



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-23-4-92-100>

УДК 514.742.2

АНАЛИЗ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ БЕГА У ДЕТЕЙ НА ОСНОВЕ ЗАХВАТА ДВИЖЕНИЙ

Г. Г. ГРИГОРЬЕВА¹, Н. С. ДАВЫДОВА², В. Е. ВАСЮК³, К. Э. ШУКУРОВ⁴

¹Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)

²Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(Минск, Республика Беларусь)

³Белорусский государственный университет физической культуры (Минск, Республика Беларусь)

⁴Ташкентский университет информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразми
(Ташкент, Республика Узбекистан)

Аннотация. Представлен алгоритмический подход к анализу кинематических параметров бега у детей с использованием безмаркерных систем захвата движений. Проанализированы ключевые аспекты эффективности беговых локомоций, разработаны алгоритмы расчета временных и пространственных параметров бега на основе матриц координат биокинематических ориентиров тела человека. Предлагаемая методика анализа данных обеспечивает получение высокоточных количественных показателей, что, в свою очередь, способствует более углубленному биомеханическому исследованию спортивных движений у детей. Такой подход не только повышает достоверность полученных результатов, но и открывает новые горизонты для дальнейших исследований в области физического воспитания и спортивной медицины.

Ключевые слова: бег, захват движений, биомеханический анализ, кинематические параметры, векторная алгебра, цифровая обработка сигналов.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Анализ кинематических параметров бега у детей на основе захвата движений / Г. Г. Григорьева [и др.] // Доклады БГУИР. 2025. Т. 23, № 4. С. 92–100. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-23-4-92-100>.

ANALYSIS OF KINEMATIC PARAMETERS OF RUNNING IN CHILDREN BASED ON MOTION CAPTURE

GARSIIA G. GRIGORIEVA¹, NADEZHDA S. DAVYDOVA², VALERY E. VASSIOUK³,
KAMOLIDDIN E. SHUKUROV⁴

¹Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

²Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (Minsk, Republic of Belarus)

³Belarusian State University of Physical Culture (Minsk, Republic of Belarus)

⁴Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi
(Tashkent, Republic of Uzbekistan)

Abstract. An algorithmic approach to the analysis of kinematic parameters of running in children using markerless motion capture systems is presented. Key aspects of the efficiency of running locomotion are analyzed, algorithms for calculating temporal and spatial parameters of running based on the matrices of coordinates of biokinematic landmarks of the human body are developed. The proposed data analysis technique provides highly accurate quantitative indicators, which, in turn, contributes to a more in-depth biomechanical study of sports movements in children. This approach not only increases the reliability of the results obtained, but also opens up new horizons for further research in the field of physical education and sports medicine.

Keywords: running, motion capture, biomechanical analysis, kinematic parameters, vector algebra, digital signal processing.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interest.

For citation. Grigorieva G. G., Davydova N. S., Vassiouk V. E., Shukurov K. E. (2025) Analysis of Kinematic Parameters of Running in Children Based on Motion Capture. *Doklady BGUIR*. 23 (4), 92–100. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-23-4-92-100> (in Russian).

Введение

Бег, как одна из базовых форм физической активности, играет ключевую роль в развитии двигательных навыков [1, 2]. Важность раннего выявления двигательной одаренности становится все более актуальной, так как помогает в дальнейшем распределении ресурсов тренировок и создании специализированных программ [3, 4].

Существующие методы оценки общей координации и техники бега, в частности, основаны на анализе кинематических параметров. В этой связи наиболее подходящим для анализа кинематических параметров бега является метод захвата движения (motion capture), предоставляющий широкий спектр возможностей для измерений и автоматической обработки данных [5]. Камеры фиксируют движения, создавая поток изображений, которые затем обрабатываются в реальном времени [6]. Безмаркерная технология исключает необходимость в применении маркеров, что облегчает процесс тестирования и уменьшает вероятность вмешательства в естественные движения детей.

Цель исследования – разработка методики анализа кинематических параметров бега у детей на основе захвата движений, что позволит автоматизировать процесс оценки двигательных способностей у детей при спортивной дифференциации. В статье представлены алгоритмы для анализа временных и пространственных параметров, что дает возможность применить результаты исследования на практике в сфере физической культуры и спорта.

Алгоритмы вычислений кинематических параметров бега

Для анализа беговых локомоций у детей использовали систему безмаркерного захвата движения на основе программного обеспечения, разработанного компанией Simi Reality Motion Systems GmbH (Германия). С помощью этой системы осуществлялась регистрация бега с частотой 100 Гц. Результатом отслеживания движения явилась кинематическая модель тела человека, которая строилась из ключевых биокинематических ориентиров и в точности повторяла все движения во время выполнения беговых ускорений. При этом используемая система регистрации данных не имела критического значения, так как предлагаемый алгоритм является универсальным.

В качестве исходных данных для анализа принимались матрицы координат биокинематических ориентиров. С целью оптимизации алгоритмов вычислений кинематических параметров производилась селекция неиспользуемых биокинематических ориентиров: ступни, туловища, нижнего и верхнего отделов позвоночного столба, черепа. В процессе селекции были выявлены активные биокинематические ориентиры, для расчета которых использовались обозначения, приведенные в табл. 1.

Таблица 1. Активные биокинематические ориентиры
Table 1. Active biokinematic landmarks

Биокинематический ориентир	Обозначение для расчета			Звено тела
Тазобедренный сустав	$Y_{ТБС}$	$Z_{ТБС}$	$X_{ТБС}$	Бедро
Коленный сустав	$Y_{КС}$	$Z_{КС}$	$X_{КС}$	
Коленный сустав	$Y_{КС}$	$Z_{КС}$	$X_{КС}$	Голень
Голенистоопный сустав	$Y_{ГСС}$	$Z_{ГСС}$	$X_{ГСС}$	
Средняя часть стопы/стопа	$Y_{СТ}$	$Z_{СТ}$	$X_{СТ}$	Стопа
Таз	$Y_{ТАЗ}$	$Z_{ТАЗ}$	$X_{ТАЗ}$	Туловище
Шея	$Y_{ШЕЯ}$	$Z_{ШЕЯ}$	$X_{ШЕЯ}$	
Плечевой сустав	$Y_{ПС}$	$Z_{ПС}$	$X_{ПС}$	Плечо
Локтевой сустав	$Y_{ЛС}$	$Z_{ЛС}$	$X_{ЛС}$	
Локтевой сустав	$Y_{ЛС}$	$Z_{ЛС}$	$X_{ЛС}$	Предплечье
Запястье	$Y_{ЗАП}$	$Z_{ЗАП}$	$X_{ЗАП}$	
Основание черепа	$Y_{ЧЕР}$	$Z_{ЧЕР}$	$X_{ЧЕР}$	Голова

Анализ кинематических параметров бега у детей на основе захвата движений строился на основе матриц данных, содержащих координаты ключевых анатомических ориентиров тела человека, и включал следующие этапы:

- предварительная обработка данных;
- выбор кинематических параметров бега;
- расчет временных параметров бега;
- расчет пространственных параметров бега.

Предварительная обработка данных включала в себя фильтрацию сигналов и коррекцию траектории движения человека. В первом случае для повышения точности анализа и снижения влияния шумовой компоненты на регистрируемые сигналы применялся метод фильтрации. При проведении исследований использовали метод скользящего среднего (или фильтр скользящего среднего), который позволял сгладить временной ряд данных и уменьшить уровень случайного шума. Скользящее среднее может быть задано следующей формулой:

$$y[i] = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{n-1} x[i+j], \quad (1)$$

где N – ширина окна фильтра; $x[i]$, $y[i]$ – входной и выходной сигналы.

При коррекции траектории движения человека для достижения достоверных результатов необходима коррекция координат траектории движения в соответствии с глобальной системой координат [7]. Коррекция траектории движения осуществлялась на основе общего центра тяжести (ОЦТ), координаты которого рассчитывались по формулам:

$$Y_{\text{ОЦТ}} = \frac{\sum_{n=1}^m y_n P_n}{\sum_{n=1}^m P_n}; \quad (2)$$

$$X_{\text{ОЦТ}} = \frac{\sum_{n=1}^m x_n P_n}{\sum_{n=1}^m P_n}, \quad (3)$$

где y_n , x_n – координата центра тяжести n -го звена тела по горизонтальной и поперечной осям соответственно; m – общее количество звеньев тела; P_n – вес n -го звена тела.

Далее определялся угол отклонения траектории ОЦТ от горизонтальной оси, затем с помощью матрицы поворота производилась корректировка локальных координат к глобальной системе [7, 8].

Выбор кинематических параметров бега

Для расчета кинематических параметров бега необходимо выделить опорную и безопорную части беговых локомоций. Опорной частью беговых локомоций считается промежуток времени непосредственного взаимодействия спортсмена с поверхностью опоры (с момента постановки стопы на опору до момента ее отрыва от опоры), безопорной – промежуток времени безопорного положения. С целью упрощения анализа введем обозначения для ключевых временных моментов, характеризующих процесс движения:

- t_1 – момент постановки ноги на опору;
- t_2 – момент достижения минимума траектории ОЦТ;
- t_3 – момент отрыва ноги от опоры;
- t_4 – момент достижения максимума траектории ОЦТ.

Данные временные метки являются критическими для дальнейшего анализа кинематических параметров и позволяют более точно оценить динамику движений в исследуемых фазах. В целях достижения наибольшей эффективности анализа кинематических параметров бега были отображены наиболее значимые временные и пространственные характеристики [5, 9, 10].

Расчет временных параметров бега

Для построения временной структуры бегового цикла на основе координат, полученных из систем захвата движения, необходима диагностика критических временных событий для выделения ключевых временных интервалов бега, а именно – периода полета и периода опоры. Эти временные моменты могут быть определены на основании анализа сигнала угловой скорости голени в сагиттальной плоскости YZ от времени с обозначенными локальными экстремумами, соответствующими началу и завершению опорной части беговых локомоций, и выделенными периодами (рис. 1, *a*) и траектории движения ОЦТ с обозначенными локальными экстремумами, соответствующими моментам максимума и минимума траектории ОЦТ (рис. 1, *b*).

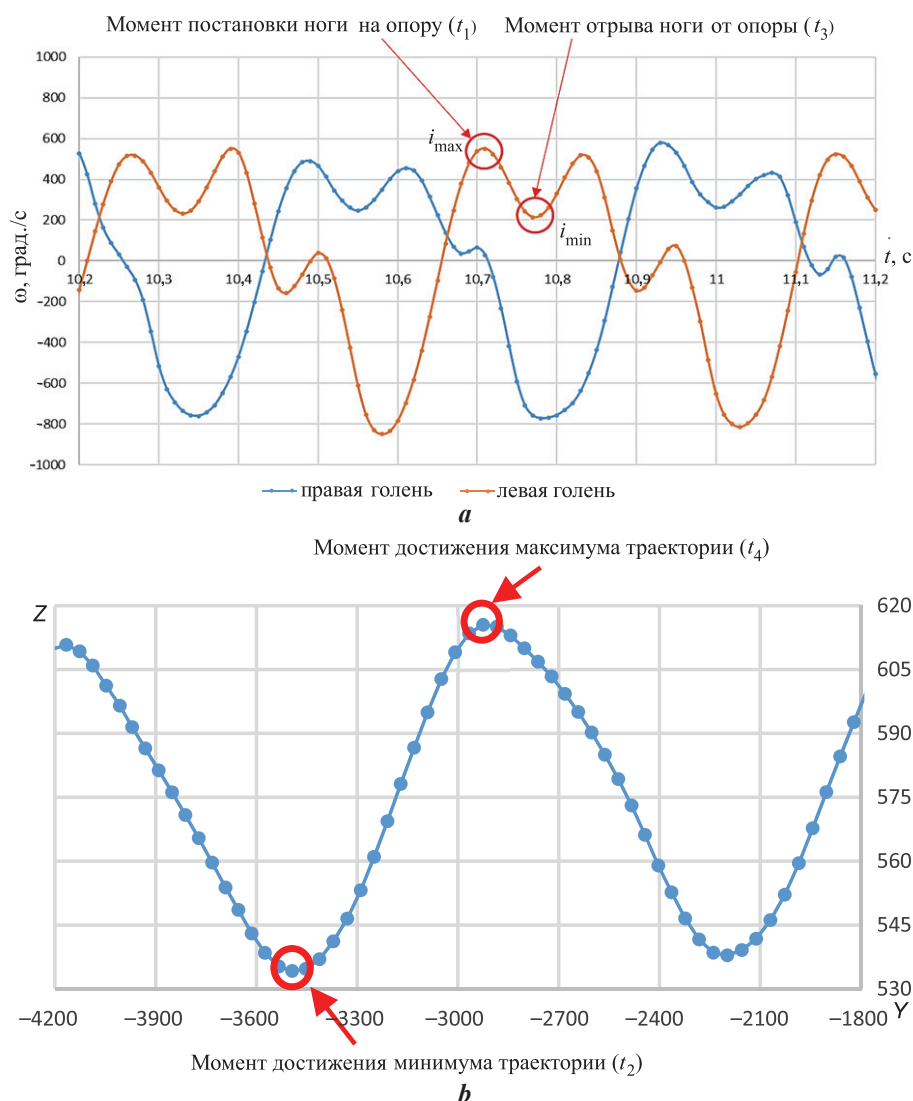


Рис. 1. Зависимость угловой скорости голени в сагиттальной плоскости YZ от времени (*a*) и траектория движения общего центра тяжести (*b*)

Fig. 1. Dependence of the angular velocity of the tibia in the sagittal plane YZ on time (*a*) and the trajectory of the general center of gravity (*b*)

Алгоритм для определения временных параметров включал следующие этапы.

1. Расчет длины голени по координатам суставов колена и голеностопа с использованием формулы вычисления евклидова расстояния

$$L_T = \sqrt{(Y_{ГСС} - Y_{КС})^2 + (Z_{ГСС} - Z_{КС})^2}, \quad (4)$$

где $Y_{ГСС}$, $Y_{КС}$, $Z_{ГСС}$, $Z_{КС}$ – координаты голеностопного и коленного суставов по горизонтальной и вертикальной осям соответственно.

2. Определение угла отклонения голени α относительно горизонтальной оси с использованием тригонометрической функции

$$\alpha = \arccos\left(\frac{Y_{ГСС} - Y_{КС}}{L_{\Gamma}}\right), \quad (5)$$

где L_{Γ} – длина голени.

На рис. 2 показан пример расположения угла голени относительно горизонтали.

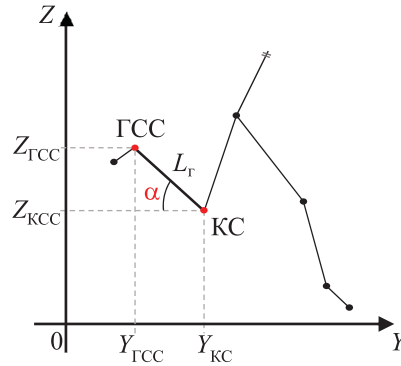


Рис. 2. Пример расположения угла голени относительно горизонтали
Fig. 2. Example of the location of the tibia angle relative to the horizontal

3. Определение угловой скорости голени, которая характеризует изменение во времени углового положения голени относительно горизонтали:

$$\omega_{\Gamma}^i = \frac{\alpha_i - \alpha_{i-1}}{dt}, \quad (6)$$

где ω_{Γ}^i – угловая скорость голени в момент времени i ; dt – время дискретизации; α_i, α_{i-1} – угол отклонения голени от горизонтали в момент времени i и $i-1$ соответственно.

4. Определение моментов времени t_1 и t_3 на основании идентификации локальных экстремумов на кривой угловой скорости голени. Точка $i_{\max}$ называется точкой локального максимума функции $x[i]$, если для всех i из окрестности этой точки будет справедливо строгое неравенство

$$x[i] < x[i_{\max}]. \quad (7)$$

Точка $i_{\min}$ называется точкой локального минимума функции $x[i]$, если для всех i из окрестности этой точки будет справедливо строгое неравенство

$$x[i] > x[i_{\min}]. \quad (8)$$

5. Определение моментов времени t_2 и t_4 на основании идентификации значения минимальных и максимальных точек траектории ОЦТ.

6. Определение длительности периодов опоры ($\Delta t_{\text{опоры}}$) и полета ($\Delta t_{\text{полета}}$):

$$\Delta t_{\text{опоры}} = t_{3o} - t_{1o}; \quad (9)$$

$$\Delta t_{\text{полета}} = t_{1m} - t_{3o}, \quad (10)$$

где «о», «м» – значения опорной и противоположной (маховой) ног.

Расчет пространственных параметров бега

1. Определяли вертикальное колебание ОЦТ как разность максимального и минимального значений траектории движения ОЦТ по вертикальной оси

$$\Delta Z = Z_{\max} - Z_{\min}, \quad (11)$$

где $Z_{\max}, Z_{\min}$ – максимальное и минимальное значения ОЦТ по вертикальной оси.

2. Определяли боковое смещение ОЦТ как разность максимального и минимального значений траектории движения ОЦТ по горизонтальной оси

$$\Delta X = X_{\max} - X_{\min}, \quad (12)$$

где $X_{\max}$, $X_{\min}$ – максимальное и минимальные значения ОЦТ по горизонтальной оси.

3. Вычисляли длину шага с использованием вертикальных и горизонтальных координат стоп Y_{CT} , Z_{CT} . Расчет длины шага l_u производился с применением формулы евклидова расстояния в сагиттальной плоскости

$$l_u = \sqrt{(Y_2 - Y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2}, \quad (13)$$

где Z_1 , Y_1 , Z_2 , Y_2 – координаты стопы опорной и маховой ног соответственно в момент времени t_1 .

4. Углы отклонения одного звена от вертикали в момент постановки ноги на опору t_1 включают:

- угол наклона туловища $\varphi_{T,t1}$;
- угол бедра маховой ноги $\varphi_{B,t1}$;
- угол наклона голени опорной ноги $\varphi_{Г,t1}$.

Для определения данных углов сначала производился расчет длины звена тела n -го L_n с помощью формулы (4) для вычисления евклидова расстояния, основанной на проксимальных и дистальных координатах звена. Затем угол отклонения звена тела относительно вертикальной оси рассчитывали с использованием тригонометрической функции

$$\varphi_n^{t1} = \arcsin\left(\frac{Y_1 - Y_2}{L_n}\right), \quad (14)$$

где φ_n^{t1} – угол отклонения звена n в момент времени t_1 ; Y_1 , Y_2 – дистальная и проксимальная координаты звена тела по горизонтальной оси в момент постановки ноги на опору соответственно.

5. Углы между двумя звеньями тела в момент постановки ноги на опору t_1 и в момент отрыва ноги от опоры t_3 включают:

- углы тазобедренного сустава $\varphi_{ТБС,t1}$, $\varphi_{ТБС,t3}$;
- углы коленного сустава $\varphi_{КС,t1}$, $\varphi_{КС,t3}$;
- углы голеностопного сустава $\varphi_{ГСС,t1}$, $\varphi_{ГСС,t3}$;
- угол между бедрами $\varphi_{МБ,t3,4}$.

Примеры расположения углов между двумя звеньями тела во время бега показаны на рис. 3.

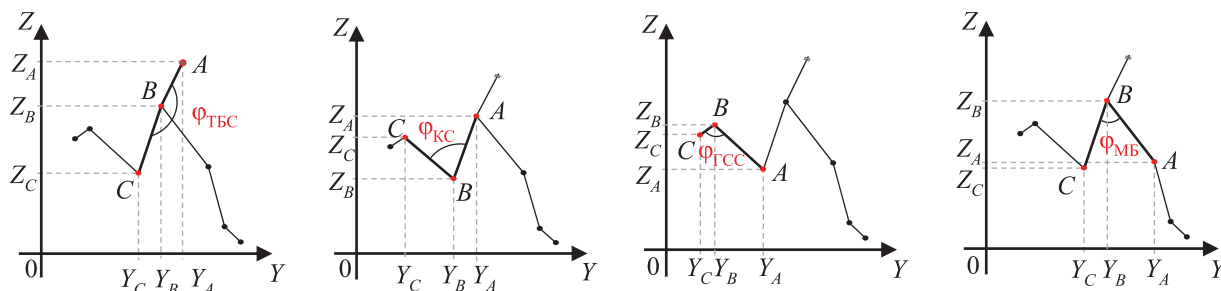


Рис. 3. Примеры расположения углов между двумя звеньями тела

Fig. 3. Examples of the arrangement of angles between two body links

Расчет угла между двумя векторами $\vec{a}$ и $\vec{b}$ в соответствии с векторной алгеброй выполняли по формуле

$$\cos \varphi = \frac{\vec{a}\vec{b}}{|\vec{a}||\vec{b}|}. \quad (15)$$

Соответственно угол между двумя звеньями тела во время бега определяли следующим образом:

$$\varphi_p^i = \arccos \left[\frac{(Y_c - Y_{\pi})(Y_d - Y_c) + (Z_c - Z_{\pi})(Z_d - Z_c)}{\sqrt{(Y_c - Y_{\pi})^2 + (Z_c - Z_{\pi})^2} \sqrt{(Y_d - Y_c)^2 + (Z_d - Z_c)^2}} \right], \quad (16)$$

где φ_p^i – угол сустава «р» в момент времени i ; «п, с, д» – координаты проксимального сустава, сустава по середине и дистального сустава соответственно.

Разработанные алгоритмы обеспечивают количественную оценку кинематических параметров движений, что дает возможность проводить детализированное исследование биомеханики беговых локомоций у детей. Данный подход позволяет разработать научно обоснованные рекомендации по коррекции беговой техники, а также способствует созданию адаптированных индивидуализированных тренировочных программ с учетом возрастных особенностей детского организма.

Заключение

1. Выполнен анализ и представлены алгоритмы расчета кинематических параметров бега у детей на основе захвата движений. Полученные результаты освещают ряд важнейших аспектов, касающихся двигательной активности детей, и могут иметь широкое практическое применение как в спортивной подготовке, так и в области физической культуры.

2. Приведены алгоритмы расчета наиболее информативных кинематических параметров беговых локомоций у детей. Отмечен потенциал технологии захвата движения в анализе кинематических параметров с целью оптимизации диагностики тренировочного процесса и повышения спортивных результатов. Введение алгоритмических подходов к расчету ключевых параметров позволяет точнее учитывать индивидуальные особенности детей, что сделает дальнейшее наблюдение тренировочного процесса более целенаправленным и эффективным.

3. Рассмотренные кинематические характеристики создают основу для последующих исследований и внедрения полученных данных в практическую деятельность тренеров и специалистов в области здоровья и физической активности.

Список литературы

1. Kiely, J. Uniqueness of Human Running Coordination: The Integration of Modern and Ancient Evolutionary Innovations [Electronic Resource] / J. Kiely, D. Collins // *Frontiers in Psychology*. 2016. Vol. 7. Mode of access: <http://dx.doi.org/10.3389/fpsy.2016.00262>. Date of access: 05.02.2024.
2. Spittler, J. Current Trends in Ultramarathon Running / J. Spittler, L. Oberle // *Current Sports Medicine Reports*. 2019. No 18. P. 387–393.
3. Курамшин, Ю. Ф. Оценка спортивной одаренности детей на основе индивидуально-типологического подхода [Электронный ресурс] / Ю. Ф. Курамшин, О. А. Двейрина, В. С. Терехин // *Теория и практика физической культуры*. 2022. № 4. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-sportivnoy-odarennosti-detey-na-osnove-individualno-tipologicheskogo-podhoda>.
4. Cagno, A. Motor Learning as Young Gymnast's Talent Indicator / A. Cagno, C. Battaglia // *Sports Sci Med*. 2014. Vol. 13, No 4. P. 767–773.
5. Турантаева, Г. Г. Оценка двигательной одаренности детей на основе анализа беговых локомоций / Г. Г. Турантаева, Н. С. Давыдова, В. Е. Васюк // *От международных спортивных игр «Дети Азии» к университетскому спорту: сб. науч. тр. Междунар. науч. конф. в рамках VIII Междунар. спорт. игр «Дети Азии» и 25-летнего юбилея Чурапчинского гос. ин-та физ. культ. и спорта, г. Якутск, 4–5 июля 2024 г. Якутск: Дани-Алмас, 2024. С. 299–303.*
6. Simi Reality Motion Systems [Electronic Resource]. Mode of access: <https://simishape.com>. Date of access: 26.05.2023.
7. Алгоритм коррекции траектории движения спортсменов на базе матрицы поворота / Г. Г. Турантаева [и др.] // *BIG DATA и анализ высокого уровня: сб. науч. ст. XI Междунар. науч.-практ. конф. Минск: Белор. гос. ун-т информ. и радиоэлек., 2025. С. 97–102.*
8. Rotation-Matrix [Electronic Resource]. Mode of Access: <https://www.geeksforgeeks.org/rotation-matrix>. Date of access: 16.01.2025.

9. Турантаева Г. Г. Детерминированная биомеханическая. модель бега / Г. Г. Турантаева, Н. С. Давыдова, В. Е. Васюк // Физическая культура, спорт, наука и образование: сб. матер. VIII Всерос. науч.-практ. конф., Чурапча, 10 апр. 2024 г. Чурапча: Чурапч. гос. ин-т физич. культ. и спорта, 2024. С. 184–190.
10. Возможности применения систем «захвата движений» в оценке эффективности беговых локомоций детей / Г. Г. Турантаева [и др.] // Современные направления инновационных исследований молодых ученых в области физической культуры и спорта: сб. матер. II Всерос. науч.-практ. конф., 25–26 апр. 2024 г. СПб.: С.-Петерб. науч.-исслед. ин-т физич. культ., 2024.

Поступила 16.05.2025

Принята в печать 24.06.2025

References

1. Kiely J., Collins D. (2016) Uniqueness of Human Running Coordination: The Integration of Modern and Ancient Evolutionary Innovations. *Frontiers in Psychology*. 7. Available: <http://dx.doi.org/10.3389/fpsy.2016.00262> (Accessed 5 February 2024).
2. Spittler J., Oberle L. (2019) Current Trends in Ultramarathon Running. *Current Sports Medicine Reports*. (18), 387–393.
3. Kuramshin Yu. F., Dveirina O. A., Terekhin V. S. (2022) Evaluation of Sports Giftedness of Children on the Basis of Individual-Typological Approach. *Theory and Practice of Physical Education*. (4). Available: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-sportivnoy-odarennosti-detey-na-osnove-individualno-tipologicheskogo-podhoda> (in Russian).
4. Cagno A., Battaglia C. (2014) Motor Learning as Young Gymnast's Talent Indicator. *Sports Sci Med*. 13 (4), 767–773.
5. Turantaeva G. G., Davydova N. S., Vasyuk V. E. (2024) Assessment of Motor Giftedness of Children Based on the Analysis of Running Locomotion. *From the International Sports Games "Children of Asia" to University Sports, Collection of Scientific Papers of the International Scientific Conference within the Framework of the VIII International Sports Games "Children of Asia" and the 25th Anniversary of the Churapchinsky State Institute of Physical Culture and Sports, Yakutsk, July 4–5. Yakutsk, Dani-Almas Publ.* 299–303 (in Russian).
6. *Simi Reality Motion Systems*. Available: <https://simishape.com> (Accessed 26 May 2023).
7. Turantaeva G. G., Davydova N. S., Vasyuk V. E., Tatarko K. I. (2025) Algorithm of Athlete's Trajectory Correction Based on Rotation Matrices. *BIG DATA and Advanced Analytics, Collection of Scientific Articles of the XI International Scientific and Practical Conference*. Minsk, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. 97–102 (in Russian).
8. *Rotation-Matrix*. Available: <https://www.geeksforgeeks.org/rotation-matrix> (Accessed 16 January 2025).
9. Turantaeva G. G., Davydova N. S., Vasyuk V. E. (2024) Deterministic Biomechanical Model of Running. *Physical Education, Sports, Science and Education, Collection of Materials of the VIII All-Russian Scientific and Practical Conference, Churapcha, Apr. 10. Churapcha, Churapcha State Institute of Physical Culture and Sports*. 184–190 (in Russian).
10. Turantaeva G. G., Guseinov D. I., Davydova N. S., Vasyuk V. E. (2024) Possibilities of Using Motion Capture Systems in Assessing the Effectiveness of Children's Running Locomotion. *Modern Directions of Innovative Research of Young Scientists in the Field of Physical Culture and Sports: Collection of Materials of the II All-Russian Scientific and Practical Conference, Apr. 25–26. Saint-Petersburg, Saint-Petersburg Scientific-Research Institute for Physical Culture*. 284–290 (in Russian).

Received: 16 May 2025

Accepted: 24 June 2025

Вклад авторов

Григорьева Г. Г. разработала алгоритм анализа данных, собрала и систематизировала фактические данные, подготовила рукопись статьи.

Давыдова Н. С. поставила задачу исследования, сформулировала гипотезы, разработала структуру статьи.

Васюк В. Е. проанализировал и интерпретировал результаты исследования.

Шукуров К. Э. провел обзор литературы, аргументировал выбор методов исследования.

Authors' contribution

Grigorieva G. G. developed an algorithm for data analysis, collected and systematized the actual data, prepared the manuscript of the article.

Davydova N. S. set the research task, formulated hypotheses, and developed the structure of the article.

Vassiouk V. E. analyzed and interpreted the results of the study.

Shukurov K. E. conducted a literature review and substantiated the choice of research methods.

Сведения об авторах

Григорьева Г. Г., асп. каф. спортивной инженерии, Белорусский национальный технический университет

Давыдова Н. С., канд. техн. наук, доц. каф. инфокоммуникационных технологий, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Васюк В. Е., канд. пед. наук, доц., вед. спец. центра координации научно-методической и инновационной деятельности, Белорусский государственный университет физической культуры

Шукуров К. Э., канд. техн. наук, доц. каф. искусственного интеллекта, Ташкентский университет информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
Минск, просп. Независимости, 65
Белорусский национальный
технический университет
Тел.: +375 33 916-42-12
E-mail: ga_et@inbox.ru
Григорьева Гарсия Гаврильевна

Information about the authors

Grigorieva G. G., Postgraduate of the Department of Sports Engineering, Belarusian National Technical University

Davydova N. S., Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor at the Academic Department of Infocommunication Technologies, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

Vassiouk V. E., Cand. Sci. (Ped.), Associate Professor, Leading Specialist at the Center for Coordination of Scientific, Methodological and Innovative Activities, Belarusian State University of Physical Culture

Shukurov K. E., Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor at the Department of Artificial Intelligence, Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi

Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,
Minsk, Nezavisimosty Ave., 65
Belarusian National
Technical University
Tel.: +375 33 916-42-12
E-mail: ga_et@inbox.ru
Grigorieva Garsia Gavriliievna