

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 612.1/8:007
DOI 10.35266/1999-7604-2023-4-1

ДИНАМИКА ПАРАМЕТРА КВАЗИАТТРАКТОРОВ ПОХОДКИ ЧЕЛОВЕКА

Дмитрий Константинович Берестин^{1✉}, Антон Сергеевич Кинтюхин²

^{1,2} Сургутский государственный университет, Сургут, Россия

¹ bdk0720@gmail.com ✉, <https://orcid.org/0000-0003-3977-3281>

² anton-kintyuhin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8238-6474>

Аннотация. В статье представлены результаты исследования с использованием метода теории хаоса-самоорганизации динамики параметров походки человека при различной скорости движения. Исследование изменения значений площади квазиаттракторов на разных скоростных режимах проведено с участием 18 испытуемых в возрасте 20 ± 2 года на беговой дорожке с переменной скоростью от 2 до 7 км/ч с регистрацией параметров длины шага, амплитуды моды, индекса походки, длительности поддержки и перехода ног. Установлено наибольшее значение площади квазиаттракторов при скорости ходьбы 2 км/ч, ее уменьшение при скорости 4 км/ч и увеличение при максимальной скорости. Таким образом, динамика площади квазиаттракторов в меньшую сторону может свидетельствовать о переходе системы в стационарное состояние.

Ключевые слова: походка, параметры ходьбы, теория хаоса-самоорганизации

Для цитирования: Берестин Д. К., Кинтюхин А. С. Динамика параметра квазиаттракторов походки человека // Вестник кибернетики. 2023. Т. 22, № 4. С. 6–10. DOI 10.35266/1999-7604-2023-4-1.

Original article

DYNAMICS OF A QUASI-ATTRACTORS' PARAMETER OF HUMAN GAIT

Dmitry K. Berestin^{1✉}, Anton S. Kintyukhin²

^{1,2} Surgut State University, Surgut, Russia

¹ bdk0720@gmail.com ✉, <https://orcid.org/0000-0003-3977-3281>

² anton-kintyuhin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8238-6474>

Abstract. The article presents findings of studying the dynamics of human gait parameters at various speed using the chaos and self-organization method. The examination of change in parameters of quasi-attractors square at different speed modes is conducted on 18 participants of 20 ± 2 y. o. running on a treadmill with variable speed from 2 to 7 km/h. Their parameters of step length, mode amplitude, gait index, duration of legs support and steps are recorded. The highest quasi-attractors square parameter was determined at a speed of 2 km/h, the decreased one at a speed of 4 km/h, and an increase at the maximum speed. Therefore, the decreasing dynamics of quasi-attractors square can indicate a transition of the system into a steady state.

Keywords: gait, walking parameters, chaos and self-organization theory

For citation: Berestin D. K., Kintyukhin A. S. Dynamics of a quasi-attractors' parameter of human gait. *Proceedings in Cybernetics*. 2023;22(4):6–10. DOI 10.35266/1999-7604-2023-4-1.

ВВЕДЕНИЕ

До недавнего времени походка человека обычно рассматривалась как автоматизиро-

ванная двигательная задача, требующая минимального когнитивного участия более высокого уровня. Однако появляется все больше

данных, связывающих изменения исполнительной функции и внимания с нарушениями походки. Требования к вниманию при ходьбе часто проверяют с использованием методологии двойного выполнения задач [1]. Походка человека позволяет понять его внутренний мир, психологическое состояние, определить характер, выяснить индивидуальные особенности [2]. Возрастные физиологические изменения представляют собой сочетание изменений подвижности и характера походки и связаны со снижениями самостоятельности и функционального состояния организма, с ухудшением качества жизни. Снижение скорости ходьбы является наиболее устойчивым возрастным изменением, но есть и другие факторы, влияющие на изменение походки: нарушение баланса и устойчивости, силы нижних конечностей и страх падения [3].

Анализ походки является важным методом клинической диагностики и мониторинга определенных заболеваний, он находит применение в спорте, физической реабилитации, наблюдении и распознавании людей, в компьютерных играх, моделировании и многих других областях [4].

С использованием динамической теории систем с помощью математического подхода возможно объяснить поведение таких сложных систем, как биологические или управление их двигательной активностью. При ходьбе человека наблюдается U-образная зависимость между двумя параметрами – скоростью ходьбы и статистическими свойствами устойчивости временного интервала от шага к шагу [5, 6].

Цель исследования – изучение динамики параметров походки человека при различной скорости движения с использованием метода теории хаоса-самоорганизации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Группу исследования параметров походки человека составили 18 студентов Сургутского государственного университета в возрасте 20 ± 2 года. Перед началом исследования каждой участницей было подписано информированное согласие с инструкциями и этапами эксперимента, а также согласие на обработку персональных данных. Все участницы не имели противопоказаний по медицинскому заклю-

чению, что соответствовало 1-й группе здоровья. Перед экспериментом у каждой испытуемой измеряли следующие параметры: рост, длина ноги (см), масса тела (кг). Перед началом эксперимента производилась калибровка оборудования. Исследование заключалось в прохождении тредмил-теста с использованием беговой дорожки фирмы Matrix. Испытуемые должны были пройти шесть этапов на каждом из режимов. Скорость движения составляла от 2 км/ч с последующим увеличением на 1 км/ч до 7 км/ч, продолжительность каждого этапа – 5 мин, общая длительность эксперимента – 30 мин. Для регистрации параметров использовали видеокамеру GoPro Hero 6 Black с техническими характеристиками: частота кадров 120 кадров/с, разрешение съемки Full HD (1920×1080). Для определения положения к пяткам ног испытуемых были прикреплены специальные метки: на левой ноге – с наружной стороны, на правой ноге – с внутренней. Параметры походки определяли с использованием программного обеспечения «DynaMick» собственной разработки.

В результате обработки с помощью программы «DynaMick» получено значение длины шага (ДШ) каждого испытуемого в мм, на основании которой на плоскости строили квазиаттрактор (КА) и рассчитывали его площадь (S) как произведение двух вариационных размахов фазовых координат Δx_1 и Δx_2 , т. е. $S = \Delta x_1 \times \Delta x_2$ [7, 8]. Первой координатой x_1 является значение ДШ испытуемого, а вторая x_2 представляет собой дифференцированный сигнал x_1 . Таким образом, полученная вторая координата представляет собой скорость изменения длины шага [7, 8].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате были построены графики шести фазовых траекторий на шести скоростях движения для каждого испытуемого. Для примера представим четыре фазовых плоскости одного испытуемого как типичный пример динамики изменения площади S КА на различных скоростях движения.

На рис. 1 показаны фазовые траектории КА, где рис. 1А соответствует скорости движения

испытуемого 2 км/ч $S_1 = 33\,629$ у. е.; рис. 1В – скорости движения испытуемого 4 км/ч $S_2 = 18\,055$ у. е.; рис. 1С – увеличению скорости движения испытуемого до 6 км/ч $S_3 = 18\,325$ у. е.; рис. 1D – максимальной скорости движения 7 км/ч $S_4 = 63\,191$ у. е.

В результате полученных данных наблюдается динамика изменения значения площадей S КА. Таким образом установлено, что при минимальной скорости движения испытуемого 2 км/ч площадь КА значительно отличается по отношению к площадям КА на остальных скоростных режимах. При скорости движения испытуемого 4 км/ч наблюдается уменьшение площади КА в 1,86 раза, при скорости движения до 6 км/ч – незначительное увели-

чение площади КА, при максимальной скорости движения 7 км/ч – увеличение площади КА. В результате проведенного лабораторного исследования была получена динамика изменения площадей КА, так, при скорости движения испытуемого от 2 до 5 км/ч наблюдается последовательное уменьшение площади КА, а при скорости движения в 5 км/ч она минимальна и составляет 15 489 у. е. При скорости движения испытуемого 6 км/ч наблюдается незначительное увеличение площади КА по отношению к скорости движения 5 км/ч. При максимальной скорости движения 7 км/ч наблюдается максимальное значение площади КА. Все значения площадей КА при различной скорости движения представлены на рис. 2.

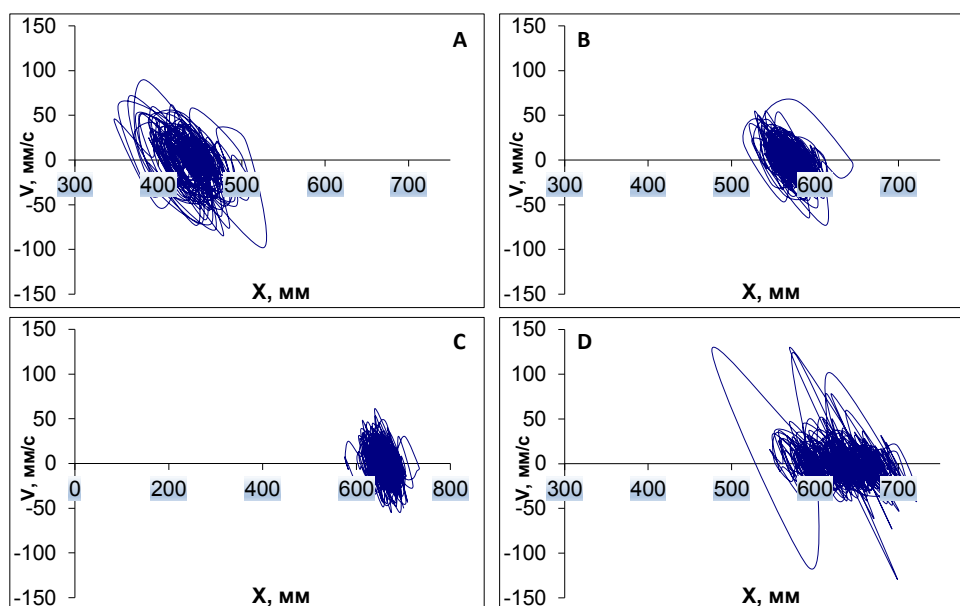


Рис. 1. Пример фазовых траекторий одного испытуемого на различной скорости движения
 Примечание: составлено авторами.

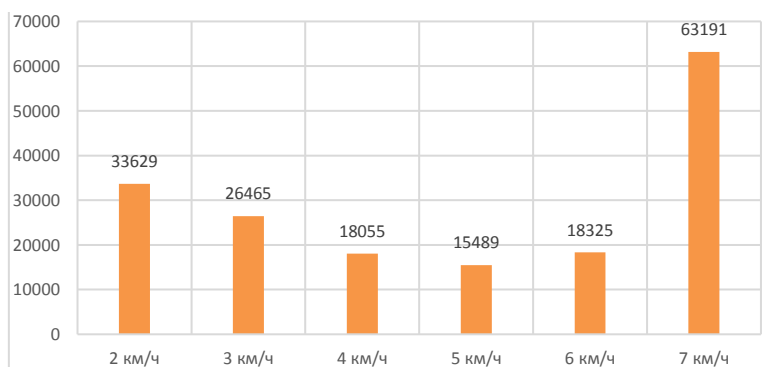


Рис. 2. Динамика значений площадей КА для одного испытуемого на различной скорости движения в лабораторных условиях (2–7 км/ч)
 Примечание: составлено авторами.

В результате проведенного эксперимента в лабораторных условиях для каждого испытуемого была получена динамика изменения значений площади КА при разной скорости движения. Наблюдаемая динамика изменения значений площади КА имеет приблизительную параболическую форму, которую можно описать с помощью математических законов, и которая может свидетельствовать о переходе системы в стационарное состояние.

По результатам исследования можно определить оптимальную скорость движения испытуемого. Например, увеличение скорости движения приводит к уменьшению площади КА, и можно предположить, что для данного испытуемого скорость движения в диапазоне от 4 до 6 км/ч является наиболее подходящей, что подтверждается субъективными ощущениями самого испытуемого.

Оптимальность скорости движения влияет не только на изменение площади КА, но также на вариабельность длины шага. Например, при скорости 2 км/ч длина шага может варьировать от 346 до 526 мм, при скорости 4 км/ч – от 514 до 644 мм, а при скорости 7 км/ч –

от 476 до 720 мм. Кроме того, динамика изменения площади КА также указывает на то, что на скорости 7 км/ч система не находится в неидеальном состоянии, что приводит к повышению вариабельности длины шага. Это, в свою очередь, может привести к тому, что на данной скорости испытуемый пройдет меньшее расстояние, чем при скорости движения в диапазоне от 4 до 6 км/ч.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эксперимент позволил получить динамику изменения длины шага в зависимости от скорости ходьбы и провести расчеты параметров с применением методов теории хаоса-самоорганизации, учитывающих изменение площади квазиаттрактора. Результаты показали, что при уменьшении скорости движения испытуемого вариабельность длины шага также уменьшается, а при достижении максимальной скорости она достигает максимума. Динамика изменения параметров, рассчитанная по методам теории хаоса-самоорганизации, также отражает изменение площади квазиаттрактора.

Список источников

1. Tudor-Locke C., Han H., Aguiar E. J. et al. How fast is fast enough? Walking cadence (steps/min) as a practical estimate of intensity in adults: A narrative review. *Br J Sports Med.* 2018;52(12):776–788.
2. Галич А. А. Походка как визуальный элемент портретной характеристики в мемуарном тексте // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 10–2. С. 15–18.
3. Cruz-Jimenez M. Normal changes in gait and mobility problems in the elderly. *Phys Med Rehabil Clin N Am.* 2017;28(4):713–725.
4. Jarchi D., Pope J., Lee T. K. M. et al. A review on accelerometry-based gait analysis and emerging clinical applications. *IEEE Rev Biomed Eng.* 2018;11:177–194.
5. Pearson M., Dieberg G., Smart N. Exercise as a therapy for improvement of walking ability in adults with multiple sclerosis: A meta-analysis. *Arch Phys Med Rehabil.* 2015;96(7):1339–1348.e7.
6. DeLany J. P., Kelley D. E., Hames K. C. et al. Effect of physical activity on weight loss, energy expenditure, and energy intake during diet induced weight loss. *Obesity.* 2014;22(2):363–370.
7. Бетелин В. Б., Еськов В. М., Галкин В. А. и др. Стохастическая неустойчивость в динамике поведения сложных гомеостатических систем // До-

References

1. Tudor-Locke C., Han H., Aguiar E. J. et al. How fast is fast enough? Walking cadence (steps/min) as a practical estimate of intensity in adults: A narrative review. *Br J Sports Med.* 2018;52(12):776–788.
2. Galich A. A. Pokhodka kak vizualnyi element portretnoi kharakteristiki v memuarnom tekste. *Aktualnye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk.* 2016;(10–2):15–18. (In Russian).
3. Cruz-Jimenez M. Normal changes in gait and mobility problems in the elderly. *Phys Med Rehabil Clin N Am.* 2017;28(4):713–725.
4. Jarchi D., Pope J., Lee T. K. M. et al. A review on accelerometry-based gait analysis and emerging clinical applications. *IEEE Rev Biomed Eng.* 2018;11:177–194.
5. Pearson M., Dieberg G., Smart N. Exercise as a therapy for improvement of walking ability in adults with multiple sclerosis: A meta-analysis. *Arch Phys Med Rehabil.* 2015;96(7):1339–1348.e7.
6. DeLany J. P., Kelley D. E., Hames K. C. et al. Effect of physical activity on weight loss, energy expenditure, and energy intake during diet induced weight loss. *Obesity.* 2014;22(2):363–370.
7. Betelin V. B., Eskov V. M., Galkin V. A. et al. Stochastic volatility in the dynamics of complex homeostatic systems. *Doklady Akademii nauk.*

- клады Академии наук. 2017. Т. 472, № 6. С. 642–644. DOI 10.7868/S0869565217060044.
8. Еськов В. М., Еськов В. В., Вохмина Ю. В. и др. Эволюция хаотической динамики коллективных мод как способ описания поведения живых систем // Вестник Московского университета. Серия 3. Физика. Астрономия. 2016. № 2. С. 3–15.
- 2017;472(6):642–644. DOI 10.7868/S0869565217060044. (In Russian).
8. Eskov V. M., Eskov V. V., Vokhmina Yu. V. et al. The evolution of the chaotic dynamics of collective modes as a method for the behavioral description of living systems. *Moscow University Physics Bulletin*. 2016;(2):3–15. (In Russian).

Информация об авторах

Д. К. Берестин – кандидат физико-математических наук, доцент.

А. С. Кинтюхин – кандидат биологических наук, доцент.

Information about the authors

D. K. Berestin – Candidate of Sciences (Physics and Mathematics), Docent.

A. S. Kintyukhin – Candidate of Sciences (Biology), Docent.