

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЭФФЕКТА «ПОВТОРЕНИЕ БЕЗ ПОВТОРЕНИЯ» Н.А. БЕРНШТЕЙНА

© 2017 г. В.М. Еськов, В.В. Еськов, Т.В. Гавриленко, Ю.В. Вохмина

Сургутский государственный университет,

626415, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра, Сургут, просп. Ленина, 1

E-mail: valery.eskov@gmail.com

Поступила в редакцию 09.03.16 г.

Эффект Н.А. Бернштейна «повторение без повторения» (1947 г.) до настоящего времени не нашел адекватных моделей. Эта проблема выходит за рамки одной только биомеханики и биофизики движений и распространяется на все гомеостатические системы. Суть его заключается в том, что любые компоненты x_i всего вектора состояния сложной биосистемы $x(t) = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T$ не могут демонстрировать не только стационарный режим в виде $dx/dt = 0$, но и в стохастическом виде тоже отсутствует устойчивость функций распределения $f(x_i)$, получаемых при последовательной регистрации выборок (x_i не совпадают!). Предлагаются простейшие модели таких гомеостатических систем в виде матриц парных сравнений выборок, которые способны описывать особый хаос биосистем. Этот хаос отличен от детерминированного хаоса, которым сейчас пытаются описывать сложные биосистемы – *complexity*.

Ключевые слова: тремор, произвольные движения, хаос, автокорреляция.

Необходимо констатировать, что со дня открытия Н.А. Бернштейном [1] известного эффекта «повторение без повторения» прошло 68 лет, но до настоящего времени мы не имеем внятных и достаточно адекватных математических моделей для подобных динамических систем. В этом эффекте Н.А. Бернштейн фактически подвергал сомнению основы рефлекторной теории И.П. Павлова, а также подводил физиологию к новому осмыслению основ теории *функциональных систем организма* (ФСО) П.К. Анохина [2]. Экспериментальные данные о том, что любые параметры произвольного движения (например, шаги) в виде пути работающей конечности и степени напряжения мышц (активность двигательных единиц, например) каждый раз не могут быть повторены (они различны), существенно изменяют наши представления не только об организации двигательных актов, но и о гомеостазе в целом. Иными словами мы сейчас ставим вопрос гораздо шире: имеет ли место эффект Н.А. Бернштейна не только в биомеханике, но и в общей теории ФСО и всех гомеостатических систем (жизни) в целом? Очевидно, что в первом приближении ответ на этот вопрос можно дать только для нервно-мышечной ФСО, но пробле-

ма в целом имеет более обширную трактовку [3–12].

Следует отметить, что попытки описания живых систем (жизни) с позиции стохастики достаточно широко представлены в замечательных обзорах Г.Р. Иваницкого [13] и В.В. Смолянинова [14]. Однако сейчас приходится констатировать, что главный вопрос выходит за рамки физики и замыкается на проблеме описания гомеостаза и эволюции сложных биосистем. Можно ли описывать гомеостаз в рамках физических моделей? Сейчас нами собран огромный экспериментальный материал, который показывает, что не только двигательные функции, но и любые другие регуляторные процессы (например, работа любой ФСО) осуществляются уникально, единичным образом, они практически неповторимы! Н.А. Бернштейн мог тогда поставить под сомнение вообще возможность сохранения в памяти человека (испытуемого) любого движения в некотором «готовом» виде (как это представляет теория И.П. Павлова в рефлексологии и П.К. Анохин в теории ФСО). Сейчас очевидно, что любой двигательный акт, любая регуляция ФСО не может осуществляться в рамках детерминизма (как математическая функция $x(t) = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T$, т.е. в виде вектора состояния, строго) или в рамках стохастики, когда для двух последовательно полученных выборок функции распределения $f(x)$ должны совпадать (реально $f_j(x_i) \neq f_{j+1}(x_i)$, где

Сокращения: ФСО – функциональные системы организма, АЧХ – амплитудно-частотная характеристика.

j – номер выборки измерений параметров гомеостаза) [10–12,15–20].

Эффекты «повторение без повторения» Н.А. Бернштейна – это в своей основе фундаментальная проблема биофизики, физиологии и медицины, так как она выходит за рамки традиционного детерминизма и стохастичности. Это проблема устойчивости или повторяемости не только динамических процессов, но и любого, условно говоря, статического, гомеостатического состояния. Иными словами, мы сейчас эту проблему в рамках биофизики ставим так: «статичен ли гомеостаз» или что понимать под статикой и динамикой сложных биосистем – *complexity*? Оказалось, что ответы на эти вопросы выходят за рамки только изучения биомеханических систем и касаются глобальных вопросов организации работы ФСО по П.К. Анохину и работы (жизнедеятельности) всего организма человека (и не только!) как сложной многофункциональной системы [20–27]. В настоящем сообщении мы все-таки остановимся пока только на проблеме биомеханики, так как именно Н.А. Бернштейн первый поднял данную проблему, требующую осознания и формального описания.

ЭВОЛЮЦИЯ ПОДХОДОВ В ОПИСАНИИ СЛОЖНЫХ БИОСИСТЕМ (БЕЗ ПОВТОРЕНИЙ)

Если взглянуть на эту проблему шире, то речь идет вообще о русской (российской) школе физиологов и биофизиков, начиная с работ И.М. Сеченова (рефлексы головного мозга) и И.П. Павлова в области рефлексологии и теории бихевиоризма. В нашей классификации работы этих выдающихся ученых (и их учеников) заложили основы детерминистского (функционального) подхода в физиологии. Усилия П.К. Анохина и его школы в области теории ФСО положили основу кибернетического (стохастически-вероятностного) подхода в физиологии висцеральных функций и организации движений, да и физиологии вообще. Сейчас мы говорим о третьей волне в изучении организма человека с позиции теории хаоса–самоорганизации [6–12,19–31], которая дает новую трактовку проблемы повторяемости или не повторяемости движений в биомеханике и статичности (гомеостатичности) любых параметров ФСО.

В рамках теории хаоса–самоорганизации мы должны пересмотреть наши представления и о ФСО, и об эволюции сложных биосистем с позиций подхода, который начал формировать российский патолог И.В. Давыдовский (1887–

1968 гг.) и продолжил Г.Н. Крыжановский (1922–2013 гг.). Именно эти патологи подошли к описанию заболевания как эволюционному процессу и впервые фактически заговорили об индивидуальной эволюции гомеостаза при переходе от саногенеза к патогенезу и при процессе выздоровления. Гомеостаз и эволюция – это краеугольные камни, фундамент в понимании и теории рефлексов, и теории ФСО, и теории патологических процессов. Все это – достижения и успехи российских физиологов и медиков и об этом сейчас надо говорить, так как наблюдается некоторое замалчивание и принижение роли российской науки в развитии физиологии и медицины (число наших нобелевских лауреатов в этой области как раз невелико). А приоритеты русских школ в физиологии, теории патологии, биомеханике существенны и значительны, они составляют фундамент всей биологии и медицины, основу развивающейся сейчас индивидуальной медицины [1,2,15–19,21–33].

Для наглядного и доказательного представления всех этих проблем нам проще всего рассмотреть процессы регуляции в биомеханических системах и нервно-мышечной системе (как ФСО) в целом. Эффект «повторение без повторения» мы перевели в более широкое понятие: «произвольная непроизвольность» [3,7,9,25,27–33]. На первый взгляд это кажется тавтологией, но оно имеет глубокий физиологический смысл. Действительно, если мы будем рассматривать хаотическую динамику постурального тремора, то в этом случае будем говорить о непроизвольности в аспекте реализации движения. При этом мы подразумеваем, что тремор можно рассматривать именно как произвольную непроизвольность, так как удержание конечности в данной точке пространства происходит с участием сознания (т.е. произвольно), но фактически эта операция (процесс) совершается хаотически, т.е. непроизвольно [7,28,30–33].

Если любой человек не может удержать свою конечность точно в данной точке пространства (т.е. в виде $dx/dt = 0$), то любое движение (как совокупность таких «статических состояний», т.е. набора точек в виде траекторий) тоже никогда не сможет быть выполнено точно. Иными словами, любая функция $y = y(x)$ или просто динамика вектора состояния системы $x = x(t) = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T$ в фазовом пространстве состояний не может описывать следующее (повторное) движение, точно такое же по замыслу (по желанию испытуемого). Тогда такие функции $y(x)$ или $x(t)$, которые описывают траекторию движения (динамику) конечности в пространстве, имеют «историческое»

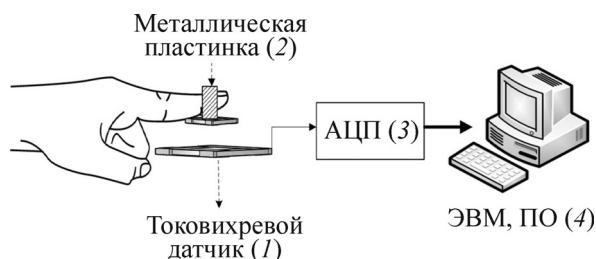


Рис. 1. Схема биоизмерительного комплекса для регистрации тремора и теппинга.

значение (они описывают какое-то уже совершившееся событие). Биология и медицина (у нас сейчас биомеханика) превращаются в квазинауку, которая подобна истории или социологии. Мы не можем спрогнозировать не только следующую и повторную траекторию конечности, но эта траектория не попадает и в исходную функцию распределения таких (якобы одинаковых) траекторий [7,12,20,27,30].

Что понимать под терминами «повторение без повторения» с наших позиции и позиций Н.А. Бернштейна? Как оказалось, в наших исследованиях под «повторением» следует понимать попытки (рефлекторные, условно рефлекторные или даже просто осознанные и целенаправленные) организма человека совершить некоторый акт, например двигательный акт в виде постурального тремора (удержания конечности) и «произвольного» движения – теппинга. В нашем простейшем биомеханическом случае – удержание пальца в данной точке пространства с помощью сознания (это осознанный, т.е. произвольный акт) – мы регистрируем этот процесс в виде двух фазовых координат: положение пальца с металлической пластиной 2 по отношению к датчику 1 (см. рис. 1) в виде координаты $x_1(t)$ и ее скорости $x_2(t) = dx_1/dt$. Тогда мы можем получить фазовую плоскость с этими координатами x_1 и x_2 , что очень близко подходит по описанию к квантовой механике, когда мы тоже работаем с x_1 и x_2 для любой квантовой частицы [12,20,32,33]. При этом в итоге мы наблюдаем выход биомеханической системы в виде параметров механограммы (см. рис. 2а), которая действительно не может быть повторена никаким образом произвольно при ее регистрации на любом интервале времени Δt_j ($j = 1, 2, \dots, n$).

Одновременно и амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) такой треморограммы не может быть повторена (рис. 2в), как не может быть повторена и ее автокорреляционная функция $A(t)$ (рис. 2д). Более того, никогда мы не получали в экспериментах условие стремления к нулю $A(t)$, что характерно для детерминиро-

ванного хаоса (см. рис 2д), т.е. модели детерминированного хаоса для тремора не применимы [12,20,33]. Подчеркнем, что три нобелевских лауреата (I.R. Prigogine [34] в описании *complexity*, J.A. Wheeler [35] – в понятии об *эмерджентности* и М. Gell-Mann в его представлениях о неопределенности *complexity* [36]) неоднократно выделяли детерминированный хаос как модель *complexity* (эмерджентных, неопределенных систем). Но действительность оказалась другой – хаос систем третьего типа (*complexity*) не является детерминированным хаосом [12,20,31–33,37–40].

Иными словами, «повторение» акта движения (у нас это движение пальца в виде постурального тремора) как бы и происходит (имеется желание у испытуемого, работают все его рецепторы и центральная нервная система вместе с мышцами, т.е. нервно-мышечная система), но реализация этого акта не соответствует детерминистскому требованию стационарного режима в виде $dx/dt = 0$ (где $x = x_1$ – координата пальца в пространстве, $x_2 = dx_1/dt$ – его скорость, $x_3 = dx_2/dt$ – ускорение), как это происходит в физике и технике. Более того, расшифровка понятия «без повторения» по Н.А. Бернштейну потребовала от нас более детального изучения динамики тремора. Оказалось, что если подряд за определенные интервалы времени Δt_j ($\Delta t_1 = \Delta t_j = \dots = \Delta t_n$; $j = 1, 2, \dots, n$) регистрировать механограмму (рис. 2а), ее АЧХ (рис. 2в) и автокорреляционную функцию $A(t)$ (рис. 2д), то получаемые выборки всех трех фазовых координат вектора $x = (x_1, x_2, x_3)^T$ в фазовом пространстве состояний не могут нам продемонстрировать подряд никакого «повторения» (совпадений) их статистических функций распределения $f_j(x_j)$! Для треморограмм мы не можем добиться не только обычного в технике стационарного состояния (в виде $dx/dt = 0$), но и статистического повторения (в виде одинаковых функций распределения для подряд получаемых двух выборок) треморограмм (рис. 2а), их АЧХ (рис. 2в) и автокорреляционных функций (рис. 2д) и аналогично для электромиограмм (мышцы разгибательного мизинца) в виде рис. 2б, 2г и 2е соответственно. И треморограммы, и электромиограммы демонстрируют эффект «повторение без повторений», когда $dx/dt \neq 0$ а $f(x)$, АЧХ, $A(t)$ непрерывно изменяются.

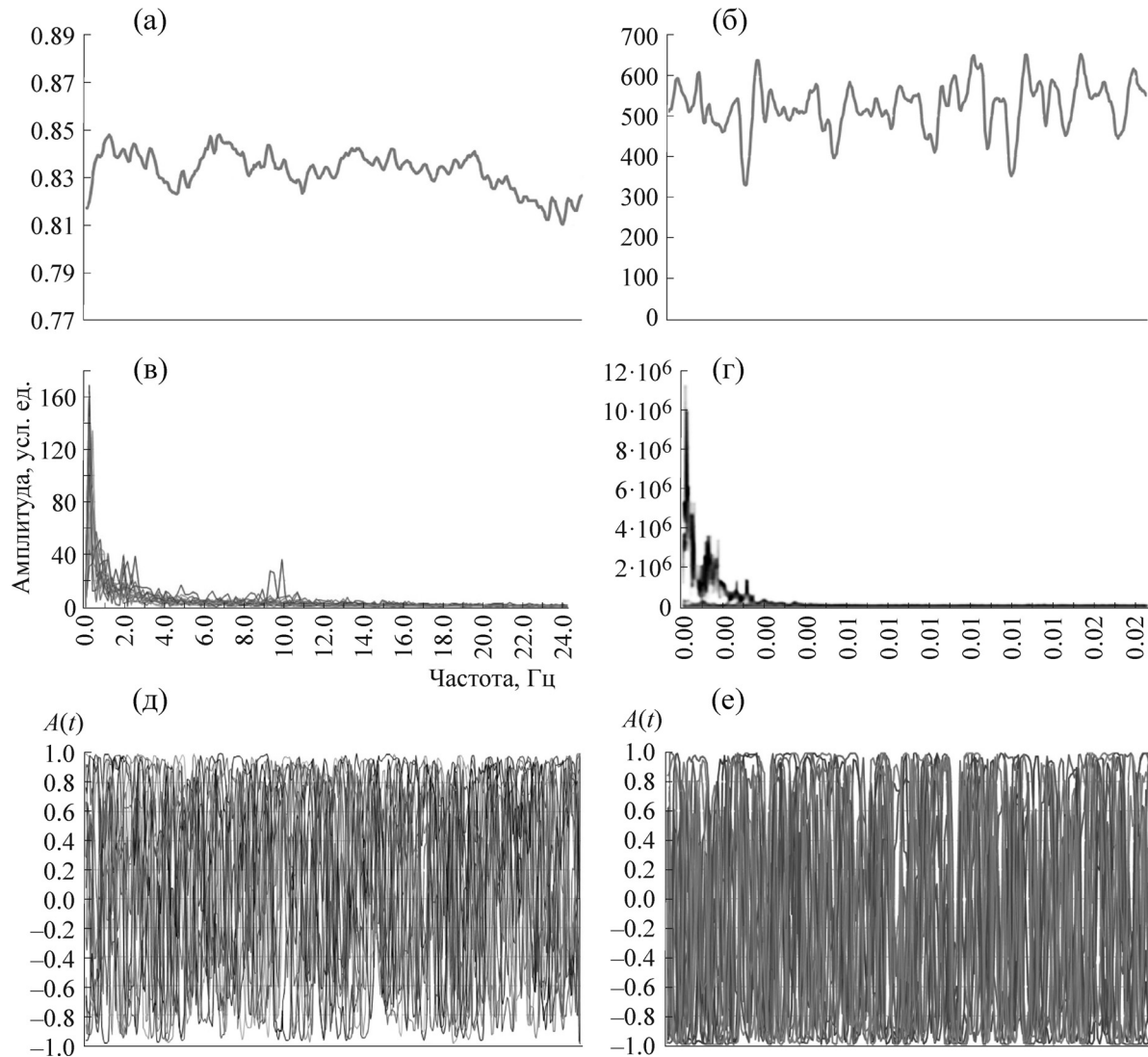


Рис. 2. Примеры регистрации треморограммы (а) и электромиограммы (б), суперпозиции амплитудно-частотных характеристик 30-ти треморограмм (в) и 30-ти электромиограмм (г), суперпозиции 30-ти автокорреляционных функций $A(t)$ для этих треморограмм (д) и электромиограмм (е).

**МОЖНО ЛИ ИСПОЛЬЗОВАТЬ
СТОХАСТИКУ В ОПИСАНИИ
СИСТЕМ ТРЕТЬЕГО ТИПА?**

Анализ нескольких тысяч треморограмм, электромиограмм и теппинграмм позволил нам установить, что параметры механограмм хаотически изменяются, и получить две одинаковые выборки $x_i(t)$, т.е. добиться, чтобы их статистические функции распределения совпадали в виде $f_j(x_i) = f_{j+1}(x_i)$, что является весьма сложной задачей. Для тремора частота p такого события (совпадения выборок) была менее 0,01 или даже 0,001 ($p < 0,01$). Это означает, что ни о какой неизменности или статичности параметров в биомеханике мы не можем говорить, все непрерывно изменяется. Получаемые вы-

борки демонстрируют калейдоскоп (хаотический набор) функций распределения $f_j(x_i)$. Хаос выборки механограмм мы сейчас представляем в виде матриц парных сравнений выборок. Одна из таких матриц представлена в табл. 1. Здесь k – число произвольных пар выборок, которые (пары) можно отнести к одной генеральной совокупности. Из табл. 1 следует, что k имеет небольшие значения (обычно $k \leq 5$).

Возникает задача: может ли какая-либо модель описывать процессы, которые будут идентичны по динамике поведения реальным биомеханическим системам, о которых писал Н.А. Бернштейн и которые мы сейчас наблюдаем в виде матриц парных сравнений выборок (см. табл. 1 и табл. 2)? Отметим, что в табл. 2 мы

Таблица 1. Матрица парного сравнения 15-ти треморограмм одного испытуемого СКЕ при повторных экспериментах ($k_1 = 3$), по критерию Вилкоксона (для непараметрического распределения)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,42	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	0,42	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00		0,11	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	0,11		0,00	0,00	0,02	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	0,42	0,00	0,00	0,02	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	0,42	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	0,00	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	

Таблица 2. Матрица парного сравнения выборок 15-ти АЧХ треморограмм одного испытуемого СКЕ при повторных экспериментах ($k_2 = 21$), по критерию Вилкоксона (для непараметрического распределения)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		0,30	0,00	0,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,30		0,00	0,07	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	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	0,81	0,07	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		0,48	0,55	0,00	0,02	0,01	0,00	0,62	0,00	0,13	0,00
6	0,00	0,01	0,00	0,00	0,48		0,59	0,00	0,43	0,02	0,00	0,81	0,00	0,03	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,55	0,59		0,02	0,48	0,00	0,00	0,92	0,00	0,14	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,35	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,43	0,48	0,00		0,00	0,00	0,33	0,00	0,14	0,00
10	0,43	0,01	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,02	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	0,07	0,00	0,31
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,62	0,81	0,92	0,00	0,33	0,00	0,00		0,00	0,07	0,00
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00		0,00	0,42
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,03	0,14	0,35	0,14	0,02	0,00	0,07	0,00		0,00
15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,31	0,00	0,42	0,00	

показываем отсутствие полного совпадения выборок АЧХ для одного испытуемого при 15-кратном повторе одного опыта, здесь $k_1 = 3$, $k_2 = 21$. Оказалось, что эффекты хаотического изменения статистических функций распределения $f(x)$ можно получить с использованием двухкластерных компартментных моделей. При этом величина числа совпадений пар выборок $k_2 = 21$, что больше k_1 . Увеличение k показывает приближение системы к стохастике (k нараста-

ет, вплоть до $k = 100\%$), с увеличением k хаотичность уменьшается.

Примеры такой динамики поведения выборок $x(t)$ мы можем наблюдать для компартментно-кластерных моделей тремора [3,34–37], если изменять интервалы вариаций Δb , но это тема другого сообщения. Очевидно, что уменьшение вариаций параметров модели можно рассматривать как нарастание регуляции со сто-

Таблица 3. Матрица парного сравнения 15-ти автокорреляционных функций $A(t)$ треморограмм одного испытуемого СКЕ при повторных экспериментах ($k_3 = 36$), по критерию Вилкоксона (для непараметрического распределения)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		0,46	0,00	0,09	0,51	0,36	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,72	0,00
2	0,46		0,00	0,00	0,99	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,97	0,00
3	0,00	0,00		0,05	0,00	0,00	0,01	0,90	0,00	0,11	0,12	0,11	0,11	0,00	0,88
4	0,09	0,00	0,05		0,06	0,93	0,00	0,04	0,00	0,61	0,00	0,00	0,67	0,03	0,00
5	0,51	0,99	0,00	0,06		0,14	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,01	0,77	0,00
6	0,36	0,08	0,00	0,93	0,14		0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00	0,07	0,19	0,00
7	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00		0,01	0,05	0,00	0,11	0,06	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,90	0,04	0,00	0,00	0,01		0,00	0,08	0,55	0,06	0,07	0,00	0,91
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00		0,00	0,07	0,01	0,00	0,00	0,00
10	0,02	0,00	0,11	0,61	0,03	0,14	0,00	0,08	0,00		0,00	0,00	0,99	0,02	0,04
11	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	0,11	0,55	0,07	0,00		0,60	0,00	0,00	0,33
12	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,06	0,06	0,01	0,00	0,60		0,00	0,00	0,03
13	0,01	0,00	0,11	0,67	0,01	0,07	0,00	0,07	0,00	0,99	0,00	0,00		0,00	0,12
14	0,72	0,97	0,00	0,03	0,77	0,19	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00		0,00
15	0,00	0,00	0,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,91	0,00	0,04	0,33	0,03	0,12	0,00	

Таблица 4. Матрица парного сравнения по критерию Вилкоксона 15-ти выборок теппинграмм одного испытуемого (КНУ) при повторных измерениях (подряд) за короткий интервал времени (число «совпадений» $k_4 = 19$)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		0,00	0,00	0,57	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00		0,00	0,00	0,49	0,49	0,00	0,00	0,01	0,00	0,06	0,00	0,00	0,99
4	0,57	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,01	0,00	0,00
5	0,01	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,23	0,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,49	0,00	0,00		0,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	0,99
7	0,00	0,00	0,49	0,00	0,00	0,96		0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,14
8	0,00	0,93	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	0,23	0,00	0,00	0,00		0,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,01	0,00	0,55	0,00	0,00	0,00	0,26		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,58	0,12	0,00
12	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,15	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,14
13	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58	0,00		0,08	0,00
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	0,08		0,00
15	0,00	0,00	0,99	0,00	0,00	0,99	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00	

роны центральной нервной системы, мозга человека. Усиление роли сознания всегда ведет к уменьшению вариаций в системах регуляции. Характерный пример таких матриц представлен в табл. 4, демонстрирующей анализ выборок теппинграмм.

Подчеркнем, что мы в наших опытах брали разные Δt_j : 1 с, 5 с, 10 с, 1 мин и т.д. Во всех

этих случаях мы получаем неповторимые выборки. Эта неповторяемость (без повторений у Н.А. Бернштейна) проявляется не только в виде механограмм, но и в виде амплитудно-частотных характеристик (рис. 2в, табл. 2) и в виде автокорреляционных функций $A(t)$ (рис. 2д, табл. 3). Существенно, что функции $A(t)$ никогда не стремятся к нулю (напомним, что схо-

димось к нулю $A(t)$ – это признак детерминированного хаоса, т.е. разбегания двух фазовых траекторий и выполнения свойства перемешивания). Тремор не является детерминированным хаосом (нет аттрактора Лоренца) [12,20,32,33, 37–40]. В табл. 2 и табл. 3 мы представляем матрицы парных сравнений выборок АЧХ и $A(t)$ для этих же 15-ти выборок треморограмм. Очевидно, что число «совпадений» пар менее 1/3 доли от общего числа пар и это глобальная закономерность для АЧХ и $A(t)$ у всех испытуемых.

Таким образом, в теории хаоса–самоорганизации мы вводим другие понятия стационарности, которые отличны от $dx/dt = 0$, или от сохранения статистических функций распределения $f(x)$. Для систем третьего типа мы говорим о параметрах квазиаттракторов, об их объемах V_G , и координатах их центров x_i^c , которые в режиме гомеостаза в системах третьего типа действительно существенно не изменяются. Например, центр второго квазиаттрактора KA^2 через время t_i не выходит за пределы (объем V_G) первого, исходного квазиаттрактора KA^1 . В этом случае мы говорим о гомеостазе (KA^1 и KA^2 существенно не отличаются друг от друга) на основании анализа областей фазового пространства вектора $x = (x_1, x_2, x_3)^T$, внутри которого непрерывно и хаотически движется $x(t)$ [5–20,22–30]. Отметим, что выборки рассчитывались по разным критериям (включая и t -критерий) и результаты везде получались аналогичными – число совпадений пар $k < 30\%$.

ВОЗМОЖНА ЛИ ДИАГНОСТИКА «ПРОИЗВОЛЬНОГО» ДВИЖЕНИЯ С ПОЗИЦИЙ СТОХАСТИКИ?

В рамках разрабатываемого подхода возникает проблема формальной (математической) регистрации явления «произвольности» в организации движений. С позиций статистики (см. выше) мы не можем произвольно повторить выборки не только треморограмм (а также АЧХ и $A(t)$), но и теппинграмм. Если рассчитать матрицы парных сравнений выборок теппинграмм, то мы получим некую сходную картину за некоторым исключением. Речь идет о величине k (числе совпадений пар выборок) и о применении методов теории хаоса–самоорганизации (в виде нейрокомпьютинга и расчета параметров квазиаттракторов) в биологии и медицине [37–40].

Действительно, в рамках проблемы изучения «произвольное – произвольное движение» мы можем просто продемонстрировать, чем тремор отличается от теппинга с позиций матриц парного сравнения выборок. В нашем слу-

чае мы можем сравнивать матрицу табл. 1 для тремора и новую матрицу (табл. 4) для теппинга, где $k_4 = 19$. Это значительно больше, чем $k_1 = 3$. Мера стохастичности (в виде нарастания величины k) всегда больше для «произвольных» движений в режиме усиления управляющих драйвов со стороны центральной нервной системы, чем для якобы «непроизвольных» движений – тремора. Отметим, что в рамках теории хаоса–самоорганизации мы и тремор и теппинг относим к произвольным движениям, так как $k > 0$. Только при $k = 0$ мы будем иметь полную непроизвольность, когда самоорганизация для небольшого числа повторов (у нас $N = 15$) не может продемонстрировать стохастическую повторяемость [11–20,23–32]. Впервые об этом говорил W. Weaver [47], когда вводил понятия о системах третьего типа.

При усилении управления со стороны центральной нервной системы мы можем только увеличить значение k , и это увеличение – маркер произвольности. Одновременно нарастает степень стохастичности в виде увеличения числа выборок, которые можно обозначить (по Н.А. Бернштейну) как повторения (выборки получаются как бы из одной генеральной совокупности). Очевидно, что в рамках нашего подхода и моделирования в рамках компартментно-кластерного подхода [33,37–40] повторение по Бернштейну можно рассматривать как возможность описания всех выборок электромиограмм, треморограмм и теппинграмм в рамках одной статистической функции распределения $f_i(x_i)$. Для реальных биомеханических систем этого нет, а величина k изменяется от нуля до 15–20%. Это и будет критерием процесса «без повторений» по Н.А. Бернштейну. Таким образом, мы предлагаем количественно описывать эти эффекты с помощью матриц парных сравнений выборок, тогда мы не полностью отказываемся от стохастичности. В технике это реализуется легко за счет снижения разброса в работе механизмов, а в организме достигается усилением регуляторных влияний центральной нервной системы, что приводит к нарастанию стохастичности. Однако в любом случае доля стохастичности не превышает 30% от общего числа пар сравниваемых выборок [8–19,22–28]. При этом трехкратное (и более) совпадение выборок при их регистрации подряд вообще крайне редкое явление для тремора и теппинга.

Игра хаоса и стохастичности постоянно происходит в ФСО и других регуляторных системах организма. Мы постоянно можем наблюдать «повторение без повторений» в виде эффекта Бернштейна. Следует отметить, что в уравнениях квазигиперболического типа возможно

возникновение детерминированного хаоса и свойства перемешивания, если в правую часть ввести генератор чисел из некоторого интервала (равномерного распределения). В нашем случае мы получаем гомеостатическую систему в виде калейдоскопа функций распределения с ограниченным числом пар совпадений выборок, если мы вводим медленное изменение (вариации) параметров системы регуляции в компартментно-кластерных моделях [48–50]. Очевидно, что хаос (вариации параметров) в эффекторных органах (мышцах) порождает и хаотическую динамику афферентного блока (афферентные сигналы «плавают»). В итоге мы имеем глобальный «тремор» биомеханической системы в виде «повторений без повторения», о которых говорил Н.А. Бернштейн и которые теперь становится возможным описывать в виде матриц парных сравнений выборок.

При этом амплитудно-частотные характеристики тоже непрерывно меняются, а автокорреляционные функции $A(t)$ не стремятся к нулю при $t \rightarrow \infty$. Это означает низкую эффективность применения стохастики в изучении живых систем – систем третьего типа (*complexity*). Одновременно и нет смысла говорить о детерминированном хаосе (нет аттракторов Лоренца для систем третьего типа), но три нобелевских лауреата именно об этом и говорили (I.R. Prigogine – о *complexity* [34], J.A. Wheeler – об эмерджентности [35] и М. Gell-Mann – о нестабильности (фактически о неповторяемости Н.А. Бернштейна) [36]). Реальные системы третьего типа (*complexity*) – эмерджентные системы – не показывают инвариантность мер и положительных констант Ляпунова. Мир живых систем другой, это мир развивающихся (эволюционирующих) систем, о которых говорили Г.Р. Иваницкий [13] и В.В. Смолянинов [14]. Это мир неповторимости Н.А. Бернштейна, и современной науке придется изменять свои представления об особенностях живых систем, эмерджентных систем *complexity*, систем третьего типа по W. Weaver [47].

ВЫВОДЫ

1. «Повторение без повторения» Н.А. Бернштейна может быть изучено в рамках многократных повторений и регистрации якобы однотипного процесса движения, получения (подряд) выборок механограмм и их попарного сравнения. Число k регистрируемых одинаковых пар (их отнесения к одной генеральной совокупности) может реально представлять долю хаоса ($k \rightarrow 0$) или долю стохастики ($k \rightarrow 100\%$) в реализации любых движений.

2. Любое произвольное движение (например, теппинг) реализуется произвольно в виде калейдоскопа функций распределения подряд регистрируемых выборок. Это характерно для всех гомеостатических систем. Мера произвольности (или произвольности) – это число пар совпадений выборок k в матрице парных сравнений. Для теппинга характерно число $k \approx 20\%$, для тремора $k \approx 6\%$ и т.д.

3. Возникает проблема математического описания таких «мерцающих» систем. Сейчас разрабатываются модели в виде квазиаттракторов (аналог принципа Гейзенберга [12,20]) и компартментно-кластерных моделей [44–46,48–50], которые позволяют описывать эффект «повторение без повторений».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Н. А. Бернштейн, *О построении движений* (Медгиз, М., 1947).
2. П. К. Анохин, *Кибернетика функциональных систем* (Медицина, М., 1998).
3. О. А. Ведясова, В. М. Еськов и О. Е. Филатова, *Системный компартментно-кластерный анализ механизмов устойчивости дыхательной ритмики млекопитающих* (Офорт, Самара, 2005).
4. В. В. Еськов, О. Е. Филатова, Т. В. Гавриленко и О.И. Химикова, *Экология человека* **11**, 3 (2014).
5. В. В. Еськов, Г. Р. Гараева, В. М. Еськов и А. А. Хадарцев, *Теория и практика восстановительной медицины (теория хаоса-самоорганизации в оценке эффективности методов восстановительной медицины)* (Тула, 2015).
6. В. М. Еськов, В. В. Еськов, О. Е. Филатова и А. А. Хадарцев, *Вестн. новых мед. технологий* **17** (4), 192 (2010).
7. В. М. Еськов, Т. В. Гавриленко, Ю. В. Вохмина и др., *Метрология*, № 6, 28 (2014).
8. О. А. Ведясова, В. М. Еськов, Р. Н. Живогляд и др., *Вестн. новых мед. технологий* **12** (2), 23 (2005).
9. В. А. Карпин, Ю. В. Башкатова, Л. В. Коваленко и Д. Ю. Филатова, *Теория и практика физ. культуры*, № 3, 83 (2015).
10. S. N. Rusak, V. V. Eskov, D. I. Molyagov, and O. E. Filatova, *Human Ecology*, № 11, 19 (2013).
11. V. M. Eskov and O. E. Filatova, *Biophysics* **48** (3), 497 (2003).
12. V. M. Eskov, V. V. Eskov, T. V. Gavrilenko, and M. I. Zimin, *Moscow University Phys. Bull.* **69** (5), 406 (2014).
13. Г. Р. Иваницкий, *Успехи физ. наук* **180** (4), 337 (2010).
14. В. В. Смолянинов, *Биофизика* **55** (3), 563 (2010).
15. Ю. В. Вохмина, В. М. Еськов, Т. В. Гавриленко и О. Е. Филатова, *Измерительная техника*, № 4, 65 (2015).

16. Т. В. Гавриленко, В. М. Еськов, А. А. Хадарцев и др., *Успехи геронтологии* **27** (1), 30 (2014).
17. Г. Р. Гараева, В. М. Еськов, В. В. Еськов и др., *Экология человека*, № 9, 50 (2015).
18. В. В. Еськов, В. М. Еськов, В. А. Карпин и М. А. Филатов, *Философия науки* **4** (51), 126 (2011).
19. В. М. Еськов, В. В. Еськов, Р. Н. Живогляд и Ю. М. Попов, *Вестн. новых мед. технологий* **11** (4), 5 (2004).
20. V. M. Eskov, V. V. Eskov, T. V. Gavrilenko, and J. V. Vochmina, *Moscow University Phys. Bull.* **70** (2), 140 (2015).
21. О. Е. Филатова, А. А. Хадарцев, В. В. Еськов и Д. Ю. Филатова, *Сложность. Разум. Постнеклассика*, № 1, 68 (2013).
22. О. Е. Филатова, О. В. Проворова и М. А. Волохова, *Экология человека*, № 6, 16 (2014).
23. А. А. Хадарцев, В. М. Еськов, В. Ф. Ушаков и В. В. Еськов, *Терапевт*, № 7, 4 (2013).
24. А. А. Хадарцев и В. М. Еськов, *Терапевт*, № 1, 35 (2015).
25. В. М. Еськов, А. А. Хадарцев, В. В. Еськов и О. Е. Филатова, *Вестн. новых мед. технологий* **17** (1), 17 (2010).
26. В. М. Еськов, А. А. Хадарцев, О. Е. Филатова и К. А. Хадарцева, *Терапевт*, № 8, 36 (2012).
27. В. М. Еськов, А. А. Хадарцев, В. В. Еськов и др., *Вестн. новых мед. технологий* **20** (1), 17 (2013).
28. В. М. Еськов, И. Ю. Добрынина, Е. В. Дрожжин и Р. Н. Живогляд, *Северный регион: наука, образование, культура* **27** (1), 150 (2013).
29. В. М. Еськов, В. А. Карпин, А. А. Хадарцев и др., *Терапевт*, № 5, 63 (2013).
30. V. M. Eskov, A. A. Khadartsev, V. V. Eskov, and O. E. Filatova, *J. Anal. Sci., Methods and Instrumentation* **3** (2), 67 (2013).
31. V. M. Eskov, *Emergence: Complexity and Organization* **16** (2), 107 (2014).
32. V. M. Eskov, V. V. Eskov, and O. E. Filatova, *Measurement Techniques* **53** (2), 1404 (2011).
33. V. M. Eskov, T. V. Gavrilenko, V. V. Kozlova, and M. A. Filatov, *Measurement Techniques* **55** (9), 1096 (2012).
34. V. M. Eskov, *Modelling, Measurement and Control C* **48** (1–2), 47 (1995).
35. I. Prigogine, *Futures. Bull. of the World Futures Studies Federation* **25** (4), 17 (2000).
36. J. A. Wheeler, *At Home in Universe* (Springer–Verlag, New York, 1996).
37. M. Gell-Mann, *Complexity* **3** (1), 13 (1997).
38. V. M. Eskov and V. V. Eskov, *Modelling, Measurement and Control C* **66** (5–6), 1 (2005).
39. V. M. Eskov, T. V. Gavrilenko, Y. V. Vokhmina, et al., *Measurement Techniques* **57** (6), 720 (2014).
40. Y. V. Vokhmina, V. M. Eskov, T. V. Gavrilenko, and O. E. Filatova, *Measurement Techniques* **58** (4), 65 (2015).
41. В. М. Еськов, В. И. Майстренко, Е. В. Майстренко и др., *Вестн. новых мед. технологий* **14** (3), 205 (2007).
42. В. М. Еськов, В. И. Адайкин, Ю. В. Добрынин и др., *Вестн. новых мед. технологий* **16** (1), 25 (2009).
43. В. М. Еськов, К. Н. Берестин, В. В. Лазарев и др., *Вестн. новых мед. технологий* **16** (1), 121 (2009).
44. V. M. Eskov and O. E. Filatova, *Biophysics* **44** (3), 518 (1999).
45. V. M. Eskov, *Neural Network World* **8** (3), 353 (1998).
46. V. M. Eskov, V. V. Eskov, M. Ya. Braginskii, and A. S. Pashnin, *Measurement Techniques* **54** (7), 832 (2011).
47. V. M. Eskov and O. E. Filatova, *Neurophysiology* **25** (6), 420 (1993).
48. W. Weaver, *American Scientist* **36**, 536 (1948).
49. V. M. Eskov, *Neural Network World* **6** (1), 57 (1998).
50. V. M. Eskov and S. V. Kulaev, *Adv. Model. Analysis C* **59** (1–2), 9 (2004).

Formalization of the Effect of “Repetition without Repetition” by N.A. Bernstein

V.M. Eskov, V.V. Eskov, T.V. Gavrilenko, and Yu.V. Vochmina

Surgut State University, prosp. Lenina 1, Surgut, Khanty-Mansi Autonomous Okrug, 626415 Russia

The effect of “repetition without repetition” by N.A. Bernstein (1947) to date has not found adequate models. This issue is beyond the scope of the biomechanics and biophysics of movement and covers all homeostatic systems. This phrase implies that any components x_i of the state vector of complex biological systems $x(t) = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T$ provide no information on the stationary regime in a form $dx/dt = 0$, and in the form of stochastic process no stability in distribution function $f(x_i)$ obtained in sequential sampling (x_i do not match!) is observed either. The simplest models of such homeostatic systems were proposed in the form of matrices of pairwise comparisons of samples that are able to describe the particular chaos of biological systems. This chaos is different from deterministic chaos by means of which a complex biological systems – complexity are now described.

Key words: tremor, voluntary movements, chaos, autocorrelation