

УДК 796.412.2

DOI 10.5930/1994-4683-2025-144-151

Биомеханика отталкивания при выполнении прыжка «касаюсь» (подбивной) в художественной гимнастике: пилотное исследование

Померанцев Андрей Александрович, кандидат педагогических наук, доцент

Коршиков Виктор Михайлович, кандидат педагогических наук, доцент

Тимирязев Данил Альбертович

Баженова Наталья Владимировна

Липецкий государственный педагогический университет имени П. П. Семенова-Тян-Шанского

Аннотация

Цель исследования – биомеханический анализ техники отталкивания при выполнении прыжка «касаюсь» (подбивной) в художественной гимнастике.

Методы и организация исследования. Использованы инструментальные методы тензодинамометрии и скоростной видеосъемки. В исследовании приняли участие две гимнастки, имеющие разряд «кандидат в мастера спорта», которые выполнили по 4 прыжка.

Результаты исследования и выводы. Проведение эмпирических измерений позволило количественно описать технику отталкивания. Был определен ряд биомеханических показателей: пиковая ударная нагрузка при отталкивании, импульс силы отталкивания, начальная вертикальная скорость в момент отрыва от опоры, высота прыжка, направление вектора силы реакции опоры. На основе полученных данных был выявлен фазовый состав отталкивания.

Ключевые слова: художественная гимнастика, прыжок, биомеханика спорта, тензодинамометрия, скоростная видеосъемка, спортивная техника.

Biomechanics of the stag leap take-off phase in rhythmic gymnastics: a pilot study

Pomerantsev Andrey Aleksandrovich, candidate of pedagogical sciences, associate professor

Korshikov Viktor Mikhailovich, candidate of pedagogical sciences, associate professor

Timiriazev Danil Albertovich

Bazhenkova Natalia Vladimirovna

Lipetsk State Pedagogical P. Semenov-Tyan-Shansky University

Abstract

The purpose of the study is the biomechanical analysis of the stag leap take-off phase in rhythmic gymnastics.

Research methods and organization. Instrumental methods of tensor dynamometry and high-speed video recording were utilized. The study involved two gymnasts, both holding the title of 'candidate for master of sports', who performed four jumps each.

Research results and conclusions. The conduct of empirical measurements allowed for the quantitative description of the pushing technique. A number of biomechanical indicators were determined: the peak impact load during the push-off, the impulse of the pushing force, the initial vertical velocity at the moment of take-off from the support, the jump height, and the direction of the reaction force vector of the support. Based on the obtained data, the phase composition of the push-off was identified.

Keywords: rhythmic gymnastics, jumping, sports biomechanics, tensodynamometry, high-speed videography, sports technique.

ВВЕДЕНИЕ. Художественная гимнастика – стремительно развивающийся олимпийский вид спорта [1]. Основными соревновательными элементами художественной гимнастики являются прыжки [2]. Согласно законам механики, именно отталкивание задаёт угол и начальную скорость вылета. Время выполнения элемента, высота прыжка, эстетика и впечатление зависят от баллистики, определяемой отталкиванием [3]. Понимание динамики отталкивания при выполнении прыжков является фундаментальным знанием для коррекции и совершенствования спортивной техники. В настоящее время в научной литературе недостаточно исследований, посвященных биомеханике прыжковых элементов в художественной гимна-

стике. Большинство тренеров в своей работе по-прежнему полагаются на качественный визуальный контроль техники, который хоть и является оперативным, но носит субъективный характер. Научная новизна исследования заключается в комплексном изучении выполнения гимнастического элемента на основе кинематических и динамических параметров движения. Количественное описание биомеханической системы с применением современных методов тензодинамометрии и скоростной видеосъемки способно повысить эффективность тренировочного процесса за счёт оптимизации обучения двигательному действию.

Цель исследования: биомеханический анализ техники отталкивания при выполнении прыжка «касаюсь» (подбивной) в художественной гимнастике.

Задачи исследования: 1. Выявить количественные биомеханические характеристики выполнения прыжка, используя инструментальные методы исследования; 2. Найти средние значения и вариацию биомеханических показателей отталкивания на основе нескольких попыток выполнения прыжка; 3. Определить фазовую структуру отталкивания.

МЕТОДИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ. Исследование проходило в игровом спортивном зале Липецкого государственного педагогического университета имени П.П. Семенова-Тян-Шанского 25 октября 2024 года. В исследовании приняли участие 2 гимнастки, имеющие спортивный разряд «кандидат в мастера спорта». Каждая спортсменка выполнила 4 прыжка с достаточными для восстановления интервалами отдыха (рис. 1).

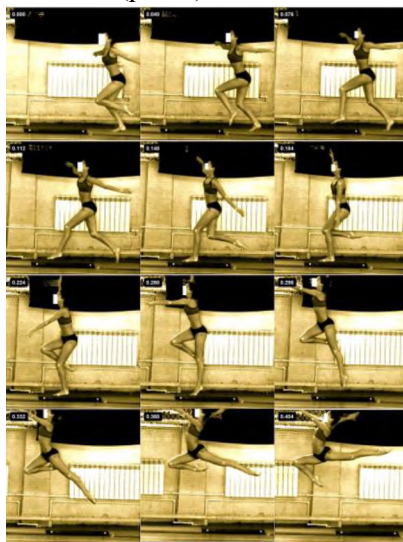


Рисунок 1 – Общая видеограмма выполнения прыжка на основе скоростной видеосъемки

Тензодинамометрия. Для получения динамических характеристик взаимодействия гимнастки с опорой при выполнении прыжка использовалась тензодинамическая платформа Bertec размером 900 x 600 мм и частотой записи данных 1000 Гц. Статический вес спортсменок также определялся с помощью тензоплатформы. **Скоростная видеосъемка.** Для определения кинематических параметров прыжка использовалась скоростная камера Fastec InLine-1000, снабженная длиннофокусным объективом. Съемка производилась с частотой 250 кадров в секунду. Трекинг

точек и анализ данных выполнялся в свободно распространяемом программном приложении Kinovea.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ. В результате исследования были получены эмпирические данные, характеризующие биомеханику отталкивания.

На рисунке 2 для иллюстрации представлен пример распределения нагрузки по трём компонентам при выполнении отталкивания в одной из попыток.

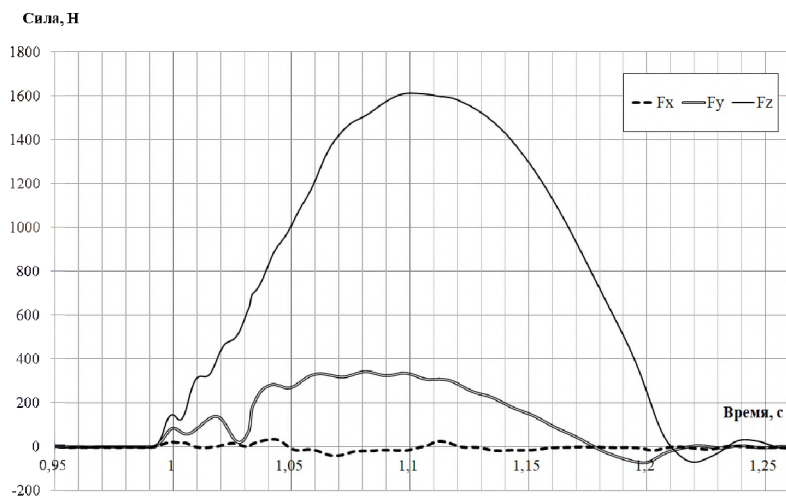


Рисунок 2 – Компоненты нагрузки по осям при выполнении прыжка: F_x – поперечная (влево/вправо), F_y – продольная (вперед/назад), F_z – вертикальная; масса спортсменки 48,2 кг

График показывает, что максимальная ударная нагрузка при выполнении отталкивания наблюдается по вертикали и достигает $F_z=1600$ Н. Учитывая, что собственный вес спортсменки 482 Н, ударная нагрузка превышает вес гимнастки в $\sim 3,3$ раза.

Для перевода горизонтальной скорости в вертикальную составляющую, то есть с целью выполнения прыжка, спортсменка выполняет стопорящий шаг. Поэтому вторая по величине нагрузка наблюдается по продольной оси. Регистрируемая сила $F_y=380$ Н, что составляет $\sim 80\%$ от веса.

В начале кривой F_y на рисунке 2 видно западение нагрузки практически до нуля. Замедленный просмотр видеозаписи показал, что такое западение объясняется тем, что нога спортсменки при постановке на опору проскользнула около 2 см.

Поперечная ось F_x не фиксирует значительных колебаний нагрузки. Максимальные значения не превышают 30 Н.

Сопоставление тензодинамограммы с кадрами видео позволило выявить фазы постановки ноги при отталкивании (рис. 3).

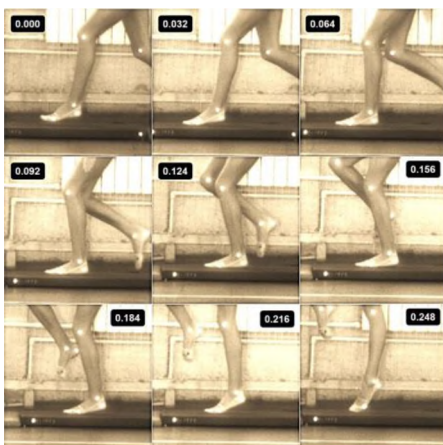


Рисунок 3 – Видеограмма постановки ноги при отталкивании

Фазы постановки ноги: I фаза – постановка ноги на носок (0,000); II фаза – постановка ноги на полную стопу (0,000 – 0,064); III фаза – отталкивание полной стопой (0,064 – 0,156); IV фаза – подъем ноги на носок (0,156 – 0,248).

В каждом прыжке определялся импульс силы отталкивания: а) с учетом собственного веса спортсменки и б) без учета веса спортсменки (рис. 4).

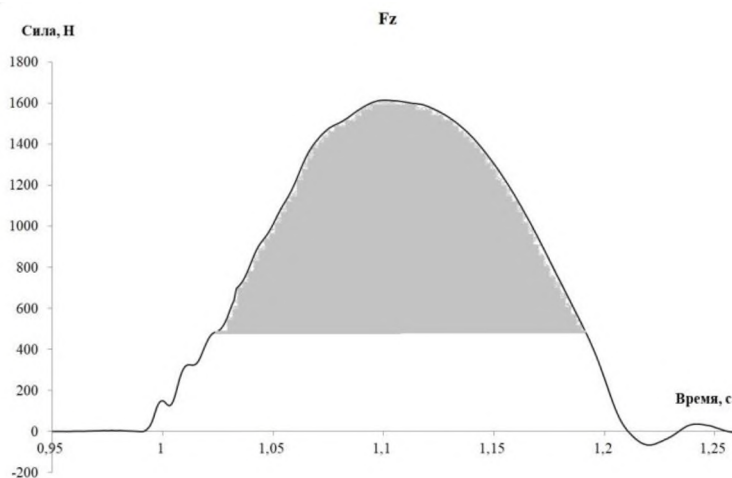


Рисунок 4 – Графическое представление импульса силы: серым показана площадь за вычетом собственного веса спортсменки; общая площадь импульса 215 Н*с, импульс без учета веса – 115,15 Н*с

Начальная вертикальная скорость определялась по формуле 1:

$$V_1 = \frac{I}{m}, \quad (1)$$

а высота прыжка по формуле 2:

$$H = \frac{V_1^2}{2g}, \quad (2)$$

где: I – импульс силы; m – масса спортсменки; H – высота прыжка; V_1 – вертикальная скорость в момент отрыва от тензоплатформы; g – ускорение свободного падения ($9,81 \text{ м/с}^2$).

В таблице 1 приводятся основные биомеханические показатели, характеризующие технику выполнения прыжков спортсменками, а также их усредненные значения.

Таблица 1 – Биомеханические характеристики выполнения отталкивания

Спортсменка/ попытка	Максимальная вертикальная сила, Н	Импульс без Р, Н*с	Скорость начальная, м/с	Высота прыжка, м
1/1	1613	115,15	2,38	0,29
1/2	1568	118,32	2,45	0,30
1/3	1650	122,63	2,54	0,33
1/4	1911	124,65	2,58	0,34
2/1	1460	116,46	2,56	0,33
2/2	1441	106,80	2,35	0,28
2/3	1635	115,95	2,54	0,33
2/4	1560	114,51	2,51	0,32
среднее, $\bar{x}$	1604,75	116,81	2,48	0,315
ошибка средней, S	51,3	1,9	0,03	0,007
вариация, V	9%	5%	3%	7%

* Вес первой спортсменки – 48,2 кг, вес второй спортсменки – 45,5 кг.

Зная величины F_y и F_z и используя тригонометрические формулы, определялся угол α – угол вектора силы отталкивания (рис. 5).

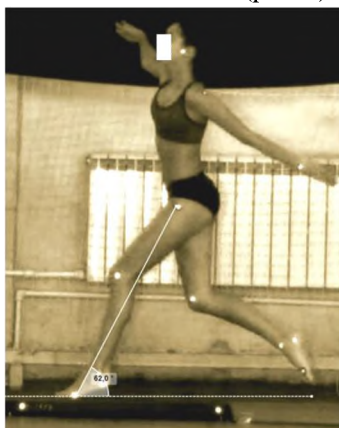


Рисунок 5 – Угол α вектора силы отталкивания относительно плоскости платформы

Расчет угла α позволяет увидеть направление действия ударной нагрузки при отталкивании от опоры. Наиболее критическое значение угла α наблюдается в момент постановки ноги. При недостаточном трении стопорящий шаг может привести к проскальзыванию ноги вперед. Уменьшение угла α в данном случае будет способствовать потере опоры. Такое явление наблюдалось в двух прыжках у первой спортсменки. На рисунке 6 в интервале времени от 1000 мс до 1050 мс можно видеть два пика, когда значения угла α резко стремились к 90° , то есть к вертикали. Это связано с проскальзыванием ноги. В такие интервалы времени на платформе резко падало значение F_y с сохранением вертикальной нагрузки F_z .

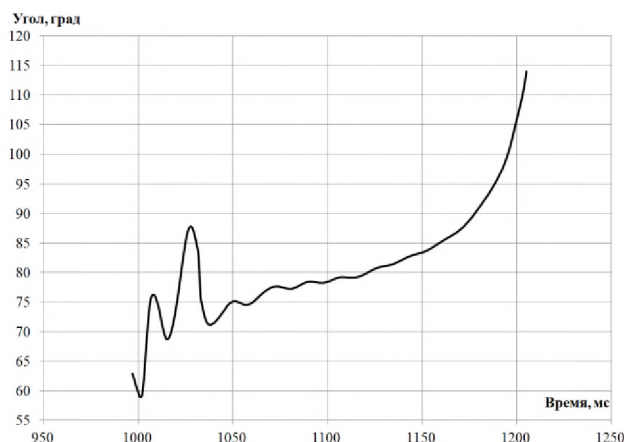


Рисунок 6 – Угол α вектора силы отталкивания относительно плоскости платформы

Значительное время с 1000 мс по 1180 мс наблюдается стопорящий шаг ($\alpha < 90^\circ$) и только в завершающей фазе с 1180 мс по 1207 мс наблюдается отталкивание от платформы величиной < 70 Н.

Значительный интерес представляет анализ проекции общего центра тяжести (ОЦТ) на площадь опоры. График значений представлен на рисунке 7.

График полностью повторяет описанные фазы отталкивания: вначале идет постановка на носок и опускание пятки, затем длительное отталкивание с постепенным (невидимым визуально) переносом веса тела с пятки на носок. Также видно небольшое смещение по оси Ox в начале постановки ноги, показывающее смещение нагрузки на внешнюю часть стопы (супинацию) под влиянием ударной нагрузки, которую испытывает свод стопы.

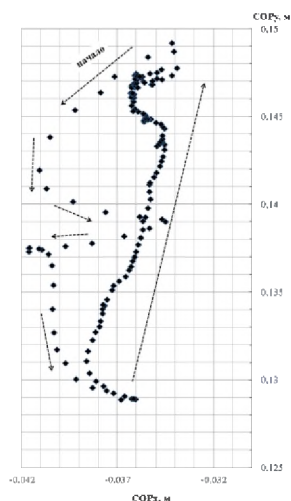


Рисунок 7 – Координаты центров давления в процессе отталкивания

Биомеханика стопорящего шага хорошо прослеживается при анализе вертикальной и горизонтальной составляющих скорости спортсменки на рисунке 8, полученной на основе анализа скоростной видеосъемки.

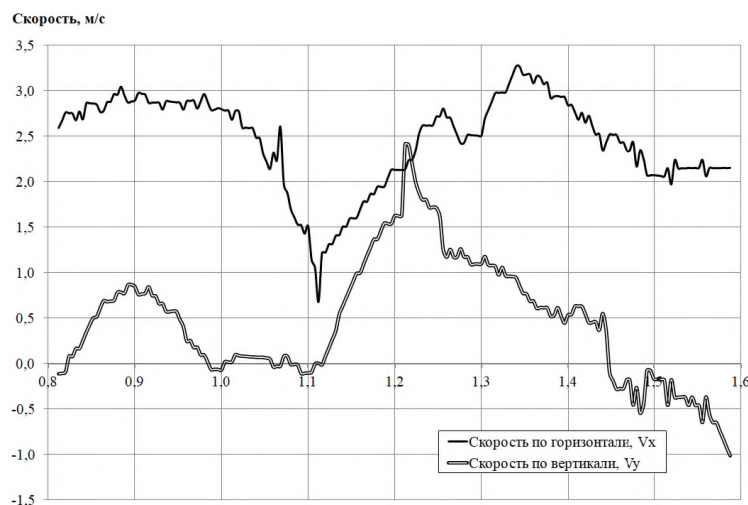


Рисунок 8 – Изменение компонентов скорости спортсменки при выполнении прыжка: 0,992 с – момент постановки; 1,216 с – момент отрыва от платформы

При постановке ноги происходит резкое падение горизонтальной скорости с 3 м/с до 0,6 м/с. После окончания отталкивания резко возрастает вертикальная скорость, достигая 2,3 м/с, а также за счет упругой рекуперации энергии горизонтальная скорость вновь достигает значения свыше 3 м/с.

ВЫВОДЫ. Проведение эмпирических измерений с использованием высокоточных инструментальных методов тензодинамометрии и скоростной видеосъемки позволило количественно проанализировать биомеханику отталкивания при выполнении прыжка касаясь (подбивной). На основе 8 попыток, выполненных двумя спортсменками, имеющими разряд «кандидат в мастера спорта», были определены следующие значения. Пиковая ударная нагрузка при отталкивании составляет $1604 \pm 51,3$ Н, что превышает вес гимнасток в $\sim 3,3$ раза. Импульс силы отталкивания составляет $116,81 \pm 1,9$ Н*с. Начальная вертикальная скорость в момент отрыва от опоры $2,48 \pm 0,03$ м/с. Высота прыжка $0,315 \pm 0,007$ м. Вектор силы реакции опоры при выполнении отталкивания изменяется от 60° до 115° . Значительная часть отталкивания приходится на стопорящий шаг.

Путем сопоставления динамограмм и кадров скоростной видеозаписи был выявлен фазовый состав постановки ноги при отталкивании: I фаза – постановка ноги на носок; II фаза – постановка ноги на полную стопу; III фаза – отталкивание полной стопой; IV фаза – подъем на носок.

Представленные в статье данные могут быть использованы в тренерской практике для объективного сравнения и оценки техники выполнения отталкивания, построения модельных характеристик и определения технических ошибок. Количественный биомеханический анализ системы выполнения отталкивания в дальнейшем позволит повысить эффективность тренировочного процесса за счёт оптимизации процесса обучения двигательному действию.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Медведева Е. Н., Супрун А. А., Котельникова Е. Б. Обоснование необходимости регламентации освоения техники прыжков в художественной гимнастике // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. 2018. № 4 (158). С. 215–219. EDN: XQKBGP.
2. Попов Э. М. Специальная скоростно-силовая подготовка как основа повышения технического мастерства в художественной гимнастике // Известия Тульского государственного университета. Физическая культура. Спорт. 2013. № 1. С. 235–240. EDN: RXEBUT.
3. Взаимосвязь эстетических ценностей и зрительских впечатлений при выполнении соревновательных упражнений в гимнастических видах спорта / Терехина Р. Н., Винер И. А., Плеханова М. Э., Кабаева А. М. // Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта. 2015. № 10 (56). С. 102–105. EDN: KYFLRH.

REFERENCES

1. Medvedeva E. N., Suprun A.A., Kotelnikova E.B. (2018), "Justification of the need to regulate the mastery of jumping technique in rhythmic gymnastics", *Scientific notes of P. F. Lesgaft University*, no. 4 (158), pp. 215–219.
2. Popov E. M. (2013), "Special speed-strength training as the basis for improving technical skills in rhythmic gymnastics", *Bulletin of Tula State University. Physical education. Sport*. No. 1, pp. 235–240. EDN: RXEBUT.
3. Terekhina R. N., Wiener I.A., Plehanova M.E., Kabaeva A.M. (2015), "The relationship between aesthetic values and spectator impressions during the performance of competitive exercises in gymnastics sports", *Scientific notes of P. F. Lesgaft University*, no. 10 (56), pp. 102–105.

Информация об авторах:

Померанцев А.А., доцент кафедры физической культуры, физиологии и медико-биологических дисциплин, ORCID: 0000-0003-4197-2183, SPIN-код: 1300-2590.

Коршиков В.М., доцент кафедры физической культуры, физиологии и медико-биологических дисциплин, ORCID: 0009-0007-7483-9318, SPIN-код: 5716-7560.

Тимирязев Д.А., кандидат в мастера спорта по спортивной гимнастике, ORCID: 0009-0004-7246-8777, SPIN-код: 8358-9877.

Баженкова Н.В., кандидат в мастера спорта по художественной гимнастике, ORCID: 0000-0002-3396-2164, SPIN-код: 5745-7528.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 30.04.2025.

Принята к публикации 05.06.2025.