

УДК 796.422.14

Изменение биомеханических показателей бегового шага спортсменок высокой квалификации на дистанции 800 м во время соревнования

Рафалович Александр Борисович^{1,2}, кандидат педагогических наук

Аткишкина Татьяна Дмитриевна¹

Дроздов Андрей Леонидович¹

Подточилин Андрей Михайлович¹

¹*Московская государственная академия физической культуры*

²*Центр спортивной подготовки сборных команд России*

Аннотация

Цель исследования – оценка динамики биомеханических показателей техники бега на 800 м в процессе прохождения дистанции спортсменками высокой квалификации в условиях соревнования.

Методы и организация исследования. С помощью скоростной (250 к/с) видеосъемки рассчитаны характеристики техники бега (длительность фаз, длина и скорость беговых шагов). Видеосъемка проводилась на прямолинейных участках дистанции в четырех точках на расстоянии 200 м одна от другой.

Результаты исследования и выводы. Определена динамика биомеханических показателей техники бега на 800 м 18 спортсменок высокой квалификации в условиях соревнования. По ходу дистанции длительность фазы опоры увеличивается, длительность фазы полета, скорость и длина беговых шагов уменьшаются. Динамика показателей беговых шагов у женщин согласуется с аналогичными данными у средневикиков-мужчин в беге на 800 м.

Ключевые слова: легкая атлетика, бег на средние дистанции, спортсменки высокой квалификации, скоростная видеосъемка, биомеханический анализ техники бега.

Changes in biomechanical parameters of the running stride of highly qualified female athletes in the 800 m distance during competition

Rafalovich Aleksandr Borisovich^{1,2}, candidate of pedagogical sciences

Atkishkina Tatyana Dmitrievna¹

Drozдов Andrey Leonidovich¹

Podtochilin Andrey Mikhailovich¹

¹*Moscow State Academy of Physical Education*

²*The Federal Training Sport Center of the representative teams of Russia*

Abstract

The purpose of the study – to assess the dynamics of biomechanical parameters of the 800 m running technique during the distance completion by highly qualified female athletes in a competitive setting.

Research methods and organization. Using high-speed (250 frames per second) video recording, the characteristics of running technique (duration of phases, length, and speed of running strides) were calculated. The video recording was conducted on straight sections of the distance at four points, 200 m apart from each other.

Research results and conclusions. The dynamics of biomechanical parameters of the 800 m running technique of 18 highly qualified athletes in competition conditions have been determined. Throughout the distance, the duration of the support phase increases, while the duration of the flight phase, speed, and length of running strides decrease. The dynamics of running stride indicators in women correspond to similar data in middle-distance male runners in the 800 m event.

Keywords: athletics, middle-distance running, highly qualified athletes, high-speed video recording, biomechanical analysis of running technique.

ВВЕДЕНИЕ. В большинстве исследований изучение биомеханических характеристик бега связано с совершенствованием техники с целью повышения её экономичности [1], а также с выявлением показателей, меняющихся при утомлении [2].

Анализ биомеханических характеристик, как правило, осуществляется в ходе лабораторных экспериментов или в процессе исследований тренировочной деятельности [1, 2]. Информации о динамике биомеханических показателей, полученных в процессе соревновательной деятельности средневики, крайне мало. В работе [3] по данным скоростной видеосъемки выявлена динамика показателей бегового шага (длительность, длина, скорость) мужчин-средневики высокой квалификации в процессе бега на 800 м на международных соревнованиях.

Скоростная видеосъемка является одним из немногих методов регистрации техники бега во время соревнований. С её помощью нами проведено исследование динамики биомеханических показателей бегового шага бегуний высокой квалификации во время соревновательного бега на 800 м.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ – оценка динамики биомеханических показателей техники бега на 800 м в процессе прохождения дистанции спортсменками высокой квалификации в условиях соревнования.

ОРГАНИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ. Видеосъемка забегов женщин на 800 м (круг 400 м) проводилась с помощью скоростных видеокамер на международных соревнованиях «Мемориал братьев Знаменских» в г. Москве. Скорость съемки – 250 к/с. В результате обработки видеосъемки рассчитаны характеристики беговых шагов 18 бегуний высокой квалификации, показавших результаты от 2:01.88 до 2:11.64 мин.

Съемка проводилась на расстоянии 180, 380, 580 и 780 м от старта (точки съемки 1-4). Камеры располагались на прямолинейных участках. Оптические оси объективов направлялись перпендикулярно беговым дорожкам (линиям разметки). Для масштабирования сцены съемки использовались легкоатлетические барьеры, расставленные по дорожкам. Обработка видеоматериалов (маркировка, оцифровка) выполнялась одним квалифицированным оператором с использованием программного обеспечения MaxTraQ 2D.

Рассчитаны длительности фаз, длина и скорость двойного бегового шага. За длительность фазы принималось среднее значение этой фазы при последовательных шагах левой и правой ногой. Длина шагов определялась по плоским координатам соответствующих точек в моменты отрыва ноги от опоры. Аналогичная процедура видеосъемки и обработки её результатов, а также способы расчета длин и фаз бегового шага использовались при исследовании характеристик беговых шагов мужчин-средневики высокой квалификации [3].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ. Как правило, при анализе техники бегунов рассматривают две основные фазы бегового шага: фазу полета и фазу опоры. Использование скоростной съемки позволяет определять и рассчитывать длительность более «мелких» опорных фаз, в каждой из которых решаются частные задачи. На рисунке 1 представлены граничные положения фазовой структуры двойного бегового шага, которая используется нами при анализе техники бегунов.

После касания стопой опоры (позы 1 и 5 на рисунке 1) начинается фаза амортизации. Во время этой фазы происходит сгибание коленного и голеностопного суставов опорной ноги, пятка движется к опоре. Это справедливо, когда постановка стопы на опору происходит с передней части стопы. В подавляющем большинстве случаев средневикам высокой квалификации свойственна именно такая техника бега.



1. Окончание фазы полета, начало фазы амортизации (первый шаг)



2. Окончание фазы амортизации, начало фазы переключения (первый шаг)



3. Окончание фазы переключения, начало фазы отталкивания (первый шаг)



4. Окончание фазы отталкивания, начало фазы полета (первый шаг)



5. Окончание фазы полета, начало фазы амортизации (второй шаг)



6. Окончание фазы амортизации, начало фазы переключения (второй шаг)



7. Окончание фазы переключения, начало фазы отталкивания (второй шаг)



8. Окончание фазы отталкивания, начало фазы полета (второй шаг)

Рисунок 1 – Позы Е. К-ной в граничные моменты фаз (бег на 800 м, точка 1: 180 м от старта)

В редких случаях, при постановке стопы на опору с пятки, в фазе амортизации наблюдается движение передней части стопы к опоре [3]. Далее выделяют фазу переключения между фазами амортизации и отталкивания. Начало (позы 2 и 6) и окончание (позы 3 и 7) фазы переключения во время первого и второго шага представлены на рисунке 1. В данной фазе отсутствует перемещение стопы опорной ноги относительно опоры. В фазе отталкивания последовательно происходит движение пятки от опоры, разгибание в коленном, а позже и в голеностопном суставах опорной ноги. В момент отрыва стопы от опоры (позы 4 и 8 на рисунке 1) происходит окончание фазы отталкивания и всей фазы опоры и начало фазы полета.

В таблице 1 приведено попарное сравнение длительностей фаз беговых шагов, измеренных в четырех точках дистанции.

В таблице 2 сравниваются длина и скорость беговых шагов в точках 2 и 4, соответствующих расстоянию 380 и 780 м от старта. В столбцах указаны сравниваемые пары, в строках – среднее значение ($\bar{c}$) и стандартное отклонение характеристик бегового шага: $1.M.\pm\sigma$ – в первой точке, $2.M.\pm\sigma$ – во второй точке из сравниваемой пары. Во время бега на 800 м активные действия в фазе опоры (отталкивание) более чем в два раза превышают по времени пассивные действия (амортизацию и переключение). По ходу преодоления дистанции данное соотношение увеличивается за счет увеличения времени фазы отталкивания. На финише дистанции (точка съемки 4) длительность этой фазы в среднем на 18% больше, чем в начале бега (точка съемки 1). В большинстве случаев при сравнении данного показателя в различных точках съемки выявлены достоверно значимые различия ($p<0,05$). Уменьшение длительности фазы отталкивания между точками съемки 2 и 3 может быть связано с «традиционным тактическим» ускорением спортсменок в беге на 800 м перед последним виражом. Длительность фаз амортизации (с момента касания стопой опоры) и переключения (отсутствие визуального перемещения стопы относительно опоры) остается практически неизменной (стабильной) на протяжении всей дистанции ($p>0,05$).

Таблица 1 – Сравнительный анализ продолжительности фаз беговых шагов в четырех точках съемки

	Пары точек съемки					
	1-2	1-3	1-4	2-3	2-4	3-4
Фаза амортизации (с)						
1. M.±σ	0,017±0,005	0,017±0,005	0,017±0,005	0,017±0,004	0,017±0,004	0,017±0,004
2. M.±σ	0,017±0,004	0,017±0,004	0,017±0,004	0,017±0,004	0,017±0,004±	0,017±0,004±
p-val	0,891	0,601	0,879	0,341	0,638	0,334
Фаза переключения (с)						
1. M.±σ	0,021±0,006	0,021±0,006	0,021±0,006	0,021±0,006	0,021±0,006	0,022±0,007
2. M.±σ	0,021±0,006	0,022±0,007	0,019±0,006	0,022±0,007	0,019±0,006	0,019±0,006
p-val	0,492	0,779	0,267	0,586	0,318	0,410
Фаза отталкивания (с)						
1. M.±σ	0,103±0,011	0,103±0,011	0,103±0,011	0,114±0,012	0,114±0,012	0,109±0,010±
2. M.±σ	0,114±0,012	0,109±0,010	0,125±0,011	0,109±0,010±	0,125±0,011	0,125±0,011
p-val	0,000002	0,024	0,0000003	0,076	0,00002	0,00004
Фаза опоры (с)						
1. M.±σ	0,141±0,010	0,141±0,010	0,141±0,010	0,151±0,010	0,151±0,010	0,148±0,009
2. M.±σ	0,151±0,010	0,148±0,009	0,161±0,010	0,148±0,009	0,161±0,010	0,161±0,010
p-val	0,0000007	0,0011	0,00000001	0,080	0,000002	0,0000
Фаза полета (с)						
1. M.±σ	0,153±0,012	0,153±0,012	0,153±0,012	0,150±0,009	0,150±0,009	0,148±0,013
2. M.±σ	0,150±0,009	0,148±0,013	0,147±0,011	0,148±0,013	0,147±0,011	0,147±0,011
p-val	0,082	0,005	0,019	0,123	0,064	0,780
Двойной шаг (с)						
1. M.±σ	0,589±0,027	0,589±0,027	0,589±0,027	0,602±0,026	0,602±0,026	0,592±0,030
2. M.±σ	0,602±0,026	0,592±0,030	0,615±0,027	0,592±0,030	0,615±0,027	0,615±0,027
p-val	0,0001	0,754	0,0003	0,007	0,004	0,0002

Как видно из таблицы 1, длительность опорной фазы увеличивается от старта к финишу дистанции. Различия составляют около 12%. В большинстве случаев попарного сравнения наблюдаются достоверно значимые различия ($p < 0,05$). Возможная причина «нарушения» динамики между точками съемки 2 и 3 указана выше.

Таблица 2 – Сравнительный анализ характеристик беговых шагов в точках 2 и 4

	Длина двойного шага (м)	Скорость двойного шага (м/с)
1. M.±σ	3,844±0,132	6,392±0,210
2. M.±σ	3,690±0,144	6,002±0,276
p-val	3,06971E-05	3,1E-06

Динамика уменьшения длительности фазы полета от старта до финиша менее выражена по сравнению с увеличением фазы опоры. Длительность фазы полета в начале дистанции на 4% больше, чем в конце ($p < 0,05$). Различие в динамике этих показателей приводит к достоверно значимому ($p < 0,001$) увеличению длительности двойного шага по ходу дистанции. Исключением является точка съемки 3. Уменьшение длительности фазы полета наблюдается также от точки к точке съемки. Однако достоверно значимых различий между этими показателями соседних точек съемки не выявлено ($p > 0,05$).

Динамика длительности фаз опоры и полета в процессе бега на 800 м у бегуний высокой квалификации представлена на рисунке 2. Как видно, наблюдается разнонаправленный характер изменения длительности этих фаз: фаза опоры по ходу дистанции увеличивается, фаза полета – уменьшается. Причем изменение длительности фазы опоры является более выраженным. Кроме того, длительность фазы опоры, точнее, ее активной части – фазы отталкивания, в значительной мере зависит

от скорости бега. Даже в утомленном состоянии (за 220 м до финиша – точка 3) при повышении скорости бега в ускорении перед последним виражом наблюдается тенденция к уменьшению ($p=0,076$) длительности фазы по сравнению с предыдущим отрезком.

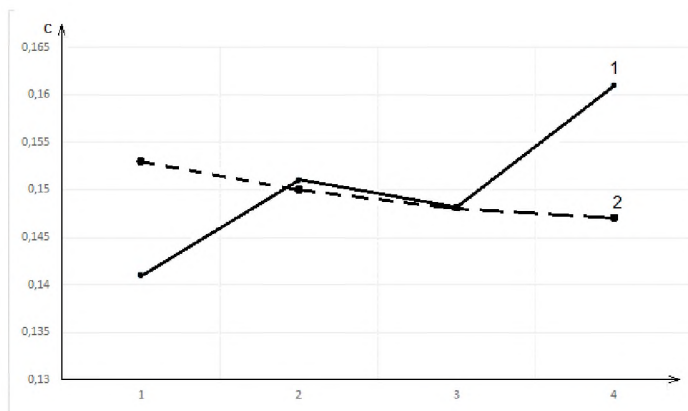


Рисунок 2 – Изменения длительности фаз опоры (линия 1) и полета (линия 2) по ходу прохождения дистанции

Длина и скорость двойного шага (двух последовательных шагов) определялись в точках съемки 2 и 4, где проводилось масштабирование сцены съемки. Эти показатели достоверно значимо ($p<0,001$) уменьшаются от середины к финишу дистанции (таблица 2). За это время и длина, и скорость беговых шагов снижаются примерно на 4%.

Сравнивая полученные результаты с данными средневи́ков-мужчин (800 м) [3], отметим, что в целом наблюдается аналогичная динамика исследуемых показателей: длительность фазы опоры увеличивается за счет увеличения фазы отталкивания, длительность фазы полета, длина и скорость беговых шагов – уменьшаются. Совпадают даже «нарушения» динамики длительности отдельных фаз в точке съемки 3 при «традиционном тактическом» ускорении. Различия связаны со степенью увеличения длительности фазы отталкивания. У женщин увеличение длительности этой фазы более выражено, что приводит к увеличению длительности двойного шага по ходу дистанции. У мужчин увеличение длительности фазы отталкивания «компенсируется» уменьшением длительности фазы полета, вследствие чего длительность двойного шага не имеет достоверно значимых различий по ходу дистанции. Возможно, данные различия связаны с разными тактическими схемами забегов у мужчин и женщин.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Выявлена динамика и получены значения показателей бегового шага женщин-средневи́ков высокой квалификации в соревновательном беге на 800 м. К концу дистанции продолжительность фазы опоры увеличилась в среднем на 12%, а фазы полета – уменьшилась на 4%. Длительность и скорость двойного шага уменьшились в среднем на 4%. Выявленные различия имеют достоверную значимость ($p < 0,05$). Динамика изучаемых показателей у женщин согласуется с аналогичными исследованиями биомеханических характеристик беговых шагов у средневи́ков-мужчин в беге на 800 м.

Длительность фазы отталкивания в процессе бега на 800 м спортсменов высокой квалификации предположительно связана не только с нарастающим утомлением, но и со скоростью бега на отдельных отрезках дистанции.

Дальнейшее развитие исследований предполагает применение 3D скоростной видеосъемки, что повысит точность измерения и упростит процедуру получения данных.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Биомеханические и биоэнергетические критерии техники бега на средние и длинные дистанции / В. Д. Кряжев, А. В. Доронцев, А. В. Швецов, Е. Н. Амелина // Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта. 2023. № 1 (215). С. 267–271.
2. Биомеханика утомления в беге / Е. Е. Аракелян, В. В. Тюпа, О. Д. Михайлова, О. Н. Мнухина // Теория и практика физической культуры. 2010. № 1. С. 66–72.
3. Динамика биомеханических показателей техники бега на 800 метров в условиях соревнования спортсменов высокой квалификации / А. Б. Рафалович, А. Л. Дроздов, Т. Д. Аткишкина, А. М. Подточилин // Теория и практика физической культуры. 2024. № 10 (1036). С. 99–101.

REFERENCES

1. Kryazhev V. D., Doroncev A. V., Shvecov A. V., Amelina E. N. (2023), “Biomechanical and bioenergetic criteria of middle and long distance running technique”, *Uchenye zapiski Universiteta imeni P.F. Lesgafta*, 1 (215), pp. 267–271.
2. Arakelyan E. E., Tyupa V. V., Mihajlova O. D., Mnuhina O. N. (2010), “Biomechanics of fatigue in running”, *Theory and Practice of Physical Culture*, 1, pp. 66–72.
3. Rafalovich A. B., Drozdov A. L., Atkishkina T. D., Podtochilin A. M. (2024) “Dynamics of biomechanical indicators of 800-meter running technique in conditions of competition of highly qualified athletes”, *Theory and Practice of Physical Culture*, 10, pp. 6–9.

Информация об авторах:

Рафалович А. Б., заведующий лабораторией НИИ проблем физической культуры и спорта МГАФК, аналитик Центра спортивной подготовки сборных команд России, Albor_21@mail.ru, ORCID: 0009-0007-2105-4584, SPIN-код: 8459-2533.

Аткишкина Т. Д., научный сотрудник НИИ проблем физической культуры и спорта МГАФК, t.atkishkina@gmail.com, ORCID: 0009-0006-9262-3513, SPIN-код: 1302-2310.

Дроздов А. Л., старший научный сотрудник НИИ проблем физической культуры и спорта МГАФК, Dan.mez@mail.ru, ORCID: 0000-0002-3476-811X.

Подточилин А. М., научный сотрудник НИИ проблем физической культуры и спорта МГАФК, scorpikkk@yandex.ru, ORCID: 0009-0005-8055-4584, SPIN-код: 2444-5983.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 21.01.2025.

Принята к публикации 18.02.2025.