УДК 612.746.4

РАСЧЕТ КВАЗИАТТРАКТОРОВ ДЛЯ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЙ ЧЕЛОВЕКА

Т. В. Гавриленко, Д. В. Горбунов, Д. В. Белощенко, Ю. В. Башкатова
Сургутский государственный университет, gorbunov.dv@mail.ru

В оценке объективных различий произвольных и непроизвольных движений человека необходимы новые методы обработки данных. В этой связи предлагается метод расчета параметров квазиаттракоров в оценке нервно-мышечной системы человека. В ходе исследования были получены по 15 выборок треморограмм и теппингграмм от одного и того же испытуемого, находящегося в спокойном состоянии (релаксация). Для этих выборок строили матрицы парных сравнений и рассчитывали параметры квазиаттракторов. Как оказалось, число пар «совпадений» k крайне мало, но наблюдается устойчивая закономерность: для теппинга число одинаковых пар k в 2–3 раза больше в сравнении с матрицами полученных для треморограмм. В свою очередь, расчет параметров квазиаттракторов позволил точно установить различия между произвольными и непроизвольными движениями (объем V_{G2} для теппингграмм всегда значительно больше объема V_{G1} для треморограмм).

Ключевые слова: тремор, теппинг, квазиаттрактор.

CALCULATION OF QUASI-ATTRACTORS FOR PARAMETERS OF HUMAN MOVEMENTS

T. V. Gavrilenko, D. V. Gorbunov, D. V. Beloshchenko, Yu. V. Bashkatova
Surgut State University, gorbunov.dv@mail.ru

New methods of data processing are needed to assess the objective differences between voluntary and involuntary human movements. In this regard, a method for calculating the parameters of quasi-attractors in the evaluation of the human neuromuscular system is proposed. As part of the study for 15 samples of tremorogram and tappingramms are obtained from the same subject in a calm state (relaxation). For these samples, the matrices of paired comparisons are built and the parameters of quasi-attractors are calculated. As it turned out, the number of pairs of “matches” k is extremely low, but there is a stable pattern: for tappings the number of identical pairs of k is 2–3 times higher compared to the matrices obtained for tremorograms. In turn, the calculation of the parameters of quasi-attractors has allowed us to establish differences between voluntary and involuntary movements (the volume V_{G2} for tappingramms is always much larger than V_{G1} for tremorograms).

Keywords: tremor, tapping, quasi-attractor.

До настоящего времени остается открытым вопрос по установлению различий параметров движений человека. В 1947 г. Н. А. Бернштейн выдвинул гипотезу о «повторении без повторений» в своей известной книге «О построении движений» [1]. Как оказалось, в действительности он был прав, но количественного доказательства так и не было представлено. Спустя 70 лет удалось на практике доказать его гипотезу и представить ее количественное подтверждение в виде эффекта Еськова – Зинченко [2–9]. Однако этого недостаточно для решения задачи объективной оценки произвольных и непроизвольных движений, необходимы новые методы и подходы, которые сейчас имеются в рамках новой теории хаоса-самоорганизации и в виде эффекта Еськова – Зинченко (количественное описание гипотезы Н. А. Бернштейна о «повторении без повторений») [1].

Алгоритм расчета параметров квазиаттракторов для треморограмм и теппингграмм представлен на рис. 1. Из-за самоорганизующейся динамики поведения систем третьего типа по

W. Weaver [18] *x(t)* обычно движется внутри некоторого особого объема фазового пространства, т. е. в общем случае получается неравенство $V^{max}{}_G \geq V_G^{max} \geq \prod_i^m x_i \geq V_G^{min}$ [9–15]. Таким образом, для расчета объема квазиаттрактора в *m*-мерном фазовом пространстве необходимо рассчитать все координаты. В представленном исследовании x_1 – реальная координата перемещения пальца в пространстве, x_2 – скорость изменения, x_1, x_3 – ускорения перемещения x_1. В итоге имеется частный случай представленного алгоритма $V_G = \Delta x_1 \times \Delta x_2 \times \Delta x_3$ [13–17].

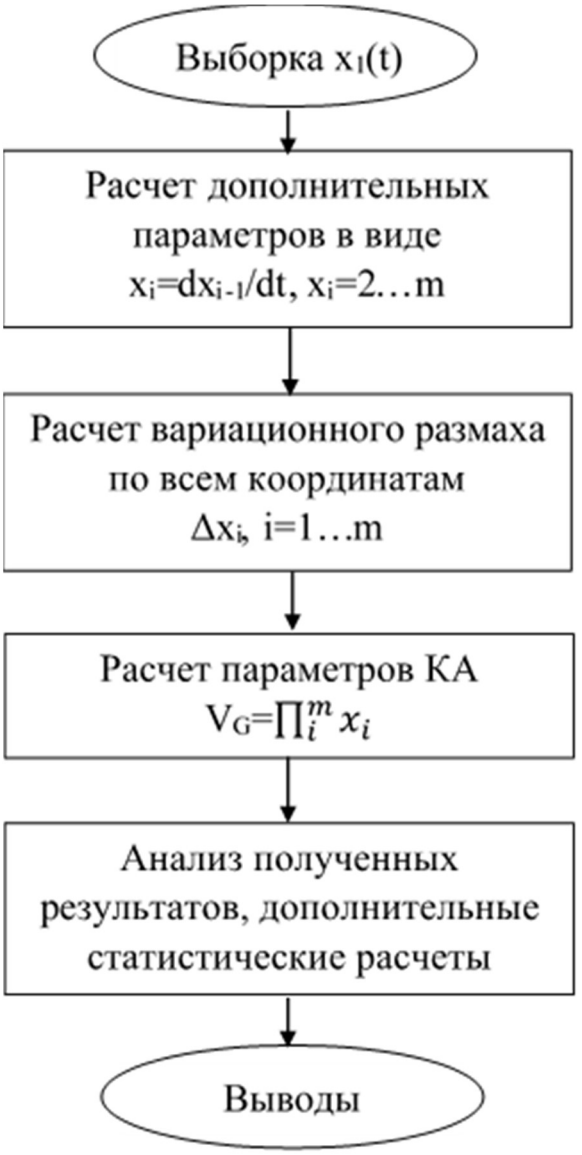

Рис. 1. Алгоритм расчета параметра квазиаттракторов

Сравнительная оценка произвольных и непроизвольных движений

В самом начале исследования, как было сказано ранее, строились матрицы парных сравнений для треморограмм и теппинграмм [11–15, 19]. Пример одной из таких матриц представлен в табл. 1. Очевидно, что здесь число пар «совпадений» (под словом «совпадения» понимается возможность отнесения двух выборок к одной генеральной совокупности) k = 5. Малое число «совпадений» пар свидетельствует о некой хаотической динамике изменения параметров движений человека. Из многократных повторов повторения таких матриц парных сравнений удалось установить закономерность, что число пар «совпадений» для треморограмм всегда k_1 = 5–7 %, а для теппинграмм k_2 = 15–18 % [2–6].

Таблица 1

Матрица парных сравнений треморограмм испытуемого ГДВ, использовался непараметрический критерий Вилкоксона, число «совпадений» k = 5

№	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	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	**0,43**	**0,26**	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	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	**0,13**	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,02	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	**0,16**	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,16	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	0,00	0,00	0,43	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00
12	0,00	0,00	0,26	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	0,03	0,00	0,00	0,00		0,00	**0,22**
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	0,22	0,00	

Далее производились расчеты параметров квазиаттракторов в 3-мерном фазовом пространстве. Результаты расчетов представлены в табл. 2. Очевидно, что в представленной таблице можно легко установить различия между произвольными и непроизвольными движениями, здесь $<V_{G1}> = 0{,}89 \times 10^{-8}$ у. е. для треморограмм против $<V_{G2}> = 74{,}2 \times 10^{-8}$ у. е. для теппинграмм. Это демонстрирует объективное различие треморограмм от теппинграмм (по непараметрическому критерию Вилкоксона уровень значимости $p = 0{,}0006$, что свидетельствует о статистически значимой разнице между выборками объемов квазиаттракторов).

Таблица 2

Значения объема квазиаттракторов V_G для треморограмм и теппинграмм

№	$V_{G1} \times 10^{-8}$ для треморограмм	$V_{G2}10^{-8}$ для теппинграмм
1	1,32	112
2	0,74	62,2
3	0,83	23,9
4	0,61	40,7
5	0,56	14,1
6	0,57	49,2
7	0,77	101
8	2,62	20,2
9	0,98	73,4
10	0,97	241
11	1,44	32,4
12	0,77	85,2
13	0,25	137
14	0,66	57,9
15	0,25	62,9
$<V_G>$	0,89	74,2
Непараметрический критерий Вилкоксона $p = 0{,}0006$		

Выводы. В ходе проведенного исследования установлено, что эффект Еськова –Зинченко количественно описывает гипотезу Н. А. Бернштейна о «повторении без повторений». Установлено закономерное количество числа k пар «совпадений» при построние матриц парных сравнений для треморограмм и теппинграмм. В результате расчета параметра квазиаттракторов выявлено закономерное увеличение объема V_{G2} для теппинграм в сравнении с V_{G1}

для теппинграмм. Таким образом, расчет матриц парных сравнений и расчет параметра квазиаттракторов V_G позволяет объективно установить различия произвольных и непроизвольных движений.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ мол_а 18-37-00113

Литература

1. Бернштейн Н. А. О построении движений. М. : Медгиз, 1947. 254 с.
2. Белощенко Д. В., Баженова А. Е., Щипицин К. П., Королев Ю. Ю. Эффект Еськова – Зинченко в организации непроизвольных движений человека в режиме повторения // Вестн. новых мед. технологий. 2017. Т. 24. № 1. С. 29–35.
3. Гавриленко Т. В., Якунин Е. В., Горбунов Д. В., Гимадиев Б. Р., Самсонов И. Н. Эффект Еськова – Зинченко в оценке параметров теппинга // Вестн. новых мед. технологий. 2017. Т. 24. № 1. С. 9–14.
4. Филатов М. А., Веракса А. Н., Филатова Д. Ю., Поскина Т. Ю. Понятие произвольных движений с позиций эффекта Еськова – Зинченко в психофизиологии движений // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2016. № 1. С. 24–32.
5. Белощенко Д. В., Баженова А. Е., Щипицин К. П., Королев Ю. Ю. Эффект Еськова – Зинченко в организации непроизвольных движений человека в режиме повторения // Вестн. новых мед. технологий. 2017. Т. 24. № 1. С. 29–35.
6. Денисова Л. А., Прохоров С. А., Шакирова Л. С., Филатова Д. Ю. Хаос параметров сердечно-сосудистой системы школьников в условиях широтных перемещений // Вестн. новых мед. технологий. 2018. Т. 25. № 1. С. 133–142.
7. Еськов В. В. Термодинамика неравновесных систем I. R. Prigogine и энтропийный подход в физике живых систем // Вестн. новых мед. технологий. 2017. Т. 24. № 2. С. 7–15.
8. Еськов В. В., Пятин В. Ф., Клюс Л. Г., Миллер А. В. Гомеостатичность нейросетей мозга // Вестн. новых мед. технологий. 2018. Т. 25. № 1. С. 102–113.
9. Еськов В. В., Пятин В. Ф., Еськов В. М., Григорьева С. В. Особенности регуляции сердечно-сосудистой системы организма человека нейросетями мозга // Вестн. новых мед. технологий. 2018. Т. 25. № 1. С. 188–189.
10. Еськов В. В. Проблема статистической неустойчивости в биомеханике и биофизики в целом // Вестн. новых мед. технологий. 2018. Т. 25. № 2. С. 166–176.
11. Еськов В. М., Зинченко Ю. П., Филатов М. А., Еськов В. В. Эффект Еськова – Зинченко опровергает представления I. R. Prigogine, J. A. Wheeler и M. Gellmann о детерминированном хаосе биосистем – complexity // Вестн. новых мед. технологий. 2016. Т. 23. № 2. С. 34–43.
12. Еськов В. М., Зинченко Ю. П., Филатова О. Е., Веракса А. Н. Биофизические проблемы в организации движений с позиций теории хаоса-самоорганизации // Вестн. новых мед. технологий. 2016. Т. 23. № 2. С. 182–188.
13. Зинченко Ю. П., Филатова О. Е., Еськов В. В., Стрельцова Т. В. Объективная оценка сознательного и бессознательного в организации движений // Вестн. новых мед. технологий. 2016. Т. 23. № 3. С. 31–38.
14. Прохоров С. В., Якунин Е. В., Белощенко Д. В., Башкатова Ю. В. Неопределенность параметров кардиоинтервалов испытуемого в условиях физической нагрузки // Вестн. новых мед. технологий. 2018. Т. 25. № 2. С. 176–188.
15. Eskov V. V., Gavrilenko T. V., Eskov V. M., Vochmina Yu. V. Static Instability Phenomenon in Type-Three Secretion Systems: Complexity // Technical Physics. 2017. V. 62. № 11. P. 1611–1616.
16. Eskov V. M., Bazhenova A. E., Vochmina Y. 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. V. 21. № 1. P. 14–23.

17. Prigogine I. R. The End of Certainty: Time, Chaos, and the New Laws of Nature. Free Press, 1997. 228 p.

18. Weaver W. Science and Complexity. Rokefeller Foundation. NY // American Scientist. 1948. № 36. P. 536–544.

19. Zilov V. G., Khadartsev A. A., Eskov V. V. and Eskov V. M. experimental study of statistical stability of cardiointerval samples // Bulletin of experimental biology and medicine. 2017. V. 164. № 2. P. 115–117.