УДК 796.012

БИОМЕХАНИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ КАК МЕТОД СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ДЕЙСТВИЙ СПОРТСМЕНОВ

Д. А. Лавшук, В. И. Загревский
(МГУ имени А. А. Кулешова, Могилев, Беларусь)

В статье приведены ключевые особенности биомеханического синтеза как инструмента, позволяющего в имитационном моделировании на компьютере исследовать технические действия спортсменов.

Среди всех компонентов подготовки спортсменов техническая подготовка доминирует в видах спорта, связанных с искусством движений – спортивная гимнастика, прыжки на батуте, прыжки в воду, фигурное катание на коньках. Однако и в других видах спорта технической подготовке должно уделяться существенное внимание – при одинаковой физической подготовленности спортсмен, обладающий лучшей технической подготовленностью, имеет преимущество и способен показать лучший спортивный результат.

Каким образом спортивная наука позволяет исследовать технические действия спортсменов с целью совершенствования процесса технической подготовки? Каким образом тренер отвечает на вопрос «чему учить»? К сожалению, до сих пор наиболее применимый на практике метод – это так называемый метод «проб и ошибок». Часто это – следствие плохих знаний элементарных законов движения. В теории и методике физического воспитания в качестве инструмента познания двигательных закономерностей при выполнении физических упражнений используется биомеханика с ее арсеналом методов. В самом общем случае в качестве таковых выступают биомеханический анализ и биомеханический синтез.

Первое направление исследований базируется на поиске рациональных форм двигательных действий спортсмена по материалам оптической или инструментальной регистрации движений. Соревновательные упражнения, выполняемые спортсменом в лабораторных или соревновательных условиях, являются тем экспериментальным материалом, анализ которых позволяет выдвинуть тезис о возможной рационализации техники изучаемых упражнений и предложить педагогические методики по их качественному и ускоренному обучению.

Электронный архив библиотеки МГУ имени А.А. Кулешова

Подобный подход решения проблемы биомеханического обоснования организации рациональной структуры спортивных упражнений можно представить в виде следующей методологической цепочки: *освоенное двигательное действие – биомеханический анализ – выводы и рекомендации по совершенствованию техники упражнений и методики обучения им*. Вместе с тем, стоит отметить определенную ограниченность данного подхода. заключающуюся уже в том аспекте рассматриваемой проблемы, какое место занимает научное исследование в методологической цепочке взаимосвязи науки и практики: первоначально на практике осваивается какое-либо движение, а лишь затем оно подвергается биомеханическому анализу.

Второе направление исследований – биомеханический синтез – позволяет конструировать разнообразные формы двигательных действий спортсмена в вычислительном эксперименте на компьютере, как реально выполняемых спортивных упражнений, так и еще не выполнявшихся, но имеющих перспективу реального выполнения. Методологическая цепочка взаимосвязи науки и практики выглядит в этом случае следующим образом: *биомеханический синтез исследуемого движения – биомеханический анализ – выводы и практические рекомендации – освоение движения*. Отсюда следует принципиально важная, на наш взгляд, трансформация роли научного исследования в процессе обучения двигательным действиям: вместо констатирующего фактора научное исследование выполняет функцию прогноза, с активным участием непосредственно в учебно-педагогическом и тренировочном процессах. Компьютер выполняет роль построителя движений с заданными качествами, которые являются маркерами оценки эффективности техники синтезированного спортивного упражнения. Необходимо отметить, что рассматриваемый подход синтеза движений в имитационном моделировании двигательных действий спортсмена на компьютере позволяет учитывать не только масс-инерционные и антропометрические особенности испытуемых, но и их силовой потенциал, что позволяет конструировать индивидуальную технику соревновательных упражнений, адекватную геометрическим, масс-инерционным и силовым параметрам спортсмена.

Какова же сущность биомеханического синтеза, каким образом можно синтезировать движение спортсмена на компьютере? Укажем основные этапы технологической цепочки в организации имитационно-

Электронный архив библиотеки МГУ имени А.А. Кулешова

го моделирования двигательных действий. Эта схема является универсальной и используется во всех областях человеческой деятельности, где применяются математические модели, специфику организации вычислительного эксперимента в исследовании техники соревновательных упражнений укажем при рассмотрении этапов схемы.

Первый этап – построение математической модели. Механическое движение любого физического объекта – это процесс изменения пространственных характеристик объекта с течением времени. Любые процессы с точки зрения математики можно описать дифференциальными уравнениями. Если модель позволяет воспроизвести процесс функционирования исследуемой системы, получить по исходным данным информацию о состоянии процесса в определенные моменты времени, то данный вид моделирования называется имитационным. На сегодняшний день имитационное моделирование является наиболее эффективным, а зачастую, и единственным методом исследования сложных систем, к которым относятся и биомеханические системы.

Даже если рассматривать тело человека только как механическую систему, уже на данном уровне абстракции необходимо ответить на вопросы о числе звеньев модели, ее разветвленности, плоскостная или пространственная модель. На сегодняшний день представляется проблематичным создание универсальной математической модели синтеза произвольных пространственных движений спортсмена вследствие огромного разнообразия спортивных движений. Однако модели, позволяющие описать определенные подклассы движений, уже разработаны. В частности, рассмотрим математическую модель движения N-звенной неразветвленной биомеханической системы [1]:

$$\sum_{j=1}^{N} A_{ij}\ddot{\varphi}_j \cos(\varphi_j - \varphi_i) - \sum_{j=1}^{N} A_j \dot{\varphi}_j^{\,2} \sin(\varphi_j - \varphi_i) + Y_i \cos\varphi_i = M_i - M_{i+1}.$$

Здесь N – количество звеньев моделируемой системы, φ – вектор обобщенных координат биомеханической системы, A_{ij} – матрица динамических характеристик, определяемая масс-инерционными характеристиками звеньев тела спортсмена, $\dot{\varphi}$, $\ddot{\varphi}$ – соответственно первая и вторая производная вектора обобщенных координат по времени, $\boldsymbol{Y}$ – вектор обобщенных сил, $\boldsymbol{M}$ – вектор управляющих моментов мышечных сил в суставах.

В зависимости от способа задания управляющих функций и моделирующего их алгоритма управления движением, приведенная выше

Электронный архив библиотеки МГУ имени А.А. Кулешова

математическая модель движения биомеханической системы трансформируется в подкласс *конструктивных математических моделей синтеза целенаправленных движений человека.*

Управляющие воздействия биомеханической системы формируются на двух уровнях – кинематический уровень формирования программного управления (если управляющие функции заданы в форме кинематических характеристик, например, в виде суставных углов) и динамический уровень формирования программного управления (при задании управляющих функций в форме управляющих моментов мышечных сил). И, хотя причина возникновения движения – это силы (динамический уровень), более естественно и тренеру, и спортсмену рассматривать управление на кинематическом уровне, задавая программу движения в форме изменения суставных углов.

Второй этап в организации вычислительного эксперимента – выбор адекватных численных алгоритмов решения уравнений. Математическая модель позволяет определить положение спортсмена в любой момент времени. Для этого необходимо решить систему дифференциальных уравнений. Аналитическое решение данной системы не всегда возможно, поэтому пользуются численными методами решения дифференциальных уравнений.

Третий этап – создание компьютерной программы. Конечно, для вычисления биомеханических характеристик движений с использованием разработанных математических моделей возможно использование специализированных математических пакетов. Однако данный способ, на наш взгляд, неприемлем с точки зрения эффективности использования компьютерного синтеза движений в педагогическом процессе. В этом случае моделировать спортивные движения сможет лишь специалист, обладающий серьезной математической подготовкой. В случае же создания конечного программного продукта, позволяющего в удобной форме задать начальные условия моделирования и предоставляющего развитые средства анализа расчетных биомеханических характеристик, возможно использование таких программ широким кругом пользователей, в том числе тренерами, спортсменами, студентами.

Четвертый этап – собственно вычислительный эксперимент на ЭВМ. Причем можно выделить две фазы вычислительных экспериментов. Первая фаза, которую можно назвать предварительным вычислительным экспериментом, направлена на решение задачи пятого этапа –

Электронный архив библиотеки МГУ имени А. А. Кулешова

проверки адекватности и корректности созданных моделей и программ. Созданные математические модели и компьютерные программы обязательно должны быть проверены на адекватность реальным спортивным движениям. После создания программы мы должны построить траектории реально исполнявшихся упражнений для разных исполнителей и сравнить результаты имитационного моделирования с данными регистрации этих движений. Только после данной процедуры возможно применение разработанных моделей и программ для дальнейших исследований.

Таким образом, биомеханический синтез позволяет рационализировать процесс поиска оптимальных двигательных действий спортсменов. С помощью имитационного моделирования можно не только определять рациональные формы известных упражнений, но и исследовать технику новых, еще никогда не исполнявшихся спортивных движений.

Список использованной литературы

1. Загревский, В. И. Формализм Лагранжа и Гамильтона в моделировании движений биомеханических систем / В. И. Загревский, О. И. Загревский, Д. А. Лавшук. – Могилев: МГУ имени А. А. Кулешова, 2018. – 296 с.

Электронный архив библиотеки МГУ имени А. А. Кулешова