



# Фундаментальная медицина

Оригинальное исследование

УДК 340.6

<http://dx.doi.org/10.35177/1994-5191-2023-2-9>

## АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ЦИКЛА ШАГА ЧЕЛОВЕКА ПРИ ДВИЖЕНИИ ПО БЕГОВОЙ ДОРОЖКЕ С РАЗЛИЧНОЙ СКОРОСТЬЮ

Елена Евгеньевна Фомина<sup>1</sup>, Оксана Игоревна Косухина<sup>2</sup>, Сергей Валерьевич Леонов<sup>3✉</sup>, Игорь Валентинович Власюк<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Тверской государственный технический университет, Тверь, Россия, f-elena2008@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1028-0750>

<sup>2</sup>Московский государственный медико-стоматологический университет имени А.И. Евдокимова Минздрава России, Москва, Россия, u967nk@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1665-3666>

<sup>3✉</sup>111 Главный государственный центр судебно-медицинских и криминалистических экспертиз; Московский государственный медико-стоматологический университет имени А.И. Евдокимова Минздрава России, Москва, Россия, sleonoff@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4228-8973>

<sup>4</sup>Дальневосточный государственный медицинский университет, Хабаровск, Россия, vlasuik1971@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9023-6898>

**Аннотация.** В настоящей статье проведен сравнительный анализ характеристик цикла шага человека при движении по электрической беговой дорожке. В качестве материалов исследования были использованы видеозаписи ходьбы добровольцев со скоростью от 3 км/ч до 7 км/ч. Продолжительность каждой видеозаписи составляла 20-30 секунд таким образом, чтобы испытуемый сделал 7-10 шагов в естественном темпе ходьбы без наклона туловища и контакта рук с поручнями или электронным табло дорожки. Видеосъемка осуществлялась таким образом, чтобы было зафиксировано полное попадание в кадр платформы дорожки и ног испытуемого, а также четко просматривался контакт с платформой дорожки обеих стоп. Видеозапись дополнялась сопровождающей информацией, включающей пол, возраст, рост и массу тела индивида. Анализ результатов на каждом скоростном режиме осуществлялся с использованием мультимедиаплеера Light Alloy и «Программного комплекса для расчета характеристик цикла шага». Была сформирована база данных, содержащая информацию о 15 индивидах, с каждым из них было ассоциировано 20 записей, соответствующих цифровым характеристикам 20 шагов (по четыре шага на скорости от 3 км/ч до 7 км/ч). Были получены и проанализированы средние значения таких характеристик цикла шага, как продолжительность периода переноса и двойной опоры в процентах от цикла шага и секундах, длина цикла шага в секундах, частота ходьбы, темп ходьбы отдельно для мужчин, женщин и для всей выборки в целом. Исследовано изменение перечисленных показателей в зависимости от скорости ходьбы, проанализировано изменение частоты шага с увеличением скорости. Полученные результаты могут быть использованы для разработки методики идентификации человека на кадрах видеосъемки.

**Ключевые слова:** идентификация личности, походка, цикл шага

**Для цитирования:** Анализ характеристик цикла шага человека при движении по беговой дорожке с различной скоростью / Е.Е. Фомина и др. // Дальневосточный медицинский журнал. – 2023. – № 2. – С. 52-57. <http://dx.doi.org/10.35177/1994-5191-2023-2-9>.

## ANALYSIS OF HUMAN STEP CYCLE CHARACTERISTICS DURING PACING ON TREADMILL AT DIFFERENT SPEED

Elena E. Fomina<sup>1</sup>, Oksana I. Kosukhina<sup>2</sup>, Sergey V. Leonov<sup>3✉</sup>, Igor V. Vlasjuk<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Tver State Technical University, Tver, Russia, f-elena2008@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1028-0750>

<sup>2</sup>Moscow State Medical and Dental University named after A.I. Evdokimov, Moscow, Russia, u967nk@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1665-3666>



<sup>3</sup>111 Main State Center for Forensic and Forensic Examinations; Moscow State Medical and Dental University named after A.I. Evdokimov, Moscow, Russia, sleonoff@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4228-8973>

<sup>4</sup>Far Eastern State Medical University, Khabarovsk, Russia, vlasuik1971@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9023-6898>

**Abstract.** In this article, a comparative analysis of the characteristics of a person's step cycle while pacing on an electric treadmill was carried out. Video recordings of volunteers walking at speeds ranging from 3 km/h to 7 km/h were used as study materials. The duration of each video recording was 20-30 seconds in such a way that the subject took 7-10 steps at a natural walking pace without tilting the torso and contact of the hands with the handrails or electronic track scoreboard. Video shooting was carried out in such a way that the full hit of the track and legs of the test subject into the frame of the platform was recorded, and the contact with the track platform of both feet was clearly visible. The video recording was supplemented with accompanying information, including gender, age, height and body weight of the individual. The analysis of the results at each speed mode was carried out using the Light Alloy multimedia player and the «Step Cycle Characterization Software». A database was formed containing information about 15 individuals, with each of them 20 records corresponding to the digital characteristics of 20 steps (four steps at speeds from 3 km/h to 7 km/h) were associated. Mean values of step cycle characteristics such as the duration of the transfer period and double support as a percentage of the step cycle and seconds, step cycle length in seconds, walking frequency, walking pace separately for men, women, and for the overall sample were obtained and analyzed. The change in the listed indicators depending on walking speed was analyzed; the change in step frequency with increasing speed was discussed. The obtained results can be used to develop a technique for identifying a person in video footage.

**Keywords:** identity identification, gait, step cycle.

**For citation:** Analysis of human step cycle characteristics during pacing on treadmill at different speed / E.E. Fomina, et al. // Far Eastern medical journal. – 2023. – № 2. – P. 52-57. <http://dx.doi.org/10.35177/1994-5191-2023-2-9>.

В настоящее время, в связи с совершенствованием систем видеонаблюдения, актуальной является задача идентификации индивида по особенностям походки на кадрах видеосъемки. Одним из параметров биолого-криминалистической идентификации, наряду с исследованием силуэта и манеры ходьбы, является такой кинематический показатель, как цикл шага, который может быть оцифрован и описан количественно.

В монографии Д.В. Скворцова (1996) проведено исследование биомеханики нормальной походки и предложены следующие показатели, характеризующие цикл шага: периоды двойной опоры и переноса, частота шага [1].

Как отмечено в статье Удочкина Л.А. и соавторов (2019), «... Анализ параметров шагового цикла человека позволяет выявить особенности кинематики локомоторного аппарата человека. ...» [2]. Детальное исследование показателей, характеризующих цикл шага, может позволить диагностировать индивидуальные нарушения функций опорно-двигательного аппарата

исследуемого индивида, что будет способствовать принятию решения при проведении экспертизы идентификации личности [3-5].

Можно отметить ряд работ, в которых описаны сходные исследования по описанной проблематике. Так, в работе Удочкина Л.А. и соавторов (2019) проведен анализ пространственно-временных параметров ходьбы в зависимости от соматотипа [2]. В других работах проводился анализ особенностей пространственно-временных параметров ходьбы человека в зависимости от пола и возраста при выполнении когнитивных задач [6-8]. В работе Abbruzzese, L.D., et al. (2014) также проводился анализ характеристик походки при одновременном движении и решении задач как у взрослых, так и у детей [9].

Целью настоящего исследования является изучение характеристик параметров ходьбы, а именно параметров цикла шага, для дальнейшего их анализа с целью разработки системы идентификации личности на кадрах видеосъемки.

### Материалы и методы

В качестве материалов исследования выступали видеозаписи, на которых испытуемые ходили по электрической беговой дорожке со скоростью, изменяющейся в диапазоне от 3 км/ч до 7 км/ч. Запись ходьбы осуществлялась на камеру смартфона. Время съемки каждого скоростного режима выбиралось таким образом, чтобы испытуемый сделал 7-10 шагов естественной ходьбы без наклона туловища и контакта рук с поручнями или электронным табло дорожки. В среднем длина каждой видеозаписи составляла 20-30 секунд. Обязательным условием видеосъемки явля-

лось полное попадание в кадр платформы дорожки и ног испытуемого, а также четкая визуализация контакта с платформой дорожки обеих стоп.

Каждая видеозапись была дополнена сопровождающей информацией, включающей пол, возраст, рост и массу тела индивида.

Полученные для каждого испытуемого видеоролики, соответствующие различным скоростным режимам, обрабатывались с использованием мультимедиаплеера Light Alloy (v4.11.2 свободная версия). Каждый ролик раскладывался в видеоряд, частота

дискретизации которого соответствовала частоте кадров (количество кадров в секунду).

Полученный видеоряд вместе с сопровождающей информацией загружался в «Программный комплекс для расчета характеристик цикла шага», разработанный совместно сотрудниками кафедры информатики и прикладной математики Тверского государственного технического университета и Московского государственного медико-стоматологического университета имени А.И. Евдокимова (рис. 1).

Анализируя видеоряд, эксперт обрабатывал последовательные кадры, соответствующие полному циклу шага. Цикл шага – время от начала контакта с опорой данной ноги до следующего такого же контакта этой же ногой [1]. Цикл шага включает в себя два основных периода – период двойной опоры, когда обе ноги находятся в контакте с опорой, и период переноса. Двойная опора и период переноса имеют место дважды за цикл шага (рис. 2).

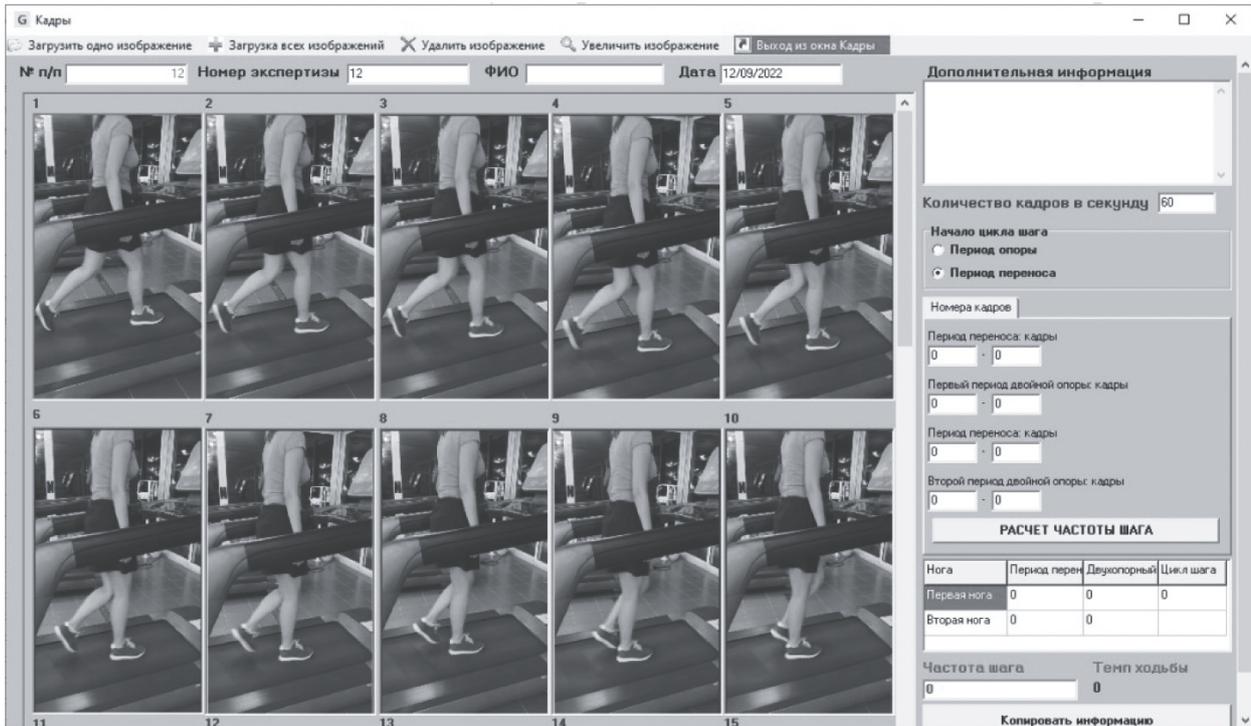


Рис. 1. Программный комплекс для расчета характеристик цикла шага: окно Кадры



Рис. 2. Периоды цикла шага (по Скворцову Д.В., 1996) [1]

Проводилась фиксация номеров кадров, соответствующих началу и концу цикла. Фиксация начиналась либо с периода двойной опоры, либо с периода переноса. При фиксации производилась запись о том, с какой ноги (левой или правой) начинался рассматриваемый цикл. В автоматическом режиме производился расчет таких показателей цикла шага, как: длины первого и второго периодов двойной опоры в секундах и процентах от цикла шага; длины первого и второго периодов переноса в секундах и процентах

### Результаты и обсуждение

На первом этапе анализа результатов была проверена их воспроизводимость. Одну и ту же видеозапись обрабатывали разные эксперты, затем проводи-

от цикла шага; длина цикла шага в секундах; частота ходьбы (количество шагов в минуту); темп ходьбы согласно классификации предложенной Д.В. Скворцовым (1996) [1].

В результате была сформирована база данных, содержащая информацию о 15 индивидах в возрасте от 16 до 60 лет (6 мужчин и 9 женщин), с каждым из которых было ассоциировано 20 записей, соответствующих цифровым характеристикам 20 шагов (по четыре шага на скорости 3 км/ч, 4 км/ч, 5 км/ч, 6 км/ч, 7 км/ч). Обработка четырех шагов производилась с целью выявления индивидуальных особенностей ходьбы испытуемого при опоре на левую и правую ногу, а также с целью получения стабильных результатов.

Собранная информация была выгружена в табличный процессор MS Excel, где производилась дальнейшая статистическая обработка.

лось сравнение измерений. Расхождение в данных, полученных разными экспертами, составило не более 1 %, что говорит о хорошей воспроизводимости



и возможности применения метода для исследования числовых характеристик цикла шага.

Анализ результатов осуществлялся по нескольким направлениям: описательная статистика, исследование показателей в динамике, анализ пригодности для дальнейшего применения при решении задач идентификации.

Расчет показателей описательной статистики для характеристик цикла шага позволил установить, что длина каждого периода двойной опоры в среднем составляет около 14,7 % ( $\pm 1,2$  %) от цикла шага, а длина каждого периода переноса – в среднем 35,2 % ( $\pm 1,2$  %). В свою очередь, средняя продолжительность каждого периода двойной опоры равна 0,16 с ( $\pm 0,025$  с), а каждого периода переноса – 0,38 секунд ( $\pm 0,01$  с).

Суммарное время двойной опоры за цикл шага в среднем равно 29,4 %, а время переноса – 70,6 % от цикла шага, что соответствует 0,34 секундам и 0,76 секундам соответственно.

Согласно полученным данным, средняя продолжительность цикла шага равна 1,1 секунды ( $\pm 0,08$  с).

Описанные выше показатели были отдельно проанализированы для мужчин и женщин. Результат представлен в таблице 2.

**Таблица 2 – Характеристики цикла шага для мужчин и женщин**

Характеристика	Мужчины	Женщины
Средняя продолжительность периода двойной опоры:		
в % от цикла шага	15,4 ( $\pm 1,03$ )	14,2 ( $\pm 1,4$ )
в секундах	0,17 ( $\pm 0,023$ )	0,16 ( $\pm 0,027$ )
Средняя продолжительность периода переноса:		
в % от цикла шага	34,6 ( $\pm 1,1$ )	35,8 ( $\pm 1,5$ )
в секундах	0,38 ( $\pm 0,01$ )	0,38 ( $\pm 0,01$ )
Средняя продолжительность цикла шага, в секундах	1,12 ( $\pm 0,07$ )	1,07 ( $\pm 0,07$ )

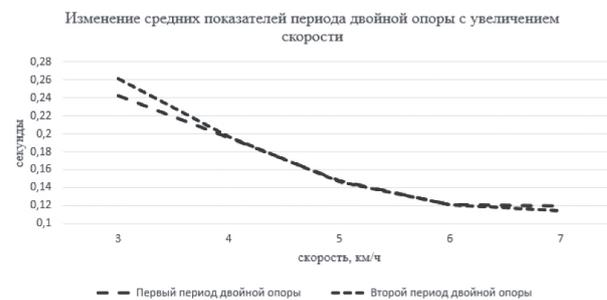
Для мужчин характерны более длительные периоды двойной опоры и более короткие периоды переноса, чем для женщин. Также средняя продолжительность цикла шага для мужчин более продолжительная чем у женщин. Эта особенность подлежит более детальному исследованию и может быть в дальнейшем использована для формулирования решающих правил при различении мужчин и женщин на видеосъемки, в случае, если визуальная идентификация пола невозможна.

Исследование показателей цикла шага в динамике показало, что с увеличением скорости ходьбы происходит уменьшение длин первого и второго периодов двойной опоры, а также первого и второго периодов переноса, длины цикла шага, что одновременно приводит к увеличению частоты шага (рис. 3-5).

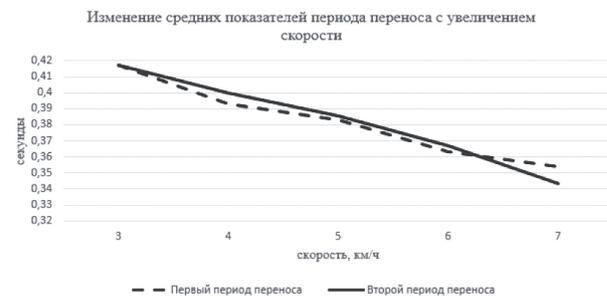
Располагая данными о взаимосвязи между характеристиками цикла шага и скоростью ходьбы, возможно сопоставление и дальнейшая экспертиза по

идентификации индивидов при их движении с разной скоростью на кадрах видеосъемки.

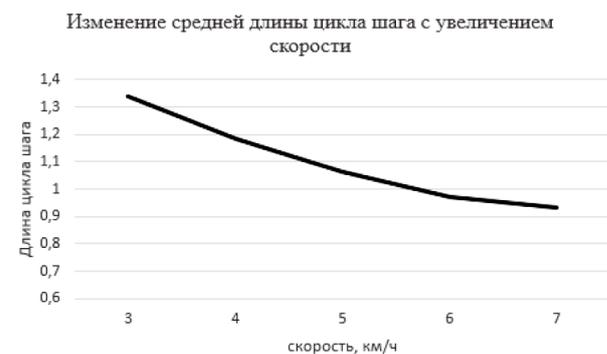
В таблице 3 представлены средние значения частоты шага при ходьбе по дорожке со скоростью от 3 км/ч до 7 км/ч для всей выборки, а также отдельно для мужчин и для женщин. Нужно отметить, что для женщин характерна более высокая частота шага при ходьбе на всех скоростных режимах.



**Рис. 3.** Изменение средних показателей периода двойной опоры с увеличением скорости



**Рис. 4.** Изменение средних показателей периода переноса с увеличением скорости



**Рис. 5.** Изменение средней длины цикла шага с увеличением скорости

**Таблица 3 – Изменение средней частоты шага с увеличением скорости**

Скорость, км/ч	Средняя частота шага. Вся выборка (шагов в минуту)	Средняя частота шага для мужчин (шагов в минуту)	Средняя частота шага для женщин (шагов в минуту)
3	91	89	92
4	101	100	102
5	113	110	115
6	124	121	125
7	130	126	135



Установлено, что как для периодов двойной опоры, так и для периодов переноса, с увеличением скорости, длины соответствующих периодов уменьшаются в среднем на 3–7 %, что говорит о возможности использования характеристик цикла шага для идентификации индивида при ходьбе с различной скоростью.

В результате проведенного исследования были получены цифровые характеристики цикла шага человека при ходьбе по беговой дорожке со скоростью от 3 км/ч до 7 км/ч. Отдельно проанализированы значения показателей для мужчин и женщин, установлено,

что мужчинам свойственны более длительные периоды двойной опоры и более короткие периоды переноса, а также большая продолжительность цикла шага. Анализ изменения показателей в динамике позволил выявить, что с увеличением скорости ходьбы происходит уменьшение всех цифровых характеристик цикла шага, что одновременно приводит к увеличению частоты шага. Проведенное исследование может быть использовано для построения алгоритма идентификации индивида по особенностям походки на кадрах видеосъемки.

#### Список источников

1. Борзиков В.В. Видеоанализ движений человека в клинической практике (обзор) // СТМ. – 2015 – Т. 7, № 4. – С. 201-210.
2. Мороз В.М., Йолтуховский М.В., Власенко О.В., Московко Г.С., Богомаз О.В., Рокунец И.Л., Тищенко И.В., Костюк Л.В., Супрунов К.В. Половые особенности ходьбы при одновременном выполнении когнитивных заданий // Вестник морфологии. – 2019. – Т. 25, № 2. – С. 5-15.
3. Мороз В.М., Йолтуховский М.В., Власенко О.В., Московко Г.С., Богомаз О.В., Рокунец И.Л., Тищенко И.В., Костюк Л.В., Супрунов К.В. Возрастные особенности ходьбы при одновременном выполнении когнитивных заданий // Biomedical and Biosocial Anthropology. – 2019. – № 1 (34). – С. 68-76.
4. Скворцов Д.В. Клинический анализ движений. Анализ походки. – Иваново Издательство НППЦ – «Стимул», 1996. – 344 с.
5. Удочкина Л.А., Воронцова О.И., Галушко Т.Г. Конституциональные особенности шагового цикла человека. Морфологический альманах имени В.Г. Ковешникова. – 2019. – Т. 17, № 4. – С. 76-78.
6. Abbruzzese L.D., Rao A.K., Bellows R., Figueroa K., Levy J., Lim E., Puccio L. (2014). Effects of manual task complexity on gait parameters in school-aged children and adults // Gait & posture. – № 40 (4). – P. 658-663.
7. Al-Yahya E., Dawes H., Smith L., Dennis A., Howells K., Cockburn, J. (2011). Cognitive motor interference while walking: a systematic review and meta-analysis // Neuroscience & Biobehavioral Reviews. – № 35 (3). – P. 715-728.
8. Andriacchi T.P., Alexander E.J. Studies of human locomotion: past, present and future // J Biomech. – 2000; 33(10):1217-1224, [http://dx.doi.org/10.1016/S0021-929\(00\)00061-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0021-929(00)00061-0).
9. Herda L., Fua P., Plänklers R., Boulic R., Thalmann D. Using skeleton-based tracking to increase the reliability of optical motion capture // Hum Mov Sci. – 2001. – № 20 (3). – P. 313-341. [http://dx.doi.org/10.1016/s0167-9457\(01\)00050-1](http://dx.doi.org/10.1016/s0167-9457(01)00050-1).

#### References

1. Borzikov V.V. Video analysis of human movements in clinical practice (review ) // STM. – 2015. – Vol. 7, № 4. – P. 201-210.
2. Moroz V.M., Yoltukhovsky M.V., Vlasenko O.V., Moskovko G.S., Bogomaz O.V., Rokunets I.L., Tishchenko I.V., Kostyuk L.V., Suprunov K.V. Gender-related features of walking while simultaneously performing cognitive tasks // Journal of Morphology. – 2019. – Vol. 25, № 2. – P. 5-15.
3. Moroz V.M., Yoltukhovsky M.V., Vlasenko O.V., Moskovko G.S., Bogomaz O.V., Rokunets I.L., Tishchenko I.V., Kostyuk L.V., Suprunov K.V. Age characteristics of walking while simultaneously performing cognitive tasks // Biomedical and Biosocial Anthropology. – 2019. – № 1 (34). – P. 68-76.
4. Skvortsov D.V. Clinical analysis of movements. Gait analysis: NPC Publishing House – «Stimulus», Ivanovo, 1996. – 344 p.
5. Udochkina L.A., Vorontsova O.I., Galushko T.G. Constitutional features of the human step cycle // Morphological Almanac named after V.G. Koveshnikov. – 2019. – Vol. 17, № 4. – P. 76-78.
6. Abbruzzese L.D., Rao A.K., Bellows R., Figueroa K., Levy J., Lim E., Puccio L. (2014). Effects of manual task complexity on gait parameters in school-aged children and adults // Gait & posture. – № 40 (4). – P. 658-663.
7. Al-Yahya E., Dawes H., Smith L., Dennis A., Howells K., Cockburn, J. (2011). Cognitive motor interference while walking: a systematic review and meta-analysis // Neuroscience & Biobehavioral Reviews. – № 35 (3). – P. 715-728.
8. Andriacchi T.P., Alexander E.J. Studies of human locomotion: past, present and future // J Biomech. – 2000; 33(10):1217-1224, [http://dx.doi.org/10.1016/S0021-929\(00\)00061-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0021-929(00)00061-0).



9. Herda L., Fua P., Plänkens R., Boulic R., Thalmann D. Using skeleton-based tracking to increase the reliability of optical motion capture // Hum Mov Sci. – 2001. – № 20 (3). – P. 313-341. [http://dx.doi.org/10.1016/s0167-9457\(01\)00050-1](http://dx.doi.org/10.1016/s0167-9457(01)00050-1).

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.  
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article.  
The authors declare no conflicts of interests.

**Статья принята к публикации** 10.03.2023.  
**The article was accepted for publication** 10.03.2023.

