

УДК 796.422.12:612.76

АНАЛИЗ ДВИЖЕНИЯ ОБЩЕГО ЦЕНТРА МАСС ЛЕГКОАТЛЕТОВ-СПРИНТЕРОВ ПРИ СТАРТЕ

Л.Л. Ципин, М.А. Самсонов

Кафедра биомеханики Национального государственного университета физической культуры, спорта и здоровья имени П.Ф. Лесгафта, Россия, 190121, Санкт-Петербург, ул. Декабристов, 35, e-mail: spb_biomechanics@rambler.ru

Аннотация. Работа относится к области биомеханики спорта и посвящена изучению кинематических характеристик движения общего центра масс спортсменов старших разрядов при выполнении старта в спринтерском беге. Рассмотрены три варианта низкого старта, отличающиеся расположением упоров стартовой колодки: сближенный, средний и растянутый. В каждом из вариантов варьировалось расстояние от переднего упора колодки до стартовой линии. Определены начальное положение, длина траектории, время движения и горизонтальная скорость общего центра масс при выходе со старта. Обнаружено, что расстояние от проекции общего центра масс на опору до линии старта по команде «Внимание!» достоверно растет при переходе от сближенного к растянутому варианту старта и с удалением переднего упора стартовой колодки от линии старта. На общее время выхода со старта в основном влияет время движения общего центра масс, которое обусловлено длиной траектории и скоростью общего центра масс. Форма траекторий общего центра масс и кривизна их отдельных участков в разных вариантах старта мало отличаются. Основное различие касается длины траекторий. В сближенном варианте старта при расстоянии от линии старта до переднего упора колодки в интервале от $(0,50 \pm 0,01)$ до $(0,55 \pm 0,01)$ м (1,7–1,9 стопы), а между упорами – 0,29 м (1 стопа) имеет место относительно небольшая длина траектории общего центра масс и достигается его высокая горизонтальная скорость. В этом случае происходит наиболее быстрый выход со старта и стартовый разгон на первых 10 м дистанции, что делает данный вариант старта предпочтительным.

Ключевые слова: спринтерский бег, варианты старта, общий центр масс, кинематические характеристики.

ВВЕДЕНИЕ

Результат в спринтерском беге во многом обусловлен действиями спринтера на старте. Как отмечают многие исследователи, а также практикующие тренеры, быстрый старт существенно влияет на достижение высокой скорости в беге на 60 и 100 м [1, 3, 6, 11, 14, 15]. Эффективный выход со старта зависит от вариантов старта, которые подбираются спортсменом индивидуально с учетом антропометрических особенностей и скоростно-силовой подготовленности [5, 12, 13]. В настоящее время применяются сближенный, средний (обычный) и растянутый варианты низкого старта. Они отличаются расстоянием между упорами стартовой колодки и между линией старта и передним упором колодки.

Изучая действия спринтеров на старте, большинство специалистов рассматривают кинематические характеристики движения отдельных звеньев тела спортсмена, а также

усилия, развиваемые при отталкивании от упоров стартовой колодки. Вместе с тем представляет интерес анализ движения общего центра масс спортсмена при выходе со старта, позволяющий оценить движение его тела в целом. Сведения о таких исследованиях в отечественной специальной литературе отсутствуют, а в зарубежной представлены в ограниченном числе работ [10, 16, 17]. Одна из последних таких работ, в которой на основе высокоточной оптико-электронной аппаратуры определялись наряду с другими характеристиками положение, скорость и кинетическая энергия общего центра масс девяти высококвалифицированных спринтеров уровня национальной сборной, была проведена французскими и швейцарскими учеными в 2012 г. [18]. Было, в частности, показано, что скорость общего центра масс при выходе со старта принимает наибольшее значение в растянутом варианте старта, однако при стартовом разгоне время на отрезке 10 м оказалось меньше для среднего и сближенного вариантов старта. Авторы отмечают, что полученные результаты могут объясняться тем, что тестируемые спортсмены применяют средний вариант старта постоянно, и он для них является привычным. В этой связи уместно предположить, что спортсмены более низкого уровня, у которых двигательный навык выполнения стартовых действий сформирован не столь прочно, смогут быстрее адаптироваться к различным вариантам старта и реализовать свои возможности в наиболее оптимальном из них. Кроме того, в каждом варианте старта существует некоторая вариация расстояния от линии старта до переднего упора и между упорами стартовой колодки, что необходимо учитывать при проведении экспериментов.

Целью данной работы является определение кинематических характеристик движения общего центра масс легкоатлетов-спринтеров при выходе со старта и выявление на этой основе оптимального варианта низкого старта.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании участвовали 10 спортсменов, студенты Национального государственного университета физической культуры, спорта и здоровья имени П.Ф. Лесгафта, Санкт-Петербург, специализирующиеся в спринтерском беге. Квалификация спортсменов – первый разряд и кандидаты в мастера спорта. Возраст – 17–20 лет, рост – 1,70–1,85 м, масса тела – 58–89 кг. Эксперимент проводился на специально-подготовительном этапе тренировки. Изучались три варианта низкого старта, отличающиеся расположением упоров стартовой колодки: сближенный, средний и растянутый. В каждом варианте старта, кроме того, варьировалось расстояние от переднего упора колодки до стартовой линии. Оно менялось в большую и меньшую сторону на 0,05 и 0,010 м (рис. 1). Таким образом, в каждом варианте старта изучалось пять расстановок упоров и, соответственно, пять стартовых поз. Расстояние при установке упоров измерялось стопами, а также рулеткой. Длина стопы в спортивной обуви составляла в среднем 0,29 м. Измерение расстояния в стопах является традиционным в легкой атлетике и позволяет учесть индивидуальные антропометрические особенности спортсменов. Между длиной стопы и ростом, массой тела, длиной нижней конечности и длиной бедра существует положительная корреляция ($r = 0,40 \dots 0,65$) [4].

Каждому спортсмену давалась установка на максимально быстрый уход со стартовой колодки и последующее пробегание с максимальной скоростью 10 м. Определялись кинематические характеристики движения общего центра масс спринтеров при выходе со старта, а также время пробегания 10 м. Выход со старта начинался со стартового сигнала и заканчивался отрывом впереди стоящей ноги от опоры (рис. 2). Для адаптации спортсменов к различным вариантам старта с ними были проведены две предварительные тренировки.



Рис. 1. Расположение упоров стартовой колодки при различных вариантах низкого старта



Рис. 2. Граничные позы спортсмена при выходе со старта

Положение общего центра масс спринтеров определялось с использованием скоростной серийной фотосъемки цифровой камерой *CASIO EXILIM Pro EX-F1* с разрешением 2816×2112 . Частота съемки – 60 кадр/с, расстояние от камеры до спортсмена – 4 м. Камера располагалась на высоте 0,5 м, оптическая ось объектива была перпендикулярна сагиттальной плоскости тела спортсмена. В непосредственной близости за спортсменом располагался калибровочный экран. Проекция осей суставов на теле отмечались контрастными маркерами диаметром 0,003 м. Обработка фотоизображения производилась с использованием программы *Photoshop CS 2*. Кадрирование и регистрация координат выполнялись в масштабе 1:1.

Расчет координат общего центра масс производился на основе шестнадцатизвенной модели тела человека, включающей следующие звенья: голову, верхний, средний и нижний отделы туловища, плечо, предплечье и кисть левой и правой рук, бедро, голень и стопу левой и правой ног. Для нахождения массы звеньев и положения их центров масс применялись регрессионные уравнения, приведенные в работах Селуянова и Зациорского, которые получены на основе радиоизотопного метода определения масс-инерционных характеристик звеньев тела человека [2, 7, 19]. Расчет производился по наиболее прогностическим антропометрическим признакам спортсменов.

Скорость общего центра масс (горизонтальная составляющая) определялась посредством численного дифференцирования с вычислением центральных разностных производных. Точность определения координат общего центра масс составляла не менее 0,018 м, скорости общего центра масс – 0,12 м/с [8, 9]. Время движения общего центра масс рассчитывалось как общее время выхода со старта за вычетом латентного времени стартовой реакции. Общее время выхода со старта, а также время пробегания 10 м регистрировалось с использованием комплекса аппаратуры, который включал стартовые колодки с контактными датчиками, фиксирующими моменты отрыва от колодки впереди и сзади стоящей ноги; фотоствор с инфракрасными излучателями и датчиками, установленными на стойках высотой 1 м; пятиканальный электронный миллисекундомер и стартовый пистолет. Латентное время стартовой реакции определялось от стартового сигнала до начала электрической активности мышц, обеспечивающих выход со старта: большой ягодичной, двуглавой, икроножной, прямой мышцы левой и правой ног. Регистрация электрической активности мышц осуществлялась с использованием восьмиканального аппаратно-программного комплекса «Миотон» (ОКБ «РИТМ», г. Таганрог). Точность определения времени составляла не менее 0,001 с. Статистическая обработка экспериментальных данных производилась с использованием прикладного пакета *STATGRAPHICS Plus for Windows*.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В таблице представлены кинематические характеристики движения общего центра масс спринтеров при выходе со старта с использованием сближенного, среднего и растянутого вариантов старта. Приведены как средние по десяти спортсменам характеристики для каждой из расстановок упоров, так и средние значения по всем расстановкам для каждого варианта старта.

Начальное положение общего центра масс характеризуется расстоянием от проекции общего центра масс на опору до линии старта по команде: «Внимание!». Как видно из таблицы, это расстояние, на преодоление которого в начале бега затрачивается определенное время, достоверно растет при переходе от сближенного к растянутому варианту старта ($p < 0,001$). В каждом из вариантов старта это расстояние равномерно увеличивается с удалением переднего упора от линии старта. При этом самое большое его значение в сближенном варианте старта ($0,28 \pm 0,02$) м соответствует самым малым значениям в среднем и растянутом вариантах старта.

Основным критерием эффективности действий спринтера на старте служит минимальное время выхода со старта при достаточно высокой горизонтальной скорости выхода, создающей предпосылки для быстрого продолжения бега при стартовом разгоне. Из таблицы следует, что имеется значительный разброс значений общего времени выхода со старта. Средние значения этого времени достоверно различаются в сближенном и среднем, а также в сближенном и растянутом вариантах старта ($p < 0,05$) и наименьшее из них ($0,535 \pm 0,005$) с наблюдается в среднем варианте.

Хотя общее время выхода со старта самое короткое в среднем варианте старта, сравнение всех его значений показывает, что ряд из них, соответствующих расстоянию от линии старта до переднего упора колодки при сближенном и среднем вариантах старта в интервале от ($0,47 \pm 0,01$) до ($0,55 \pm 0,01$) м, явно меньше всех остальных и находятся в пределах от ($0,526 \pm 0,007$) до ($0,529 \pm 0,010$) с. Они достоверно отличаются от других аналогичных значений в сближенном варианте старта ($p < 0,01...0,05$), а статистическая значимость их различий с большинством остальных составляет $p = 0,05...0,27$, т.е. достаточно высока.

Кинематические характеристики движения общего центра масс спринтеров при выходе со старта, $M \pm m$ ($n = 10$)

Вариант старта	Расстояние от линии старта до переднего упора колодки, м	Расстояние между упорами колодки, м	Расстояние от проекции общего центра масс на опору до линии старта по команде: «Внимание!», м	Длина траектории общего центра масс, м	Время движения общего центра масс, с	Общее время выхода со старта, с	Горизонтальная скорость общего центра масс при выходе со старта, м/с
Сближенный	0,35±0,01	0,29±0,01	0,18±0,03	0,71±0,02	0,433±0,016	0,561±0,009	3,23±0,07
	0,40±0,01		0,20±0,02	0,70±0,02	0,416±0,010	0,561±0,007	3,15±0,06
	0,45±0,01		0,23±0,02	0,67±0,02	0,420±0,009	0,566±0,010	3,18±0,07
	0,50±0,01		0,25±0,01	0,65±0,02	0,402±0,010	0,529±0,010	3,16±0,07
	0,55±0,01		0,28±0,02	0,64±0,02	0,388±0,009	0,529±0,009	3,15±0,07
	Средние значения						
	0,45±0,01	0,29±0,01	0,23±0,01	0,68±0,01	0,412±0,005	0,549±0,004	3,17±0,03
Средний	0,47±0,01	0,29±0,01	0,25±0,02	0,70±0,02	0,377±0,02	0,527±0,013	3,24±0,05
	0,52±0,01		0,28±0,02	0,66±0,01	0,392±0,012	0,526±0,007	3,11±0,06
	0,57±0,01		0,29±0,01	0,63±0,02	0,403±0,012	0,536±0,011	3,10±0,09
	0,62±0,01		0,31±0,01	0,60±0,02	0,396±0,016	0,545±0,009	3,03±0,08
	0,67±0,01		0,34±0,02	0,60±0,02	0,408±0,016	0,542±0,013	3,02±0,10
	Средние значения						
	0,57±0,01	0,29±0,01	0,30±0,01	0,64±0,01	0,395±0,007	0,535±0,005	3,10±0,04
Растянутый	0,47±0,01	0,49±0,01	0,28±0,02	0,70±0,01	0,416±0,011	0,539±0,009	3,25±0,06
	0,52±0,01		0,30±0,02	0,69±0,02	0,419±0,015	0,539±0,010	3,22±0,06
	0,57±0,01		0,34±0,01	0,67±0,02	0,414±0,013	0,539±0,009	3,14±0,06
	0,62±0,01		0,35±0,02	0,63±0,02	0,403±0,011	0,543±0,010	3,08±0,09
	0,67±0,01		0,38±0,02	0,62±0,02	0,398±0,013	0,537±0,011	3,11±0,04
	Средние значения						
	0,57±0,01	0,49±0,01	0,33±0,01	0,66±0,01	0,410±0,006	0,539±0,004	3,16±0,03

Примечание. M – среднее значение; m – ошибка среднего.

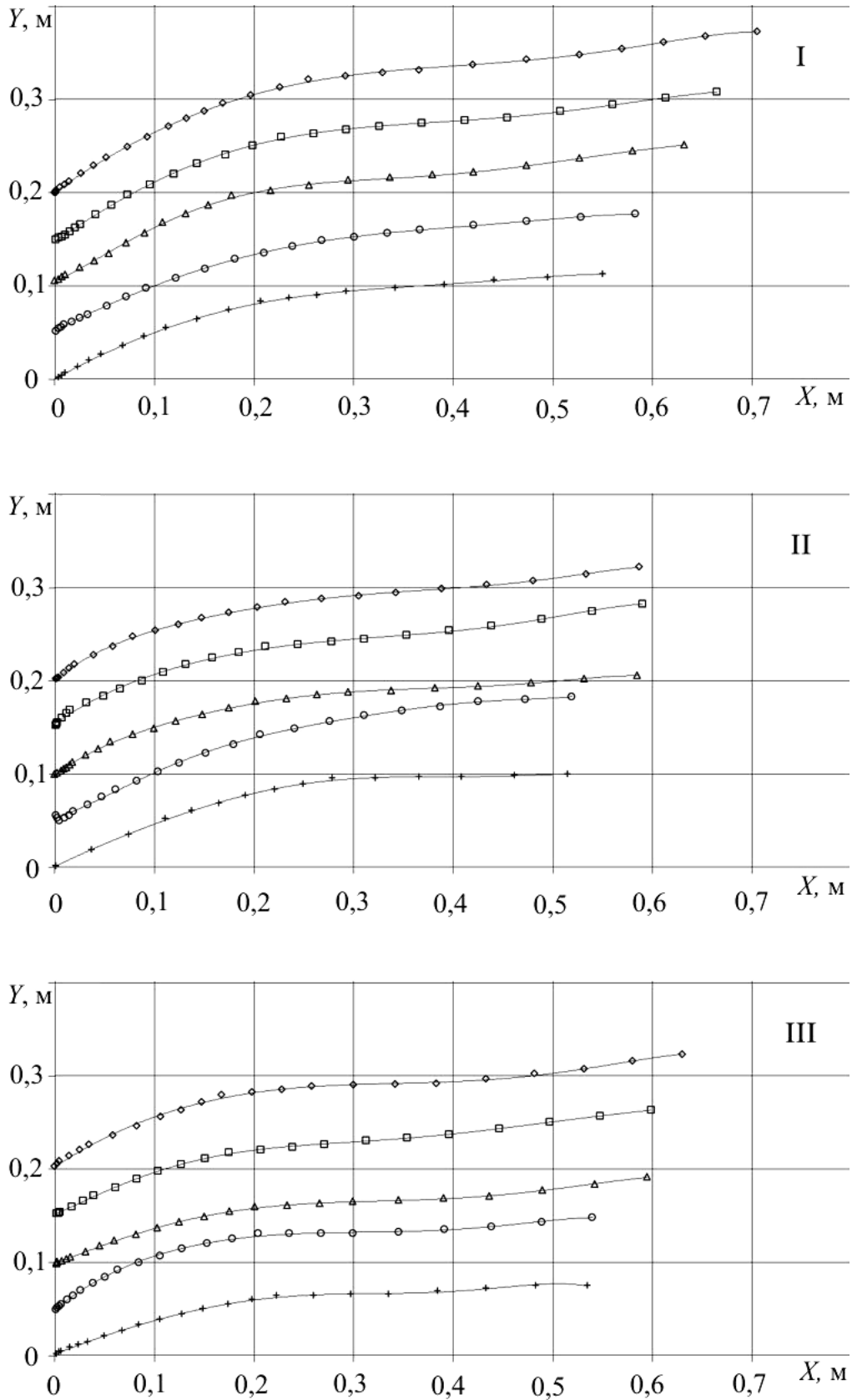


Рис. 3. Траектории движения общего центра масс спринтера при выходе со старта: I – сближенный; II – средний; III – растянутый варианты старта: A – расстояние от линии старта до переднего упора колодки: \diamond –0,5; \square –0,55; \triangle –0,6; \circ –0,65; $+$ –0,7; B – расстояние между упорами колодки, $B = 0,51$ м; траектории сдвинуты по оси Y одна по отношению к другой на 0,05 м

Время движения общего центра масс, как следует из таблицы, имеет те же тенденции изменения, что и общее время выхода со старта. Коэффициент корреляции между ними составляет 0,73–0,92, что свидетельствует об их тесной взаимосвязи. Таким образом, именно время движения общего центра масс в основном влияет на общее время выхода со старта. В свою очередь, время движения общего центра масс обусловлено длиной траектории и скоростью общего центра масс. Обнаружено, что траектории движения общего центра масс разных спортсменов имеют сходный вид. Типичные траектории общего центра масс одного из них показаны на рис. 3.

Видно, что форма траекторий и кривизна их отдельных участков мало отличаются. Основное различие касается длины траектории, которая во всех вариантах старта заметно снижается при увеличении расстояния от линии старта до переднего упора колодки. Средние значения длины траектории общего центра масс достоверно различаются в сближенном и среднем, а также в среднем и растянутом вариантах старта ($p < 0,001$).

Существенно, что в сближенном варианте старта при расстоянии от линии старта до переднего упора колодки в интервале от $(0,50 \pm 0,01)$ до $(0,55 \pm 0,01)$ м имеет место самая малая длина траектории общего центра масс – от $(0,64 \pm 0,02)$ до $(0,65 \pm 0,02)$ м при наименьшем времени движения общего центра масс. Ей соответствует не самая большая, но достаточно высокая средняя скорость общего центра масс и горизонтальная скорость общего центра масс при выходе со старта – от $(3,15 \pm 0,07)$ до $(3,16 \pm 0,07)$ м/с. Можно предположить, что это достигается развитием спринтером необходимого импульса силы при отталкивании от упоров в течение короткого времени, и указанные варианты старта являются предпочтительными.

Анализ времени пробегания 10 м показал, что самый быстрый стартовый разгон – $(2,18 \pm 0,020)$ с – происходит при использовании сближенного варианта старта при тех же расстановках упоров стартовой колодки, при которых было достигнуто наименьшее время движения общего центра масс и, соответственно, общее время выхода со старта. Это подтверждает предположение об эффективности данных вариантов старта и позволяет рекомендовать их для применения в тренировочной и соревновательной деятельности.

Результаты, полученные в представленном исследовании, имеют некоторые отличия от результатов, полученных *J. Slawinski* и др. [18]. Во-первых, абсолютные значения кинематических характеристик движения спринтеров заметно различаются, что связано с разницей в квалификации спортсменов. Однако положения общего центра масс спринтеров по команде: «Внимание!» в обоих исследованиях совпадают. Во-вторых, время выхода со старта и скорость общего центра масс при выходе оказались выше не в растянутом, а в сближенном варианте старта. При использовании этого же варианта отмечается и наименьшее время пробегания 10 м. Такую разницу можно объяснить тем, что в работе [18] при переходе от одного варианта старта к другому менялось лишь расстояние между упорами стартовой колодки, а расстояние от переднего упора до линии старта оставалось постоянным. Варьирование этого расстояния, которое имеет место на практике и учтено в настоящем исследовании, приводит к тому, что при некоторых расстановках упоров сближенный и средний варианты старта становятся близки между собой. При этом изменение расстановки упоров в каждом варианте старта существенно влияет на кинематические характеристики движения общего центра масс спринтеров. Кроме того, по-видимому, сказалась более быстрая адаптация относительно менее квалифицированных спортсменов к непривычному для некоторых из них варианту старта.

Выводы

1. К кинематическим характеристикам движения общего центра масс спринтеров при старте, от которых зависит его эффективность, относятся время движения общего центра масс и горизонтальная скорость общего центра масс при выходе со старта.

2. Время движения общего центра масс тесно связано с общим временем выхода со старта и принимает наименьшие значения в сближенном и среднем вариантах старта при расстоянии от линии старта до переднего упора колодки в диапазоне от $(0,47 \pm 0,01)$ до $(0,55 \pm 0,01)$ м (1,6–1,9 стопы), а между упорами – 0,29 м (одна стопа). В случае сближенного варианта старта при относительно небольшой длине траектории общего центра масс достигается достаточно высокая горизонтальная скорость общего центра масс.

3. Самое быстрое пробегание отрезка в 10 м обеспечивает использование сближенного варианта старта при расстоянии от линии старта до переднего упора колодки в диапазоне от $(0,50 \pm 0,01)$ до $(0,55 \pm 0,01)$ м (1,7–1,9 стопы), а между упорами – 0,29 м (одна стопа). Данный вариант старта является предпочтительным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аракелян Е.Е., Филин В.П., Коробов А.В., Левченко А.В. Бег на короткие дистанции (спринт). – М.: Инфра-М, 2002. – 134 с.
2. Зациорский В.М., Аруин А.С., Селуянов В.Н. Биомеханика двигательного аппарата человека. – М.: Физкультура и спорт, 1981. – 143 с.
3. Книга тренера по легкой атлетике / под ред. Л.С. Хоменкова. – М.: Физкультура и спорт, 1987. – 399 с.
4. Коннова О.В., Николенко В.Н., Сырова О.В. Корреляционные взаимоотношения размерных характеристик стопы // Успехи современного естествознания. – 2009. – № 5. – С. 122–124.
5. Легкая атлетика / под ред. Н.Г. Озолина, В.И. Воронкина. – М.: Физкультура и спорт, 1979. – 597 с.
6. Озолин Э.С. Спринтерский бег. – М.: Олимпия-Человек, 2010. – 176 с.
7. Селуянов В.Н., Чугунова Л.Г. Масс-инерционные характеристики сегментов тела человека // Современные проблемы биомеханики. Сб. № 7. Биомеханика мышц и структура движений. – Н. Новгород, 1993. – С. 124–143.
8. Ципин Л.Л., Мартынов А.С. Оценка точности кинематических характеристик бега спортсмена, полученных с помощью киносъемки // Материалы вуз. науч. конф. молодых ученых за 1988 год. – Л.: Изд-во ГДОИФК им. П.Ф. Лесгафта, 1989. – С. 66–67.
9. Ципин Л.Л., Самсонов М.А. О точности определения положения общего центра масс тела спортсмена // Российский журнал биомеханики. – 2011. – Т. 15, № 2 (52). – С. 60–68.
10. Bezodis N., Salo A., Trewartha G. Choice of sprint start performance measure affects the performance-based ranking within a group of sprinters: which is the most appropriate measure? // Sports Biomech. – 2010. – Vol. 9. – P. 258–269.
11. Čoh M., Tomažin K., Štuhec S. The biomechanical model of the sprint start and block acceleration. Facta Universitatis // Physical Education and Sport. – 2006. – Vol. 4. – P. 103–114.
12. Guissard N., Duchateau J., Hainaut K. EMG and mechanical changes during sprint starts at different front block obliquities // Med. Sci. Sports Exerc. – 1992. – Vol. 24. – P. 1257–1263.
13. Harland M.J., Steele J.R. Biomechanics of the sprint start // Sports Med. – 1997. – Vol. 23. – P. 11–20.
14. Korchemny R. A new concept for sprint start and acceleration training // New Studies in Athletics. – 1992. – Vol. 7. – P. 65–72.
15. Mero A., Kuitunen S., Harland M., Kyrolainen H., Komi P.V. Effects of muscle-tendon length on joint moment and power during sprint starts // J. Sports Sci. – 2006. – Vol. 24 – P. 165–173.
16. Schot P.K., Knutzen K.M. A biomechanical analysis of four sprint start positions // Res. Q. Exerc. Sport. – 1992. – Vol. 63. – P. 137–147.
17. Slawinski J., Bonnefoy A., Ontanon G., Leveque J.M., Miller C., Riquet A., Cheze L., Dumas R. Segment-interaction in sprint start: Analysis of 3D angular velocity and kinetic energy in elite sprinters // J. Biomech. – 2010. – Vol. 43. – P. 1494–1502.
18. Slawinski J., Dumas R., Cheze L., Ontanon G., Miller C., Mazure-Bonnefoy A. 3D kinematic of bunched, medium and elongated sprint start // J. Sports Med. – 2012. – Vol. 33. – P. 555–560.

19. Zatsiorsky V.M., Seluyanov V.N., Chugunova L.G. Methods of determining mass-inertial characteristics of human body segments // Contemporary Problems of Biomechanics / eds. G.G. Chernyi, S.A. Regier. – Boca Raton, MA: CRC Press, 1990. – P. 272–291.

THE ANALYSIS OF THE TRACK AND FIELD SPURTER'S CENTRE OF MASS MOTION DURING START

L.L. Tsipin, M.A. Samsonov (Saint-Petersburg, Russia)

This study belongs to the area of sports biomechanics and is dedicated to the study in kinematic characteristics of the motion of the centre of mass of higher rank athletes when performing a sprint start. We have considered three crouched start position types, characterized by different positioning of pads of the starting blocks: bunch, medium and elongated. In each position, the distance from the front pad of the blocks to the starting line varied. The initial position, trajectory length, time of the movement and horizontal velocity of the centre of mass on leaving the blocks has been evaluated. It has been found that during the “Set!” command the elongated start variant in comparison with the bunched start provides credible extension of the distance between centre of mass projection on a floor and a start line. This distance is also increasing when the front footplate is placed farther from the start line. The the total time of leaving the starting blocks is mainly affected by centre of mass movement time, which depends on the trajectory length and the centre of mass velocity. centre of mass trajectory shapes and the curvature of their parts have little difference in different start variants. The main difference is the centre of mass trajectory length. It has been established that, in the case of the bunch start, when the distance from the starting line to the front pad of the blocks is within the range of 0.50 ± 0.01 to 0.55 ± 0.01 m (1.7–1.9 feet) and the distance between the pads is 0.29 m (1 foot), the centre of mass trajectory length is relatively small, and a high horizontal velocity of the centre of mass is achieved. In this case, we observe the fastest leaving the blocks and start acceleration during the first 10 m of the distance, making this start type the most preferred option.

Key words: sprinting, variants of start, centre of mass, kinematic characteristics.

Получено 16 марта 2013