые слова: тремор, теппинг, хаос, уникальные системы.

ВВЕДЕНИЕ

60 лет назад была опубликована принципиальная работа Н.А. Бернштейна, в которой автор высказал необычную для современной биомеханики, физиологии и психофизиологии мысль: «...рефлекс по схеме дуги есть лишь рудимент или очень частный случай физиологического реагирования» [7]. В этой работе представлена гипотеза о «повторении без повторения», которую Бернштейн обосновал еще в 1947 г. и которая так и не была количественно изучена и физической (биофизической), и психологической, и физиологической науками конца XX и начала XXI века [2–6]. Понятие «повторение» (повторение чего?) и термин «без повторений» до настоящего времени не расшифрованы количественно не только в биомеханике, но и в теории функциональных систем П.К. Анохина. Что изменяется и что не изменяется при реализации любого произвольного (или непроизвольного) движения человека? В рамках изучения такой особой неопределенности (без повторений) в биомеханике возникает и проблема определенности (или неопределенности) в организации любого движения [5, 8, 17, 19–24]. Существуют ли объективные методы оценки роли сознания в организации движений, которые можно было бы количественно применить для изучения организации произвольных движений?

В нашем сообщении на примере произвольных (с участием высшей нервной деятельности) движений (теппинга), и непроизвольных (якобы) движений (постурального тремора) мы даем расшифровку главного понятия Н.А. Бернштейна (без повторений). С позиций традиционной детерминистской и стохастической науки и с позиций разрабатываемой сейчас теории хаоса-самоорганизации можно представить количественное различие в состояниях регуляторных систем организации движений без повторений. Рассматривается отсутствие «повторений» для биомеханических систем, которое проявляется в отсутствии детерминистских стационарных режимов ($dx/dt \neq 0$) любого вектора состояния биосистем $x = x(t) = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T$ в фазовом пространстве состояний. В этом случае постоянно $dx/dt \neq 0$ и отсутствует возможность произвольного повторения любой выборки вектора $x(t)$ [8, 17–24]. В частности, статистические функции распределения $f(x)$ таких выборок невозможно произвольно повторить, что и составляет основу эффекта Еськова–Зинченко (вместе с неповторяемостью спектральных плотностей сигнала и их автокорреляционных функций $A(t)$) [1–6, 8, 15, 24, 26, 28–32].

Это означает, что для любой j -й серии экспериментов мы не можем произвольно получить равенство в виде $f_j(x) = f_{j+1}(x)$, что до настоящего времени в биомеханике, психофизиологии (и психологии в целом) даже не проверялось. Это означает количественную интерпретацию термина «без повторений» Н.А. Бернштейна, когда не только конкретное состояние произвольно повторить невозможно ($dx/dt \neq 0$ постоянно), но и две выборки $x(t)$, характеризующие любые движения у одного и того же испытуемого, невозможно повторить подряд произвольно два раза [8, 24]. Такой результат ставит под сомнение любые данные в биомеханике и психофизиологии, так как возникает глобальная неопределенность в изучении состояния психики испытуемых (с какой из возможных, например, 100 разных выборок следует работать?) [15, 16, 20–25, 27].

Рассмотрим эти утверждения более подробно в рамках стохастики и новой (создаваемой науки) теории хаоса-самоорганизации [1–6, 19]. При этом сразу отметим, что все изучаемые движения мы сознательно пытаемся подряд многократно повторять, т.е. мы изучаем эффект «повторение без повторения» в биомеханическом эксперименте. Этот подход мы сейчас применяем как к произвольным движениям (теппингу), так и к непроизвольным движениям (тремор). Очевидно, что любой гомеостаз любой функциональной системы организма [10–12, 14, 17, 19] человека,

может демонстрировать нечто подобное тому, что мы наблюдали в настоящих исследованиях в нервно-мышечной системе для тридцати испытуемых [8, 15, 26].

Таким образом **целью** настоящих исследований является доказательство отсутствия статистической устойчивости выборок параметров как произвольных, так и произвольных движений в режиме многократных повторов экспериментов.

МЕТОДЫ И ОРГАНИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Контингент. Исследования проводились на 30 добровольцах: 15 женщин (средний возраст 24 года) и 15 мужчин (средний возраст 25 лет), без жалоб и патологий, согласно Хельсинской декларации.

Методы исследования. Регистрация треморограмм и теппинграмм производилась у каждого испытуемого многократно (серия состояла из 15 регистраций тремора или теппинга по $\Delta t = 5$ с в одних наблюдениях). Сразу отметим, что изменение экспозиции Δt не влияет на результат эксперимента (в аспекте статистической неустойчивости получаемых выборок треморограмм и теппинграмм) [8, 14, 16, 17, 19–22, 29].

После каждой регистрации треморограмм или теппинграмм у испытуемого была пауза в 2 минуты (отдых) и затем повторение. Каждая серия состояла из 15 измерений по 5 с отдельно для всех 15 мужчин и 15 женщин. Всего измерений по тремору и теппингу у каждого испытуемого было 30 для проверки сходства или различий между индивидуальными и групповыми сравнениями повторов. Тогда общее число выборок для тремора составило $30 \cdot 15 = 450$ треморограмм по 5 с. Аналогичное число было получено для теппинга (450 теппинграмм с 15 повторами выборок для каждого отдельного испытуемого).

Статистический и хаотический анализ. Для регистрации треморограмм и теппинграмм использовался токовихревой датчик с колебательным контуром (частота 1 МГц) и усилителем, который обеспечивал широкий частотный (ν) диапазон регистрации (от 0 до 1000 Гц), и с минимальной амплитудой регистрации $\Delta x = 0,01$ мм. Такие частотные диапазоны и точность Δx исключали погрешности традиционно используемых акселерометров и других типов регистраторов и обеспечивали компьютерную регистрацию тремора и теппинга в большом частотном диапазоне [5, 16, 20, 21, 24].

Треморограммы и теппинграммы квантовались с периодом квантования $t_1 = 10$ мс и записывались в виде файлов на компьютере. Обработка данных производилась в виде матриц парных сравнений выборок (по 5 с) с помощью критерия Вилкоксона. При этом сравнивались все пары, т.е. строилась для каждой серии матрица 15×15 , из которой изымались диагональные элементы (полное совпадение одинаковых выборок) и бралась половина (105 пар) из оставшихся 210, так как картина получалась симметричной. Оставшиеся 105 пар из полученной матрицы давали полное представление о возможности (или невозможности) совпадения пар выборок треморограмм и теппинграмм. Определялось число пар k , которые можно бы было отнести к одной генеральной совокупности, это и есть термин «совпадение» в рамках стохастики Н.А. Бернштейна. С помощью компьютера строились матрицы парных сравнений выборок и определялось не только k – число совпадений пар, но и возможность совпадения подряд трех, четырех и более выборок (полученных подряд) [8, 14, 17, 19–24]. При этом важно подчеркнуть, что это движение не только непрерывное, но и хаотическое. Это нами подтверждается на основе расчета матриц парного сравнения выборок $x(t)$, которые получаются при последовательной регистрации тремора или теппинга у одного и того же испытуемого в одном и том же психическом состоянии (гомеостазе).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Прежде всего отметим, что постуральный тремор представляет попытку испытуемого удерживать конечность (палец) в данной точке пространства, поэтому эти движения (тремор) протекают с участием сознания, высшей нервной деятельности (т.е. произвольно). Однако выполнение такого движения (якобы покоя) происходит хаотично. Оказалось, что любой испытуемый не может произвольно повторить не только любую выборку как треморограмм, так и теппинграмм, но и их спектральные плотности сигнала и их автокорреляции $A(t)$ для этих же выборок [1–6, 20–24, 29–31]. Это характерно (сейчас нами доказано) не только для движения (т.е. для нервно-мышечной системы), но и для любых других параметров гомеостаза в виде статистической неустойчивости любого $x(t)$ [9–13, 14, 15, 26, 28–31].

Все непрерывно и хаотически изменяется, а получаемая разово выборка треморограмм и теппинграмм является одной из тысячи разных, якобы постоянных, состояний системы регуляции тремора или произвольного движения – теппинга. Все непрерывно изменяется, и именно это пытался сказать в 1947 г. (и в 1957 г.) Н.А. Бернштейн [7], но количественного описания и подтверждения этого разнообразия тогда не было представлено. Сейчас мы это представляем в виде матриц парных сравнений выборок (см. табл. 1–3 ниже) получаемых от одного испытуемого подряд, находящегося в одном гомеостазе. Этот эффект повторений (или неповторений, что точнее) статистических функций $f(x)$, спектральных плотностей сигнала, $A(t)$ и др. стохастических характеристик мы обозначаем как эффект Еськова–Зинченко, и именно эти количественные закономерности в психофизиологии движений представляют интерпретацию гипотезы «повторение без повторений» Н.А. Бернштейна [7]. Напомним, что мы рассчитали 450 матриц для тремора по 5 с и 450 матриц для теппинга и установили, что существенных различий нет в параметрах треморограмм и теппинграмм с разной экспозицией (это общее свойство систем регуляции движений). Если вместо 5 с взять период регистрации 30 или 60 с, результаты получаются аналогичными.

В табл. 1 мы представляем матрицу парных сравнений треморограмм от одного испытуемого А при повторных регистрациях треморограмм (поряд по 5 с) и расчетов функций распределения $f(x)$. Здесь число пар совпадений выборок $k_1 = 4$. В табл. 2 для этих же 15 выборок треморограмм мы представляем матрицу парных сравнений их спектральных плотностей сигнала, здесь $k_2 = 25$. Наконец, в табл. 3 мы для этих же 15 выборок треморограмм представляем матрицу парных сравнений выборок их автокорреляций $A(t)$, здесь $k_3 = 35$. Легко видеть, что во всех трех таблицах общее число k пар, для которых возможно совпадение выборок (фактически «совпадение» обозначает возможность отнесения этих двух выборок к одной генеральной совокупности), не превышает $k_3 = 35$ (это максимум k_3 в табл. 3).

Мы установили закономерность для тремора: число k пар совпадений выборок треморограмм (по их функциям $f(x)$) обычно укладывается в 3–6% от общего числа. Для 15 выборок мы будем иметь 105 независимых пар сравнения. В табл. 1 мы имеем характерный пример, когда $k_1 = 4$ для испытуемого А при измерениях подряд 15 треморограмм. Обычно для спектральных плотностей сигнала тремора мы имеем $k_2 \approx 20\%$ от общего числа. В нашем примере в табл. 2 $k_2 = 25$ число пар совпадений сравниваемых спектральных плотностей сигнала. Наконец, для автокорреляций $A(t)$ выборок треморограмм обычно $k_3 \approx 30\%$, что представлено в нашем примере (табл. 3) величиной $k_3 = 35$ (из 105 независимых выборок сравнений).

Таблица 1

Матрица парного сравнения 15 треморограмм одного испытуемого А при повторных экспериментах ($k_1 = 4$) по критерию Вилкоксона (для непараметрического распределения)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		0.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
2	.00		.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.44	.00	.00	.01	.00
3	.00	.00		.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
4	.00	.00	.00		.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
5	.00	.00	.00	.00		.33	.00	.01	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
6	.00	.00	.00	.00	.33		.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
7	.00	.00	.00	.00	.00	.00		.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
8	.00	.00	.00	.00	.01	.00	.00		.00	.00	.00	.00	.00	.00	.90
9	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00		.88	.00	.00	.00	.03	.00
10	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.88		.00	.00	.00	.00	.00
11	.00	.44	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00		.00	.00	.00	.00
12	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00		.00	.00	.00
13	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00		.00	.00
14	.00	.01	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.03	.00	.00	.00	.00		.00
15	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.90	.00	.00	.00	.00	.00	.00	

Таблица 2

Матрица парного сравнения 15 спектральных плотностей сигнала треморограмм одного испытуемого А при повторных экспериментах ($k_2 = 25$) по критерию Вилкоксона (для непараметрического распределения)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		.00	.95	.01	.00	.13	.77	.00	.00	.00	.00	.02	.68	.00	.58
2	.00		.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.08	.90	.00	.00	.00	.00
3	.95	.00		.01	.00	.15	.56	.00	.00	.01	.00	.48	.38	.00	.60
4	.01	.00	.01		.00	.00	.07	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.00	.01
5	.00	.00	.00	.00		.00	.00	.11	.74	.00	.00	.00	.00	.00	.00
6	.13	.00	.15	.00	.00		.17	.00	.00	.02	.00	.60	.13	.00	.29
7	.77	.00	.56	.07	.00	.17		.00	.00	.01	.00	.01	.66	.00	.75
8	.00	.00	.00	.00	.11	.00	.00		.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
9	.00	.00	.00	.00	.74	.00	.00	.00		.00	.00	.00	.00	.00	.00
10	.00	.08	.01	.00	.00	.02	.01	.00	.00		.02	.06	.00	.00	.00
11	.00	.90	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.02		.00	.00	.00	.00
12	.02	.00	.48	.00	.00	.60	.01	.00	.00	.06	.00		.12	.00	.17
13	.68	.00	.38	.01	.00	.13	.66	.00	.00	.00	.00	.12		.00	.54
14	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00		.00
15	.58	.00	.60	.01	.00	.29	.75	.00	.00	.00	.00	.17	.54	.00	

Эффект Еськова–Зинченко имеет четкую количественную закономерность для тремора и для теппинга (произвольные движения), в которой доля стохастики (возможность отнесения двух выборок треморограмм к одной генеральной совокупности) не превышает 30–35%.

Сравнение различных пар более 1000 выборок зарегистрированных треморограмм (в нашем сообщении речь идет о 450 треморограммах) подтверждает эту закономерность для тремора. Однако для теппинга (пример произвольных движений) картина получается несколько иной: число k_4 совпадений пар выборок теппинграмм всегда больше в 4–5 раз, чем для тремора. В табл. 4 для этого же испытуемого мы получаем $k_4 = 13$, что почти в 4 раза больше, чем для тремора (см. табл. 1). Однако результаты повторных экспериментов и расчета матриц парных сравнений спектральных плотностей сигнала и $A(t)$ для теппинга тоже получаются несколько другими в сравнении с тремором. Это характерно для любых гомеостатических систем [1–6] и не только в биомеханике, но и в системах регуляции дыхания [9–12, 14], регуляции работы сердца [15, 26, 28–32] и даже в социальных системах [19]. Для краткости мы не представляем все матрицы для теппинграмм и их спектральных плотностей сигнала, $A(t)$, а только представим результаты таких расчетов для теппинграмм, которые мы регистрировали у испытуемого А в табл. 4. Оказалось, что для спектральных плотностей сигнала величина $k_5 = 54$ (почти половина от общего числа 105), а величина k_6 для $A(t)$, наоборот, резко уменьшается в сравнении с k_5 до величины $k_6 = 26$. Таким образом, для теппинга характерно резкое увеличение числа пар совпадений выборок (в 4–5 раз по сравнению с тремором), но при этом число совпадений пар автокорреляций $A(t)$ выборок теппинграмм несколько изменяется ($k_6 = 26$ против $k_3 = 35$). Одновременно резко возрастает и число пар совпадений выборок для спектральных плотностей сигнала, полученных подряд 15 теппинграмм ($k_5 = 54$ по сравнению с $k_2 = 25$ для треморограмм). Спектральные плотности у теппинга более повторяемы в рамках стохастичности (большее число пар k совпадений выборок) в их сравнении со спектральными плотностями сигнала тремора.

Таблица 3

Матрица парного сравнения пятнадцати автокорреляций $A(t)$ выборок треморограмм одного испытуемого А при повторных экспериментах ($k_3 = 35$) по критерию Вилкоксона (для непараметрического распределения)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		.30	.00	.00	.00	.07	.50	.00	.02	.53	.16	.16	.00	.48	.22
2	.30		.00	.00	.31	.48	.11	.00	.37	.04	.01	.01	.00	.53	.02
3	.00	.00		.30	.05	.00	.00	.84	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
4	.00	.00	.30		.07	.02	.00	.45	.01	.00	.00	.00	.00	.00	.00
5	.00	.31	.05	.07		.20	.00	.07	.49	.00	.00	.00	.00	.02	.00
6	.07	.48	.00	.02	.20		.03	.00	.41	.01	.00	.00	.00	.60	.00
7	.50	.11	.00	.00	.00	.03		.00	.01	.90	.12	.34	.00	.19	.58
8	.00	.00	.84	.45	.07	.00	.00		.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
9	.02	.37	.00	.01	.49	.41	.01	.00		.00	.00	.00	.00	.46	.00
10	.53	.04	.00	.00	.00	.01	.90	.00	.00		.66	.24	.01	.03	.73
11	.16	.01	.00	.00	.00	.00	.12	.00	.00	.66		.77	.10	.01	.74
12	.16	.01	.00	.00	.00	.00	.34	.00	.00	.24	.77		.01	.01	.65
13	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.10	.01		.00	.00
14	.48	.53	.00	.00	.02	.60	.19	.00	.46	.03	.01	.01	.00		.02
15	.22	.02	.00	.00	.00	.00	.58	.00	.00	.73	.74	.65	.00	.02	

Таблица 4

Матрица парного сравнения пятнадцати теппинграмм одного испытуемого А при повторных экспериментах ($k_4 = 13$) по критерию Вилкоксона (для непараметрического распределения)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		.28	.00	.33	.00	.88	.01	.00	.00	.00	.00	.02	.00	.01	.00
2	.28		.31	.00	.00	.00	.52	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.07
3	.00	.31		.00	.00	.00	.32	.01	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.22
4	.33	.00	.00		.09	.84	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
5	.00	.00	.00	.09		.03	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.00	.00	.00
6	.88	.00	.00	.84	.03		.00	.00	.00	.00	.00	.02	.00	.03	.00
7	.01	.52	.32	.00	.00	.00		.01	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.34
8	.00	.00	.01	.00	.00	.00	.01		.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01
9	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00		.04	.00	.00	.00	.00	.00
10	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.04		.00	.00	.00	.00	.00
11	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00		.00	.76	.00	.00
12	.02	.00	.00	.00	.01	.02	.00	.00	.00	.00	.00		.00	.26	.00
13	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.76	.00		.00	.00
14	.01	.00	.00	.00	.00	.03	.00	.00	.00	.00	.00	.26	.00		.00
15	.00	.07	.22	.00	.00	.00	.34	.01	.00	.00	.00	.00	.00	.00	

Поскольку для каждой треморограммы и теппинграммы у нас получаются разные статистические функции $f(x)$ их спектральных плотностей сигнала и $A(t)$, то возникает вопрос о новом понимании гомеостаза биомеханических и психофизиологических функций человека [1–6, 8, 24]. Если основные числовые характеристики (параметры) организма испытуемого непрерывно изменяются, то о какой статичности (неизменности) может идти речь при изучении, например, нервно-мышечной системы человека? Что может оставаться относительно неизменным, если все статистические параметры (характеристики) треморограмм или теппинграмм непрерывно изменяются? Оказалось, что неизменными остаются параметры квазиаттракторов исследуемых систем (у нас это хаотические системы регуляции тремора) [8, 24], но это уже выходит за рамки традиционных статистических расчетов [1–6, 14, 17, 19–24] и представляет новое направление в биомеханике и теории гомеостаза в целом [14, 17, 19–20].

В целом статистические методы дают низкую эффективность в оценке эффекта Еськова–Зинченко и гипотезы Бернштейна (имеем хаотическую динамику выборок $f(x)$, $A(t)$ спектральных плотностей сигнала). Матрицы парных сравнений выборок треморограмм и теппинграмм дают разное изменение числа k пар сравнения. При 15 повторях (серий) измерений треморограммы, например у всех испытуемых, среднее значение показывает $k = 5$. Однако при изменении физиологического статуса (например при прикреплении груза в 500 г к пальцу) число совпадений выборок возросло до $k_5 = 10$, что приближает такой тремор уже к теппингу. Внешнее управление (груз) увеличивает размеры значения числа пар совпадений выборок треморограмм почти в 2 раза.

ОБСУЖДЕНИЕ

Расчет матриц парных сравнений выборок треморограмм и теппинграмм, полученных в экспериментах при регистрациях подряд 15 выборок от одного испытуемого (находящегося в одном гомеостазе), всегда показывает число пар совпадений менее 20%. Это первый вывод, который количественно иллюстрирует гипотезу Н.А. Бернштейна «повторение без повторений». Ни о каких произвольных «повторениях» параметров тремора (как якобы произвольного движения) или теппинга (как якобы непроизвольного движения) мы не можем говорить в рамках статистического подхода, статистика неэффективна в оценке движений, и это дает количественную иллюстрацию эффекта Еськова–Зинченко. Неповторимы не только сами треморограммы и теппинграммы, но и их спектральные плотности сигнала (частотные характеристики) и их автокорреляционные функции $A(t)$. Для теппинга спектральные плотности сигнала еще могут подняться до числа повторов $k = 54$, но все остальное укладывается в 1/3 и менее от общего числа выборок. Все происходит хаотично, без произвольного повтора (подряд по 3–5 раз) треморограмм и теппинграмм. Это представляет количественную иллюстрацию термина «без повторений» Н.А. Бернштейна и сильно подрывает устои современного статистического подхода в оценке психофизиологических параметров испытуемых (какую $f(x)$ спектральных плотностей сигнала или $A(t)$ брать из 50–90 разных?) в разных других испытаниях (особенно много работ по оценке стресса, где статистика используется широко).

Любая попытка представить движение разовой выборкой (разовой серией повторов), как это принято в современной биомеханике, психологии и физиологии, будет представлять один вариант из сотни других вариантов. Вероятность p совпадения двух подряд пар выборок для тремора $p < 0,01$, а для теппинга $p < 0,03$, т.е. это довольно редкие явления. Таким образом, измеряя разово характеристики и параметры движения (их $f(x)$ спектральных плотностей сигнала или $A(t)$), мы будем работать с единичным и случайным представлением, о чем и писал Н.А. Бернштейн почти 70 лет назад [7]. Повторение любого двигательного акта действительно происходит без повторений. Однако в этом хаосе имеются закономерности и это формирует вторую глобальную закономерность, которую сейчас обозначаем как эффект Еськова–Зинченко в биомеханике и психофизиологии. Суть эффекта в том, что все статистические характеристики психических процессов (с участием высшей нервной деятельности) будут непрерывно и хаотически изменяться, но параметры квазиаттракторов характеризуют психический (физиологический) статус человека, и эти параметры существенно не изменяются для одного и того же психофизиологического состояния испытуемого [19–24].

Мы идентифицировали различие между произвольными и непроизвольными движениями: всегда k_4 для теппинга в 4–5 раз больше, чем k_1 для тремора, и в этом заключается различие между хаосом произвольного движения (теппинга) и хаосом непроизвольного движения (тремора). Мы всегда имеем превышение числа пар совпадений распределений спектральных плотностей сигнала теппинга (у нас $k_5 = 54$) в сравнении со спектральными плотностями сигнала для тремора ($k_2 = 21$). При этом для автокорреляционных функций зависимости получают противоположными ($k_3 = 36$ для тремора и $k_6 = 26$ для теппинга).

Таким образом, в хаосе (без совпадений) все-таки имеются определенные стохастические закономерности, но использовать стохастику в разовом испытании теперь для описания движений весьма затруднительно. Нет устойчивых повторений функций распределения $f(x)$, их спектральных плотностей сигнала и их $A(t)$. Как

оказалось [7–12], нет и детерминированного хаоса, о котором писали два нобелевских лауреата *M. Gell-Mann* и *I.R. Prigogine*, а также *J.A. Wheeler*. Все непрерывно (и хаотически) изменяется, и это требует других подходов и другой науки, именно об этом говорил Пригожин, когда обозначил биосистемы как уникальные системы (не объект современной науки). Эффект Еськова–Зинченко можно объяснить участием как минимум четырех регуляторных систем (*A, B, C, D* по Н.А. Бернштейну), значимость которых может изменяться в рамках регуляции движений [1–6, 12–24, 26]. Хаотически изменяется роль и доля участия этих четырех систем в организации любого движения. Мы предлагаем делать повторы измерений, определять параметры квазиаттракторов [20–23] и находить матрицы парного сравнения выборок (их k) для установления различий или сходства в выполнении движений [19–22]. Степень произвольности проявляется в усилении k (нарастании стохастического в организации движений). Отметим, что в динамическом хаосе Лоренца выборки дают $k = 98–99\%$ из 105 независимых пар сравнения. Это еще раз доказывает: хаос систем третьего типа не является динамическим хаосом Лоренца.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Башкатова Ю.В., Белощенко Д.В., Баженова А.Е., Мороз О.А. Хаотическая динамика параметров кардиоинтервалов испытуемого до и после физической нагрузки при повторных экспериментах // Вестник новых медицинских технологий. – 2016. – Т. 23, № 3. – С. 39–46. DOI:10.12737/21746
2. Еськов В.В., Филатов М.А., Филатова Д.Ю., Прасолова А.А. Границы детерминизма и стохастики в изучении биосистем – *complexity* // Сложность. Разум. Постнеклассика. – 2016. – № 1. – С. 83–91. DOI: 10.12737/18817
3. 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. DOI: 10.12737/21049
4. 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.
5. Зинченко Ю.П., Филатова О.Е., Еськов В.В., Стрельцова Т.В. Объективная оценка сознательного и бессознательного в организации движений // Вестник новых медицинских технологий. – 2016. – Т. 23, № 3. – С. 31–39. DOI:10.12737/21745
6. Хадарцев А.А., Филатова О.Е., Зинченко Ю.П. Введение в биофизику гомеостатических систем (*complexity*) // Сложность. Разум. Постнеклассика. – 2016. – № 3. – С. 6–15. DOI: 10.12737/22107
7. Bernstein N.A. The co-ordination and regulation of movements. – Oxford: Pergamon Press. – 1967.
8. Betelin V.B., Eskov V.M., Galkin V.A., Gavrilenko T.V. Stochastic volatility in the dynamics of complex homeostatic systems // Doklady Mathematics. – 2017. – Vol. 95, № 2. – P. 642–644.
9. Eskov V.M. Automatic identification of differential equations simulating the behavior of neuron circuits // Measurement Techniques. – 1994. – Vol. 37, № 3. – P. 359–364.
10. Eskov V.M., Filatova O.E., Ivashenko V.P. Computer identification of compartmental neuron circuits // Measurement Techniques. – 1994. – Vol. 37, № 8. – P. 967–971.
11. Eskov V.M., Filatova O.E. Respiratory rhythm generation in rats: The importance of inhibition // Neurophysiology. – 1995. – Vol. 25, № 6. – P. 348–353.
12. Eskov V.M. Hierarchical respiratory neuron networks // Modelling, Measurement and Control C. – 1995. – Vol. 48, № 1–2. – P. 47–63.
13. Eskov V.M., Filatova O.E., Popov Y.M. Stationary regimes of their respiratory neuron networks and their identification // International RNNS/IEEE Symposium on Neuroinformatics and Neurocomputers, 1995. – P. 156–165.
14. Eskov V.M., Papshev V.A., Eskov V.V., Zharkov D.A. Measuring biomechanical parameters of human extremity tremor // Measurement Techniques. – 2003. – Vol. 46, № 1. – P. 93–99.
15. Eskov V.M., Filatova, O.E. Problem of identity of functional states of neuronal systems // Biofizika. – 2003. – Vol. 48, № 3. – P. 526–534.
16. 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. DOI: 10.1007/s11018-006-0063-2

17. Eskov V.M., Eskov V.V., Braginskii M.Ya., Pashnin A.S. Determination of the degree of synergism of the human cardiorespiratory system under conditions of physical effort // *Measurement Techniques*. – 2011. – Vol. 54, № 7. – P. 832–837.
18. 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. 1–6. DOI: 10.1007/s11018-012-0082-0
19. Eskov V.M. Evolution of the emergent properties of three types of societies: The basic law of human development // *Emergence: Complexity and Organization*. – 2014. – Vol. 16, № 2. – P. 107–115.
20. 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.
21. 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.
22. 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.
23. Eskov V.M., Filatova O.E., Provorova O.V., Khimikova O.I. Neural emulators in identification of order parameters in human ecology // *Human Ecology (Russian Federation)*. – 2015. – Vol. 5. – P. 57–64.
24. Eskov V.M., Eskov V.V., Vochmina J.V., Gavrilenko T.V. The evolution of the chaotic dynamics of collective modes as a method for the behavioral description of living systems // *Moscow University Physics Bulletin*. – 2016. – Vol. 71, № 2. – P. 143–154.
25. 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. DOI: 10.1134/S2079057016030048
26. 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. – P. 168–176.
27. Filatova O.F., Eskov V.M., Popov Y.M. Computer identification of the optimum stimulus parameters in neurophysiology // 1995 International RNSN/IEEE Symposium on Neuroinformatics and Neurocomputers, 1995. – P. 166–172.
28. Filatova O.E., Provorova O.V., Volokhova M.A. Assessment of vegetative status of oil-and-gas industry workers from perspective of chaos and self-organization theory // *Human Ecology (Russian Federation)*. – 2014. – Vol. 6. – P. 16–19.
29. 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 (Russian Federation)*. – 2015. – Vol. 9. – P. 50–55.
30. 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.
31. 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 (Russian Federation)*. – 2013. – Vol. 7. – P. 3–9.
32. 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. – Vol. 11. – P. 19–24.

STATISTICAL INSTABILITY PHENOMENON AND EVALUATION OF VOLUNTARY AND INVOLUNTARY MOVEMENTS

O.E. Filatova, V.V. Eskov, M.A. Filatov, L.K. Ilyashenko (Surgut, Russia)

In 2016, it will be 120 years since the birth of N.A. Bernstein. His critical article was addressed to the conditioned-reflex theory of I.P. Pavlov and was published almost 60 years ago, but to the present time Bernstein hypotheses of "repetition without repetition" has not been studied. Quantitative description of these experimental results is now performed on the basis of construction of samples pairwise comparisons matrices under conditions of multiple

repetitions of movements. The quantitative results show differences between voluntary (tapping) and involuntary (postural tremor) movements. It is proved that from the standpoint of chaotic assessment there aren't significant differences between these movements. New methods were presented for calculating the psychophysiological parameters of man. The new concept of Eskov–Zinchenko effect was presented, which demonstrates the chaotic kaleidoscope of statistical distribution functions $f(x)$ of the obtained samples, the spectral densities of signals and their autocorrelation $A(t)$. The role of consciousness is being discussed in organizing various types of movement. It is proved that the alleged involuntary movements (tremor) and voluntary movements (tapping) differ insignificantly from each other. From the standpoint of the stochastics, these two types of motion are chaotic in fact, because statistical distribution function $f(x)$ changes randomly. The new theory of chaos-self-organization suggests methods of calculation of matrices of pairwise comparisons of samples that provide a clear distinction between tremor and tapping, i.e. between involuntary and voluntary movements. Voluntariness itself, i.e. increasing the role of consciousness in movements, is performed by increase in percentage of stochastics if we compare consecutive samples of tremorograms and tappinggrams. It represents quantitatively the Eskov-Zinchenko effect in evaluation not only the movement, but also in implementation of regulation of various functional systems that provide homeostasis.

Key words: tremor, tapping, chaos, unique systems.

Получено 9 августа 2017