

DOI: 10.15593/RJBiomech/2020.1.02
УДК 531/534: [57+61]



**Российский
Журнал
Биомеханики**
www.biomech.ru

АНАЛИЗ КИНЕМАТИКИ РАЗБЕГА В СОРЕВНОВАНИИ ПО ПРЫЖКАМ В ДЛИНУ У СПОРТСМЕНОВ МУЖСКОЙ КОМАНДЫ ИОРДАНИИ

А.О. Фаттах¹, А.С. Батаине²

¹ Ministry of Education, Suleiman Al Nabulsi Street, 10, 11118, Amman, Jordan, e-mail: osamhsaf.2811@gmail.com

Министерство образования, Амман, Иордания

² Yarmouk University, Shafiq Irshidat Street, 21163, Irbid, Jordan e-mail: ahmedbataneh@hotmail.com

Университет Ярмук, Ирбид, Иордания

Аннотация. Целью исследования было изучение кинематических переменных на этапах разбега и отталкивания вверх, а в дальнейшем исследование взаимосвязи между этими кинематическими переменными у спортсменов иорданской мужской команды в соревнованиях по прыжкам в длину. Для этого было выбрано четыре элитных прыгуна мужского пола из иорданской мужской команды (возраст $(18 \pm 0,6)$ лет; рост (180 ± 2) см; масса (72 ± 2) кг; длина ноги (87 ± 1) см; тренировочный стаж $(4 \pm 0,58)$ лет). Испытуемых снимали цифровыми видеокамерами (*Nikon D3400*, 60 кадров в секунду). Первая камера была размещена на расстоянии 20 м в сторону от центра пробега для захвата шагов, вертикальная высота камеры составляла 1,2 м. Вторая камера была расположена для захвата последних двух шагов и фазы отталкивания вверх, эта камера была размещена на расстоянии 8 м в сторону от последних двух шагов для захвата других переменных исследования, вертикальная высота камеры составляла 1 м. Видеоданные были получены с помощью программы *Kinovea* (версия 0.8.27 × 64), где анализировалась лучшая попытка. Это исследование включало 15 кинематических переменных. По полученным результатам можно сделать вывод, что испытуемые демонстрируют асимметричные результаты по большинству исследуемых переменных, за исключением переменной «время приземления». Кроме того, один интересный вывод состоит в том, что высота центра масс при отталкивании вверх является единственной переменной, которая имеет статистически значимую связь с дальностью достижения ($r = 0,949$). В итоге рекомендуется создание кинематического файла для каждого прыгуна в длину.

Ключевые слова: кинематика, переменные, прыжок в длину, разбег, фаза отталкивания вверх.

ВВЕДЕНИЕ

Современные спортсмены тренируются сегодня с помощью очень сложных средств, которые оказались весьма полезными для достижения более высоких результатов в любом виде спорта. Прыжки в длину являются одним из наиболее естественных видов соревнований в легкой атлетике, в котором природные способности спортсмена играют большую роль, а техника имеет второстепенное значение [19]. Важным компонентом повышения эффективности движений спортсмена является подбор оптимальных параметров, предопределяющих успешность выполнения технических действий. Успех в прыжках в длину в основном зависит от

способности спортсмена трансформировать свою горизонтальную скорость разбега в горизонтальную и вертикальную составляющие скорости отталкивания вверх во время опорной фазы прыжка. Биомеханические анализы указывают на важность снижения положения центра тяжести во время последних шагов разбега [10]. В работе [5] авторы утверждали, что элитные прыгуны в длину опускали центр тяжести во время фазы полета предпоследнего шага и оставались на низком уровне до тех пор, пока не поднимали его во время фазы поддержки самого прыжка. Далее, удлинение предпоследнего шага рассматривалось как соответствующий фактор для снижения положения центра тяжести.

Наиболее важными факторами в прыжках в длину являются скорость, высота прыжка и фаза отталкивания вверх [17]. Начало бега, интенсивность отталкивания вверх являются основными составляющими, от которых зависит длина прыжка, и не имеет значения, на котором этапе рассматривается техника [15]. Эффективность прыжков в длину определяется в первую очередь способностью спортсмена к достижению быстрой горизонтальной скорости в конце разбега [9]. Таким образом, последние два шага разбега имеют решающее значение. Более 67% от общей корректировки для исправления предыдущих ошибок в движении производится в течение последних двух шагов прыжка. Кроме того, элитные прыгуны в длину регулируют положение своего тела так, чтобы подготовиться к фазе отталкивания вверх во время предпоследнего шага, увеличивая длину шага и тем самым снижая высоту центра тяжести [5]. Поэтому скорость разбега и техника отталкивания вверх являются наиболее важными для большой длины прыжка [2, 4, 13].

Фаза отталкивания вверх имеет решающее значение при успешной скорости, с которой профессиональные прыгуны подходят к линии начала прыжка, скорость колеблется от 9,50 до 11,50 м/с. Однако некоторые прыгуны, приближаясь к месту отскока, снижают скорость бега, пытаясь поймать темп за последние три шага до фазы отталкивания вверх, в отличие от других, которые увеличивают скорость бега, приближаясь к месту отскока [15]. Согласно работам [6, 15], скорость, достигнутая прыгуном на бегу, не идентична максимальной скорости спринта, что связано с невозможностью качественного отображения. Лучшие прыгуны больше используют свою спринтерскую скорость (около 90%), чем прыгуны среднего и нижнего уровня (85%). Этот подход преследует три основные цели: достижение высокой горизонтальной скорости, поддержание точности с устойчивой моделью шага и поддержание правильного положения тела. Длина разбега обычно составляет 14–20 шагов, причем наиболее распространенными являются 16–18 шагов. Возможность перехода горизонтальной скорости в вертикальную определяется на последних двух шагах забега, ведущих к фазе отталкивания вверх. Эти два шага будут определять не только скорость, но и угол прыжка в фазе отталкивания вверх, в конечном счете переводя его на расстояние прыжка. Идеальный угол прыгуна в фазе отталкивания вверх должен быть, как правило, около 25°. Элитные прыгуны обычно демонстрируют 19–21°.

Перевод горизонтальной скорости в вертикальную должен быть сведен к минимуму, и это достигается с помощью техники предпоследнего шага. *Langhorne et al.* (1997) рассчитали оптимальные углы отталкивания для спортсменов, которые хорошо согласуются с их обычными соревновательными (31–35°). Угол отталкивания является еще одним важным фактором, влияющим на прыжок в длину, и он определяется исключительно сочетанием вертикальной и горизонтальной составляющих скорости спортсменов во время фазы отталкивания вверх. Однако связь между горизонтальной и вертикальной составляющими скорости весьма сложна. Большая горизонтальная

скорость сокращает время контакта спортсмена с землей и как следствие ограничивает формирование вертикальной скорости при взлете. Генерация вертикальной скорости, с другой стороны, требуется для фаз отталкивания вверх и приземления, чтобы дать спортсмену высоту и время в воздухе. Чтобы увеличить контакт с землей и помочь генерированию вертикальной скорости, спортсмен помещает ногу впереди дальше центра масс во время фазы приземления, создавая небольшой угол ноги при приземлении. Однако это приводит к уменьшению горизонтальной скорости, создавая отрицательный горизонтальный импульс. Следовательно, вертикальная скорость необходима для высоты прыжка, а горизонтальная для расстояния прыжка, и компромисс между горизонтальной и вертикальной скоростями имеет большое значение для успешного прыжка в длину [2, 11, 18].

Для успешного технического анализа в легкой атлетике используются современные биомеханические методы, а полученные результаты подвергаются многочисленным анализам. На основе биомеханических параметров можно планировать, программировать и анализировать наиболее успешные приемы двигательной структуры спортсмена, а опираясь на эту информацию, строить проекции для лучшей модели в данной дисциплине. Хотя разгон до максимальной скорости при подготовке к отталкиванию вверх может показаться простой концепцией, он является критической отправной точкой для прыжка. Даже один недостаток в разбеге значительно снизит эффективность каждого из других элементов прыжка. По этой причине сосредоточенность и концентрация на технических аспектах разбега имеют решающее значение для развития устойчивой походки к линии фола. Таким образом, целью настоящего исследования была диагностика скорости бега и фазы отталкивания вверх у игроков иорданской команды в прыжках в длину. Кроме того, важна связь этих кинематических переменных с дальностью достижения. Эти цели возникли благодаря интересу исследователей и полевому опыту в области легкой атлетики в Иордании.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследователи использовали описательный подход при выборке, состоящей из четырех элитных прыгунов в длину из иорданской мужской команды, где исследуемая проба составляла 100% от исследуемой популяции. Команда участвовала в этом исследовании (возраст $(18 \pm 0,6)$ лет; рост (180 ± 2) см; масса тела (72 ± 2) кг; длина ног (87 ± 1) см; тренировочный стаж $(4 \pm 0,58)$ лет). Коэффициент вариации отличается от однородности показателей членов исследуемой выборки по названным переменным. Известно, что коэффициент вариации – это отношение среднеквадратического отклонения к среднему значению. Предпочтительными значениями коэффициента разности обычно являются менее 50%. Обзор антропометрических показателей исследуемой выборки показал, что наибольшее значение составляет 7,92% для тренирующегося возраста. Поскольку это значение очень мало, можно сделать вывод, что проба исследуемой выборки однородна по этим переменным.

Данные были собраны во время обучения на факультете физического воспитания Иорданского университета. После разминки каждый прыгун в длину выполнял по три попытки. Объекты снимались цифровыми видеокамерами (*Nikon D3400*, 60 кадров в секунду). Первая камера была размещена на расстоянии 20 м сбоку от центра разбега, чтобы запечатлеть шаги и время достижения до последних двух шагов, вертикальная высота камеры составляла 1,20 м. Таким образом, мы можем получить среднюю скорость в разбеге. Вторая камера была расположена для захвата последних двух шагов и фазы отталкивания вверх, эта камера была размещена на расстоянии 8 м в сторону от последних двух шагов для захвата других переменных

исследования, вертикальная высота камеры составляла 1 м. Анализ видеоданных был выполнен с помощью программы *Kinovea* (версия 0.8.27 × 64), где была проанализирована лучшая попытка. Кроме того, была проведена описательная статистика для расчета среднего значения, стандартного отклонения и корреляционной матрицы для каждой переменной.

Временные и пространственные переменные определялись следующим образом: дальность достижения, скорость разбега (м/с), скорость предпоследнего шага (м/с), скорость последнего шага (м/с), скорость центра тяжести после приземления (м/с), горизонтальная скорость центра тяжести (м/с), вертикальная скорость центра тяжести (м/с), потеря скорости (м/с), угол отталкивания вверх (°), высота центра тяжести на предпоследнем шаге (м), высота центра тяжести на последнем шаге (м), высота центра тяжести при отталкивания вверх (м), время приземления (с), время, в течение которого нога находилась в контакте с землей от приземления до отталкивания вверх (с), среднее значение длины шага при разбеге (м), длина предпоследнего шага (м) и длина последнего шага (м). Длина шага рассчитывалась как расстояние между лодыжками [1, 3, 7, 12, 16].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Значения скоростей, углы отталкивания вверх, высоты центра тяжести и длины шага представлены на рис. 1–4. Результаты статистически значимых корреляций между кинетическими переменными в фазе разбега, отталкивания вверх, а также между этими кинетическими переменными и дальностью достижения отображены в таблице.

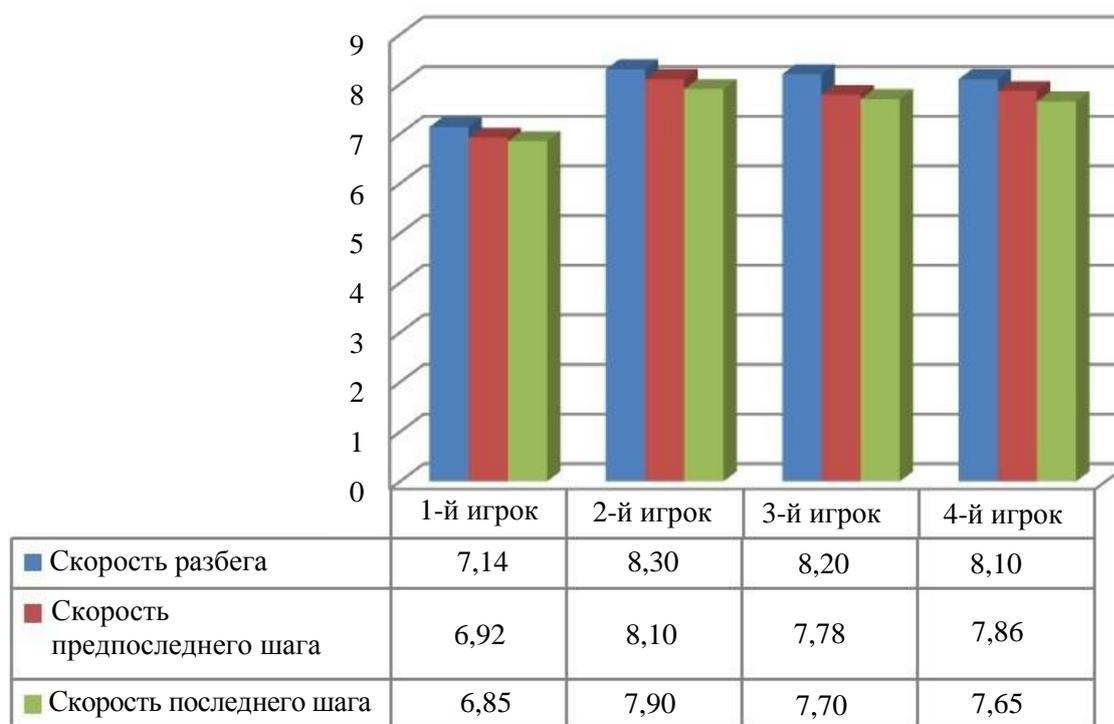


Рис. 1. Значения скоростей (м/с) при последних двух шагах спортсмена и разбеге

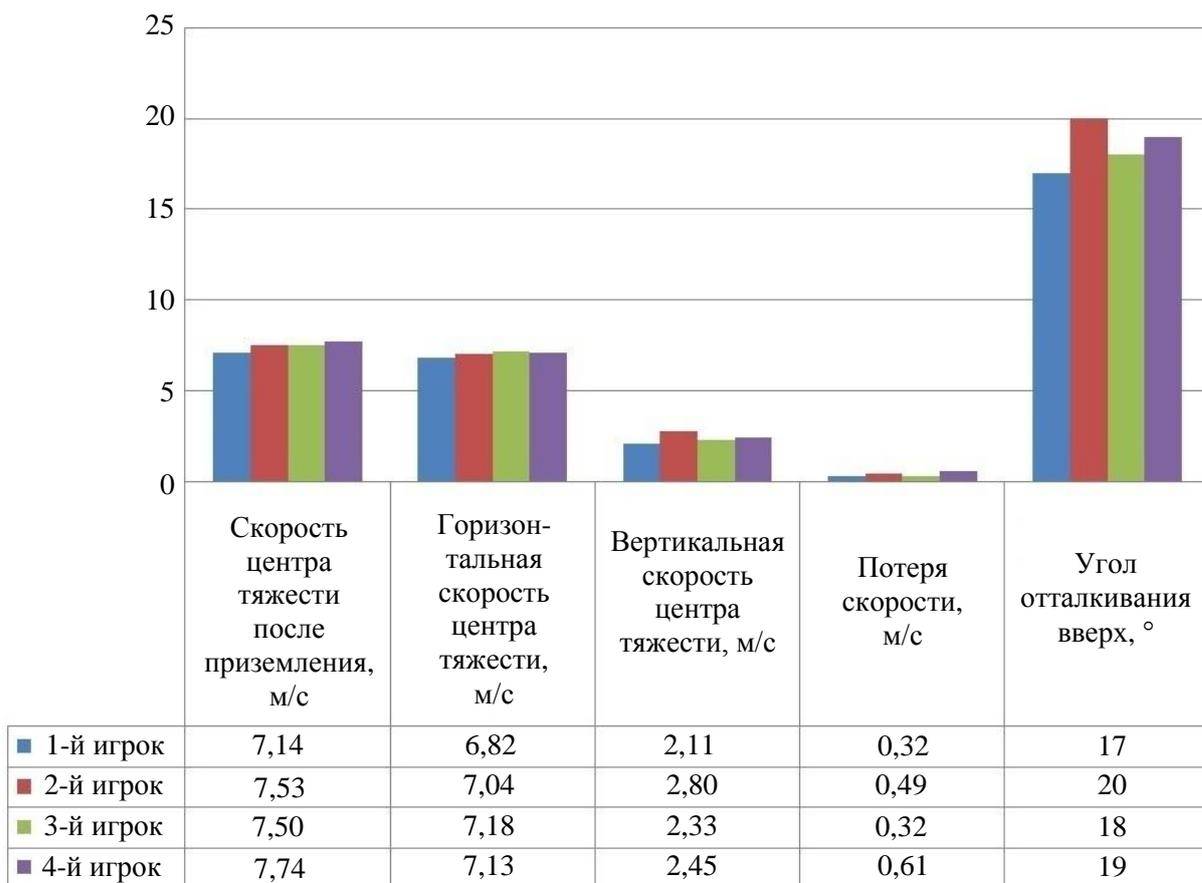


Рис. 2. Значения скоростей центра тяжести спортсмена после приземления и углы отталкивания вверх

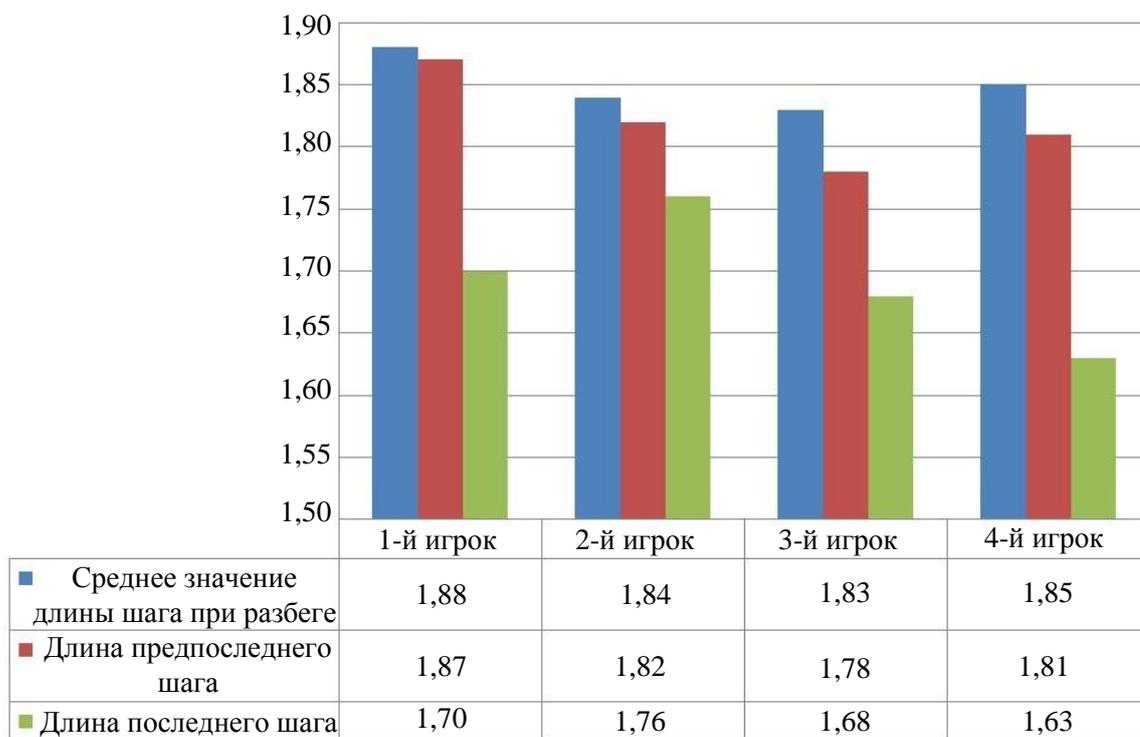


Рис. 3. Значения длины шага (м) спортсменов при последних двух шагах и разбеге

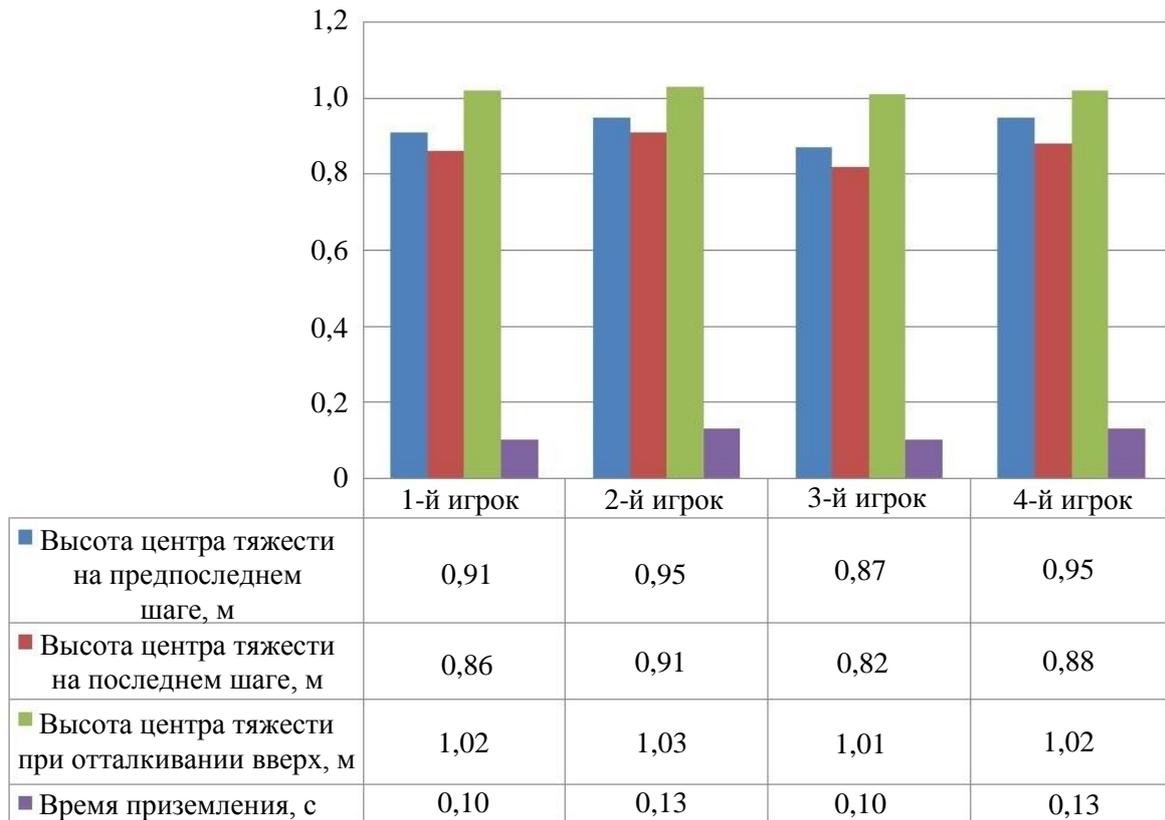


Рис. 4. Высоты центра тяжести спортсменов при последних двух шагах и фазе отталкивания вверх

Статистически значимые корреляции между кинетическими переменными исследования

Переменные	Переменные	Коэффициент корреляции
Дальность достижения	Высота центра тяжести при отталкивания вверх, м	0,949*
Скорость предпоследнего шага, м/с	Вертикальная скорость центра тяжести, м/с	1,000**
	Угол отталкивания вверх, °	1,000**
Горизонтальная скорость центра тяжести, м/с	Длина предпоследнего шага, м	1,000**
Угол отталкивания вверх, °	Вертикальная скорость центра тяжести, м/с	1,000**
Потеря скорости, м/с	Скорость центра тяжести после приземления, м/с	0,949*
	Время приземления, с	0,943*
Высота центра тяжести на предпоследнем шаге, м	Время приземления, с	0,943*
Высота центра тяжести на последнем шаге, м	Высота центра тяжести на предпоследнем шаге, м	0,949*
	Высота центра тяжести при отталкивании вверх, м	0,949*

*Корреляция значима на уровне 0,05

** Корреляция значима на уровне 0,01

ОБСУЖДЕНИЕ

Дискретным пунктом исследования было определение значений некоторых кинематических переменных в разбеге и связей между этими кинематическими переменными. При изучении фазы разбега и двух последних шагов прыжка в длину было обнаружено снижение скоростей предпоследнего и последнего шагов по сравнению со средней скоростью разбега. Мы определили, что исследуемая выборка потеряла 3,39% скорости в предпоследнем шаге и 5,12% в последнем шаге по сравнению со средней скоростью разбега. Кроме того, эти скорости были ниже, чем в предыдущих исследованиях [3, 7, 16]. Результаты этого исследования показали статистическую корреляцию между скоростью предпоследнего шага и вертикальной скоростью центра тяжести, углом отталкивания вверх ($r = 1$). Один из самых поразительных результатов – отсутствие статистически значимой связи между скоростью последнего шага и любыми изучаемыми переменными. Кроме того, горизонтальная и вертикальная составляющие скорости центра тяжести спортсменов в момент отталкивания вверх не совпадают с предыдущими исследованиями [1, 3], где исследуемая выборка теряла 7,13% горизонтальной скорости центра тяжести от средней скорости разбега. В фазе отталкивания вверх преобразование горизонтальной скорости центра тяжести в вертикальную с минимальными потерями горизонтальной скорости было важно для максимизации дальности прыжка, при этом учитывалось влияние угла отталкивания вверх, который оказался низким по сравнению с предыдущими исследованиями [12, 16]. Результаты этого исследования показали статистическую корреляцию между горизонтальной скоростью центра тяжести и длиной предпоследнего шага ($r = 1$), а также между скоростью центра тяжести после приземления и потерей скорости ($r = 0,949$).

При исследовании длин двух последних шагов у прыгунов в длину было обнаружено, что исследуемая выборка увеличила длину предпоследнего и последнего шагов по сравнению со средним значением длины шага при разбеге, наибольшее падение было в последнем шаге; в многочисленных исследованиях было показано, что для большинства прыгунов последний шаг короче предпоследнего. Такие же результаты были показаны и для превосходных дальних прыжков, в которых последний шаг был длиннее предпоследнего [14]. *Beamon*, например, имел предпоследний и последний шаги – 2,40 и 2,57 м, когда он установил свой мировой рекорд 8,90 м. Наконец, не было обнаружено никакой значимой связи ($r = 0,40$) между отношением длин предпоследнего и последнего шагов и дальностью достижения исследуемой выборки, хотя результаты этого исследования показали статистическую корреляцию между длиной предпоследнего шага и горизонтальной скоростью центра тяжести ($r = 1$). Исследователи считают, что длина последних двух шагов важна. Учитывая ее связь с фазой отталкивания вверх, эта фаза важна для преобразования горизонтальной скорости центра тяжести в вертикальную с минимальной потерей горизонтальной скорости, и также важно было максимизировать расстояние прыжка. Это было продемонстрировано статистически значимой зависимостью между высотой центра тяжести при отталкивании вверх и дальностью достижения ($r = 0,949$), углом отталкивания вверх и скоростью предпоследнего шага ($r = 1$), углом отталкивания вверх и вертикальной скоростью центра тяжести ($r = 1$). Исследователи отметили, что игрок, достигший наилучшего результата 6,14 м, преобразует горизонтальную скорость центра тяжести в вертикальную с минимальной потерей горизонтальной скорости центра тяжести 1,2%.

При сравнении высоты центра тяжести спортсменов в течение последних двух шагов и фазой отталкивания вверх обнаруживается значимая зависимость между высотой центра тяжести на последнем шаге и высотой центра тяжести на

предпоследнем шаге, а также и высотой центра тяжести на фазе отталкивания вверх ($r = 0,949$, $r = 0,949$), между высотой центра тяжести на предпоследнем шаге и временем приземления ($r = 0,943$). Стоит отметить, что переменная высота центра тяжести при отталкивании вверх является единственной переменной, связанной со статистически значимой зависимостью с дальностью достижения ($r = 0,949$). Это отражает роль и значение всех кинематических переменных исследования в получении идеальной высоты центра тяжести при отталкивании вверх. Наконец, испытуемые показывают сходные результаты по времени приземления [16]. Это период времени контакта стопы с землей в момент концентрации, когда необходимо произвести усилие, чтобы увеличить скорость или изменить направление.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Все эти кинематические переменные могут быть ключом к успеху спортсмена в прыжках в длину, субъекты этого исследования показывают асимметричные результаты по большинству переменных исследования, кроме времени приземления. Один интересный вывод заключается в том, что высота центра тяжести при отталкивании вверх является единственной переменной, которая имеет статистически значимую связь с дальностью достижения. Кроме того, эта переменная связана с высотой центра тяжести на последнем шаге, поэтому можно сослаться на то, что фаза отталкивания вверх является одним из ключевых генераторов успешного прыжка в длину. Это требует внимания на данном этапе посредством создания кинематического файла для каждого прыгуна в длину и применения новых стратегий обучения, направленных на устранение слабых мест. Кроме того, мы рекомендуем тренерам выделить время в своих планах на отработку и совершенствование этих кинематических переменных, а также других элементов данного мероприятия, важных для достижения лучших соревновательных результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Baozhai L., Xue D., Xincheng S. The 3D jumping technical analysis of long jump athletes based on the statistics // 2nd International Conference on Science and Industrial Engineering. – 2013. – P. 413–416.
2. Bridgett L.A., Linthorne N.P. Changes in long jump take-off technique with increasing run up speed // Journal of Sports Sciences. – 2006. – Vol. 24, no. 8. – P. 889–897.
3. Cetin E., Özgür Ö., Yeliz Ö. Kinematic analysis last four stride lengths of two different long jump performance // Procedia-Social and Behavioral Sciences. – 2014. – Vol. 116. – P. 2747–2751.
4. Chow J.W., Hay J.G. Computer simulation of the last support phase of the long jump // Medicine & Science in Sport & Exercise. – 2005. – Vol. 37, no. 1. – P. 115–123.
5. Hay J., Nohara H. Techniques used by elite long jumpers in preparation for take-off // Journal of Biomechanics. – 1990. – Vol. 23. – P. 229–239.
6. Idrizović K. Atletika I i II. [Athletics I and II. In Serbian]. – Univerzitet Crne Gore, 2010.
7. Ikram H., Asimkhan S., Arif M., Mohd B., Ahsan A. A comparison of selected kinematical parameters between male and female intervarsity long jumpers // Journal of Physical Education and Sport. – 2011. – Vol. 11, no. 2. – P. 182–187.
8. Langhorne N. Biomechanics of the long jump. Biomechanical research project athen's. – Uxbridge: Brunel University, 1997. – 344 p.
9. Lees A., Fowler N., Derby D. A biomechanical analysis of the last stride, touch-down and take-off characteristics of the women's long jump // Journal of Sports Sciences. – 1993. – Vol. 11, no. 4. – P. 303–314.
10. Lees A., Graham-Smith P., Fowler N. A biomechanical analysis of the last stride, touch-down, and take-off characteristics of the mens long jump // Journal of Applied Biomechanics. – 1994. – Vol. 10, no. 1. – P. 61–78.
11. Linthorne N. Biomechanics of the long jump. Eds. Y. Hong, R. Bartlett // Routledge Handbook of Biomechanics and Human Movement Science. – Oxford: Taylor & Francis, 2008. – P. 340–353.

12. Mendoza L., Nixdorf E., Isele R., Günther C. Biomechanical analysis of the long jump men and women final // Scientific Research Project Biomechanical Analyses at the 12 World Championship. – 2009. – P. 24.
13. Muraki Y., Ae M., Koyama H., Yokozawa T. Joint torque and power of the take-off leg in the long jump // International Journal of Sport and Health Science. – 2008. – Vol. 6. – P. 21–32.
14. Nigg B.M. Sprung, springen, springe, zurich; scientific report on the World championship in athletics. Eds. P. Brüggemann, P. Susanka // International Athletic Foundation. – Rome, 1987. – 2-nd ed. – 13 p.
15. Pavlović R. Athletics/textbook. – Niš: Association of Writers "Branko Miljković", 2016.
16. Ratko P., Dobromir B., Daniel S. Differences in kinematic parameters of the long jump between male and female finalists of World championships – Berlin 2009 // International Journal of Science Culture and Sport. – 2016. – Vol. 1, no. 2. – P. 353–366.
17. Seyfarth A., Blickhan R., Leeuwen J.L. Optimum take-off techniques and muscle design for long jump // The Journal of Experimental Biology. – 2000. – Vol. 203. – P. 741–750.
18. Seyfarth A., Friedrichs A., Wank V., Blickhan R. Dynamics of the long jump // Journal of Biomechanics. – 1999. – Vol. 32, no. 12. – P. 1259–1267.
19. Tan A., Zumerchik J. Kinematics of the long jump // The Physics Teacher. – 2000. – Vol. 38, no. 3. – P. 147–149.

ANALYSIS OF KINEMATICS OF THE APPROACH RUN IN LONG JUMP EVENT AMONG ATHLETES OF JORDANIAN MALE TEAM

A.O. Fattah (Amman, Jordan), A.S. Bataineh (Irbid, Jordan)

The purpose of this investigation was to study kinematic variables at the approach run and take-off phase, furthermore to study the relationships between these kinematic variables among Jordanian male team in long jump event. To achieve this, four elite male jumpers from the Jordanian male team (age 18 ± 0.6 years; height 180 ± 2 cm; mass 72 ± 2 kg; the leg length 87 ± 1 cm; training age 4 ± 0.58 years) were studied. Subjects were filmed by digital video cameras (Nikon D3400, 60 fps). The first camera was placed 20 m lateral from the center of the approach run to capture the steps, vertical height of the camera was 1.2 m. The second camera was positioned to capture the last two strides and take-off phase, this camera was placed 8 m lateral from the last two strides to capture other study variables, vertical height of the camera was 1 m. The video data were performed with Kinovea analysis program (version 0.8.27 × 64), where the best attempt was analyzed. This study involved 15 kinematic variables. According to the results obtained in this study, we can conclude that the subjects of this study show asymmetrical results in most study variables except touch-down time variable. Furthermore, one interesting finding is that a height of center of mass at take-off variable is the only one that has a statistically significant relationship with the achievement distance ($r = 0.949$). Finally, it is needed the creation of a kinetic file for each long jumper.

Key words: kinematics, variables, long jump, approach run, take-off phase.

Получено 9 января 2020