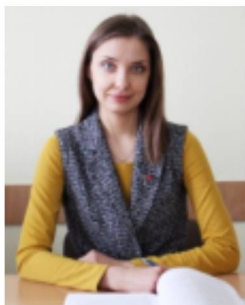


УДК 796.012:004.8

## АНАЛИЗ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ДВИЖЕНИЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДВИГАТЕЛЬНОЙ ОДАРЕННОСТИ ДЕТЕЙ



**Г.Г. Григорьева**  
Старший преподаватель кафедры педагогики и психологии ФГБОУ ВО «ЧИФКУС»  
ga\_et@inbox.ru



**Н.С. Давыдова**  
Доцент кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР, кандидат технических наук, доцент davydovans@bsuir.by



**В.Е. Васюк**  
Доцент Высшей школы спортивной педагогики СПбПУ, кандидат педагогических наук



**М.В. Давыдов**  
Доцент, кандидат технических наук, первый проректор БГУИР



**К.И. Татарко**  
Доцент кафедры социальной и организационной психологии БГУ, кандидат психолог. наук, доцент

**Аннотация.** В статье рассматривается задача прогнозирования двигательной одаренности детей на основе мультимодальных биомеханических данных, полученных при анализе беговых локомоций. Используются кинематические и динамические параметры бега, зарегистрированные с применением системы безмаркерного захвата движения и динамометрической платформы. На выборке из 26 детей среднего школьного возраста сформирован комплексный датасет, включающий 30 биомеханических параметров и экспертные оценки. Для отбора информативных показателей разработана параметрическая модель бега, позволившая структурировать кинематические и динамические характеристики движения. На основе коэффициента разделения выделены 14 наиболее значимых признаков, после чего выполнено прогнозирование уровня двигательной одаренности с использованием метода Random Forest Classifier. Наилучшие результаты классификации оставили ассигасу 0,96. Показано, что предложенный подход позволяет не только прогнозировать уровень двигательной одаренности, но и выделять биомеханические параметры, наиболее значимые для спортивного отбора и педагогической диагностики.

**Ключевые слова:** двигательная одаренность, беговые локомоции, мультимодальные данные, биомеханический анализ, машинное обучение, параметрическая модель, отбор признаков.

**Введение.** Ранняя диагностика двигательной одаренности детей остается одной из ключевых задач спортивного отбора, поскольку эффективность подготовки спортивного резерва во многом зависит от своевременного выявления перспективных двигательных способностей [1–4]. В литературе двигательная одаренность рассматривается как интегративное качество, включающее физические, координационные и функциональные предпосылки к успешной спортивной деятельности [1, 2]. При этом традиционные подходы к отбору по-прежнему во многом опираются на педагогические наблюдения, тестовые задания и экспертные оценки, что ограничивает объективность и воспроизводимость результата [3, 4].

Перспективным направлением решения данной задачи является биомеханический анализ беговых локомоций. Бег относится к информативным формам естественной двигательной активности, в которой проявляются ритмо-темповая организация движения, межзвенная координация и характер опорного взаимодействия [5–8]. Современные системы безмаркерного захвата движения и силовые платформы позволяют регистрировать

кинематические и динамические характеристики с высокой точностью, формируя основу для количественной оценки двигательного потенциала детей [6–9].

Однако большое число регистрируемых параметров требует отбора информативных признаков и интерпретации результатов моделирования. Для практического использования интеллектуальных систем в раннем спортивном отборе важно не только получить высокую точность классификации, но и определить, какие именно биомеханические показатели в наибольшей степени влияют на итоговое решение модели [10–12]. Цель исследования – разработать подход к анализу биомеханических признаков беговых локомоций для прогнозирования двигательной одаренности детей.

**Материалы и методы исследования.** В исследовании биомеханических характеристик бега принимали участие 26 детей среднего школьного возраста ( $10,33 \pm 1,15$  лет), не имеющих узкой спортивной специализации.

Для регистрации кинематических данных применялась система безмаркерного захвата движения Simi Reality Motion Systems, а для регистрации динамических параметров – стационарная динамометрическая платформа Bertec [8, 9]. Схема экспериментальной установки представлена на рисунке 1.

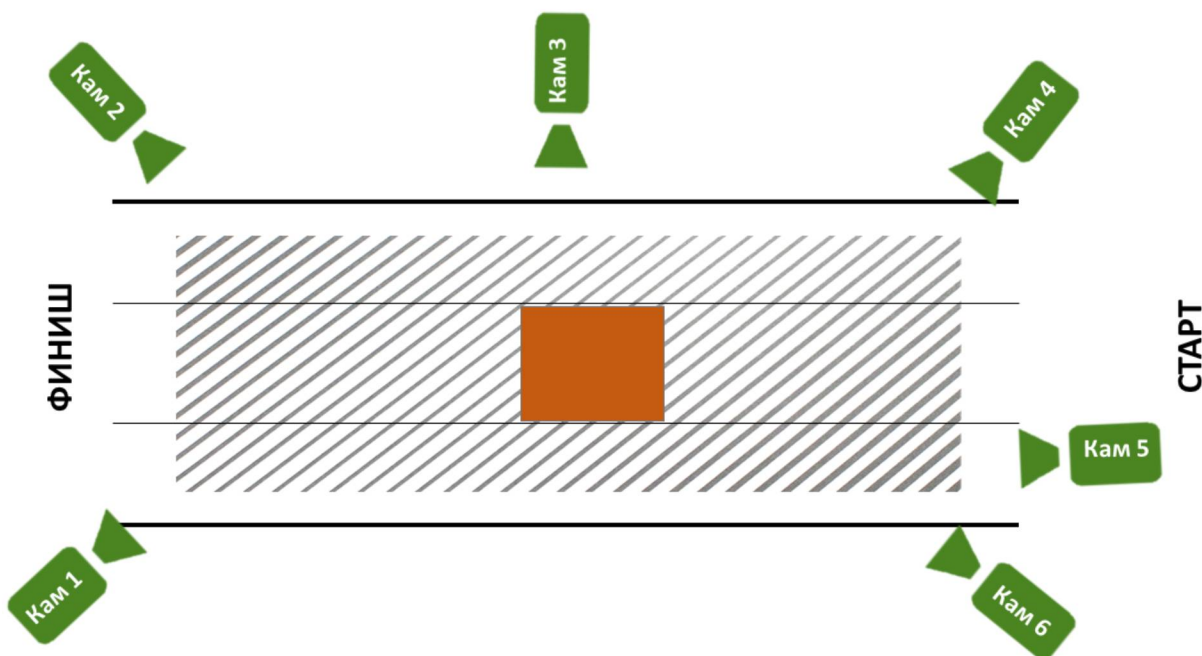


Рисунок 1. Схема экспериментальной установки с расположением камер системы безмаркерного захвата движения и силовой платформы

Уровень двигательной одаренности определяется на основе экспертной оценки, выполненной специалистами в области спортивной педагогики по совокупности параметров техники бега и проявлений двигательного потенциала. Экспертные заключения использовались как целевые метки при построении обучающей выборки и сопоставлялись с количественными биомеханическими данными [11].

**Параметрическая модель бега.** Для отбора биомеханических признаков двигательной одаренности была разработана параметрическая модель бега, основанная на представлении беговой локомоции как целостной системы взаимосвязанных кинематических и динамических характеристик. Модель учитывает фазовую структуру бегового шага, особенности координации, ритмо-темповую организацию движения и

параметры взаимодействия с опорой. Такой подход позволил перейти от анализа отдельных показателей к системному описанию двигательного действия, отражающему как внешнюю структуру бега, так и механизмы его реализации.

При выборе параметров для детей особое внимание уделялось показателям наиболее чувствительным к проявлениям двигательного потенциала и в то же время устойчивым к возрастной вариативности и отсутствию узкой спортивной специализации.

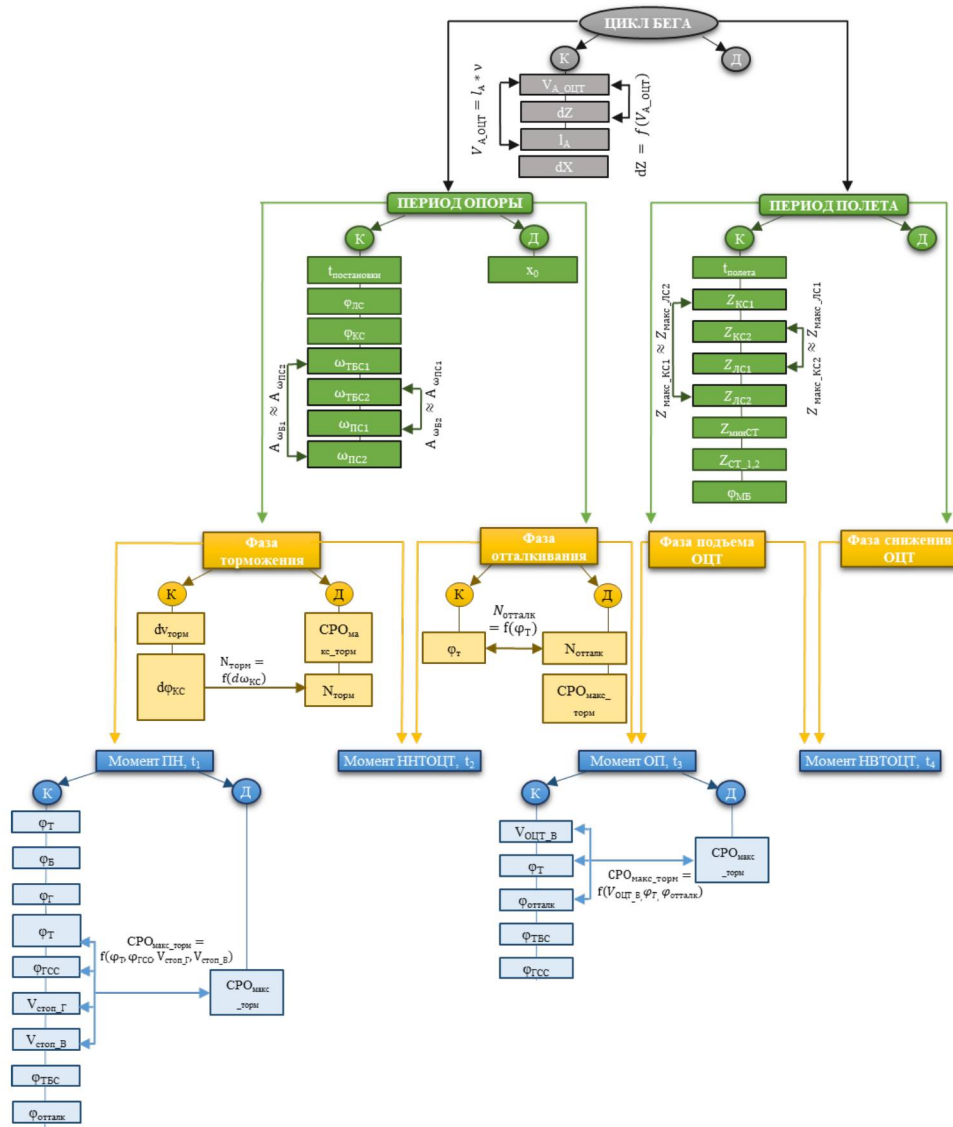


Рисунок 2. Параметрическая модель бега, используемая для выделения информативных биомеханических признаков

**Формирование мультимодального признакового пространства.** В структуру признакового пространства вошли три группы показателей: пространственно-временные, кинематические и динамические характеристики. Пространственно-временные параметры отражали общую организацию движения и включали длину и частоту шагов, длительность опорной и полетной фаз, а также темп бега. Кинематические признаки характеризовали движение звеньев тела, суставные углы, положение корпуса и межзвенную координацию. Динамические признаки описывали силовые особенности движения и параметры реакции опоры [5–9]. Интеграция этих групп показателей позволила сформировать целостный биомеханический профиль ребенка (рисунок 3), отражающий как внешнюю структуру движения, так и механизмы его реализации.

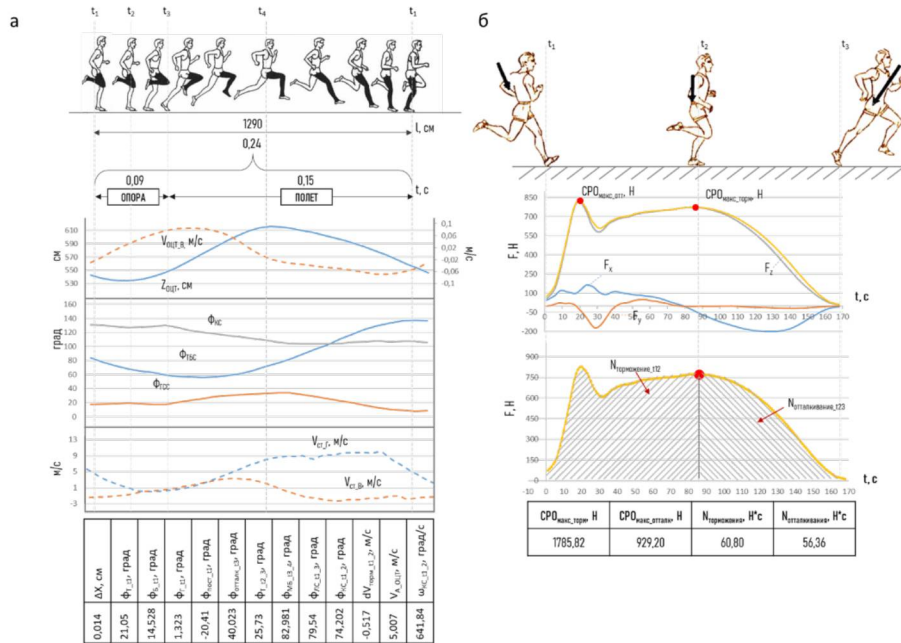


Рисунок 3. Пример визуализации индивидуального профиля двигательной одаренности по: а) кинематическим параметрам б) динамическим параметрам

В результате биомеханических исследований были сформированы две репрезентативные выборки: кинематическая (371 запись, 26 параметров) и комплексная (122 записи, 30 биомеханических параметров), объединенные с экспертными данными, полученными на основе 4 экспертов, для последующего прогнозирования уровня двигательной одаренности детей [11].

**Отбор информативных признаков и построение прогностической модели.** Для прогнозирования двигательной одаренности использовался метод машинного обучения Random Forest Classifier. Алгоритм основан на ансамбле решающих деревьев, обучаемых на случайных подвыборках данных и признаков [10]. Такой подход обеспечивает устойчивость классификации, снижает риск переобучения и позволяет выявить наиболее значимые биомеханические признаки. После формирования признакового пространства был выполнен отбор наиболее информативных признаков. Алгоритм, основанный на коэффициенте разделения, позволил выделить 14 наиболее значимых параметров из 30 исходных (таблица 1). Наибольший вклад в классификацию внесли параметры отталкивания ( $K_p = 3,93$ ), временные характеристики фазы постановки ноги ( $K_p = 3,30$ ) и динамические показатели взаимодействия с опорой [11].

Таблица 1. Коэффициенты разделения биомеханических параметров бега

Параметр	Обозначения	Коэффициент разделения, $K_p$
Импульсом силы в фазе отталкивания	$N_{отталкивания}$	3.929391
Максимальное значение силы реакции опоры в фазе отталкивания	$CPO_{макс\_отталк}$	3.652024
Время полета	$\Delta t_{полета}$	3.304497
Импульс силы в фазе торможения	$N_{торможения}$	3.267094
Максимальное значение силы реакции опоры в фазе торможения	$CPO_{макс\_торм}$	2.408135
Угол постановки ноги на опору в момент постановки ноги на опору	$\varphi_{пост\_t1}$	1.546394
Угол наклона голени опорной ноги (относительно вертикали) в момент постановки ноги на опору	$\varphi_{Г\_t1}$	1.375293
Длина шага	$l_A$	1.262468

Продолжение таблицы 1

Параметр	Обозначения	Коэффициент разделения, $K_r$
Вертикальная посадочная скорость стопы опорной ноги в момент постановки ноги на опору	$V_{ст\_B\_t1}$	1.149943
Боковое смещение общего центра тяжести	$\Delta X$	0.937635
Вертикальная скорость общего центра тяжести в момент отрыва ноги от опоры	$V_{ОЦТ\_B\_t3}$	0.911222
Угол наклона туловища (относительно вертикали) в момент постановки ноги на опору	$\varphi\_T\_t1$	0.902614
Угол тазобедренного сустава в момент постановки ноги на опору	$\varphi\_ТБС\_t1$	0.872191
Угол голеностопного сустава в момент постановки ноги на опору	$\varphi\_ГСС\_t1$	0.805097

Итоговые показатели качества классификации представлены в таблице 2. Доля правильных классификаций на тестовой выборке составила 96%, что подтверждает высокую прогностическую способность предложенного подхода [11].

Таблица 2. Показатели качества модели Random Forest Classifier

Модель	Accuracy	Precision (1 класс)	Recall (1 класс)	F1 (1 класс)	Precision (2 класс)	Recall (2 класс)	F1 (2 класс)
Random Forest Classifier	0,96	1,00	0,92	0,96	0,94	1,00	0,97

**Интерпретация вклада биомеханических признаков.** Интерпретируемый анализ показал, что наибольшее значение для прогнозирования двигательной одаренности имеют признаки, отражающие ритмо-темповую структуру бега, межзвенную координацию и параметры опорного взаимодействия. Это свидетельствует о том, что двигательная одаренность проявляется не в отдельных изолированных характеристиках, а в целостной организации бегового движения [5, 7, 11]. Пространственно-временные показатели характеризуют упорядоченность и стабильность локомоции. Кинематические признаки отражают качество координационной организации движения и рациональность работы звеньев тела. Динамические параметры дополняют оценку за счет анализа силовой реализации шага. Практическая ценность интерпретации состоит в том, что специалист получает не только итоговый прогноз, но и объяснение факторов, лежащих в его основе, что делает модель пригодной для систем поддержки принятия решений при раннем спортивном отборе [10–11].

**Заключение.** В работе предложен подход к прогнозированию двигательной одаренности детей на основе мультимодальных биомеханических данных. Показано, что объединение пространственно-временных, кинематических и динамических характеристик бега позволяет сформировать информативное признаковое пространство для применения методов машинного обучения. Отбор признаков позволил выделить 14 наиболее значимых биомеханических показателей, а модель Random Forest Classifier продемонстрировала accuracy 0,96 на тестовой выборке. Полученные результаты подтверждают возможность использования объективных параметров бега в системах раннего спортивного отбора и педагогической диагностики [11].

**Список литературы:**

- [1] Williams A.M., Reilly T. Talent identification and development in soccer. *Journal of Sports Sciences*. 2000;18(9):657–667.
- [2] Gallahue D.L., Ozmun J.C. *Understanding Motor Development: Infants, Children, Adolescents, Adults*. 6th ed. New York: McGraw-Hill; 2006.
- [3] Губа В.П. *Теория и методика современных спортивных исследований*. Москва: Спорт; 2016.
- [4] Leite N., Lorenzo Calvo A., Cumming S., Gonçalves B., Calleja-Gonzalez J. Editorial: Talent Identification and Development in Sports Performance. *Frontiers in Psychology*. 2021;12.
- [5] Novacheck T.F. The biomechanics of running. *Gait & Posture*. 1998;7:77–95.

- [6] Oeveren B.T., et al. The biomechanics of running and running styles: a synthesis. *Sports Biomechanics*. 2024;23(4):516–554.
- [7] Xiang L., et al. Rethinking running biomechanics: a critical review of ground reaction forces, tibial bone loading, and the role of wearable sensors. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 2024;12.
- [8] Nakano N., et al. Evaluation of 3D markerless motion capture accuracy using OpenPose with multiple video cameras. *Frontiers in Sports and Active Living*. 2020;2:50.
- [9] Bertec Force Plates [Electronic resource]. Available at: <https://www.bertec.com/products/force-plates>.
- [10] Breiman L. Random forests. *Machine Learning*. 2001;45(1):5–32.
- [11] Григорьева Г.Г. Метод и техническая система биомеханической оценки двигательной одаренности детей на основе анализа беговых локомоций: дис. ... канд. техн. наук. Минск; 2025.

#### Авторский вклад

**Григорьева Гарсия Гаврильевна** – постановка задачи, сбор и обработка экспериментальных данных, подготовка текста статьи.

**Давыдова Надежда Сергеевна** – разработка методологии исследования, научное консультирование, редактирование текста.

**Васюк Валерий Евстафьевич** – концептуализация исследования, интерпретация результатов, итоговое научное редактирование.

**Давыдов Максим Викторович** – разработка прогностической модели, реализация алгоритмов машинного обучения, анализ результатов исследования.

**Татарко Кристина Игоревна** – обзор литературы и аргументация выбора методов исследования, форматирование статьи.

## ANALYSIS OF BIOMECHANICAL MOVEMENT FEATURES FOR PREDICTING MOTOR GIFTEDNESS IN CHILDREN

**G.G. Grigorieva**  
Senior Lecturer,  
Department of  
Pedagogy and  
Psychology,  
Churapcha State  
Institute of Physical  
Culture and Sports  
Churapcha, Russian  
Federation  
ga\_et@inbox.ru

**N.S. Davydova**  
Associate Professor,  
Department of  
Infocommunication  
Technologies, Belarusian  
State University of  
Informatics and  
Radioelectronics  
Candidate of Technical  
Sciences, Associate  
Professor  
Minsk, Republic of  
Belarus  
davydova-ns@bsuir.by

**V.E. Vasyuk**  
Associate  
Professor, Higher  
School of Sports  
Pedagogy, Peter  
the Great St.  
Petersburg  
Polytechnic  
University  
Candidate of  
Pedagogical  
Sciences  
St. Petersburg,  
Russian  
Federation

**M.V. Davydov**  
Associate Professor,  
Candidate of Technical  
Sciences, First Vice-  
Rector, Belarusian  
State University of  
Informatics and  
Radioelectronics  
Minsk, Republic of  
Belarus

**K.I. Tatarko**  
Associate  
Professor,  
Department of  
Social and  
Organizational  
Psychology,  
Belarusian State  
University  
Candidate of  
Psychological  
Sciences, Associate  
Professor  
Minsk, Republic of  
Belarus

**Abstract.** The paper addresses the problem of predicting motor giftedness in children using multimodal biomechanical data obtained from running locomotion analysis. Kinematic and dynamic running parameters recorded by a markerless motion capture system and a force platform were used in the study. Based on a sample of 26 middle-school children, a comprehensive dataset including 30 biomechanical parameters and expert assessments was formed. To select informative indicators, a parametric running model was developed, which made it possible to structure the spatiotemporal, kinematic, and dynamic characteristics of movement. Using the separation coefficient, 14 most significant features were identified, after which the level of motor giftedness was predicted using the Random Forest Classifier method. The best classification results reached an accuracy of 0.96. The proposed approach makes it possible not only to predict the level of motor giftedness, but also to identify the biomechanical parameters that are most significant for sports selection and pedagogical diagnostics.

**Keywords:** motor giftedness, running locomotion, multimodal data, biomechanical analysis, machine learning, parametric model, feature selection.