

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДИНАМИЧЕСКОЙ ОСАНКИ И УПРАВЛЯЮЩИХ ДВИЖЕНИЙ БАРЬЕРИСТА НА ОСНОВЕ БИОМЕХАНИЧЕСКОГО КОМПЬЮТЕРНОГО СИНТЕЗА

**Чжао Юйчэнь**

Белорусский
государственный
университет
физической культуры

**Козловская О.Н.**

Белорусский
государственный
университет
физической культуры

В статье приведены результаты исследования техники преодоления барьера квалифицированной спортсменкой, специализирующейся на дистанции 400 м. с барьерами на основе биомеханического компьютерного синтеза. На доказательном уровне путем сравнения влияния управляющих движений в суставах на скорость общего центра тяжести спортсменки установлены основные биомеханико-педагогические составляющие атаки барьера – элементы динамической осанки и главные управляющие движения в суставах. В качестве ключевого элемента динамической осанки было определено ограничение подвижности в коленном суставе опорной ноги. Главными управляющими движениями при отталкивании от опоры являются действия, выполняемые в тазобедренных суставах обеих ног и разгибание голеностопного сустава опорной ноги. На указанные объекты внутренней биомеханической структуры атаки барьера следует обеспечить акцентированное тренировочное воздействие в ходе специальной силовой подготовки барьеристов.

Ключевые слова: барьерный бег; биомеханический компьютерный синтез; элементы динамической осанки и управляющие движения.

DETERMINATION OF THE MAIN ELEMENTS OF DYNAMIC POSTURE AND CONTROL MOVEMENTS OF A HURDLER BASED ON BIOMECHANICAL COMPUTER SYNTHESIS

The article presents the results of a study of the technique of overcoming the barrier by a qualified athlete specializing in a 400 m distance based on biomechanical computer synthesis. At the evidential level, by comparing the influence of control movements in the joints on the speed of the athlete's general center of gravity, the main biomechanical and pedagogical components of the barrier attack have been established – elements of dynamic posture and the main control movements in the joints. As a key element of dynamic posture, the limitation of mobility in the knee joint of the supporting leg has been determined. The main control movements when pushing off the support are the actions performed in the hip joints of both legs and the extension of the ankle joint of the supporting leg. These objects of the internal biomechanical structure of the barrier attack should be provided with an accentuated training effect in the course of special strength training of hurdlers.

Keywords: hurdling; biomechanical computer synthesis; elements of dynamic posture and control movements.

ВВЕДЕНИЕ

При обучении двигательным действиям, развитии и совершенствовании специальных физических качеств эффективно используются различные тренировочные устройства и тренажеры. Одним из важнейших требований, предъявляемых к таким средствам, является соответствие характера мышечных усилий во время тренировки соревновательным по целому ряду характеристик. Этот подход в свое время был сформулирован доктором педагогических наук, про-

фессором Ю.В. Верхошанским и был назван принципом динамического соответствия [1].

Использование указанного принципа требует целого ряда дополнительных исследований соревновательного движения. Это определение биомеханических закономерностей соревновательного движения, включая амплитудные, скоростно-силовые, ритмические и другие характеристики, получаемые на основе биомеханического анализа и контроль указанных параметров при выполнении специального упражне-

ния. В большинстве исследований [2–4] определение биомеханических характеристик относилось к перемещению тела спортсмена в пространстве как целого с учетом одновременной работы ряда сочленений без выяснения на доказательном уровне роли каждого из них в достижении цели. Поэтому упражнения специального характера не имели обоснованной четкой направленности на совершенствование работы конкретного сочленения, играющего ключевую роль в достижении цели соревновательного движения.

Здесь логично использовать подход, предложенный в свое время доктором педагогических наук, профессором В.Т. Назаровым, предполагающий рассмотрение физического упражнения в виде совокупности биомеханико-педагогических составляющих – элементов динамической осанки и управляющих движений в суставах [5, 6]. Разделение последних на главные и вспомогательные (корректирующие) позволяет рационализировать тренировочную нагрузку на соответствующие мышцы, акцентируя работу именно главных движений в суставах. Поэтому проблема выяснения роли суставных движений в достижении цели двигательного действия представляется своевременной и актуальной исследовательской задачей.

Одним из современных путей решения проблемы выяснения роли управляющих движений в суставах при выполнении физического упражнения представляется биомеханическое моделирование. В спортивных исследованиях такой подход называется имитационным моделированием [7, 8] или биомеханическим компьютерным синтезом (БКС) [6].

Суть технологии БКС заключается в ряде последовательных шагов. На первом этапе, имеющем подготовительный характер, осуществляется высокоскоростная видеосъемка изучаемого движения с разбиением его на фазы с выделением ключевых фрагментов. Затем определяются начальные условия и кинематические характеристики суставных движений. Завершением подготовительного этапа БКС является вычисление антропометрических параметров и масс-инерционных характеристик звеньев тела исполнителя. Полученные данные вносятся в компьютерную программу, которая предполагает численное решение системы дифференциальных уравнений движения модели тела исполнителя в ситуации, характерной для исследуемой фазы двигательного действия.

В результате моделирования получается имитационная модель исполнения исследуемой фазы физического упражнения. Она имеет возможность строить (синтезировать) исследуемое движение при вариации различных параметров модели. В частности, для исследования сравнительного влияния управляющих движений в суставах на достижение цели двигательного действия можно вводить относительно небольшие вариации в их параметры, например на амплитуду. Величина вариаций выбирается из соображения минимальных искажений в структуре выполняемого действия (обычно в пределах 10 %). Сравнение влияния суставных движений на характеристики упражнения позволяет установить степень важности управляющих движений и выделить из них главные, которые впоследствии должны стать объектом педагогического воздействия.

Цель работы – установление основных биомеханико-педагогических составляющих техники преодоления барьера легкоатлетами, специализирующимися на дистанции 400 м с барьерами на основе биомеханического компьютерного синтеза.

Методы исследования движения включают высокоскоростную видеосъемку, биомеханический анализ динамики позы исполнителя, определение антропометрических, масс-инерционных параметров тела исполнителя и начальных условий рассматриваемой ситуации, которые вводятся в программу БКС, разработанную в рамках проекта Министерства спорта Республики Беларусь на 2023–2025 годы и направленную на коррекцию техники квалифицированных легкоатлетов.

■ ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В качестве объекта данного исследования была рассмотрена фаза отталкивания от опоры при атаке барьера, используемого на дистанции 400 м. Закономерности изменения позы при выполнении рассматриваемого двигательного действия были получены нами ранее [9]. В качестве иллюстрации начальное и конечное положения квалифицированной спортсменки, взятые из указанной статьи, а также соответствующие этим положениям матрицы позы показаны на рисунке 1.

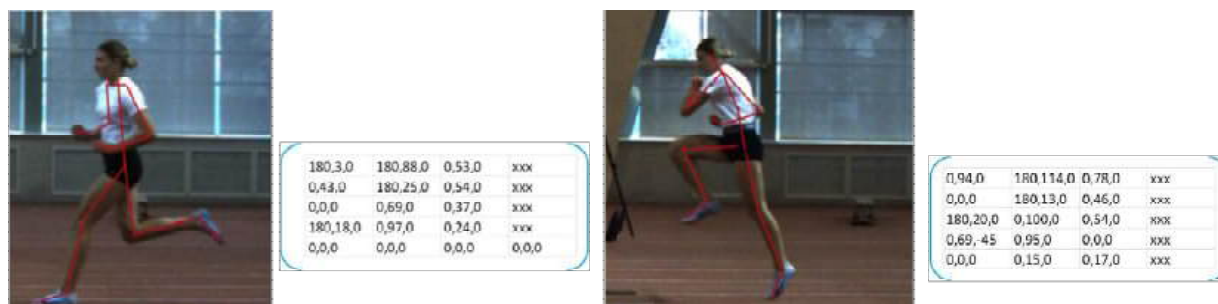


Рисунок 1 – Начальное и конечное положения спортсменки при отталкивании в ходе атаки барьера (с описанием позы в матричной форме)

Сегмент	Длина (м)	Масса (кг)	Момент инерции (кг·м²)
Голова	0,25	5,0	0,01
Торс	0,50	20,0	0,05
Бедро	0,40	5,0	0,01
Плечо	0,30	2,0	0,005
Предплечье	0,20	1,0	0,002
Кисть	0,10	0,5	0,001
Пясть	0,10	0,5	0,001
Палец	0,05	0,2	0,0005

Рисунок 2 – Окно ввода-вывода данных моделирования

Согласно анализу матриц изменения позы, основными суставными движениями, являющимися управляющими, представляются изменения углов в тазобедренных суставах обеих ног и голеностопном суставе опорной ноги. Основными элементами динамической осанки являются ограничения подвижности в голеностопном суставе толчковой ноги, ограничение движения в коленном суставе опорной ноги и ограничение движения в поясничном отделе позвоночника.

В соответствии с целью исследования, применение технологии БКС должно на доказательном уровне подтвердить или опровергнуть результаты, полученные на основе качественного анализа позы, полученные в упомянутой статье.

Биомеханический компьютерный синтез предполагает несколько последовательных этапов [6, с. 170–176]. Это задание начальных параметров, в число которых входят линейные размеры звеньев тела, их масс-инерционные характеристики, а также начальные условия движения. В числе последних – начальное положение опорной стопы и ее угловая скорость. Размеры звеньев, угловые положения звеньев и суставные углы определяются из материалов видеосъемки с учетом масштаба изображения. Масс-инерционные характеристики находятся из специальных таблиц, в частности угловая скорость стопы опорной ноги находится на основе изменения ее углового положения частоты съемки [10].

Окно ввода данных в программу БКС показано на рисунке 2, где в верхней части задается шаг решения задачи (в данном случае 0,005 с), начальные условия, наличие или отсутствие силы тяжести. Справа в соответствующие окна вводятся значения начального и конечного значения суставных углов исполнителя.

Данные сравнительного анализа влияния амплитуды суставных движений представлены на рисунках 3–5. Первые два рисунка показывают изменение горизонтальной и вертикальной скоростей общего центра тяжести барьериста при введении 10 % вариаций в амплитуду суставных движений. На рисунке 5 показана зависимость от времени результирующей скорости указанной точки в случае введения указанных вариаций.

Сравнительный анализ влияния управляющих движений в суставах на скорость движения ОЦТ к моменту

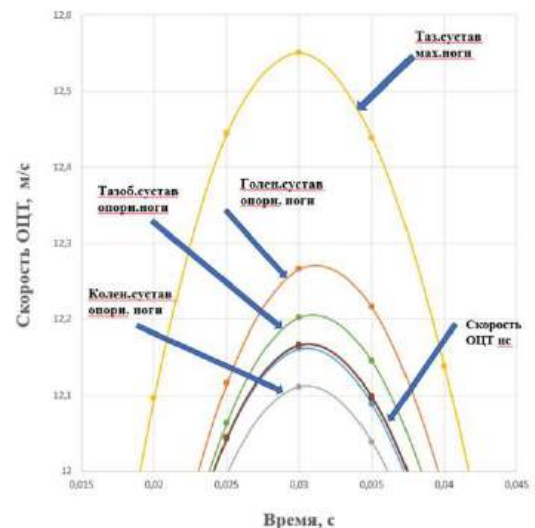


Рисунок 3 – Зависимость горизонтальной скорости ОЦТ от времени при вариациях амплитуды суставных движений

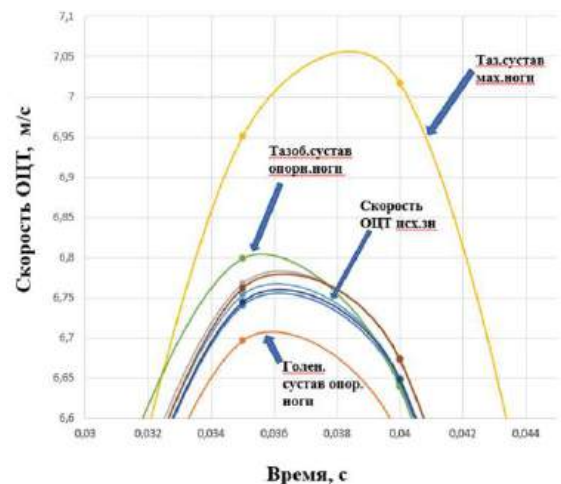


Рисунок 4 – Зависимость вертикальной скорости ОЦТ от времени при вариациях амплитуды суставных движений

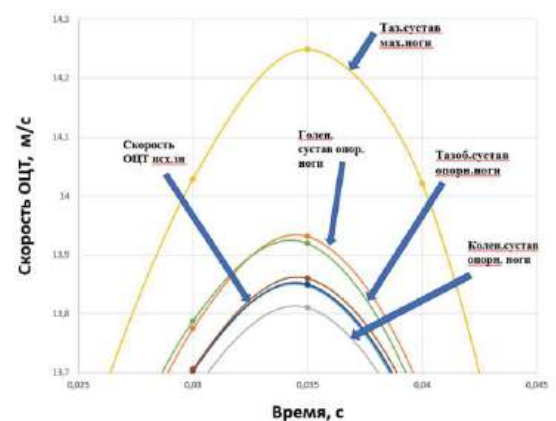


Рисунок 5 – Зависимость результирующей скорости ОЦТ от времени при вариациях амплитуды суставных движений

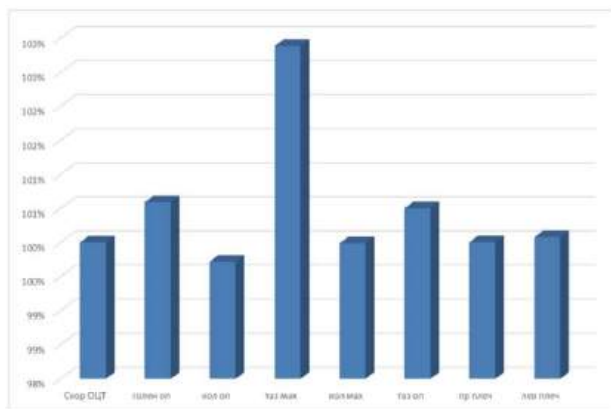


Рисунок 6 – Сравнительный анализ влияния суставных движений на скорость ОЦТ при атаке барьера

отрыва от опоры представлен в виде диаграммы на рисунке 6.

Анализ полученных результатов позволяет подтвердить выделение в качестве главных управляющих движений при отталкивании от опоры в ходе атаки барьера действий в тазобедренных суставах обеих ног. При этом наиболее сильное влияние на скорость ОЦТ оказывает движение маховой ногой.

Исследование также показало важность движения в голеностопном суставе опорной ноги. По своему воздействию оно приблизительно сравнимо с движением в тазобедренном суставе опорной ноги и даже несколько его превосходит. Здесь следует уточнить интерпретацию данных, полученных ранее в упомянутой выше статье [9], где предполагалось, что мышцы голеностопного сустава работают на ограничение подвижности. Так, использование технологии БКС позволяет отнести изменение угла в голеностопном суставе именно к управляющим движениям.

В отношении коленного сустава опорной ноги можно заключить, что ограничение его подвижности приводит к увеличению скорости ОЦТ к моменту отрыва от опоры. Здесь заключение по итогам БКС подтверждает выводы, приведенные в нашей вышеупомянутой статье. Поэтому в качестве рекомендации можно предложить использование тренировки мышц данного сустава в статическом или уступающем режиме.

Естественно, при построении специальных силовых упражнений, направленных на тренировку мышц спортсмена, связанную с преодолением барьера, на фоне движений с нагрузкой преодолевающего характера следует обеспечить соблюдение элементов динамической осанки (ограничения подвижности в соответствующих сочленениях).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования техники атаки барьера спортсменом, специализирующимся на дистанции 400 м, были получены данные в отношении сравнительного влияния основных суставных движений исполнителя на скорость его общего центра тяжести.

Анализ сравнительного влияния управляющих движений в суставах на скорость указанной точки позволил установить в качестве главных управляющих движений действия в тазобедренных суставах обеих ног, а также в голеностопном суставе опорной ноги.

В ходе моделирования было установлено, что действие в коленном суставе опорной ноги должно быть отнесено к элементам динамической осанки, а мышцы, обеспечивающие работу данного сустава должны работать на ограничение его подвижности.

При построении специальных силовых упражнений барьериста основной акцент тренировки должен быть направлен на обеспечение соответствующей нагрузки сочленений, обеспечивающих элементы динамической осанки и основные управляющие движения, выявленные в ходе использования биомеханического компьютерного синтеза.

ЛИТЕРАТУРА

- Верхошанский, Ю. В. Основы специальной силовой подготовки в спорте / Ю. В. Верхошанский – 3-е изд. – М.: Советский спорт, 2013. – С. 156–165.
- Григоренко, Д. Н. Кинематический и силовой анализ соревновательных упражнений при беге с препятствиями / Д. Н. Григоренко, К. К. Бондаренко, С. В. Шилько // Российский журнал биомеханики. – 2011. – Т. 15, № 3. – С. 61–70.
- Сучилин, Н. Г. Оптико-электронные методы измерения движений человека / Н. Г. Сучилин, В. С. Савельев, Г. И. Попов. – М.: ФОН, 2000. – 126 с.
- Шалманов, А. А. Методы исследования двигательных действий и технического мастерства спортсменов в спортивной биомеханике / А. А. Шалманов, Е. А. Лукунина, В. Г. Медведев // Наука о спорте: Энциклопедия систем жизнеобеспечения. – ЮНЕСКО, 2011. – С. 165–178.
- Назаров, В. Т. Движения спортсмена / В. Т. Назаров. – Минск: Польша, 1984. – С. 35–44.
- Сотский, Н. Б. Биомеханика: учеб. / Н. Б. Сотский. – Минск: РИВШ, 2023. – С. 170–176.
- Ратнер, П. Трехмерное моделирование и анимация человека / П. Ратнер. – 2-е изд. – М.: Вильямс, 2005. – 272 с.
- Загrevский, В. И. Биомеханика физических упражнений: учеб. пособие / В. И. Загrevский, О. И. Загrevский. – Томск: ТМЛ-Пресс, 2007. – С. 84–90.
- Чжао, Юйчэнь Об элементах динамической осанки и управляющих движениях спортсменки при атаке барьера на 400 м / Юйчэнь Чжао, Н. Б. Сотский, О. Н. Козловская // Мир спорта. – № 4. – 2023. – С. 22–28.
- Защиорский, В. М. Биомеханика двигательного аппарата человека / В. М. Защиорский, А. С. Аруин, В. Н. Селуянов. – М.: ФиС, 1981. – С. 113–126.

03.02.2025