

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ БИОМЕХАНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕХНИКИ СОРЕВНОВАТЕЛЬНЫХ УПРАЖНЕНИЙ В СИСТЕМЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КООРДИНАТ

В.И. Загrevский

Могилевский государственный университет им. А.А. Кулешова, zvi@tut.by

Введение. Широкое использование новых информационных технологий биомеханических исследований в учебно-тренировочном процессе спортсменов сдерживается рядом факторов. Рассмотрим один из них.

Существующие в биомеханике физических упражнений методы оценки кинематических и динамических параметров биосистемы не всегда позволяют сопоставить не только биомеханические характеристики различных исполнителей, но и проанализировать изменение биомеханического состояния в процессе выполнения соревновательного упражнения одним и тем же исполнителем [1, 4, 7, 14]. Различное время выполнения исследуемых движений – основная причина, сдерживающая решение этой технической части проблемы биомеханических исследований [9-12]. У каждого спортсмена существует индивидуальная техника упражнения. А, следовательно, и время выполнения упражнения отличается у каждого из исполнителей одного и того же соревновательного упражнения. Кроме этого, на траекторию биомеханической системы в конкретном соревновательном упражнении и, соответственно, времени его выполнения оказывают влияние различия в массинерционных характеристиках исполнителей, начальной скорости звеньев тела спортсмена и другие биомеханические факторы.

В этой связи, один из ведущих специалистов в области биомеханики физических упражнений, Г.И. Попов считает, что: «Один из первых вопросов, возникающих при изучении многосуставных движений, - в какой системе координат и в каких переменных планируется движение. Нервной системе приходится иметь дело с реальным трехмерным («рабочим») пространством, в котором двигаются звенья тела, пространством суставных углов (фазовое многомерное пространство, в котором число степеней свободы равно числу степеней свободы системы); возможно, с многомерным мышечным пространством. ... Можно предположить, что движение планируется в тех координатах, в которых траектории окажутся проще и будут устойчивее при изменении двигательных задач» [13, с. 104-105].

В перспективе здесь просматриваются следующий реальный подход, исключающий время, как аргумент сопоставления биомеханических характеристик движения: замена времени, как аргумента движения, другой независимой переменной [2, 5]. Например, для вращательных движений в условиях опоры такой переменной может быть радиус-вектор общего центра масс (ОЦМ) тела спортсмена.

Методика исследования. В выполненном исследовании разработан метод вычисления биомеханических характеристик упражнений, в котором в качестве независимого аргумента движения используется не время, а радиус-вектор ОЦМ тела спортсмена. Метод позволяет выполнить сравнительный анализ биомеханики движения различных спортсменов в условиях опоры, или для одного и того же исполнителя - сравнительный биомеханический анализ упражнений прогрессирующей трудности. Технологическая последовательность реализации предлагаемого подхода заключается в выполнении следующих операций:

1. Вычислить угловые координаты ОЦМ биомеханической системы на всей траектории анализируемого движения с шагом по времени равным шагу дискретизации моделируемого движения.
2. Выполнить интерполяцию значений угловых координат ОЦМ биомеханической системы с заданным шагом аргумента, представленного в виде углового положения ОЦМ биосистемы (в наших исследованиях задаваемый шаг аргумента составлял 15°).

3. Параллельно с процедурой 2 вычисляется момент времени, относящийся к каждой точке дискретизации модели по созданному инварианту движения (угловое положение ОЦМ тела спортсмена).

4. Определить векторный массив времени, в котором каждому элементу вектора соответствует значение нового построенного аргумента движения (обратная интерполяция).

5. Для каждого вычисленного значения времени, соответствующего равноотстоящим значениям построенного нового биомеханического инварианта (аргумент) движения, вычислить двумерный массив обобщенных координат, обобщенных скоростей и обобщенных ускорений на всей траектории биомеханической системы.

6. Принять вычисленные значения обобщенных координат, обобщенных скоростей и обобщенных ускорений биомеханической системы в качестве исходных данных для последующего вычисления кинематических и динамических характеристик анализируемого движения, как функций от нового синтезированного аргумента.

Алгоритмическое содержание программного обеспечения модуля интерполяции функциональных зависимостей в компьютерной реализации основывалось на использовании интерполяционно-го кубического сплайна.

Сплайн-интерполяция – специальный вид многоинтервальной интерполяции, при котором интерполирующий полином обеспечивает не только равенство $y(x)$ значениям y_i в узлах (i) дискретизации функции (y) по аргументу (x), но и непрерывность заданного числа первых производных $y'(x)$ на границах частичных интервалов [3, 6, 8]. В общем случае сплайн задается глобальным способом, т.е. с использованием всех узлов (рис. 1) дискретизации функции при любом их расположении (неравномерная сетка по узлам дискретизации).

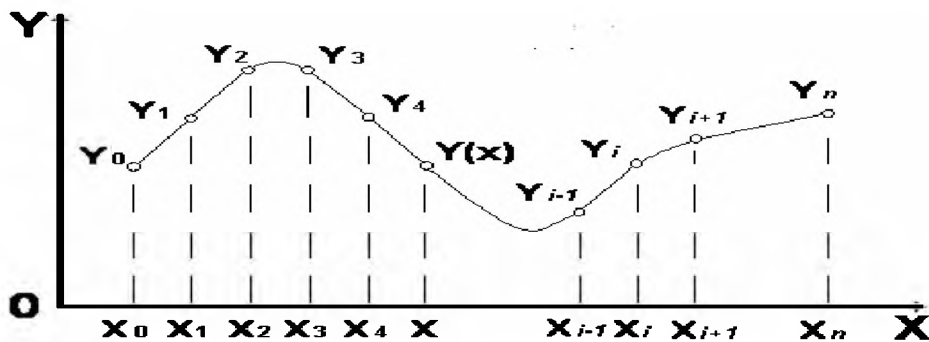


Рисунок 1 – Узлы интерполяции (x_i) и значение интерполируемой функции $y(x)$ в точке (x)

В наших исследованиях рассматривалось задание интерполяционного кубического сплайна локальным способом, которое требует существенно меньшего объема памяти ПЭВМ и реализуется сравнительно проще, чем при глобальном способе его представления. Кубический сплайн, заданный локально, – это интерполирующая функция в виде полинома третьей степени [6], вычисляемая по формулам

$$i = \text{int}((x - a) / h),$$

$$y(x) = \frac{(x_{i+1} - x)^2 (2(x - x_i) + h)}{h^3} y_i + \frac{(x - x_i)^2 (2(x_{i+1} - x) + h)}{h^3} y_{i+1} + \frac{(x_{i+1} - x)^2 (x - x_i)}{h^2} m_i + \frac{(x - x_i)^2 (x - x_{i+1})}{h^2} m_{i+1},$$

где m_i, m_{i+1} – первые производные $y(x)$, $\text{int}((x-a)/h)$ – целая часть значения аргумента $(x-a)/h$, т.е. наибольшее целое не превосходящее $(x-a)/h$, i – буквенный индекс, h – шаг изменения аргумента (x), равный $h=(x_{i+1}-x_i)$.

В процессе вычислений использовалась обратная интерполяция (пункт 4 схемы вычислений). Обратная интерполяция – процесс нахождения значений x по заданным значениям y , которая также выполнялась кубическими сплайнами, только вместо значений x , вводились значения y .

Результаты исследования и их обсуждение. На рисунке 2 приведены кинетограммы опорной части упражнения «Перелет Ткачев» на перекладине.

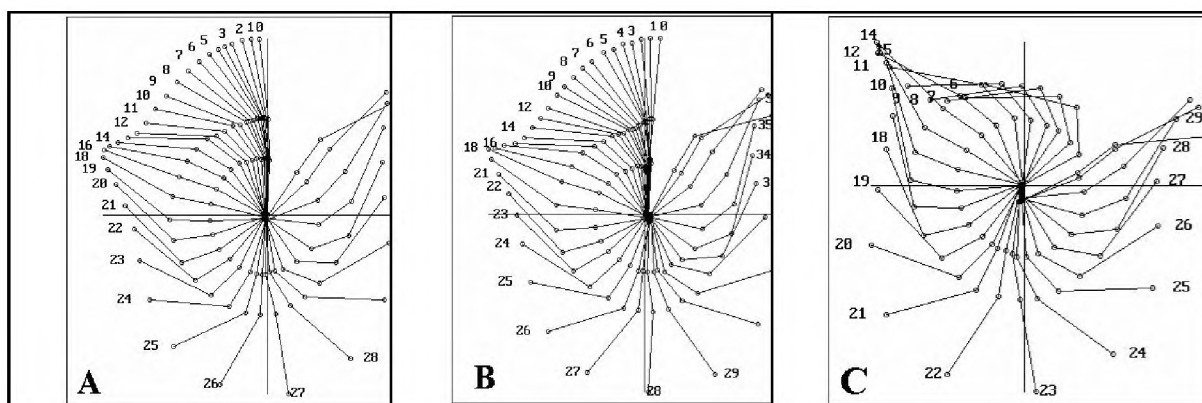


Рисунок 2 – Кинетограмма опорной части «Перелет Ткачев»: А - ноги врозь, В – согнувшись, С – прямым телом

Цифры и числа обозначают номер кинокадра. Упражнение выполняет мастер спорта международного класса РФ А. Голоцуцков. Упражнение выполняется в одной структурной группе гимнастических упражнений, но отличается трудностью и временем выполнения упражнения: 1 – «Перелет Ткачев ноги врозь», 2 - «Перелет Ткачев согнувшись», 3 - «Перелет Ткачев». Первое упражнение выполняется прохождением тела над перекладиной ноги врозь, второе – согнувшись, а третье – выпрямленным телом. Третье упражнение является наиболее трудным для выполнения.

Так как число точек дискретизации расчетных моделей анализа движений биомеханических систем, для различных исполнителей одного и того же исследуемого упражнения, относительно принятого (пространственного) аргумента движения, всегда будет равным, то появляется возможность выполнить сравнительный биомеханический анализ динамики их изменения (рис. 3).

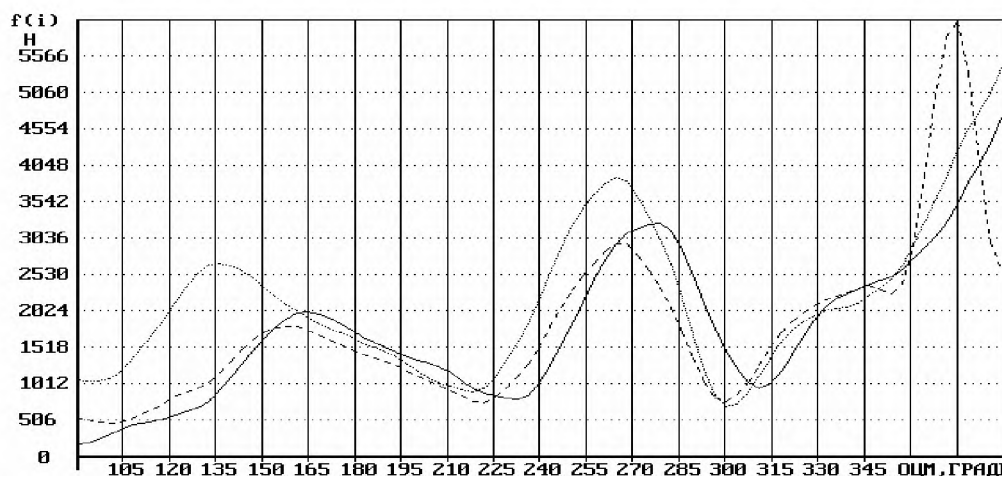


Рисунок 3 – Результирующая сила реакции опоры по пространственному аргументу движения в гимнастических упражнениях «Перелет Ткачев»: А (—), В (---), С (.....)

Отчетливо отмечаются различия как по амплитудным параметрам результирующей силы реакции опоры в различных упражнениях, так и по их максимальным проявлениям относительно углового положения ОЦМ тела спортсмена.

Выводы. В биомеханических исследованиях, связанных со сравнительным изучением кинематической и динамической структуры движений различных исполнителей, целесообразно использовать, в ряде случаев, в качестве аргумента движения не время, а угловое положение общего центра масс тела спортсмена относительно опоры. Это делает доступным проведение сравнительного биомеханического анализа техники соревновательных упражнений, выполняемых различными спортсменами.

Литература:

1. Аркаев, Л. Я. Как готовить чемпионов / Л. Я. Аркаев, Н. Г. Сучилин. – М.: Физкультура и Спорт, 2004. – 328 с.
2. Бутенин, Н. В. Курс теоретической механики: Том 2 – Динамика / Н. В. Бутенин, Я. Л. Лунц, Д. Р. Меркин. - М.: Наука, 1971. – 461 с.
3. Волков, А. Е. Численные методы / А. Е. Волков. – М.: Наука, 1982. – 263 с.
4. Гавердовский, Ю. К. Техника гимнастических упражнений: популярное учебное пособие / Ю. К. Гавердовский. – М.: Терра-Спорт, 2002. – 512 с.
5. Гернет, М. М. Курс теоретической механики: Уч-ник для немашиностроит. специальностей вузов: изд. 2-е перераб. / М. М. Гернет. – М.: Высшая школа, 1970. – 440 с.
6. Гусев, В. А. Математика: справочные материалы / В. А. Гусев, А. Г. Мордкович. – М.: Просвещение, 1988. – 416 с.
7. Донской, Д. Д. Биомеханика: учеб. пособие для студентов факультетов физического воспитания пед. ин-тов / Д. Д. Донской. – М.: Просвещение, 1975. – 238 с.
8. Дьяконов, В. П. Справочник по алгоритмам и программам на языке бейсик для персональных ЭВМ: Справочник / В. П. Дьяконов. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 240 с.
9. Загrevский, В. И. Биомеханические параметры стартовых условий полетной части перелетовых упражнений «Ткачев» на перекладине / В. И. Загrevский, В. С. Шерин // Теория и практика физической культуры. – 2008. – №10, с. 6–11.
10. Загrevский, В. И. Построение оптимальной техники спортивных упражнений в вычислительном эксперименте на ПЭВМ / В. И. Загrevский, Д. А. Лавшук, О. И. Загrevский. – Могилев: Могилев. гос. ун-т, 2000. – 190 с.
11. Загrevский, В. И. Биомеханические инварианты движения в исследованиях техники соревновательных упражнений / В. И. Загrevский, Ф. М. Эльхвари, А. Н. Шахдади // Актуальные вопросы физической культуры и спорта: Материалы XI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (27-28 марта 2008 г.). Томск: Издательство ТПУ, 2008. – С. 337-340.
12. Коренберг, В. Б. Качественный биомеханический анализ / В. Б. Коренберг // Гимнастика: Сборник статей, Вып. 2-й / Сост. В. М. Смолевский; Редкол. Ю. К. Гавердовский [и др.]. – М.: Физкультура и спорт, 1985. – С. 36-40.
13. Попов, Г. И. Биомеханика: Учебник для студ. высш. учеб заведений / Г. И. Попов. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 256 с.
14. Сучилин, Н. Г. Оптико-электронные методы измерения движений человека / Н. Г. Сучилин, В. С. Савельев, Г. И. Попов. – М.: ФОН, 2000. – 126 с.