



Научно-исследовательский журнал «Modern Humanities Success / Успехи гуманитарных наук»
<https://mhs-journal.ru>
2025, № 7 / 2025, Iss. 7 <https://mhs-journal.ru/archives/category/publications>
Научная статья / Original article
Шифр научной специальности: 5.8.5. Теория и методика спорта (педагогические науки)
УДК 796.91

Применение системы измерения подошвенного давления в биомеханических исследованиях техники скоростного бега на коньках

¹ Ван Хуань,
¹ Российский университет спорта «ГЦОЛИФК»

Аннотация: в статье представлены результаты исследования особенностей распределения подошвенного давления у конькобежцев с применением современной измерительной системы NovelTM Pedar-X в сочетании с инерциальной системой захвата движения Mymotion. В эксперименте, проведенном в период с января по март 2024 года, приняли участие восемь китайских юношей-конькобежцев в возрасте 15-18 лет. Выполнен сравнительный анализ показателей давления на подошвы обеих ног при прямолинейном движении и в поворотах. Установлено, что при движении по прямой среднее давление на правую подошву превышает аналогичный показатель левой на 14%, тогда как в поворотах наблюдается обратная тенденция с повышением нагрузки на левую стопу. Выявлена существенная вариативность подошвенного давления, обусловленная индивидуальными особенностями техники и антропометрическими характеристиками спортсменов. Определены диапазоны минимальных и максимальных значений давления, достигающие десятикратной разницы между фазами цикла движения. Полученные данные демонстрируют эффективность применения систем измерения подошвенного давления для объективизации анализа технической подготовленности конькобежцев, индивидуализации тренировочного процесса и оптимизации спортивного инвентаря. Результаты исследования могут быть использованы для совершенствования биомеханической структуры движений спортсменов и разработки целенаправленных методик повышения эффективности техники скоростного бега на коньках.

Ключевые слова: конькобежный спорт, биомеханика, подошвенное давление, система NovelTM Pedar-X, инерциальные датчики, техника скоростного бега, асимметрия движений, распределение нагрузки, кинематический анализ, спортивная биомеханика

Для цитирования: Ван Хуань Применение системы измерения подошвенного давления в биомеханических исследованиях техники скоростного бега на коньках // Modern Humanities Success. 2025. № 7. С. 170 – 176.

Поступила в редакцию: 6 марта 2025 г.; Одобрена после рецензирования: 10 мая 2025 г.; Принята к публикации: 3 июля 2025 г.

Application of a system for measuring plantar pressure in biomechanical studies of speed skating technique

¹ Wang Huan,
¹ Russian University of Sports «GTSOLIFK»

Abstract: the article presents the results of a study of the distribution of plantar pressure in speed skaters using a modern NovelTM Pedar-X measuring system in combination with the Mymotion inertial motion capture system. Eight Chinese male speed skaters aged 15-18 years took part in the experiment, which was conducted from January to March 2024. A comparative analysis of the pressure indicators on the soles of both feet was performed during straight-line movement and turns. It was found that when moving in a straight line, the average pressure on the right sole exceeds that of the left by 14%, while in turns, the opposite trend is observed with an increase in the load on the left foot. Significant variability in plantar pressure was revealed, due to the individual characteristics of the technique and anthropometric characteristics of the athletes. The ranges of minimum and maximum pressure values are determined, reaching a tenfold difference between the phases of the movement cycle. The obtained data demonstrate the efficiency of using plantar pressure measurement systems for objectifying the analysis of technical fitness of speed skaters, individualizing the training process and optimizing sports equipment. The results of the

study can be used to improve the biomechanical structure of athletes' movements and develop targeted methods for increasing the efficiency of speed skating technique.

Keywords: speed skating, biomechanics, plantar pressure, NovelTM Pedar-X system, inertial sensors, speed skating technique, movement asymmetry, load distribution, kinematic analysis, sports biomechanics

For citation: Wang Huan Application of a system for measuring plantar pressure in biomechanical studies of speed skating technique. Modern Humanities Success. 2025. 7. P. 170 – 176.

The article was submitted: March 6, 2025; Approved after reviewing: May 10, 2025; Accepted for publication: July 3, 2025.

Введение

В современных биомеханических исследованиях спортивной техники всё большую актуальность приобретает точная регистрация параметров движения. Для конькобежного спорта особую значимость представляет анализ динамики распределения давления на опорную поверхность, что позволяет оптимизировать технику скоростного бега на коньках.

Конькобежный спорт предъявляет особые требования к точности измерений биомеханических характеристик движения. При скоростном беге на коньках взаимодействие лезвия конька с ледовой поверхностью создаёт уникальную биомеханическую систему, требующую специализированных методов исследования. Системы измерения подошвенного давления предоставляют возможность анализировать распределение нагрузки в динамике, что критически важно для понимания эффективности техники отталкивания. В конькобежном спорте это проявляется в характере передачи усилий через конёк на ледовую поверхность. Аналогичные процессы наблюдаются в горнолыжном спорте, где "цепкость лыжи" при скольжении по снежной или ледяной поверхности тесно связана с вибрационными характеристиками в системе "спортсмен-лыжи-трасса" [5, с. 24; 7, с. 58].

При исследовании техники скоростного бега на коньках важно учитывать, что лабораторное оборудование не всегда способно в полной мере оценить специфику двигательных действий. В.Ю. Куимов отмечает сложность выбора между высокоточным лабораторным оборудованием и мобильными системами для полевых исследований, которые не всегда корректно интерпретируют биомеханические и кинематические характеристики движения. Инновационные системы измерения подошвенного давления, интегрированные в экипировку конькобежцев, позволяют преодолеть это противоречие. Тонкие сенсорные стельки с множеством датчиков давления, подключенные к беспроводной системе передачи данных, дают возможность проводить анализ в условиях реальной

соревновательной деятельности без искажения естественной техники спортсмена [6, с. 169].

Как отмечается в работах Воронова А.В., на которые ссылается автор исследования, именно характер распределения усилия в момент отталкивания существенно влияет на эффективность толчка и, как следствие, на скорость спортсмена. Применение систем измерения подошвенного давления позволяет выявить индивидуальные особенности техники отталкивания у спортсменов разной квалификации. Согласно биомеханическим принципам, рассмотренным в анализируемом материале, сила давления конька на лед прямо пропорциональна массе спортсмена и квадрату скорости, а обратно пропорциональна радиусу дуги скольжения и синусу угла наклона спортсмена [3, с. 35].

Современные беспроводные системы измерения подошвенного давления, интегрированные в специализированную обувь конькобежца, дают возможность получать данные в режиме реального времени непосредственно во время тренировок и соревнований. Это открывает новые перспективы для оперативной коррекции техники и индивидуализации тренировочного процесса. Анализ распределения давления между передней, средней и задней частями стопы, а также между внутренним и внешним краем, способствует пониманию механизмов оптимального преобразования мышечных усилий в поступательное движение [8, с. 8].

В исследованиях Д.Ю. Быкова отмечается, что недостаточно сбалансированная стойка спортсменов характеризуется значительными колебаниями давления с акцентом на область пятки, что может негативно влиять на эффективность техники. Определение фазового состава упражнения и запись данных о давлении осуществляются с использованием современных технологий "Motion capture" в сочетании с методом педобарографии. Комплексное применение этих методов позволяет получить более полную картину биомеханики движений конькобежца [1, с. 13].

В конькобежном спорте анализируются фазы отталкивания и скольжения, которые определяют по характеру изменения подошвенного давле-

ния. Для оценки асимметрии движений используется индекс асимметрии, рассчитываемый на основе данных давления на медиальную и латеральную области стопы. Этот показатель важен для анализа техники прохождения виражей. Результаты исследования свидетельствуют о существенных различиях в технике выполнения имитационных упражнений у спортсменов разной квалификации. Наиболее высоким уровнем технической подготовленности обладают спортсмены с большим стажем занятий, что проявляется в более стабильных показателях распределения подошвенного давления [2, с. 14].

В исследовании Гуляевой А.О. и соавторов описана методика измерения подошвенного давления, которую можно адаптировать для изучения биомеханики конькобежного спорта. Система включает датчики давления, средства передачи данных и программное обеспечение для их обработки. Важным аспектом методики является расположение датчиков в ключевых точках стопы. В конькобежном спорте это позволит анализировать распределение нагрузки между передней, средней и задней частями стопы, а также между медиальным и латеральным краями при различных фазах движения [4, с. 129].

Для измерения угла наклона коньков применяются инерциальные измерительные блоки, которые фиксируют положение лезвия относительно льда. Такие данные важны для анализа техники отталкивания и скольжения. Выделение отдельных фаз движения обеспечивает детальный анализ. В конькобежном спорте особое внимание уделяется фазе отталкивания и фазе скольжения, которые определяются по характеру изменения подошвенного давления. Методики регистрации распределения давления позволяют обнаружить различия между спортсменами разного уровня, что делает данный подход перспективным для совершенствования техники скоростного бега на коньках [9, с. 6].

В исследовании E.Buckeridge приняли участие 18 хоккеистов различного уровня подготовки. Система измерения включала несколько компонентов общей массой около 4 кг, что не ограничивало естественных движений спортсменов. Анализ данных распределения подошвенного давления

проводился путем деления стопы на пять сегментов: медиальная передняя часть, латеральная передняя часть, медиальная средняя часть, латеральная средняя часть и пяточная область. Результаты исследования подтверждают эффективность разработанной системы для анализа биомеханики скоростного бега на коньках и открывают перспективы для её применения не только при прямолинейном катании, но и при выполнении более сложных элементов, таких как катание спиной вперед, повороты и остановки, а также для мониторинга спортсменов с предоставлением обратной связи в режиме реального времени [9, с. 12].

Материалы и методы исследований

В период с января по март 2024 года было проведено исследование с участием восьми китайских юношей-конькобежцев в возрасте от 15 до 18 лет. У всех испытуемых были зафиксированы такие параметры, как возраст, рост, вес, мышечная масса, процент жира в организме, стаж занятий спортом и спортивный уровень. Эксперимент проходил в три этапа: отладка оборудования и наземные тесты (20-30 января), ледовые испытания (21-26 марта) и заключительный этап наземных тестов (27-30 марта). Исследования проводились на базе Лаборатории спортивной биомеханики Цилиньского института физического воспитания и Конькобежного зала провинции Цилинь.

В ходе работы применялась носимая система захвата движения Mymotion, производства американской компании Noraxon, для сбора кинематических данных. Эта система использует инерциальные измерительные блоки (датчики Research Pro IMU) для отслеживания углового положения различных частей тела в трехмерном пространстве. Система включает в себя 18 таких датчиков и программное обеспечение MR3 (версия 3) для обработки и анализа данных. Каждый датчик имеет вес около 37 грамм и размеры 52,2×37,8×18,1 мм, встроенный трехмерный акселерометр (± 16 g), гироскоп ($\pm 2000^\circ/\text{с}$) и магнитометр ($\pm 1,9$ G). Расположение датчиков на теле спортсмена позволяет точно фиксировать углы движения и линейное ускорение суставов с частотой 100 Гц. На рис. 1 представлена инерциальная сенсорная система Mymotion (IMU).



Рис. 1. Инерциальная сенсорная система Mymotion (IMU).
Fig. 1. Mymotion Inertial Measurement Unit (IMU).

Одновременно с этим использовалась система NovelTM Pedar-X для измерения давления на подошву стопы. Разработанная немецкой компанией NOVEL GmbH, эта система позволяет определить распределение давления и силы на подошве ноги. В стельках расположены 99 емкостных датчиков

давления, которые передают данные на компьютер через беспроводную систему Bluetooth. Частота сбора данных также составляла 100 Гц. На рис. 2 представлена система тестирования подошвенного давления NovelTM Pedar-X.



Рис. 2. Система тестирования подошвенного давления NovelTM Pedar-X.
Fig. 2. NovelTM Pedar-X plantar pressure testing system.

Полученные данные включали среднее давление на подошву при прямолинейном движении и во время поворотов, а также минимальные и максимальные значения давления для каждой ноги.

Результаты и обсуждения

Исследование, посвященное анализу давления на подошву конькобежцев, выявило ряд интересных особенностей при прямолинейном движении и в поворотах. Анализ данных, полученных от восьми юношей-спортсменов, показал, что при

движении по прямой среднее давление на левую подошву составило 276.3476 Ньютонов со стандартным отклонением ± 253.5428 Н. Минимальное зафиксированное значение давления составило 24.3107 Н, а максимальное – 852.1890 Н. Для правой подошвы среднее давление оказалось несколько выше – 316.2402 Н ± 258.8986 Н, с минимальным значением 30.8447 Н и максимальным 914.5481 Н. В табл. 1 представлено давление на стопу при прямолинейном движении.

Таблица 1

Давление на стопу при прямолинейном движении.

Table 1

Pressure on the foot during straight-line movement.

| Среднее давление на подошву у 8 спортсменов, занимающихся конькобежным спортом по прямой (единица измерения: Ньютон) | | | | |
|--|-----|----------------------|-----------------------|-------------------|
| Направление | N | минимальное значение | максимальное значение | среднее значение |
| Подошвенное давление слева(N) | 181 | 24.3107 | 852.1890 | 276.3476±253.5428 |
| Подошвенное давление правое(N) | 197 | 30.8447 | 914.5481 | 316.2402±258.8986 |

При выполнении поворотов картина несколько изменилась. Среднее давление на левую подошву составило 317.9753 Н ±272.3918 Н, при этом минимальное значение давления было 32.5636875 Н, а максимальное – 767.2213 Н. Давление на правую

подошву в поворотах составило в среднем 301.1465 Н ±241.1758 Н, с минимальным давлением 44.777625 Н и максимальным 803.2150 Н. В табл. 2 представлено давление на подошву во время поворота.

Таблица 2

Давление на подошву во время поворота.

Table 2

Pressure on the sole during turning.

| Среднее давление на подошву у 8 спортсменов во время катания на коньках по кривой (единица измерения: Ньютон) | | | | |
|---|-----|----------------------|-----------------------|-------------------|
| Направление | N | минимальное значение | максимальное значение | среднее значение |
| Подошвенное давление слева(N) | 109 | 32.5636875 | 767.2213 | 317.9753±272.3918 |
| Подошвенное давление правое(N) | 107 | 44.777625 | 803.2150 | 301.1465±241.1758 |

Обсуждая полученные результаты, стоит отметить, что наблюдается существенная вариативность давления на подошву, о чем свидетельствуют высокие значения стандартного отклонения. Это может быть связано с индивидуальными особенностями техники бега каждого спортсмена, различиями в строении стопы, а также с динамическими изменениями нагрузки при отталкивании и скольжении. Тот факт, что при прямолинейном движении давление на правую подошву в среднем несколько выше, чем на левую, может указывать на асимметрию в технике бега, возможно, связанную с ведущей ногой. В поворотах разница в давлении между левой и правой подошвой становится менее выраженной, что вероятно, связано с перераспределением нагрузки для поддержания равновесия и эффективного выполнения маневра.

Данные о минимальных и максимальных значениях давления позволяют оценить диапазон нагрузок, испытываемых стопой конькобежца, и могут быть использованы для разработки более эффективных тренировочных программ и индивидуальной подгонки коньков. В дальнейшем целесообразно провести более детальный анализ распределения давления по различным зонам стопы и сопоставить полученные данные с кинематическими характеристиками движения для выявления

взаимосвязей между техникой бега и нагрузкой на стопу.

Выводы

Проведенное исследование с применением системы измерения подошвенного давления внесло значительный вклад в понимание биомеханических аспектов техники скоростного бега на коньках. Анализ данных, полученных от группы юношей-конькобежцев, позволил выявить существенные особенности распределения нагрузки на стопу при различных режимах передвижения на льду. Выявлена характерная асимметрия распределения давления между левой и правой стопой во время прямолинейного движения, что свидетельствует о наличии функциональной латерализации у спортсменов. При прямолинейном беге среднее давление на правую подошву превышает показатели левой примерно на 14%, что может быть связано с индивидуальными особенностями техники отталкивания и предпочтительным выбором ведущей ноги.

В условиях прохождения поворотов наблюдается тенденция к перераспределению нагрузки – давление на левую подошву увеличивается, а на правую несколько снижается по сравнению с прямолинейным движением. Это указывает на адаптивные изменения в технике бега, необходимые

для сохранения равновесия и эффективного преодоления центробежных сил при маневрировании.

Значительный диапазон между минимальными и максимальными показателями давления подтверждает динамический характер нагрузки на стопу конькобежца в процессе цикла отталкивания-скольжения. Выявленная вариативность показателей подошвенного давления, отраженная в высоких значениях стандартного отклонения, свидетельствует о необходимости индивидуального подхода к технической подготовке спортсменов и персонализации спортивного инвентаря.

Применение комплекса современного оборудования, включающего систему NovelTM Pedar-X и носимую систему захвата движения Mymotion, позволило получить объективные количественные данные о биомеханике конькобежного спорта в условиях, максимально приближенных к соревновательным.

Результаты исследования имеют практическую значимость для совершенствования техники скоростного бега на коньках, разработки специализированных тренировочных программ и индивидуализации подготовки спортсменов. Полученные данные могут служить научной основой для оптимизации конструкции спортивных коньков и методик обучения, направленных на повышение эффективности отталкивания и снижение энергозатрат при беге.

В перспективе дальнейших исследований представляется целесообразным расширение анализа с фокусом на зональное распределение давления по различным участкам стопы и выявление корреляций между параметрами подошвенного давления и результативностью спортсменов на соревновательных дистанциях.

Список источников

1. Быков Д.Ю. Биомеханика движений конькобежца при выполнении имитационного упражнения вне ледовой поверхности. С. 12 – 14.
2. Быков Д.Ю., Васюк В.Е. Использование современных мобильных аппаратно-программных средств в оценке технической подготовленности конькобежцев // Прикладная спортивная наука. 2017. № 1 (5). С. 11 – 17.
3. Воронов А.В., Лемешева Ю.С. Биомеханический анализ техники бега на коньках // Вестник спортивной науки. 2012. № 3. С. 34 – 43.
4. Гуляева А.О., Фалькович А.С., Киреев С.И., Терин Д.В., Магомедов И.М. Исследование связи между подошвенным давлением и тонусом икроножной мышцы. Разработка и апробация нового экспериментального стенда // Российский журнал биомеханики. 2023. Т. 27. № 4. С. 127 – 137. DOI 10.15593/RZhBiomeh/2023.4.10
5. Кряжев В.Д., Кряжев С.В., Скуднов В.М. Методы и технические средства регистрации скорости бега спортсмена // Вестник спортивной науки. 2021. № 3. С. 21 – 26.
6. Куимов В.Ю., Чикуров А.И., Бурмистров А.Д., Епишев В.В. Сравнительная характеристика оборудования при измерении биомеханических и кинематических характеристик спортсменов в циклических видах спорта // Человек. Спорт. Медицина. 2023. Т. 23. № 2. С. 165 – 172. DOI 10.14529/hsm230220
7. Минаев А.Я. Инновационные технологии в спортивной вибрационной биомеханике // День спортивной информатики: сборник тезисов VII Всероссийской с международным участием научно-практической конференции, Москва, 04-05 декабря 2023 года. Москва: Б. и., 2024. С. 57 – 60. DOI 10.62105/2949-6349-2024-1-S1-57-60
8. Молчановская А.И. Биомеханика скоростного бега на коньках на коротких дистанциях. 2022. С. 1 – 19.
9. Buckeridge E., LeVangie M.C., Stetter B., Nigg S.R., Nigg B.M. An On-Ice Measurement Approach to Analyse the Biomechanics of Ice Hockey Skating // PLoS ONE. 2015. Vol. 10 (5). P. 1 – 16. e0127324. doi:10.1371/journal.pone.0127324
10. Pavailler S., Hintzy F., Millet G.Y., Horvais N., Samozino P. Glide Time Relates to Mediolateral Plantar Pressure Distribution Rather Than Ski Edging in Ski Skating // Frontiers in Sports and Active Living. 2020. Vol. 2. P. 1 – 7. <https://doi.org/10.3389/fspor.2020.00117>

References

1. Bykov D.Yu. Biomechanics of speed skater's movements during simulation exercise outside the ice surface. P. 12 – 14.
2. Bykov D.Yu., Vasyuk V.E. Use of modern mobile hardware and software in assessing technical fitness of speed skaters. *Applied Sports Science*. 2017. No. 1 (5). P. 11 – 17.
3. Voronov A.V., Lemesheva Yu.S. Biomechanical analysis of skating technique. *Bulletin of Sports Science*. 2012. No. 3. P. 34 – 43.
4. Gulyaeva A.O., Falkovich A.S., Kireev S.I., Terin D.V., Magomedov I.M. Study of the relationship between plantar pressure and tone of the gastrocnemius muscle. Development and testing of a new experimental setup. *Russian Journal of Biomechanics*. 2023. Vol. 27. No. 4. P. 127 – 137. DOI 10.15593/RZhBiomeh/2023.4.10
5. Kryazhev V.D., Kryazhev S.V., Skudnov V.M. Methods and technical means for recording an athlete's running speed. *Bulletin of Sports Science*. 2021. No. 3. P. 21 – 26.
6. Kuimov V.Yu., Chikurov A.I., Burmistrov A.D., Epishev V.V. Comparative characteristics of equipment for measuring biomechanical and kinematic characteristics of athletes in cyclic sport. *Man. Sport. Medicine*. 2023. Vol. 23. No. 2. P. 165 – 172. DOI 10.14529/hsm230220
7. Minaev A.Ya. Innovative technologies in sports vibration biomechanics. *Sports Informatics Day: collection of abstracts of the VII All-Russian scientific and practical conference with international participation, Moscow, December 4-5, 2023*. Moscow: B. i., 2024. P. 57 – 60. DOI 10.62105/2949-6349-2024-1-S1-57-60
8. Molchanovskaya A.I. Biomechanics of short-distance speed skating. 2022. pp. 1 – 19.
9. Buckeridge E., LeVangie M.C., Stetter B., Nigg S.R., Nigg B.M. An On-Ice Measurement Approach to Analyze the Biomechanics of Ice Hockey Skating. *PLoS ONE*. 2015. Vol. 10 (5). P. 1 – 16. e0127324. doi:10.1371/journal.pone.0127324
10. Pavailler S., Hintzy F., Millet G.Y., Horvais N., Samozino P. Glide Time Relates to Mediolateral Plantar Pressure Distribution Rather Than Ski Edging in Ski Skating. *Frontiers in Sports and Active Living*. 2020. Vol. 2. P. 1 – 7. <https://doi.org/10.3389/fspor.2020.00117>

Информация об авторе

Ван Хуань, аспирант, Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», wanghuan705@mail.ru

© Ван Хуань, 2025