

УДК 796.01:612.746.4

ГИПОТЕЗА Н. А. БЕРНШТЕЙНА И СТАТИСТИЧЕСКАЯ НЕУСТОЙЧИВОСТЬ ВЫБОРОК ПАРАМЕТРОВ ТРЕМОРОГРАММ

В. В. Еськов, В. М. Еськов, Ю. В. Вохмина

Сургутский государственный университет, firing.squad@mail.ru

В рамках статистического подхода рассматривается статистическая неустойчивость подряд получаемых выборок одной и той же биосистемы, находящейся в неизменном гомеостазе. Показывается, что матрицы парных сравнений выборок параметров x_i всего вектора состояния биосистемы $x = x(t) = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T$ демонстрируют неустойчивость статистических функций распределения $f(x)$ (т. е. $f_j(x_i) = f_{j+1}(x_i)$). Одновременно демонстрируется статистическая устойчивость числа k совпадающих (статистически) пар сравнения выборок x_i . При этом вероятность P получить две совпадающие подряд выборки x_i крайне мала ($P \leq 0,05$) для любых повторяющихся процессов гомеостатических систем.

Ключевые слова: неустойчивость выборок, матрицы парных сравнений, тремор.

N. A. BERNSTEIN HYPOTHESIS AND STATISTICAL SAMPLINGS INSTABILITY OF TREMOROGRAPH'S PARAMETERS

V. V. Eskov, V. M. Eskov, Yu. V. Vokhmina

Surgut State University, firing.squad@mail.ru

The statistical instability of successive samplings of the same biological system in continuing homeostasis is studied within the statistical approach. It is shown that matrices of pairwise comparisons of parameters samplings x_i of biosystem state vector $x = x(t) = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T$ demonstrate the instability of statistical functions distribution $f(x)$ (i.e., $f_j(x_i) = f_{j+1}(x_i)$). At the same the statistical stability is demonstrated by the number k and statistically matched pairs of samples x_i . The probability P of obtaining two coincident successive samplings x_i is extremely low ($P \leq 0.05$) for any repetitive processes of homeostatic systems.

Keywords: samplings instability, pairwise comparison matrices, tremor.

Введение

Выдающийся биомеханик 20-го века Н. А. Бернштейн [18] 70 лет назад (1947 г.) высказал гипотезу о «повторении без повторений». Однако за этот долгий период в естествознании и математике практически никто не пытался проверить эту гипотезу не только в биомеханике, но и во всем естествознании в целом. Год спустя W. Weaver [29] представил научному миру *системы третьего типа* (далее – СТТ), живые системы, но в отношении СТТ до настоящего времени также нет формального математического аппарата. Появление теории динамического хаоса Лоренца также не внесло ясность в наши представления об особых свойствах живых систем, СТТ-complexity [1–10].

Два нобелевских лауреата (I. R. Prigogine [28] и M. Gell-Mann [26]) представляли *complexity* как объекты динамического хаоса Лоренца, но это было глубоким заблуждением [19–25]. Для аттракторов Лоренца характерно равномерное распределение, когда две соседние выборки любого компонента x_i вектора состояния сложной системы $x = x(t) = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T$ в m -мерном фазовом пространстве состояний (ФПС) могут показать статистическое совпадение. В этом случае их статистические функции распределения $f(x)$ совпадают, т. е. $f_j(x_i) = f_{j+1}(x_i)$. В этом случае эти две j -я и $j+1$ -я выборки можно отнести к одной генеральной совокупности

(в дальнейшем мы для упрощения (кратности) будем говорить о совпадении двух соседних выборок сложной биосистемы – СТТ) [11–15, 27, 30].

До настоящего времени в биологии, медицине, экологии, психологии и многих других (неточных) науках ученые были убеждены, что для биосистемы в одном (неизменном) гомеостазе всегда будет выполняться для j -й и $j+1$ -й выборки x_i их равенство статистических функций $f(x)$ (т. е. должно быть $f_j(x_i) = f_{j+1}(x_i)$). Однако, реальное поведение любых параметров организма человека x_i (его гомеостаза) этого продемонстрировать не может. Мы имеем статистическую неустойчивость СТТ-*complexity* и $f_j(x_i) \neq f_{j+1}(x_i)$ для любого x_i биосистемы, находящейся в неизменном гомеостазе. Одинаковое состояние биосистемы (гомеостаз) не может демонстрировать устойчивость x_i , две соседние выборки (в одном, неизменном состоянии организма человека) не совпадают (статистически) с вероятностью $P \geq 0,95$ (в биомеханике обычно $P \geq 0,99$). Получить совпадение сразу трех выборок подряд (т. е. $f_j(x_i) = f_{j+1}(x_i) = f_{j+2}(x_i)$) имеет вероятность $P < 10^{-5}$ и менее. Это означает окончание применения статистических методов в биомедицине, психологии, экологии и других науках о живых системах (включая и науки о мозге, т. е. при изучении нейросетей мозга нет статистических повторений) [11–17] из-за статистической неустойчивости выборок x_i .

Какие тогда законы необходимо применять к биосистемам (СТТ-*complexity*), если и динамический хаос не работает? Можно ли вообще использовать статистические и детерминистские (функциональный анализ) модели в отношении СТТ и если можно, то как? Ответы на эти вопросы на примере биомеханики (в организации произвольных движений – тремора) мы представляем в настоящем сообщении.

Статистическая неустойчивость СТТ-*complexity*

Н. А. Бернштейн 70 лет назад декларировал «повторение без повторения», но доказательства этому и статистического описания неустойчивости СТТ-*complexity* им не было представлено [1]. Он доказывал тогда, что в организации движений участвует как минимум 5 систем и их роль непрерывно (и хаотически) изменяется. Тридцать лет назад (в связи с построением компартментно-кластерной теории нейросетей мозга [20–23]) мы начали исследование эффекта «без повторений», в основе которого лежат многократные повторения регистрации биопотенциалов нервов и мышц, а также регистрация треморограмм (ТМГ) и теппинграмм (ТПГ) у одного и того же испытуемого, находящегося в одном, неизменном гомеостазе [19–25, 27, 30].

Согласно центральной доктрине биомедицины – две подряд зарегистрированные выборки любых параметров x_i гомеостаза человека (находящегося в неизменном гомеостазе) должны совпадать [5–15]. Например, европейская ассоциация кардиологов рекомендует регистрировать кардиоинтервалы (КИ) или электрокардиограммы не менее 5 минут. При этом мы получаем выборку из 300 КИ и она считается репрезентативной (характеризует работу сердца пациента). Однако в действительности этого нет, мы не можем получить подряд две статистически одинаковые выборки КИ (при большом числе повторов n регистрации КИ, $n = 300$), т. е. чтобы $f_j(x_i) = f_{j+1}(x_i)$. С вероятностью $p \geq 0.95$ мы будем иметь неравенство $f_j(x_i) \neq f_{j+1}(x_i)$ и это доказывает статистическую неустойчивость КИ, ТМГ, ТПГ и других параметров организма человека [9–18]. До настоящего времени биомедицина работала с уникальными (неповторимыми) выборками параметров гомеостаза x_i человека [14–17].

В качестве примера мы представляем характерную матрицу (из нескольких тысяч нами рассмотренных подобных) парных сравнений 15-ти выборок ТМГ, которые получены подряд у одного испытуемого, находящегося в одном (неизменном) гомеостазе. Регистрировалось положение конечности (пальца) по вертикали (x_1) за интервал времени $t = 5$ сек с периодом квантования τ получаемого аналогового сигнала с датчика расстояния $x_1 \tau = 0,01$ сек. Таким образом, каждая выборка содержала по 500 точек и эти 15 выборок сравнивались попарно. Результат такого статистического сравнения (использовался критерий Вилкоксона) представлен в виде матрицы (табл. 1), которая имеет всего 105 независимых пар сравнения (она симметрична и диагональные элементы отбрасываются).

Из табл. 1 следует, что мы имеем $k = 3$ – число пар выборок x_i , которые (эти две) можно отнести к одной генеральной совокупности (будем называть их статистически одинаковыми). Тогда вероятность p совпадения выборок x_i в данном примере $P = 3/105 < 0,03$. Напомним, что в биологии используется доверительная вероятность $P_1 = 0,95$, которая требует, например, попадания в доверительный интервал с частотой (в эксперименте при повторениях опыта) $P^* \geq 0,95$. У нас обратная зависимость, с частотой $P_1 > 0,97$ две любые выборки не совпадают из общей серии экспериментов. Еще более сложная ситуация с повторами. В нашем примере (табл. 1) мы имеем совпадение подряд получаемых выборок с частотой $P_2 < 0,01$. В этом случае (с $P_2 < 0,01$) мы можем говорить о том, что $f_j(x_i) = f_{j+1}(x_i)$, т. е. статистической неустойчивости в подряд получаемых выборках x_i .

Таблица 1

Матрица парного сравнения треморограмм испытуемого ФДЮ (без нагрузки, число повторов $N = 15$), использовался критерий Вилкоксона (значимость различий выборок $P < 0,05$, число совпадений $k = 3$)

	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	0,63	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		0,69	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	0,69		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	0,63	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	0,70
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	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,70	0,00	0,00	0,00	

При таких частотах P говорить о возможности повторения опыта (подряд и произвольно) – бессмысленно (обычно для ТМГ $P_2 \leq 0,01$!) [20–25]. С чем тогда работает биология и медицина, с уникальными (неповторяющимися подряд) выборками x_i ? С позиции расчета матриц парных сравнений выборок x_i , получаемых в одинаковом эксперименте (с одним испытуемым, находящимся в неизменном гомеостазе), мы произвели многократные измерения ТМГ (в неизменном гомеостазе). Были получены серии опытов по $N = 15$ матриц (подобных табл. 1) с 15-ю выборками x_i в каждой такой матрице сравнения выборок ТМГ. Рассмотрим статистический итог таких исследований.

Статистическая закономерность повторения k в неизменном гомеостазе

Если у одного и того же человека повторять по 15 серий регистрации ТМГ (с 15-ю выборками ТМГ в каждой серии), то выясняются статистические закономерности в регистрируемых значениях k в каждой серии экспериментов. Значение числа k совпадений выборок x_i в каждой матрице (подобной табл. 1) группируются вокруг некоторого среднего значения $\langle k_i \rangle$, которое характеризует данного испытуемого, находящегося в данном гомеостазе. При изменении гомеостаза (например, охлаждение конечности или при статической физической нагрузке в $F = 3H$) мы будем получать другие значения $\langle k_2 \rangle$.

В табл. 2 мы представляем один из результатов таких многократных повторных измерений ТМГ у одного испытуемого, находящегося в одном неизменном состоянии (гомеостазе). Здесь (табл. 2) представлены результаты 15-ти серий расчета выборок ТМГ (по 15 выборок в одной серии) для испытуемого без нагрузки на конечность (палец, $F_1 = 0$) и при нагрузке

ке в 3 ньютона ($F_2 = 3H$). Очевидно различие в величинах среднего значения $\langle k_1 \rangle = 2,93$ при $F_1 = 0H$ и при нагрузке $F_2 = 3H$, когда $\langle k_2 \rangle = 5,67$.

Таблица 2

Число совпадений (k) выборок ТМГ в матрицах парного сравнения треморограмм испытуемого ФДЮ (использовался критерий Вилкоксона, $P < 0,05$ при $N = 15$ повторях измерений ТМГ)

	Без нагрузки	В условиях нагрузки 300 г
1	2	5
2	2	8
3	1	8
4	2	6
5	1	7
6	4	6
7	4	4
8	4	4
9	3	2
10	9	5
11	3	10
12	1	5
13	2	5
14	5	4
15	1	6
$\langle k \rangle$	2,93	5,67
$\sigma, \pm$	2,13	1,99

Подчеркнем, что значение $\langle k_1 \rangle$ и $\langle k_2 \rangle$ зависят от физического состояния испытуемого и от самого испытуемого (физически тренированный человек всегда показывает $k_{тр} < k_{нтр}$, где $k_{нтр}$ – число k у нетренированного испытуемого). Таким образом, при многократных повторениях одного и того же опыта с одним испытуемым мы не наблюдаем статистической устойчивости выборок ($f_j(x_i) \neq f_{j+1}(x_i)$ произвольно), но числа k совпадений пар выборок x_i в матрицах парного сравнения могут демонстрировать определенную устойчивость, и мы можем работать с сериями экспериментов для проверки гипотезы Н. А. Бернштейна в биомеханике. Однако, такая процедура весьма трудоемкая (требует много времени) и вряд ли она будет использована в биомеханике, психологии, экологии и других науках о живых системах. Для практических целей сейчас мы разработали аналог принципа неопределенностей Гейзенберга (квантовая механика) [1–5, 19–25]. В этом случае мы переходим от равенства к неравенству и работаем с вариационными размахами регистрируемых переменных x_i , описывающих гомеостаз организма человека [6–13]. Однако это уже другая область науки, которая уходит из стохастики и переходит к неопределенностям 1-го и 2-го типа для любых СТТ-complexity [19, 27, 30] и которые основаны на моделях в рамках компартментно-кластерной теории биосистем [21–25].

Выводы

1. Гипотеза Н. А. Бернштейна в биомеханике перешла в эффект Еськова – Зинченко, когда наблюдается статистическая неустойчивость для подряд получаемых выборок x_i в неизменном гомеостазе (для одного человека). В этом случае получать статистическое совпадение подряд получаемых выборок x_i (т. е. чтобы $f_j(x_i) = f_{j+1}(x_i)$) можно с частотой $P_1^* \leq 0,01$ для тремора и $P_2^* \leq 0,04$ для теппинга. Мы имеем статистическую неустойчивость

гомеостатических систем и выборки x_i являются уникальными (а для уникальных систем современная детерминистско-стохастическая наука не применима, по утверждению I. R. Prigogine [28]).

2. При многократных повторях регистрации выборок x_i в одинаковом эксперименте (испытуемый находится в неизменном гомеостазе) можно регистрировать статистическую устойчивость средних значений $\langle k \rangle$ числа статистических совпадений выборок x_i в получаемых матрицах парного сравнения выборок. В этом случае $\langle k \rangle$ характеризует гомеостаз конкретного человека, находящегося в особых (конкретных) условиях. При изменении гомеостаза изменяется и $\langle k \rangle$, что можно использовать в биомеханических исследованиях (когда выборки x_i – уникальны).

Литература

1. Баженова А. Е., Повторейко В. В., Басова К. А., Картополенко Р. О. Эффект Еськова – Зинченко в описании хаотической динамики параметров нервно-мышечной системы // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2017. № 1. С. 50–56.
2. Белощенко Д. В., Баженова А. Е., Щипицин К. П., Королев Ю. Ю. Эффект Еськова – Зинченко в организации произвольных движений человека в режиме повторения // Вестн. новых мед. тех. 2017. Т. 24. № 1. С. 29–35.
3. Белощенко Д. В., Майстренко Е. В., Живаева Н. В., Алиев Н. Ш. Хаотическая динамика параметров нервно-мышечной системы у мужчин при многократных повторениях // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2017. № 1. С. 5–11.
4. Белощенко Д. В., Якунин В. Е., Потетюрин Е. С., Королев Ю. Ю. Оценка параметров электромиограмм у женщин при разном статическом усилии в режиме повторения // Клиническая медицина и фармакология. 2017. Т. 3. № 1. С. 26–31.
5. Берестин Д. К., Глазова О. А., Камалтдинова К. Р., Гимадиев Б. Р. Изменение квазиаттракторов треморограмм испытуемых при воздействии холодового стресса // Вестн. новых мед. тех. Электронное издание. 2017. № 3. Публикация 1–6. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2017-3/1-6.pdf> (дата обращения: 19.09.2017). doi: 10.12737/article_59c4b40a7a8642.40010321.
6. Берестин Д. К., Курманов И. Г., Самсонов И. Н., Колосова А. И. Квазиаттракторы треморограмм при влиянии различных статических нагрузок // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2017. № 3. С. 83–89. doi: 10.12737/article_59df74fb6b9b71.44443762.
7. Берестин Д. К., Шейдер А. Д., Курманов И. Г., Самсонов И. Н. Стохастический анализ треморограмм при воздействии холодового стресса на испытуемых различной степени тренированности // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2017. № 4. С. 59–65.
8. Болтаев А. В., Газя Г. В., Хадарцев А. А., Синенко Д. В. Влияние промышленных электромагнитных полей на хаотическую динамику параметров сердечно-сосудистой системы работников нефтегазовой отрасли // Экология человека. 2017. № 8. С. 3–7.
9. Гавриленко Т. В., Горбунов Д. В., Гимадиев Б. Р., Чертищев А. А. Граница применимости теоремы Гленсдорфа-Пригожина в описании биомеханических систем // Вестн. новых мед. тех. Электронное издание. 2017. № 1. Публикация 1–9. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2017-1/1-9.pdf> (дата обращения: 22.03.2017). doi: 12737/25235.
10. Гавриленко Т. В., Горбунов Д. В., Чертищев А. А. Теорема Гленсдорфа – Пригожина и эффект Еськова – Зинченко в оценке параметров треморограмм // Вестн. новых мед. тех. 2017. Т. 24. № 2. С. 16–21. doi:10.12737/article_5947ca1ae38667.3077216.
11. Галкин В. А., Филатова О. Е., Журавлева О. А., Шелим Л. И. Новая наука и новое понимание гомеостатических систем // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2017. № 1. С. 75–86.
12. Денисова Л. А., Белощенко Д. В., Шейдер А. Д., Горбунов Д. С., Королев Ю. Ю. Эффект Еськова – Зинченко в анализе нервно-мышечной системы человека // Вестн. новых

мед. тех. Электронное издание. 2017. № 4. Публикация 1–3 URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2017-4/1-3.pdf> (дата обращения: 21.12.2017).

13. Мирошниченко И. В., Баженова А. Е., Белощенко Д. В., Потетюрина Е. С. Эффект Еськова – Зинченков в условиях локального холодового воздействия // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2017. № 2. С. 13–17.

14. Филатова Д. Ю., Веракса А. Н., Берестин Д. К., Стрельцова Т. В. Стохастическая и хаотическая оценка состояния нервно-мышечной системы человека в условиях холодового воздействия // Экология человека. 2017. № 8. С. 15–20.

15. Филатова О. Е., Майстренко Е. В., Болтаев А. В., Газя Г. В. Влияние промышленных электромагнитных полей на динамику сердечно-сосудистых систем работников нефтегазового комплекса // Экология и промышленность России. 2017. Т. 21. № 7. С. 46–51.

16. Широков В. А., Томчук А. Г., Роговский Д. А. Стохастический и хаотический анализ вертеброневрологических показателей пациентов при остеохондрозе позвоночника в условиях севера // Клиническая медицина и фармакология. 2017. Т. 3. № 1. С. 34–38.

17. Яхно В. Г., Белощенко Д. В., Баженова А. Е., Башкатова Ю. В. Парадокс Еськова – Филатовой в оценке параметров биосистем // Вестн. новых мед. тех. 2017. Т. 24. № 3. С. 20–26. doi:10.12737/article_59c49ca69df199.85201052.

18. Bernstein N. A. The coordination and regulation of movements. Oxford : Pergamon Press, 1967.

19. 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. No. 1. P. 92–94.

20. Eskov V. V., Gavrilenko T. V., Eskov V. M., Vochmina Yu. V. Phenomenon of statistical instability of the third type systems – complexity // Technical Physics. 2017. Vol. 62. № 11. P. 1611–1616.

21. Eskov V. M., Bazhenova A. E., Vochmina U. V., Filatov M. A., Ilyashenko L. K. Bernstein hypothesis in the description of chaotic dynamics of involuntary movements of person // Russian Journal of Biomechanics. 2017. Vol. 21. № 1. P. 14–18.

22. Eskov V. M., Eskov V. V., Gavrilenko T. V., Vochmina Yu. V. Formalization of the Effect of “Repetition without Repetition” discovered by N. A. Bernshtein // Biophysics. 2017. Vol. 62. № 1. P. 143–150.

23. Eskov V. M., Eskov V. V., Vochmina Y. V., Gorbunov D. V., Ilyashenko L. K. Shannon entropy in the research on stationary regimes and the evolution of complexity // Moscow University Physics Bulletin. 2017. № 72 (3). P. 309–317.

24. Filatova O. E., Eskov V. V., Filatov M. A., Ilyashenko L. K. Statistical instability phenomenon and evaluation of voluntary and involuntary movements // Russian Journal of Biomechanics. 2017. Vol. 21. № 3. P. 224–232.

25. 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. № 27 (1). P. 30–36.

26. Gell-Mann M. Fundamental Sources of Unpredictability // Complexity. 1997. Vol. 3. № 1. P. 13–19.

27. Khadartsev A. A., Nesmeyanov A. A., Eskov V. M., Filatov M. A., Pan W. Fundamentals of chaos and self-organization theory in sports // Integrative medicine international. 2017. Vol. 4. P. 57–65.

28. Prigogine I. The End of Certainty: Time, Chaos, and the New Laws of Nature. N. Y.: Free Press, 1997. 64 p.

29. Weaver W. Science and Complexity. Rockefeller Foundation, New York City // American Scientist. 1948. Vol. 36. P. 536–544.

30. Zilov V. G., Eskov V. M., Khadartsev A. A., Eskov V. V. Experimental Verification of the Bernstein Effect “Repetition without Repetition” // Bulletin of Experimental Biology and Medicine. 2017. № 1. P. 1–5.